



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

CATIE
Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

Programa regional de Cambio Climático

INFORME TÉCNICO

Dinámica de la cobertura del suelo y las existencias de carbono en los manglares de El Salvador

**Miguel Cifuentes Jara
Carlos Giovanni Rivera
Javier Magaña Rivas
Sergio Velásquez Mazariegos
Danilo Torres Gómez**



En coordinación con



Informe Técnico

Dinámica de la cobertura del suelo y las existencias de carbono en los manglares de El Salvador

Miguel Cifuentes Jara
Carlos Giovanni Rivera
Javier Magaña
Sergio Velásquez Mazariegos
Danilo Torres Gómez

2018

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 2018

ISBN 978-9977-57- 678-7

363.737

D583 Dinámica de la cobertura del suelo y las existencias de carbono en los manglares de El Salvador / Miguel Cifuentes Jara... [et al.]. – 1ª ed. – Turrialba, C.R : CATIE, 2018.
160 p. : il. – (Serie técnica. Informe técnico / CATIE ; no. 411)

ISBN 978-9977-57- 678-7

<http://hdl.handle.net/11554/8718>

I. Manglares – Secuestro de carbono – El Salvador 2. Manglares – Estimación de las existencias de carbono – El Salvador I. Cifuentes Jara, Miguel. II. Rivera, Carlos Giovanni III. Magaña, Javier IV. Velásquez Mazariegos, Sergio. V. Torres Gómez, Danilo VI. CATIE VII. Título VIII. Serie.

Forma sugerida para citar este documento:

Cifuentes - Jara, M.; Rivera, C.G.; Magaña, J.; Velásquez Mazariegos, S.; Torres Gómez, D. 2018. Dinámica de la cobertura del suelo y las existencias de carbono en los manglares de El Salvador. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 160 p. (Serie técnica. Informe técnico, no.# 411).

Revisores

Marcello Hernández y Tania Romero

Créditos

Esta publicación ha sido posible gracias al apoyo de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) bajo los términos del Acuerdo Cooperativo No. AID 596-A-13-00002 (Programa de Cambio Climático Regional de USAID), ejecutado por el CATIE con apoyo de IUCN, CARE International y TerraGlobal Capital, LLC. Los contenidos y opiniones expresadas aquí no son responsabilidad del Programa Regional de Cambio Climático y no reflejan necesariamente las opiniones de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos.

CATIE no asume la responsabilidad por las opiniones y afirmaciones expresadas por los autores. Las ideas de los autores no reflejan necesariamente el punto de vista de la institución. Se autoriza la reproducción parcial o total de la información contenida en este documento, siempre y cuando se cite la fuente.

Reconocemos el invaluable rol de Oscar Molina para la organización y ejecución de los trabajos en bahía de Jiquilisco y en el estero de Jaltepeque.

TABLA DE CONTENIDO

1. Presentación	13
2. Resumen Ejecutivo	15
3. Contexto	17
4. Marco teórico	19
4.1 Definición, amenazas e importancia de los ecosistemas de mangle	19
4.2 Diversidad florística de los bosques de manglar	19
4.3 Distribución geográfica de los manglares	20
4.4 Valor económico de los manglares	22
4.5 Amenazas a los ecosistemas de mangle en Centroamérica	22
4.6 Importancia de los manglares para el ciclo de carbono	24
5. Metodología	27
5.1 Descripción del área de estudio	27
5.1.1 Bahía de Jiquilisco	27
5.1.2 Estero de Jaltepeque	31
5.2 Diseño del inventario	32
5.2.1 Estratos muestreados	33
5.2.2 Ubicación de los sitios de muestreo	37
5.3 Mediciones de las existencias de carbono	38
5.3.1 Mediciones de los componentes del carbono sobre el suelo	38
5.3.2 Toma de muestras para determinar el carbono en el suelo	39
5.3.3 Secado y procesamiento de las muestras para su transporte internacional	40
5.4 Desafíos encontrados en el trabajo de campo	41
5.5 Procesamiento de los datos	42
5.5.1 Estructura horizontal y vertical de los manglares	42
5.5.2 Diversidad florística de los manglares	42
5.5.3 Cálculo de la biomasa y el carbono	43
5.6 Elaboración de mapas de cobertura del suelo	45
5.6.1 Selección del área de estudio	45
5.6.2 Selección y adquisición de escenas satelitales	45
5.6.3 Pre-procesamiento de las escenas	46
5.6.4 Definición de la leyenda	47
5.6.5 Validación de campo	51
5.6.6 Clasificación de las escenas	52
5.6.7 Post-proceso de las imágenes clasificadas	52
5.6.8 Evaluación de la clasificación del año 2014	53
5.7 Análisis de cambios de cobertura	54
5.8 Flujos históricos de emisiones	56
5.9 Fortalecimiento de capacidades técnicas y locales	57
6. Resultados	58
6.1 Estructura horizontal de los bosques de manglar	58

6.1.1 Densidad de árboles (n/ha).....	58
6.1.2 Área basal (m ² /ha)	59
6.2 Estructura vertical.....	61
6.2.1 Densidad de árboles (n/ha).....	63
6.2.2 Área basal (m ² /ha)	65
6.3 Diversidad florística de los bosques de manglar	66
6.3.1 Índice de Valor de Importancia (IVI).....	66
6.3.2 Diversidad y similitud.	67
6.4 Cobertura del suelo	68
6.4.1 Año 1986.....	68
6.4.2 Año 1993.....	68
6.4.3 Año 2002.....	69
6.4.4 Año 2014.....	73
6.4.5 Evaluación de la clasificación	75
6.5 Cambios de cobertura del suelo.....	75
6.5.1 Período 1986-1993	75
6.5.2 Período 1993-2002	80
6.5.3 Período 2002-2014	82
6.5.4 Tendencia del cambio y tasas de pérdida/ganancia en los períodos de estudio.....	84
6.6 Existencias de carbono por componente del ecosistema.....	90
6.6.1 Existencia de carbono aérea y subterránea de árboles.....	90
6.6.2 Existencia de carbono aérea y subterránea de la regeneración.....	92
6.6.3 Existencia de carbono en la madera caída	93
6.6.4 Existencia de carbono en el sedimento	94
6.6.5 Existencia de carbono del ecosistema.....	100
6.7 Existencias de carbono a lo largo del tiempo	104
6.7.1 Existencias de carbono en 1986	104
6.7.2 Existencias de carbono en 1993.....	104
6.7.3 Existencias de carbono en 2002	105
6.7.4 Existencias de carbono en 2014.....	105
6.8 Flujo de emisiones a nivel de ecosistema	106
7. Conclusiones	109
8. Bibliografía	111
9. Anexos	121
Anexo 1. Descripción de los estratos y sitios de muestreo para la medición de las existencias de carbono en manglares y otros usos de la tierra en la Bahía de Jiquilisco, El Salvador	121
Anexo 2. Descripción de los estratos y sitios de muestreo para la medición de las existencias de carbono en manglares y otros usos de la tierra en el estero de Jaltepeque, El Salvador.....	131
Anexo 3. Puntos de control levantados durante el proceso de inventario forestal. Bahía de Jiquilisco, El Salvador.....	139
Anexo 4. Ubicación de sitios de estudio para cuantificar las existencias de carbono en manglares de la bahía de Jiquilisco, El Salvador.	141

Anexo 5. Ubicación de sitios de estudio para cuantificar las existencias de carbono en manglares del estero de Jaltepeque, El Salvador.	142
Anexo 6. Afiliación institucional del personal que participó en los inventarios de campo de las existencias de carbono en manglares y áreas aledañas en El Salvador ...	143
Anexo 7. Cronograma del Curso-taller “Metodologías para la medición de carbono azul en El Salvador”, realizado del 21 al 24 de abril de 2015 en San Salvador y el estero de Jaltepeque	144
Anexo 8. Lista de participantes del Curso-taller “Metodologías para la medición de carbono azul en El Salvador”, desarrollado del 21 al 24 de abril de 2015 en San Salvador y el estero de Jaltepeque, El Salvador	146
Anexo 9. Características principales de las parcelas de manglar inventariadas en la bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador, para determinar sus existencias de carbono a nivel de ecosistema	150
Anexo 10. Características principales de las parcelas de manglar inventariadas en el Estero de Jaltepeque, La Paz, El Salvador la bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador, para determinar sus existencias de carbono a nivel de ecosistema.	153
Anexo 11. Análisis de varianza y prueba de Tukey realizados con el programa estadístico InfoStat para comparar el número de individuos (n/ha) encontrados en bahía de Jiquilisco y estero de Jaltepeque, El Salvador	155
Anexo 12. Análisis de varianza y prueba de Tukey realizados con el programa InfoStat para comparar el área basal (m ² /ha) encontrada en bahía de Jiquilisco y estero de Jaltepeque, El Salvador	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las unidades administrativas y geográficas del Bajo Lempa donde se encuentran las mayores extensiones de bosques de manglar de El Salvador.	17
Figura 2. Distribución de los bosques de manglar alrededor del mundo, mayormente entre los límites de la zona tropical.	21
Figura 3. Uso del suelo de la bahía de Jiquilisco, El Salvador.	28
Figura 4. Especies de mangle comunes en la bahía de Jiquilisco.	29
Figura 5. Ubicación de los transectos de muestreo para inventariar las existencias de carbono a nivel de ecosistema en los manglares de la bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador, 2014.	30
Figura 6. Ubicación de los transectos para el inventario de las existencias de carbono en los manglares del estero de Jaltepeque, El Salvador, 2015.	33
Figura 7. Tipos de manglar presentes en la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque medidos para determinar las existencias de carbono a lo largo de una gradiente de uso de la tierra, El Salvador. Arriba: mangle alto (<i>Rhizophora racemosa</i>); abajo izquierda: mangle intermedio (con dominancia de <i>Rhizophora mangle</i>); abajo derecha: mangle bajo o enano.	34
Figura 8. Ejemplos de áreas de restauración ecológica de manglares (REM) utilizadas para el muestreo de las existencias de carbono a lo largo de una gradiente de uso de la tierra en la zona costera de El Salvador.	35
Figura 9. Ejemplos de áreas de marisma para el muestreo de carbono a lo largo de una gradiente de uso de la tierra en la zona costera de El Salvador.	35
Figura 10. Ejemplos de áreas de salineras (izquierda) y estanques de camarón (derecha, inundados) utilizados para el muestreo de las existencias de carbono a lo largo de una gradiente de uso de la tierra en la zona costera de El Salvador.	36
Figura 11. Ejemplos de áreas de uso agropecuario (caña de azúcar a la derecha y área para la siembra de maíz o ganadería a la izquierda) para el muestreo de carbono a lo largo de una gradiente de uso de la tierra en la zona costera de El Salvador.	36
Figura 12. Detalle de las parcelas anidadas y los transectos utilizados para medir la biomasa y el carbono en bosques de manglar y zonas aledañas en la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque, El Salvador.	39
Figura 13. Demostración de la extracción de una muestra de suelo para determinar la densidad aparente del suelo del manglar y otros usos de la tierra.	40
Figura 14. Detalle del horno artesanal de convección utilizado para almacenar y secar las muestras de suelo y tejido vegetal recolectadas en los manglares de El Salvador.	41
Figura 15. Delimitación del área de estudio para determinar la cobertura del suelo en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, mostrando un <i>buffer</i> de 1 km (polígono rayado) alrededor de los límites de la bahía (polígono rojo).	47
Figura 16. Comparación visual de las diferencias entre la clasificación basada en pixeles (arriba) y la basada en objetos (abajo).	53
Figura 17. Flujo de trabajo del programa ECognition para clasificar imágenes de satélite con base en los métodos de Clasificación Orientada a Objetos.	54
Figura 18. Distribución diamétrica del número de individuos por hectárea (n/ha) de los manglares altos ubicados en bahía Jiquilisco (B J) y estero Jaltepeque (E J), El Salvador.	59

Figura 19. Distribución diamétrica del número de individuos por hectárea de los manglares intermedios ubicados en bahía Jiquilisco (B J) y estero Jaltepeque (E J), El Salvador.....	60
Figura 20. Distribución diamétrica del número de individuos por hectárea de los manglares enanos ubicados en bahía Jiquilisco (B J) y estero Jaltepeque (E J), El Salvador.....	61
Figura 21. Distribución diamétrica del área basal por hectárea de los manglares ubicados en bahía de Jiquilisco (B J) y el estero de Jaltepeque (E J), El Salvador.....	62
Figura 22. Distribución del número de individuos por hectárea, según piso de vuelo en los manglares altos ubicados en bahía Jiquilisco (B J) y estero Jaltepeque (E J), El Salvador.	63
Figura 23. Distribución del número de individuos por hectárea, según piso de vuelo en los manglares intermedios ubicados en bahía Jiquilisco (B J) y estero Jaltepeque (E J), El Salvador. PI: piso inferior, PM: piso medio, PS: piso superior.	64
Figura 24. Distribución del número de individuos por hectárea, según piso de vuelo en los manglares enanos ubicados en bahía Jiquilisco (B J) y estero Jaltepeque (E J), El Salvador. PI: piso inferior, PM: piso medio, PS: piso superior.	65
Figura 25. Distribución del área basal por hectárea, según piso de vuelo en los manglares altos, intermedios y enanos ubicados en bahía Jiquilisco (B J) y estero Jaltepeque (E J), El Salvador. PI: piso inferior, PM: piso medio, PS: piso superior.....	67
Figura 26. Mapa de cobertura del suelo en el área de estudio de la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para 1986.....	70
Figura 27. Mapa de cobertura del suelo en el área de estudio de la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para 1986.....	71
Figura 28. Mapa de cobertura del suelo en el área de estudio de la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para 2002.....	72
Figura 29. Distribución de la cobertura del suelo en el área de estudio de la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para 2014.	73
Figura 30. Mapa de cobertura del suelo en el área de estudio de la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para 2014.....	74
Figura 31. Ganancias y pérdidas relativas por tipo de cobertura en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo 1986-1993.....	78
Figura 32. Ganancias y pérdidas netas por tipo de cobertura en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo 1986-1993.....	79
Figura 33. Ubicación espacial de los cambios en la cobertura de mangle en la bahía de Jiquilisco durante el periodo 1986-1993.....	79
Figura 34. Ganancias y pérdidas relativas por tipo de cobertura en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo 1993-2002.....	81
Figura 35. Ganancias y pérdidas netas por tipo de cobertura en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo 1993-2002.....	81
Figura 36. Ubicación espacial de los cambios en la cobertura de mangle en la bahía de Jiquilisco durante el periodo 1993-2002.....	83
Figura 37. Ganancias y pérdidas relativas por tipo de cobertura en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo 2002-2014.....	85
Figura 38. Ganancias y pérdidas netas por tipo de cobertura en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo 2002-2014.....	86
Figura 39. Ubicación espacial de los cambios en la cobertura de mangle en la bahía de Jiquilisco durante el periodo.....	86

Figura 40. Tendencias de cambio entre las categorías de cobertura/uso del suelo en la bahía de Jiquilisco entre 1986 y 2014.	89
Figura 41. Existencias de carbono (Mg/ha), divididas por rango de profundidad, en el suelo de los manglares y otras coberturas/ usos del suelo presentes en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.	95
Figura 42. Perfiles de densidad aparente del suelo (g/cm ³) de los manglares y otras coberturas/ usos del suelo en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.	97
Figura 43. Existencias de carbono (Mg/ha), divididas por rango de profundidad, en el suelo de los manglares y otras coberturas/ usos del suelo presentes en el estero de Jaltepeque, El Salvador.	99
Figura 44. Perfiles de densidad aparente del suelo (g/cm ³) de los manglares y otras coberturas/ usos del suelo en el estero de Jaltepeque, El Salvador.	100
Figura 45. Existencias de carbono a nivel de ecosistema para los manglares y otras coberturas/ usos del suelo en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.	101
Figura 46. Existencias de carbono a nivel de ecosistema para los manglares y otras coberturas/ usos del suelo en el estero de Jaltepeque, El Salvador.	103
Figura 47. Balance neto de emisiones (en GgCO ₂ e) por categoría de cobertura/uso del suelo en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo comprendido entre 1986 y 2014.	108
Figura 48. Área agropecuaria para la siembra de maíz en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.	121
Figura 49. Muestreo de suelos para determinar las existencias de carbono en un área agropecuaria (ganadería) de la bahía de Jiquilisco.	122
Figura 50. Cultivo de caña de azúcar en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.	122
Figura 51. Marisma salada, mostrando el pasto “chacaste” que le da su nombre local (“chacastera”), bahía de Jiquilisco, El Salvador.	123
Figura 52. Vegetación típica de la marisma de San Dionisio, bahía de Jiquilisco, El Salvador.	124
Figura 53. Marisma de Las Mesitas, La Canoa, bahía de Jiquilisco, El Salvador.	124
Figura 54. Área de restauración ecológica de manglares (REM) en El Llorón, bahía de Jiquilisco, El Salvador, mostrando obras de drenaje (izquierda) y cobertura de “verdolaga salada” (derecha).	125
Figura 55. Área joven de restauración ecológica de manglares (REM) ubicada en San Sebastián, bahía de Jiquilisco, El Salvador.	126
Figura 56. Área de restauración ecológica de manglares (REM) en El Jobal, bahía de Jiquilisco, El Salvador, mostrando medio de transporte tradicional en la zona.	126
Figura 57. Ejemplos de áreas de salineras (izquierda) y camarónicas (derecha) muestreadas para cuantificar las existencias de carbono en bahía de Jiquilisco, El Salvador.	127
Figura 58. Mangle alto dominado por <i>Rhizophora racemosa</i> en Samuria, bahía de Jiquilisco, El Salvador.	128
Figura 59. Mangle intermedio dominado por <i>Rhizophora mangle</i> (derecha), que presenta gran cantidad de raíces fúlcreas (izquierda), bahía de Jiquilisco, El Salvador.	129
Figura 60. Sitios de mangle enano o bajo en Las Tijeras (izquierda) y El Zamorancito (derecha), bahía de Jiquilisco, El Salvador.	129
Figura 61. Fotografía de estanques de camarón inundados, bahía de Jiquilisco, El Salvador.	130
Figura 62. Manglar alto dominado por la especie <i>Rhizophora racemosa</i> en el estero de Jaltepeque, El Salvador.	132
Figura 63. Ejemplo típico de un área de manglar intermedio, dominado por árboles de <i>Rhizophora mangle</i> , estero de Jaltepeque, El Salvador.	133

Figura 64. Ejemplo de un sitio de muestreo con mangle enano, dominado por <i>Laguncularia racemosa</i> , estero de Jaltepeque, El Salvador.	134
Figura 65. Ejemplos de sitios de marisma en la isla Tasajera y el sector del Aguaje, estero de Jaltepeque, El Salvador.	135
Figura 66. Área de restauración ecológica de manglares (REM) de tres años de edad, en la desembocadura río Jalponga, estero Jaltepeque, El Salvador.	136
Figura 67. Estanque de camarонера (drenado al momento de la fotografía) en la Cooperativa El Palmo, estero Jaltepeque, El Salvador.	137
Figura 68. Relictos de salinera (vestigios de muros de contención a la izquierda y uso agropecuario actual a la derecha) en el estero Jaltepeque, El Salvador.	137
Figura 69. Áreas de cultivos agrícola (maíz a la izquierda y caña de azúcar a la derecha) en el estero Jaltepeque, El Salvador.	138
Figura 70. Distribución geográfica de los puntos de control para el cálculo de la precisión de la clasificación de la cobertura de uso de la tierra, bahía de Jiquilisco, El Salvador.	140

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Extensión de los bosques de manglar entre los países de Centroamérica.	21
Cuadro 2.	Sostenibilidad de las actividades e impactos antropogénicos sobre los bosques de mangle del mundo.	23
Cuadro 3.	Cobertura del suelo en el sector de Jaltepeque. (Datos Corine Land Cover 2002).	32
Cuadro 4.	Estratos, número de transectos y profundidad de los perfiles de sedimento para la recolección de las muestras de suelo en los sitios de muestreo seleccionados para medir las existencias de carbono en los manglares de la bahía de Jiquilisco y el estero	43
Cuadro 5.	Fórmulas de los índices utilizados para comparar la composición florística de los manglares en bahía Jiquilisco y estero Jaltepeque, El Salvador.	44
Cuadro 6.	Ecuaciones alométricas utilizadas para calcular las existencias de carbono a nivel de ecosistema en los manglares de bahía de Jiquilisco y el estero Jaltepeque, El Salvador.	44
Cuadro 7.	Densidades de madera (g/cm^3) para especies comunes de mangle y otras especies de árboles presentes en esos ecosistemas y áreas asociadas.	48
Cuadro 8.	Leyenda para la clasificación de cobertura/uso del suelo en zonas marino-costeras y áreas aledañas en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.	48
Cuadro 9.	Matriz de tabulación cruzada o “matriz de cambio” para dos mapas de diferentes fechas.	56
Cuadro 10.	Índice de valor de importancia (IVI) de las especies encontradas en los manglares de bahía Jiquilisco y estero Jaltepeque, El Salvador.	66
Cuadro 11.	Categorías de cobertura del suelo en el área de estudio de la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para 1986 (valores en ha y %).	69
Cuadro 12.	Valores de precisión (en %) del productor y del usuario, y de concordancia (coeficiente Kappa) para la clasificación de la cobertura/uso del suelo en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, 2014.	75
Cuadro 13.	Matriz de concordancia para la clasificación de la cobertura/uso del suelo para el 2014 en la bahía de Jiquilisco.	76
Cuadro 14.	Matriz de cambios de uso del suelo en la bahía de Jaltepeque para el período 1986-1993.	77
Cuadro 15.	Dinámica de ganancias y pérdidas por tipo de cobertura (en ha y %) para el periodo 1986-1993 en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.	78
Cuadro 16.	Dinámica de ganancias y pérdidas por tipo de cobertura (en ha y %) para el periodo 1993-2002 en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.	80
Cuadro 17.	Matriz de cambios de uso del suelo en la bahía de Jiquilisco para el período 1993-2002.	82
Cuadro 18.	Matriz de cambios de uso del suelo en la bahía de Jiquilisco para el período 2002-2014.	84
Cuadro 19.	Dinámica de ganancias y pérdidas por tipo de cobertura (en ha y %) para el periodo 2002-2014 en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.	85
Cuadro 20.	Magnitud del área para las categorías de cobertura/uso del suelo (en ha y %) asociadas a los manglares en bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo 1986-2014.	87
Cuadro 21.	Tasas interanuales de cambio (expresadas en %) de aumento (valores positivos) y reducción (valores negativos) del área de las categorías de cobertura/uso del suelo en la bahía de Jiquilisco entre 1986 y 2014.	89

Cuadro 22. Existencias de carbono (Mg/ha) distribuidas por estratos de manglar y las especies presentes en el sitio y clases diamétricas para los manglares de la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque, El Salvador.....	91
Cuadro 23. Existencias de carbono (Mg/ha) para las áreas de restauración ecológica de manglares (REM), marismas, usos agropecuarios y relictos de salineras de la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque, El Salvador.....	92
Cuadro 24. Existencias de carbono (Mg/ha) para la regeneración de especies de manglar encontradas en bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque, El Salvador.	93
Cuadro 25. Existencias de carbono (Mg/ha) en la madera caída encontrada en sitios de muestreo de manglar y coberturas asociadas en la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque, El Salvador.	94
Cuadro 26. Resumen de las existencias de carbono (Mg/ha) en los suelos de las principales categorías de cobertura/uso del suelo en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.	96
Cuadro 27. Resumen de las existencias de carbono (Mg/ha) en los suelos de las principales categorías de cobertura/uso del suelo en el estero de Jaltepeque, El Salvador.	98
Cuadro 28. Detalle de las existencias de carbono a nivel de ecosistema (en MgC/ha), por sus componentes principales, para los manglares y otras coberturas/ usos del suelo en la Bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque, El Salvador.....	103
Cuadro 29. Distribución de las existencias de carbono a nivel de paisaje (en MgC y GgC) por componente del ecosistema para las principales coberturas/ usos del suelo, estero de Jiquilisco, El Salvador, 1986 y 1983.....	104
Cuadro 30. Distribución de las existencias de carbono a nivel de paisaje (en MgC y GgC) por componente del ecosistema para las principales coberturas/ usos del suelo, estero de Jiquilisco, El Salvador, 2002.....	105
Cuadro 31. Flujos y balance neto de emisiones (en MgCO ₂ e) debidos a la dinámica de cambio de uso de las coberturas de suelo y humedales asociados a los manglares en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para tres periodos entre 1986 y 2014.	107
Cuadro 32. Área basal y número de individuos por especie, según transecto de mangle alto en el inventario de las existencias de Carbono en los manglares del estero Jaltepeque, El Salvador.	131
Cuadro 33. Área basal y número de individuos por especie, según transecto de mangle intermedio en el inventario de las existencias de Carbono en los manglares del estero Jaltepeque, El Salvador.	132
Cuadro 34. Área basal y número de individuos por especie, según transecto de mangle enano en el inventario de las existencias de Carbono en los manglares del estero Jaltepeque, El Salvador.	134
Cuadro 35. Área basal y número de individuos por especie, según transecto de marisma en el inventario de las existencias de Carbono en los manglares del estero Jaltepeque, El Salvador.	135
Cuadro 36. Área basal y número de individuos por especie, según transecto de REM en el inventario de las existencias de Carbono en los manglares del estero Jaltepeque, El Salvador.	136
Cuadro 37. Área basal y número de individuos por especie, según transecto de agropecuario en el inventario de las existencias de Carbono en los manglares del estero Jaltepeque, El Salvador.	138



I. PRESENTACIÓN

En El Salvador hay unas 36 000 ha de manglares, de las cuales aproximadamente un 60% se encuentran en la zona de Bajo Lempa. Existe un profundo reconocimiento por parte de la población sobre la importancia de los bienes y servicios que proveen esos manglares, lo cual ha resultado en procesos de construcción de gobernanza local y uso sostenible que incentivan la restauración de manglares en la zona. Esa degradación se dio de forma sostenida en el pasado – una pérdida del 60% del área original desde 1950, pese a que en conjunto la Ley de Medio Ambiente y la Ley de Áreas Naturales Protegidas establecen que los manglares son propiedad del Estado e imponen una prohibición de cambio de uso sobre esos ecosistemas.

Con el afán de contribuir a ampliar los esfuerzos de manejo y conservación de los manglares de El Salvador, el Programa Regional de Cambio Climático (en adelante, “Programa”), de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés), respondió a través del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) a una solicitud del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN) para trabajar de forma prioritaria en el Bajo Lempa, específicamente en la bahía de Jiquilisco y en el estero de Jaltepeque.

La asistencia técnica brindada, se enfocó en tres áreas: fortalecer las capacidades técnicas en el país para cuantificar los acervos de carbono en los manglares y áreas aledañas, realizar un inventario de carbono en ambos sitios prioritarios y apoyar la evaluación de los servicios ecosistémicos y de provisión para promover los modelos de gobernanza local de conservación y restauración inclusiva en el estero de Jaltepeque.

El CATIE es un miembro activo y promotor de la Iniciativa Internacional del Carbono Azul¹ en América Latina². Como parte de estos esfuerzos integró el tema dentro de las acciones del Programa, con el objetivo de “avanzar en el uso de tecnología de punta para diseñar e implementar proyectos pilotos de carbono azul, integrando acciones de mitigación al cambio climático, los beneficios que obtiene la gente por los servicios que ofrecen los ecosistemas marino-costeros, entre otros”. Este resultado es parte integral del componente de paisajes sostenibles del Programa, y da respuesta al objetivo de desarrollar intervenciones territoriales de mitigación integrales y a múltiples escalas que respondan a los estresores de cambio y a la vulnerabilidad a la variabilidad climática, y a las necesidades de cooperación técnica expresada por los países de Centroamérica y República Dominicana.

El presente documento se centra en las acciones y resultados obtenidos de dos inventarios de carbono en realizados en manglares de la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque y del fortalecimiento de capacidades asociado, puesto que los otros procesos se reportan principalmente en Córdova-Ortiz (2015) y Velásquez (2015). Al caracterizar los ecosistemas de manglar en ambos sitios y cuantificar las existencias y flujos históricos de carbono esperamos aportar de forma significativa a los esfuerzos que realiza El Salvador para conservarlos y manejarlos como fuente de desarrollo y bienestar para las comunidades locales.

1 Ver <http://thebluecarboninitiative.org/> Consultado Ago. 2017.

2 <http://panorama.solutions/en/solutions/blue-carbon-a-z-from-small-projects-to-policy-development> Consultado Ago. 2017.



2. RESUMEN EJECUTIVO

Entre los múltiples beneficios ambientales y el valor socioeconómico que proveen los manglares a sus pobladores y beneficiarios indirectos está su potencial para secuestrar y almacenar considerables cantidades de carbono, lo cual va de dos a cinco veces más que los bosques terrestres. Como parte de las acciones conjuntas del CATIE y del MARN de la República de El Salvador, apoyadas por el Programa, se desarrolló un proceso de fortalecimiento de capacidades nacionales para estimar las existencias y flujos de carbono en manglares y coberturas de suelo aledañas en la gran área costera del Bajo Lempa, con énfasis en la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque. Este esfuerzo constituye un primer esfuerzo para desarrollar y probar los procesos técnicos y de análisis que permitirían replicar esta iniciativa en otras áreas de manglares de El Salvador.

Se utilizaron imágenes de satélite Landsat 5 TM (*Thematic Mapper*) de 1986, 1993, 2002 y 2014 para realizar un análisis histórico de la dinámica del uso y cobertura del suelo en las áreas de manglar y coberturas aledañas para ambas zonas de estudio. De la mano con este análisis, se realizó un inventario de existencias de carbono azul³ en los árboles adultos, vegetación en regeneración, raíces y en suelos - hasta 2 m de profundidad. El inventario se realizó en 59 sitios distribuidos entre manglares y otras coberturas del suelo. Se seleccionaron los usos y coberturas del suelo de forma que representaran una gradiente, tomando a los manglares como cobertura de referencia y a los usos agropecuarios, salineras y camaroneras que originalmente fueron manglares y luego fueron convertidos en otros usos como estados alternativos de uso y cobertura. La metodología desarrollada permitió evaluar de forma completa las existencias de carbono presentes y es consistente con métodos estandarizados y observaciones de buenas prácticas a nivel internacional (IPCC 2013, Howard *et al.* 2014).

Si bien los manglares ofrecen a la sociedad trascendentes bienes y servicios ambientales, en El Salvador, estos han sido sometidos a procesos de degradación y deforestación debido al incremento desordenado y no planificado de salineras y camaroneras, contaminación por agroquímicos, desechos sólidos, vertidos domésticos e industriales, erosión debido a prácticas agrícolas y pecuarias insostenibles en las partes altas y medias de las cuencas, tala indiscriminada y conversión de bosque a tierras agrícolas para plantaciones de caña de azúcar y granos básicos, expansión de asentamientos humanos, y proyectos urbanísticos y turísticos que irrespetan la integridad del manglar y ecosistemas costeros.

Pese a esta dinámica histórica, nuestro análisis mostró que la cobertura del suelo de la bahía de Jiquilisco permaneció relativamente estable durante el período estudiado. La cobertura de manglar se redujo solo en 1012,44 ha entre 1986 y 2014. Producto de las transiciones entre las categorías de manglar y la conversión de manglares a otros usos solo en la bahía de Jiquilisco, entre 1986 y 2014, se emitió un total neto de 1375,6 GgCO_{2e}. Esta magnitud de emisiones equivale al 9,52% del total nacional de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) reportadas para El Salvador en su Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC; MARN 2013a) y al 41% de las emisiones para el sector de Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS).

3 Carbono azul se usa para designar los ecosistemas intermareales que actúan como un repositorio natural de grandes cantidades de carbono durante un largo período (Sasmito *et al.* 2016; Alongi 2014). La definición se extiende a manglares, marismas saladas y pastos marinos, aunque el énfasis es en los primeros por su mayor potencial de acumulación de carbono (Howard *et al.* 2014).

Un cálculo preliminar sugiere que las emisiones del estero de Jaltepeque debidas a la dinámica de cambio de uso y cobertura del suelo podrían alcanzar hasta el 17% de las emisiones nacionales. Por otro lado, nuestro modelado resulta en estimaciones conservadoras porque trabajamos solo con datos de hasta 1 m de profundidad. Al realizar preliminarmente los cálculos de emisiones hasta 2 m de profundidad encontramos que las emisiones netas alcanzarían 1,8 veces más que el cálculo hasta 1 m profundidad. Esto equivaldría al 74% de las emisiones del sector UTCUT reportadas en MARN (2013a).

Recomendamos ampliar y promover la continuidad de estos procesos aprovechando las capacidades creadas a partir de las contribuciones del CATIE a la fecha; particularmente, el monitoreo del uso y cobertura del suelo en las áreas marino-costeras y la incorporación de los manglares y áreas aledañas a los esfuerzos de inventario nacional forestal y los procesos de medición, reporte y verificación (MRV) asociados con la estrategia nacional de REDD+ MbA y las iniciativas asociadas de restauración de paisajes.

3. CONTEXTO

En 1950 El Salvador contaba con casi 100 000 hectáreas de manglares, los cuales son conocidos localmente como “bosque salado; sin embargo, en el 2013 dicha superficie se había reducido a 36 000 ha que equivalen al 1,7% de cobertura nacional (MARN 2013b). De esta área de manglar remanente, aproximadamente un 51% se encuentran en la zona de la bahía de Jiquilisco (18 424 ha) y cerca de un 20% en el estero de Jaltepeque (7350 ha; Figura 1).

Desde hace 15 años el MARN fortalece procesos de gobernanza local en estas poblaciones, fomentando el desarrollo de planes locales de aprovechamiento sostenible (PLAS) para recursos asociados a la extracción de moluscos, crustáceos y peces (por ejemplo, de Córdova-Ortiz 2011, 2012, 2015). Estos recursos han sido bien estudiados y caracterizados en El Salvador (Zelaya-Cruz 2003, Fuentes-Rivera 2004, Benítez-Castellón *et al.* 2005, OSPESCA 2007, Paz-Martínez 2008, Aparocio-Orellana *et al.* 2010, Córdova-Ortiz 2010) y constituyen una base económica para miles de familias asentadas en la zona y que dependen de la provisión de los servicios ecosistémicos derivados del manglar.

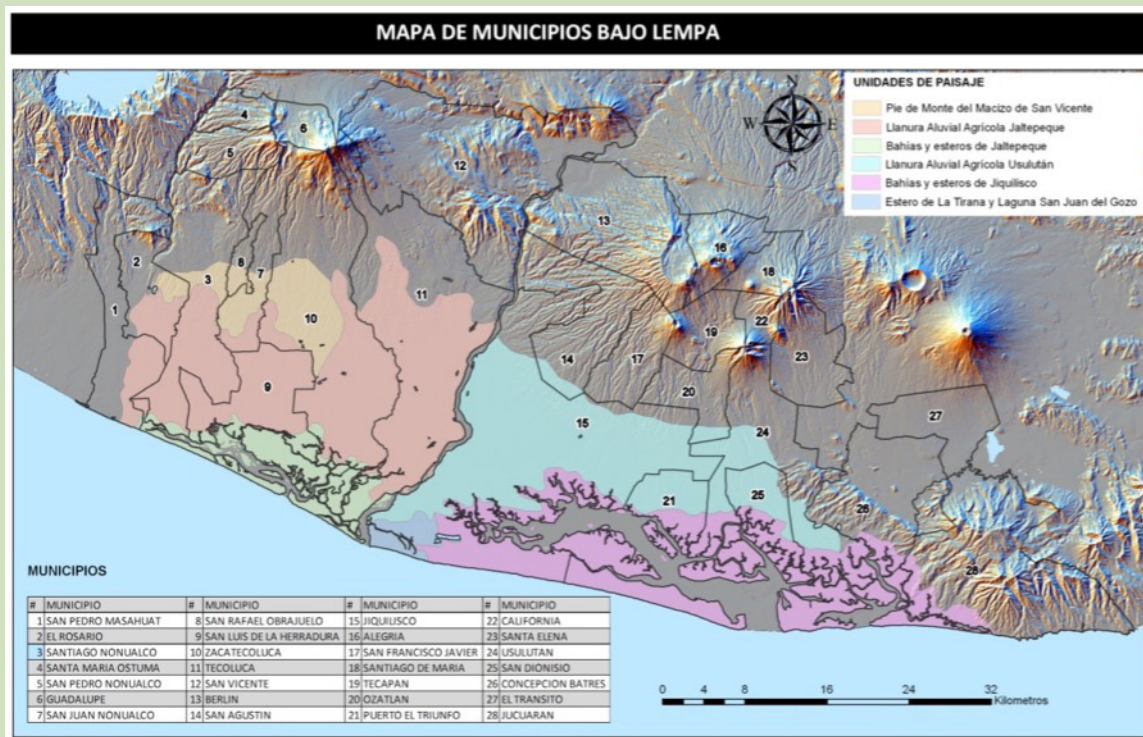


Figura 1. Ubicación de las unidades administrativas y geográficas del Bajo Lempa donde se encuentran las mayores extensiones de bosques de manglar de El Salvador.

Además, se han establecido acciones de restauración de manglares durante los últimos 10 años, lo que ha permitido un desarrollo documentado y probado de Restauración Ecológica del Manglar (REM). Por otra parte, se han realizado ejercicios de valoración económica parcial de los servicios ecosistémicos asociados a

los manglares, enfocados principalmente en pesquerías y no en otros servicios (Larios 2017). Otros servicios ecosistémicos importantes que proveen los manglares están relacionados con la mitigación al cambio climático. La capacidad de almacenamiento de carbono de los manglares (Donato *et al.* 2011) y otros ecosistemas marino-costeros, no se había estudiado en El Salvador, aunque ha sido destacada en los últimos años en el ámbito internacional. En otras latitudes y países, estudios recientes (BIOMARCC 2012, Ajonina *et al.* 2014, Bhomia *et al.* 2016, Fayad *et al.* 2016, Hamilton *et al.* 2016) demuestran que las existencias de carbono en dichos ecosistemas son entre dos y hasta cinco veces mayor que en ecosistemas terrestres (sobrepasando inclusive los 1000 MgC/ha; Donato *et al.* 2011). Basados en este conocimiento, se está promocionando el manejo de ecosistemas marino-costeros como herramienta para enfrentar el cambio climático.

En seguimiento a las necesidades planteadas por el MARN en El Salvador, entre 2014 y 2016, CATIE se abocó a fortalecer las capacidades técnicas en el país para cuantificar los acervos de carbono en los manglares y áreas aledañas (ver Sección 5.9), realizar un inventario de carbono en la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque, y apoyar la evaluación de los servicios ecosistémicos y de provisión para promover los modelos de gobernanza local de conservación y restauración inclusiva en el estero de Jaltepeque.

El presente documento presenta las experiencias en la cuantificación de carbono en los manglares de El Salvador. En primera instancia describe mediante un marco teórico la relevancia de los servicios ecosistémicos de los manglares a nivel global y su relación en el contexto de cambio climático. Posteriormente se caracterizan los sitios de estudio y se presenta la metodología utilizada (incluyendo el modelado del uso y cambio de uso de la tierra. Finalmente se destacan los principales resultados encontrados y sus posibles implicaciones para el balance de emisiones y el potencial de mitigación del país. Con este trabajo, CATIE espera seguir contribuyendo al proceso de diseño y consolidación de una metodología para la medición de carbono azul, con el fin de apoyar así la gestión de dichos ecosistemas en El Salvador y el resto de Centroamérica.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 DEFINICIÓN, AMENAZAS E IMPORTANCIA DE LOS ECOSISTEMAS DE MANGLAR

Los manglares son ecosistemas de zonas litorales tropicales y subtropicales que se distinguen por crecer en la franja costera intermareal, sobre suelos planos y fangosos, inundados periódicamente por las mareas. Generalmente crecen en los deltas del trópico, estuarios, lagunas o islas. En ellos habitan especies de árboles, arbustos y otras plantas adaptadas a estas condiciones de anegamiento y alta salinidad (Mainardi 1996, Pizarro *et al.* 2004). La vegetación en los manglares sobrevive en estas condiciones secretando sal a través de sus hojas o simplemente almacenándola dentro de sus tejidos. Además, sus sistemas radiculares son superficiales y están parcialmente expuestos al aire, lo que les permite respirar en un ambiente que a menudo está inundado y que presenta cantidades bajas de oxígeno.

Los manglares son comunidades ecológicas únicas que vinculan los ecosistemas de agua dulce y marinos, y son refugio de una rica diversidad de especies animales (Mainardi Grellet 1995). Generalmente, se observa una gradiente de especies de árboles desde la orilla de los canales y el mar hacia tierra adentro. A lo largo de esta gradiente, la composición varía desde *manglares verdaderos* (de los géneros *Rhizophora* y *Avicennia*) que han desarrollado adaptaciones para sobrevivir a condiciones de salinidad permanente y anegamiento periódico, pasando por especies de transición (con especies de los géneros *Laguncularia*, *Conocarpus*, *Pterocarpus*, entre otras), hasta llegar a bosques terrestres, con especies que no pueden sobrevivir salinidad ni anegamiento.

Los manglares tienen una gran importancia ecológica por los beneficios y servicios que prestan al ambiente (MEA 2005) y desde hace más de dos décadas se reconoce el valor socioeconómico que estos representan para sus pobladores y beneficiarios indirectos (Bossi y Cintrón 1990). Entre la multitud de beneficios que proveen los manglares se encuentran su importante contribución a la cadena trófica costera; ser zona de alimentación, refugio y crecimiento de juveniles de crustáceos y peces, incluyendo especies amenazadas, en peligro de extinción, endémicas y migratorias. Proveen además de madera, leña, carbón y otros productos maderables y no maderables (como la miel, por ejemplo). Funcionan, además, como sistemas naturales de amortiguamiento ante eventos extremos (tormentas, marejadas e inundaciones), filtrado y captura de contaminantes y disminución de la intrusión salina. También estabilizan los sedimentos y crean suelos, previniendo así la erosión costera (Jiménez 1994, Danielsen *et al.* 2005, Calderón *et al.* 2009, Laffoley y Grimsditch 2009, Murdiyaso *et al.* 2009, Donato *et al.* 2011, Alongi 2014).

4.2 DIVERSIDAD FLORÍSTICA DE LOS BOSQUES DE MANGLAR

En el mundo existen por lo menos 68 especies de mangle. Su centro de diversidad es la región Indo Pacífico, donde se han registrado 52 especies de mangle y 268 especies de plantas, las cuales pueden ser encontradas tanto en manglares, como en otros ambientes (Giesen *et al.* 2007; citado por Kauffman *et al.* 2013). Además, es la región donde están los manglares fisionómicamente más desarrollados del mundo.

Los manglares del neotrópico se caracterizan por presentar de ocho especies a diez arbóreas distribuidas en cinco géneros y cuatro familias Kauffman *et al.* (2013), una diversidad inferior a la de los manglares de Asia tropical. La especie mejor conocida es *Rhizophora mangle* (mangle colorado), cuyas raíces forman una formidable barrera contra la acción del mar abierto (Chapman 1975; citado por Hartshorn 2002).

En Panamá se encuentran nueve especies: *Avicennia bicolor*, *A. germinans*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*, *Mora oleifera*, *Pelliciera rhizophorae*, *Rhizophora mangle*, *R. racemosa* y *Tabebuia palustris* (ANAM y ARAP 2013). En estudios realizados en Costa Rica se encontraron las especies *R. mangle*, *R. racemosa*, *L. racemosa*, *P. rhizophorae*, *A. germinans* y *M. oleifera*, sin embargo, fuera de los sitios muestreados en el Humedal Nacional Terraba-Sierpe (HNT-S) se visualizaron árboles de *C. erectus* y *R. harrisonii* (Manrow 2011, BIOMARCC *et al.* 2012). Por otro lado en México se pueden encontrar al menos cinco especies: *A. germinans*, *R. mangle*, *L. racemosa*, y *C. erectus* (Kauffman *et al.* 2013). En El Salvador se encontraron las especies *A. germinans*, *L. racemosa*, *R. mangle*, *R. racemosa* y *C. erectus*, *A. bicolor* (MARN 2013d).

4.3 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS MANGLARES

Los bosques de mangle se distribuyen en la región intermareal definida por el límite de mar y tierra de las regiones tropicales y subtropicales del mundo entre 30° de latitud Norte y Sur, aproximadamente (Figura 2). Su distribución es limitada principalmente por las corrientes oceánicas mayores y la isoterma de 20 °C del agua de mar durante el invierno (Giri *et al.* 2011)

De acuerdo con un estudio global realizado utilizando imágenes de Landsat y ayudados con imágenes de alta resolución de IKONOS y Quickbird (Giri *et al.* 2011), el área total de mangle en 2000 ascendía a 137 760 km², distribuidos en 118 países y territorios. Los manglares constituyen el 0,7% del total de los bosques tropicales del mundo (Donato *et al.* 2011), aunque se desconoce el estado de conservación de estos bosques. La mayor extensión de bosque de mangle se encuentra en Asia (42%, 6,8 millones de hectáreas), seguida de África (20%), Norte y Centroamérica (15%), Oceanía (12%) y Sudamérica (11%). El 75% de los bosques de mangle se encuentran concentrados en 15 países, con Indonesia como el país con más cobertura de este tipo de bosque (22,6%; Kauffman *et al.* 2013).

En el Pacífico del continente americano, donde el rango de las mareas es más amplio que en el Atlántico o en el Caribe, los manglares se extienden por varios kilómetros y desarrollan impresionantes bosques en los deltas de los ríos que drenan hacia el Pacífico. Este es el caso de la bahía de Jiquilisco, el golfo de Fonseca, el río Grande de Terraba, el golfo de San Miguel, la bahía de Buenaventura y el golfo de Guayaquil. En contraste, las costas del Atlántico y el Caribe tienen mareas de menor amplitud y estaciones secas menos pronunciadas; por lo tanto, allí los manglares se presentan en una faja costera mucho más angosta (Hartshorn 2002) y no están tan ampliamente distribuidos.

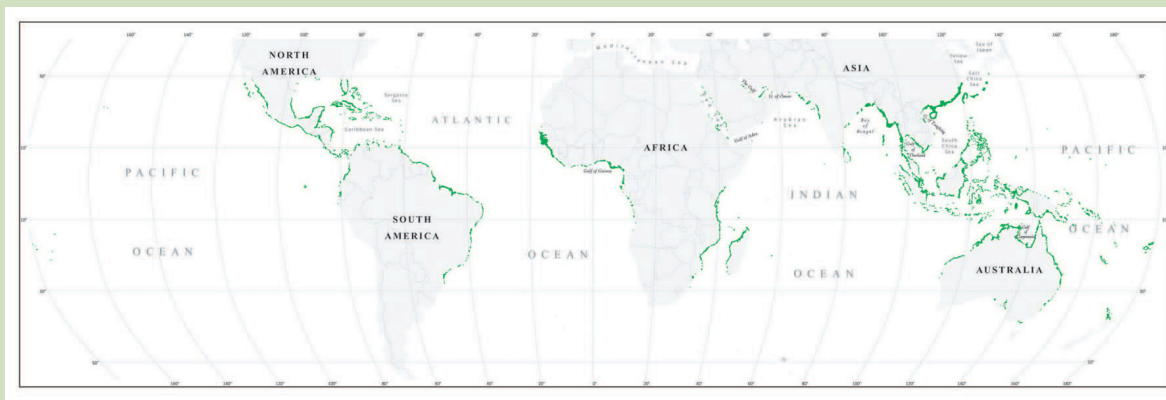


Figura 2. Distribución de los bosques de manglar alrededor del mundo, mayormente entre los límites de la zona tropical.

Fuente: Giri et al. (2011).

En Centroamérica no existen estudios exhaustivos publicados que permitan determinar la extensión de los manglares de la región, ni el patrón de cambio histórico del mismo. La mayoría de los informes nacionales y regionales presentan variaciones, por lo cual, no es posible tener un valor preciso de la misma (Widevoxhel-Lora e Imbach, 1995). Pese a esto, se puede afirmar que los manglares de Centroamérica se ubican mayormente en las costas del océano Pacífico, y que su dinámica poblacional, usos y manejo han sido bien caracterizados (Jiménez 1994, Jiménez 1999, Zamora-Trejos y Cortés 2016).

En total, el área estimada de bosque de mangle es de 446 476,92 ha, con Belice con la mayor cobertura porcentual y Panamá con más cobertura neta (Cuadro 1). Del total de los manglares de Guatemala, 17 670,56 ha se encuentran en la costa Pacífica y 1169,52 ha están ubicados en la costa caribe (MARN 2013). Los manglares de Honduras se clasifican como mangle alto (33 282,14 ha) y mangle bajo (18 688,7 ha). De la totalidad de cobertura de manglar en El Salvador se reportan aproximadamente 2000 ha sujetas a azolvamiento y deforestación (Rodríguez 2012).

Cuadro 1. Extensión de los bosques de manglar entre los países de Centroamérica.

País	Area de bosque de mangle (ha)	% área del país
Guatemala	18 840,08	0,17
Belice	78 511,00	3,42 – 4,16
El Salvador	40 534,00	1,93
Honduras	51 970,84	0,47
Nicaragua	28 919,00	0,22
Costa Rica	36 153,00	0,70
Panamá	174 435,00	2,30
Total (ha)	429 362,92	

Fuente: Elaborado con base en MARN (2013), FAO (2007), ICF (2015), Rodríguez (2012), Barzev (2013) y ANAM y ARAP (2013).

4.4 VALOR ECONÓMICO DE LOS MANGLARES

En general, el valor económico de los manglares, estimado a partir de los productos y servicios que ofrecen, ha sido calculado por varios autores y con diferentes metodologías. Por ejemplo, en Tailandia se estimó en USD 8966 - 10 821 ha⁻¹ el valor capitalizado por protección contra tormentas, y en USD 708 - 987 ha⁻¹ el valor capitalizado por aumento de la producción pesquera (Barbier *et al.* 2011). Chmura *et al.* (2003) calcularon un valor de USD 30,5 ha⁻¹ año⁻¹ por secuestro de carbono.

Recientes estudios en El Salvador (Larios 2017) y Costa Rica (Arguedas 2015) sugieren que estos ecosistemas podrían generar ingresos alrededor de USD 9000 ha⁻¹ y hasta USD 17 000 ha⁻¹ en proyectos de captura de CO_{2e}, aunque Sanjurjo-Rivera y Welsh-Casas (2005) estiman que ese potencial no sobrepasa los USD 1000 ha⁻¹. En Honduras, solo el servicio de captura de carbono tiene un potencial de ingresos cercanos a los USD 11,5 millones anuales (Pascal 2013). En un estudio comisionado por el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), se encontró que el valor económico de los productos y servicios provistos por los manglares alcanzaba entre USD 200 000 y USD 900 000 ha⁻¹ (Gilman *et al.* 2006). En el Parque Nacional Jeannette Kawas de Honduras, y en uno de los pocos estudios que analizan un amplio espectro de servicios ecosistémicos, se encontró que el potencial de ingresos anuales por ese concepto ronda entre USD 6 y 11,5 millones (Pascal 2013).

Los datos mencionados demuestran que los manglares tienen un enorme valor para la humanidad; sin embargo, están siendo destruidos a un ritmo alarmante. En 1970, los manglares cubrían unos 200 000 km² - aproximadamente el 75% de la superficie costera mundial (Spalding 1997). Durante los últimos 50 años se ha perdido alrededor de un 35% de los bosques de mangle del mundo (Alongi 2002, McLeod y Rodney 2006). Esto equivale a una tasa del 1 - 2,1% anual (Valiela *et al.* 2001, Alongi 2002, Wells *et al.* 2006, Gilman *et al.* 2006, FAO 2007). En su rango superior, la pérdida de manglares es mayor que la tasa de pérdida de bosques tropicales, estimada en 0,8% (Valiela *et al.* 2001).

4.5 AMENAZAS A LOS ECOSISTEMAS DE MANGLE EN CENTROAMÉRICA

Los ecosistemas de manglar, al igual que muchos otros ecosistemas a nivel mundial, están sujetos a condiciones que amenazan con afectar su productividad, provocar su degradación e incluso su extinción. De los 137 760 km² de bosques de mangle que se estimaron a nivel mundial para el 2000 utilizando imágenes Landsat (Giri *et al.* 2011), únicamente el 6,9% está protegido bajo la red de áreas protegidas existente (UICN categorías I-VI). Este porcentaje es ligeramente menor que el 10% que se tenía como meta para el 2010, bajo la Convención de la Diversidad Biológica (CBD).

En los 50 años previos a 2001, se había perdido aproximadamente una tercera parte de los bosques de mangle (Alongi 2002), debido a una multitud de acciones humanas (Cuadro 2). En la actualidad se desconoce de manera precisa la cantidad de este bosque que se encuentra en diferentes estados de degradación. La pérdida o degradación del bosque de manglar en Centroamérica ha sido difícil de cuantificar debido a la falta de estudios multi-temporales de su extensión, y a que los sensores remotos de resolución intermedia o baja (como MODIS o Landsat, que serían los indicados para un estudio de escala regional) no permiten distinguir con facilidad los manglares de otros ecosistemas marino-costeros asociados, ni los mismos tipos de manglar que generalmente se describen en la región basados en su estatura (alto, medio, bajo), o la dominancia de sus especies.

Cuadro 2. Sostenibilidad de las actividades e impactos antropogénicos sobre los bosques de mangle del mundo.

Actividades potencialmente sostenibles	Actividades insostenibles e impactos antropogénicos
Alimento	Eutrofización
Taninos y resinas	Modificación de hábitat /destrucción /alteración para desarrollos costeros (incluyendo acuicultura en piscinas)
Medicinas y otros bioproductos	Alteración del ciclo hidrológico
Muebles, cercas, postes (corta)	Liberación de toxinas y patógenos
Pesca comercial y artesanal	Introducción de especies exóticas
Carbón	Contaminación por desechos sólidos
Acuicultura de jaula	
Ecoturismo	Aumento de hidrocarburos de petróleo y clorinados
Recreación	Erosión costera /azolvamiento acelerado por deforestación, desertificación y malas prácticas de uso de la tierra.
Educación	Sobreexplotación del recurso
	Cambio climático
	Contaminación sónica
	Residuos de minería
	Herbicidas y defoliantes

Fuente: Alongi (2002).

Todos los países de Centroamérica comparten amenazas comunes al ecosistema de manglar: deforestación debida a la explotación de madera para leña y construcción, extracción de taninos, avance de la frontera agrícola, establecimiento de salineras y camaroneras, desarrollos turísticos y urbanos, contaminación por químicos, aumento de sedimentos y desechos sólidos.

Belice posee la más baja densidad de población de todos los países centroamericanos, pero hay una alta presión sobre los manglares debido al rápido crecimiento del turismo, construcción en zonas costeras y el desarrollo de la acuicultura. A esto se une la amenaza periódica por el paso de huracanes en su territorio (FAO 2007).

En Costa Rica la pérdida de los manglares se ha atribuido en primera instancia a la explosión demográfica que tuvo lugar en los años cuarenta. A partir de esa época, los manglares fueron utilizados para extraer taninos, carbón y madera para construcción. Muchas áreas fueron drenadas para establecer plantaciones de arroz, caña de azúcar, construir camaroneras y salineras y, más recientemente, para el establecimiento de palma africana (Corrales 2014). En la actualidad, a pesar de la legislación existente que ha ayudado a que Costa Rica sea el país con mayor territorio protegido de Centroamérica, todavía los ecosistemas de manglar enfrentan amenazas por tala ilegal, daños causados por la expansión de las poblaciones aledañas y de la actividad turística, así como la contaminación y acarreo de sedimentos, principalmente en el área del golfo de Nicoya. Entre 1992 y 2014, el área de manglares en todo el país se redujo de 51 350 ha a 37 420 ha (MINAE y SINAC 2014).

Por su parte, Guatemala concentra la mayor parte de sus manglares a lo largo de la costa del océano Pacífico. En todas estas áreas los manglares son utilizados para la producción de carbón y leña, siendo la extracción de sal, la producción de camarón y la tala para madera de construcción las principales amenazas para la mayoría de sus manglares. Algunas áreas han sido deforestadas por el avance de la frontera

agrícola, así como para la urbanización. Otras han sido degradadas por los incendios forestales (FAO 2007). Sin embargo, en los últimos años se han hecho esfuerzos por detener esta tendencia (aunque la amenaza está siempre presente); se ha logrado proteger el 27% de los manglares a través del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP). En el Pacífico, el 23% de la cobertura se encuentra bajo alguna modalidad de conservación, mientras que en el Caribe se encuentra protegido el 88% (MARN 2013).

En el caso de Honduras, este país cuenta con áreas importantes de manglar, tanto en el litoral Pacífico como en el litoral Caribe. Los manglares del golfo de Fonseca representan el 58% de la superficie total nacional, mientras que el resto se encuentran en el litoral Caribe. Los manglares de Honduras se ven amenazados por la explotación para leña y taninos, así como por el aumento demográfico. En específico los manglares localizados en el golfo de Fonseca, se han visto amenazados por la expansión de la cría de camarón y salineras, al igual que la mayor parte de los manglares de la misma área que colindan con El Salvador y Nicaragua. En el 2000 se creó el Subsistema de Áreas Naturales Protegidas de la Zona Sur de Honduras (SAPZSURH), el cual creó el Parque Nacional Marino Golfo de Fonseca. A pesar de estos esfuerzos se estima que el 52% del área de manglar se ha perdido en los últimos 16 años (Rodríguez 2016).

En Nicaragua los manglares se desarrollan por igual en ambas costas y están amenazados por la extracción ilegal de leña, la cual se calculaba para el 2005 en 9000 m³ anuales, seguido por la extracción para postes y otros usos, que alcanzaban entre 9000 y 12 000 m³ anuales. Aunque los manglares del Pacífico de Nicaragua se encuentran protegidos dentro de las Reservas Naturales del Delta de Estero Real y Padre Ramos (80 000 ha), las amenazas anteriores y otros factores como la pesca con métodos destructivos (bombas, envenenamiento, etc.), sigue causando una reducción y/o degradación del sistema de manglar (FAO 2007).

En Panamá se utilizan los manglares para coleccionar larvas de camarón, explotación para madera, leña y taninos. Algunas zonas se han convertido a uso agropecuario (principalmente pastos), producción de sal y para el desarrollo urbano, industrial o de complejos turísticos, como ocurrió en el golfo de Chiriquí y, en años recientes, la bahía de Panamá. El trasiego de grandes cantidades de carburante que se mueven a través del Canal de Panamá también constituye una amenaza para los manglares de la costa adyacente a esta estructura. Panamá tiene aproximadamente 70 000 ha de manglar protegidas en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) y otras áreas no determinadas bajo otros sistemas de protección (ANAM y ARAP 2013).

En El Salvador la alta tasa de densidad demográfica produjo deforestación masiva tierra adentro, por lo que los manglares pasaron a ser uno de los principales tipos de bosque natural del país. Los manglares en este país han sido explotados principalmente para la producción de taninos, carbón vegetal y madera de construcción. En otras zonas, el crecimiento urbano desordenado y la habilitación de tierras para la agricultura han contribuido a su eliminación y degradación. También la conversión de algunas zonas en salineras y estanques para la cría de camarón contribuyó a la reducción del área de manglar (FAO 2007). Este proceso resultó en una reducción de 100 000 ha de bosque salado en 1950, a 36 000 ha (1,7% de cobertura nacional) en 2013 (MARN 2013c).

4.6 IMPORTANCIA DE LOS MANGLARES PARA EL CICLO DE CARBONO

Los ecosistemas de manglar se consideran uno de los más eficientes sumideros de carbono de la tierra, por lo que juegan un papel crítico en el ciclo global del carbono (Donato *et al.* 2011). Los ecosistemas de mangle tienen dos funciones importantes en la regulación del ciclo de carbono costero. Primero, como cualquier otro bosque, asimilan y fijan carbono atmosférico a través de la fotosíntesis y otros procesos fisiológicos y de

translocación. Segundo, como un humedal intermareal, promueven la captura de sedimentos procedentes de los biomas terrestres y marinos y los almacenan en el suelo saturado y rico en carbono.

La estructura (altura) y función (NPP) de los manglares está controlada por fuerzas geofísicas costeras, en conjunto con la distribución climática (Twilley 1995). En particular, la mayor amplitud de la marea, los regímenes de descarga de los ríos, la temperatura, precipitación y una menor evapotranspiración potencial controla los altos niveles de biomasa sobre el suelo a lo largo de las formaciones costeras del mundo (Rovai *et al.* 2015). A nivel de sitio, la baja salinidad, las altas concentraciones de fósforo, la baja relación entre las concentraciones de nitrógeno y fósforo, así como el pH del agua intersticial también influyen en un mayor almacenamiento de carbono en los manglares (Adame *et al.* 2013, Bhomia *et al.* 2016), así como lo hace la fisiografía costera y las posiciones de los manglares respecto de éstas (manglares deltaicos, ribereños, de borde, oceánicos/costeros, etc.). En general, sitios con mayor carga de nutrimentos y menor salinidad tienden a acumular mayores cantidades de carbono (Rovai *et al.* 2015).

Los bosques de mangle almacenan más carbono, especialmente en sus suelos, en comparación con otros ecosistemas. Los manglares tienen en promedio un almacenamiento en el ecosistema de 956 MgC ha⁻¹, hasta 1 m de profundidad. Este resulta un valor significativamente más alto comparado con otras coberturas como el bosque lluvioso (241 MgC ha⁻¹), los pantanos de turba (408 MgC ha⁻¹), las marismas saladas (593 MgC ha⁻¹), y los pastos marinos (142 MgC ha⁻¹; Alongi 2014). En general, los manglares pueden acumular entre 2 y hasta 5 veces más carbono que los bosques terrestres (Donato *et al.* 2011). Hasta un 98% de todo este carbono está almacenado en el suelo de los manglares, que pueden alcanzar más de 3 m de profundidad (BIOMARCC 2012). Debido a esta alta capacidad para almacenar carbono es que en los últimos años mucha de la investigación en ecosistemas de mangle se ha enfocado en determinar los impactos que la pérdida y degradación que estos ecosistemas tienen en la dinámica del carbono. Los procesos de deforestación y degradación a los que han sido sometidos durante décadas, amenazan la preservación de ese importante reservorio.

Como ejemplo en la región, BIOMARCC (2012) encontró que los manglares del Humedal Nacional Térraba-Sierpe (HNT-S), en Costa Rica, contienen cerca de 8 Tg de C, lo que representa aproximadamente el 40% del carbono total almacenado en los manglares de ese país. El carbono promedio contenido en los ecosistemas en el HNT-S varía de 391 a 438 Mega gramos (Mg⁴ o tonelada métrica) C ha⁻¹ en la boca del río Sierpe y la boca del río Zacate, respectivamente. De esa cantidad el suelo representa un 76% del total del ecosistema, mientras que los árboles representan el 20%. Si consideramos que de 1990 al 2012 se perdieron aproximadamente 4000 ha de manglares, esto equivaldría a 1,6 Tg de emisión histórica de CO₂, sobrepasando en 1,3 veces las emisiones producidas en la década de los noventa, por todo el sector de uso de la tierra de Costa Rica.

En otra investigación (Cifuentes-Jara *et al.* 2017) se encontró que los manglares del golfo de Nicoya, Costa Rica, almacenan entre 413 y 1335 MgC ha⁻¹; entre 12 y 23 veces más que la cantidad de carbono medida en camaronerías y salineras en la misma zona. Los resultados de ese estudio implican que la conversión de uso de manglares a otros usos, principalmente camaronerías y salineras, provoca pérdidas en promedio del 92% del C almacenado originalmente.

4 1 Mg (Megagramo)= 10⁶ gramos = 1000 kg = 1 tonelada métrica

Por otra parte, en los manglares del Pacífico de Guatemala se determinó que en 2012 el país contaba con almacenamiento total de 2,2 GgC. De esta cantidad 1,32 Gg se encuentran almacenados en árboles de mangle colorado o rojo (*Rhizophora mangle*), 0,35 Gg en mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y el resto en *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*. De acuerdo a estos resultados, a partir de 2006 se han emitido a la atmósfera 50,2 Gg CO₂ por año, debido a la destrucción del ecosistema (Cojom Pac *et al.* 2016).

A nivel global, la emisión anual potencial de CO_{2e} de los suelos como resultado de la pérdida de los manglares se estima en aproximadamente 7,0 Teragramo (Tg⁵) de CO_{2e} año⁻¹. Los países que encabezan la lista de emisores potenciales de CO₂ del suelo son Indonesia y Malasia con 3410 y 1288 GgCO_{2e} año⁻¹ (Atwood *et al.* 2017). Con la conversión de los ecosistemas de manglar a pastura, acuicultura y desarrollo urbano puede emitirse más del 90% del C secuestrado por el ecosistema (BIOMARCC 2012, Cifuentes-Jara *et al.* 2017). Esto enfatiza la necesidad de entender de manera integral la dinámica del C en los manglares y el cambio de uso asociado por su relación directa con el cambio climático global.

5 1 Tg (Teragramo)= 10¹² gramos y 1 Gg (Gigagramo)=10⁹ gramos

5. METODOLOGÍA

El trabajo para cuantificar las existencias de carbono en los manglares de El Salvador se centró en las dos zonas con las mayores extensiones de estos ecosistemas en el país: la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque. El trabajo se desarrolló en dos campañas de campo, entre 2014 y 2015. Ambas zonas cuentan con una extensión de 151 200 ha, de las cuales el 17,5% (26 616 ha) son manglares de diferentes estaturas y estados de conservación. A continuación, detallamos el proceso metodológico utilizado para seleccionar los sitios de estudio, recopilar los datos de campo y los análisis posteriores.

5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

En la Zona Costero Marina (ZCM) de El Salvador se han identificado una diversidad de ecosistemas dentro los que se cuenta a los bosques salados, bosques estacionalmente saturados, bosque de galería, zona ecotonal, estuarios, bajos intermareales, lagunas costeras, pastos marinos, vegetación de playa, dunas costeras y acantilados, entre otras. Además, la ZCM cuenta con cinco de los siete sitios RAMSAR reconocidos por la Convención sobre Humedales Internacionales como hábitat de aves acuáticas, de importancia internacional para la conservación de humedales. Dos de ellos, el Sitio Ramsar Complejo Jaltepeque y el Complejo Bahía de Jiquilisco son de particular importancia para el país por la presencia de considerables áreas bajo cobertura de manglares o bosques salados, como son conocidos localmente; alrededor de unas (26 600 ha). Estos ecosistemas juegan un rol relevante como elementos de respuesta climática, tanto en el ámbito de mitigación, como el de adaptación. En particular, su rol como ecosistemas con potencial para secuestrar y almacenar carbono atmosférico no había sido analizado en el país, hasta la realización del presente estudio.

5.1.1 Bahía de Jiquilisco.

La bahía de Jiquilisco tiene una superficie de 101 782 ha y se ubica en el departamento de Usulután, en el oriente de El Salvador. En la bahía de Jiquilisco drenan tres cuencas hidrográficas: la del río Lempa, comprendida entre el río Lempa y el Grande de San Miguel. En su parte norte intermedia sirve de punto de desembocadura a los ríos y quebradas El Amatillo, Ringlera, El Convento, Shuria, Tinto, Zarco, La Cañada, Roquinte, El Espino, San Lázaro, Aguacayo, El Cacao, La Poza, El Eje y Juana, entre otros. Se caracteriza por su vocación agrícola debido a la fertilidad de sus suelos y por su riqueza natural, especialmente por sus singulares formaciones litorales como: manglares, esteros, canales, barras de arena, playas, islas de diversos tamaños y penínsulas (Díaz 2011). Comprende un mosaico de usos del suelo (Figura 3) entre los cuales destacan: 19 265 ha de manglares, 3621 ha de bosques dulces aluviales, 11 798 ha de lagunas costeras y esteros, 10 946 ha de bosques mixtos semicaducifolios, 821 ha de cultivos y pastos, 7200 ha de granos básicos, 7083 ha de caña de azúcar, 1162 ha de salineras y 215 ha de camaroneras (García 2012).

La bahía posee el área más extensa de manglar del Pacífico norte seco de Mesoamérica, además de bosques estacionalmente saturados, conectados con el manglar en Normandía, El Tercio y Chahuantique (Jiménez Pérez y Sánchez-Mármol 2004). En 2005 se declaró sitio Ramsar, abarcando 63 500 hectáreas, con el fin de que el Estado procure su desarrollo sostenible y en 2007 fue declarada Reserva de la Biosfera por la UNESCO. Se destaca por ser una zona de producción de recursos pesqueros y sal (Rivera 2010).

La biodiversidad y los servicios ecosistémicos que esta Área de Conservación genera, producen bienestar ambiental y social a nivel local, regional y nacional (García 2012). En particular, el sistema de bosques salados constituye una barrera natural para las crecidas de los cauces en la estación lluviosa y para las tormentas tropicales que se forman en el área. En esos bosques, cuatro géneros y siete especies de árboles

latifoliados de consistencia esclerófila (hojas duras) dominan este ecosistema. Algunas de estas cuentan con estructuras especiales como hidátodos, raíces zancudas y neumatóforos, que les permiten sobrevivir en condiciones de alta salinidad y anegamiento periódico. Las especies de mangle que conforman este ecosistemas (Figura 4) son: el mangle colorado (*Rhizophora mangle*), mangle rojo (*Rhizophora racemosa*), el madresal (*Avicennia germinans*), *Avicennia bicolor*, el botoncillo (*Conocarpus erecta*), y el istaten (*Laguncularia racemosa*) (MARN 2004).

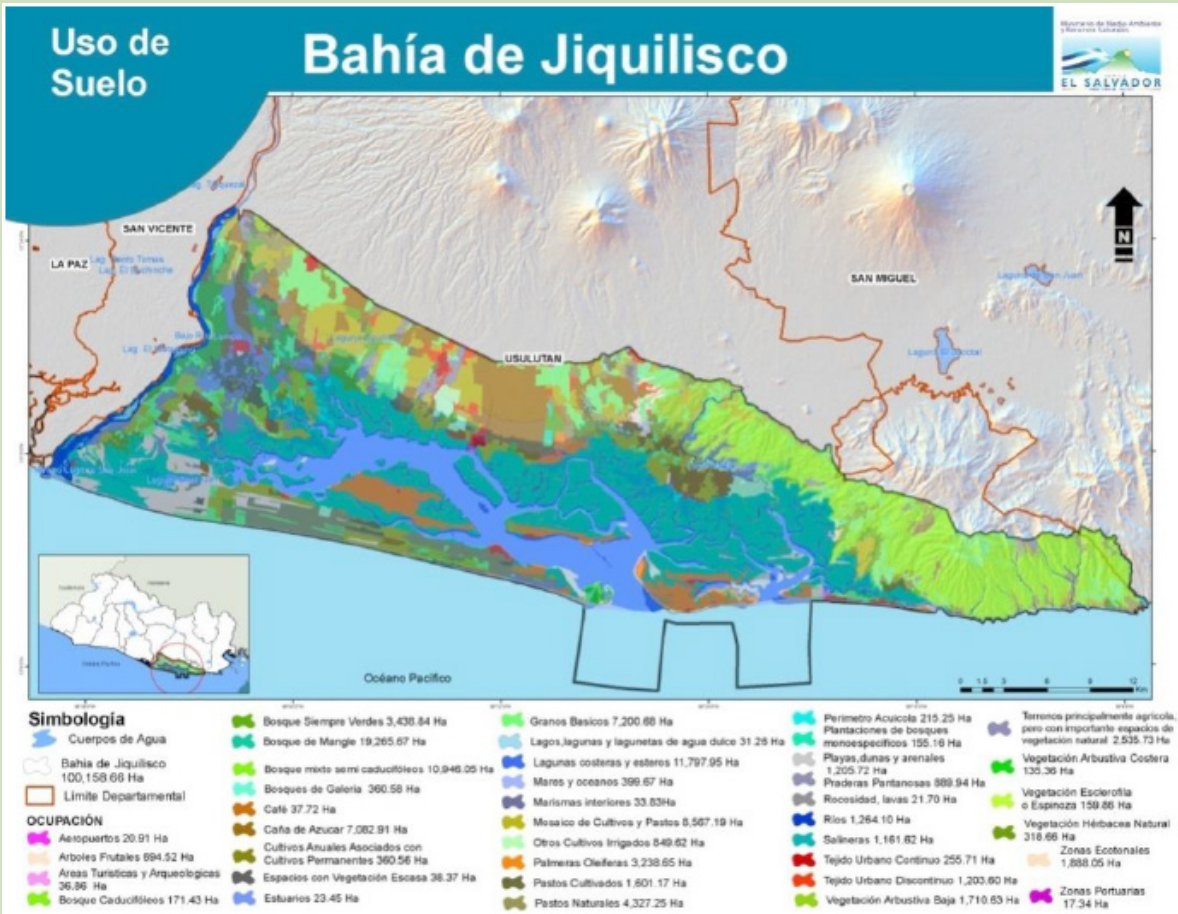


Figura 3. Uso del suelo de la bahía de Jiquilisco, El Salvador.
Fuente: SIG-MARN; citado por García (2012).

Entre la zona occidental y oriental de la bahía de Jiquilisco se han podido observar diferencias en cuanto al desarrollo del bosque salado. La primera se caracteriza por árboles bajos y menor biomasa, así como por soportar mayor presión antrópica. La zona oriental, desde la bocana de la bahía hasta la zona donde se recibe abundante agua dulce del río Grande de San Miguel (incluyendo las islas como Samuria), presenta rodales muy desarrollados y mayor biomasa. En esta zona parece que existe una mayor diversidad de especies y el acceso es más complicado para las comunidades, lo que reduce la presión antrópica.

Conforme aumenta la distancia de la línea costera, las comunidades de árboles y plantas cambian hacia especies menos tolerantes a la salinidad. Así, en los bosques estacionalmente saturados destaca el mangle

de agua dulce (*Bravaisia integrerrima*), especie amenazada. En la vegetación abierta predominantemente decidua con árboles y arbustos de costa o playa, destacan el papaturro (*Coccoloba floribunda*, *Coccoloba caracas saña*), ojo de venado (*Mucuna holtonii*), mongollano (*Pithecellobium dulce*) y carbón (*Prosopis juliflora*).



Figura 4. Especies de mangle comunes en la bahía de Jiquilisco.

Nota: De izquierda y de arriba hacia abajo: *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa*, *Avicennia bicolor*, *Avicennia germinans*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*.

En la vegetación cerrada, principalmente siempre verde tropical ombrófila riparia, se encuentran diversas especies de *Ficus* spp., hule (*Castilla elastica*), iscanal (*Acacia hindsii*), aguijote (*Erythrina glauca*), huesito (*Phyllanthus brasiliensis*), huiscoyol (*Bactris subglobosa*), que se ven amenazadas por la presión que se ejerce sobre este ecosistema (Jiménez Pérez y Sanchez-Mármol 2004).

El área de estudio forma parte de la denominada llanura costera central de El Salvador y se encuentra entre las coordenadas Lambert Conformal Conic 519435 y 581222 m (longitud Oeste) y 227540 y 244212 m latitud Norte (Figura 5). Comprende los municipios de Jiquilisco, Puerto El Triunfo, Usulután, San Dionisio, Concepción Batres y Jucuarán (Figura 5).

El Área de Conservación Bahía de Jiquilisco se encuentra en la zona climática de los trópicos semihúmedos, que se caracterizan por una condición térmica igual y la precipitación muestra grandes variaciones durante el año. Presenta un clima de sabana caliente-tropical (según la clasificación de las regiones climáticas de Köppen), con tres zonas de vida: bosque húmedo subtropical (dominante en el área), bosque húmedo subtropical transición a tropical y bosque húmedo tropical. La precipitación anual promedio oscila entre 1400 y 2019 mm, con dos estaciones: la seca, que va de noviembre a abril, y la lluviosa, de mayo a octubre. La zona tiene una temporada lluviosa bimodal, donde setiembre es el mes más lluvioso, seguido de junio. La

temperatura anual promedio es de 26,7 °C (rango: 20,1 °C a 34,6 °C). Los vientos locales son muy débiles, con una velocidad promedio de 7 km/h. La humedad relativa del aire es de 65,2% durante la época seca y de 78,2 % durante la época lluviosa (García 2012, MARN 2004, MARN 2007).

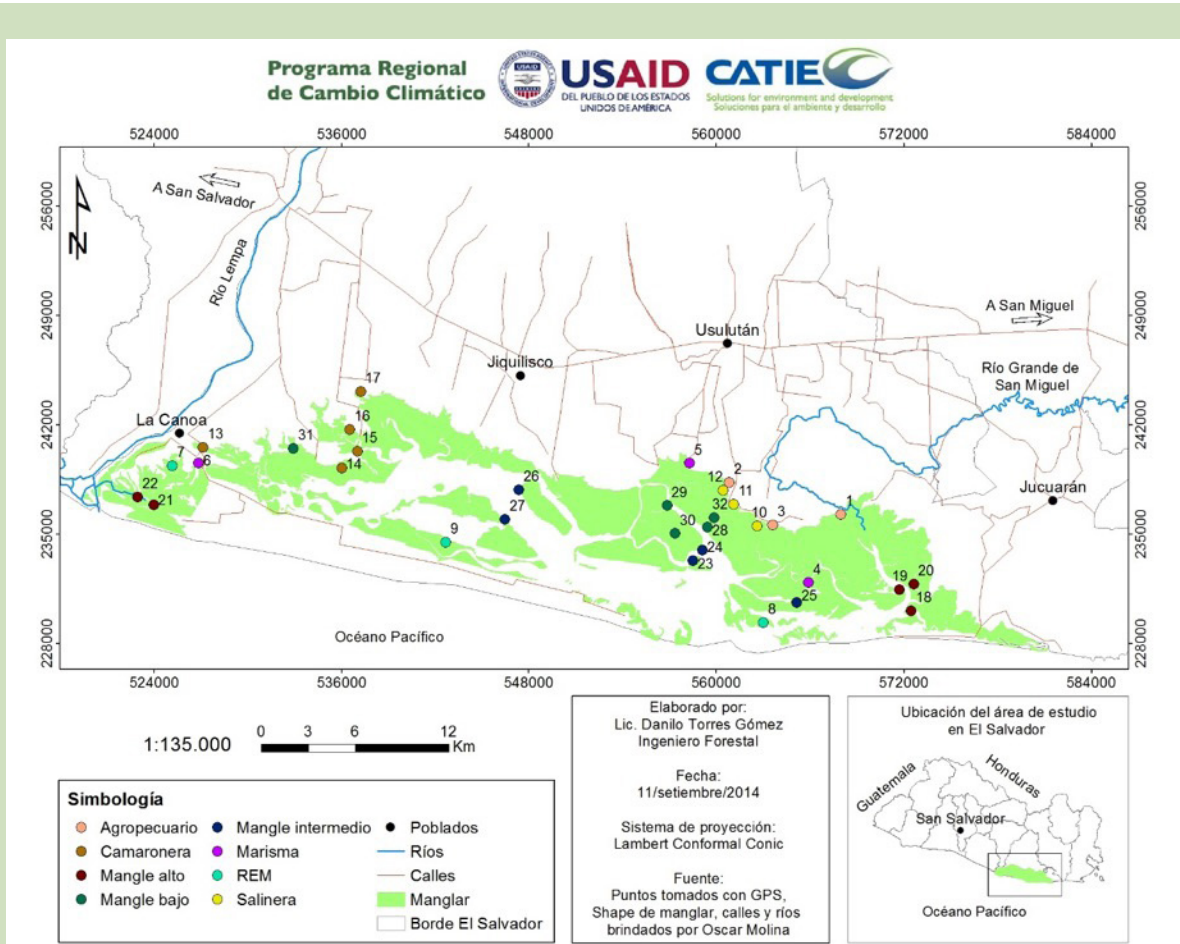


Figura 5. Ubicación de los transectos de muestreo para inventariar las existencias de carbono a nivel de ecosistema en los manglares de la bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador, 2014.

Los transectos de mangle alto fueron establecidos en los extremos occidental y oriental de la bahía de Jiquilisco, en donde predomina este estrato. Los manglares intermedios y enanos son más frecuentes en la parte central de la bahía. Las camaroneras y salineras se ubican a lo largo de esta. Los sitios REM están ubicados en lugares específicos donde se han realizado trabajos para recuperar las áreas de manglar que se habían perdido anteriormente por actividades humanas. El estrato agropecuario se ubica en áreas donde antes fue manglar, y en la actualidad se realizan labores agrícolas, generalmente hacia los bordes internos de la bahía, a partir del ecotono entre el manglar y los ecosistemas terrestres.

5.1.2 Estero de Jaltepeque

El complejo del humedal (estero) de Jaltepeque, con una extensión de 49 454 hectáreas y ubicado en los departamentos de La Paz y San Vicente, fue declarado Sitio Ramsar en octubre de 2011. Su anchura oscila entre los 15 km (entre la carretera litoral sobre el puente del río Jiboa y la costa) y 40 km (hacia el estuario del río Lempa). Se enmarca entre los ríos Lempa y Jiboa e incluye un total de ocho microcuencas, en su mayoría caracterizadas por ríos de corto recorrido con abundancia de aguas subterráneas, consecuencia de su zona de recarga en los volcanes de Zacatecoluca y San Vicente. La zona es altamente permeable con una cobertura vegetal aceptable, escorrentía superficial media y arrastre de sedimentos. Se ve afectada por constantes inundaciones en la mayor parte de la época lluviosa.

En la actualidad el paisaje en Jaltepeque está dominado por diversos agrosistemas, seguido por los manglares (Cuadro 3). Estos últimos cubren unas 7350 ha, abarcando el 20,8% del área y representando el 19% de El Salvador (CORDES 2009). También existen diversas variantes del bosque tropical seco, remanentes de bosques semicaducifolios, bosques siempre verdes, bosques caducifolios, bosques de galería y zonas ecotonales, entre el bosque dulce y salado (Rodríguez 2012), además de pantanos de agua dulce y salobre, sistemas riparios-lagunares permanentes y estacionales, dunas y playas arenosas (MARN 2012). En la zona de Escuintla-Astillero, Guadalupe La Zorra, La Herradura-El Escobal, Jalponga, entre otras, existen zonas pantanosas de pastizales herbáceos y tulares.

En los manglares del área predominan el mangle colorado (*Rhizophora mangle*), mangle espigado o mangle rojo gigante (*R. racemosa*), istatén (*Avicennia germinans*), madresal (*A. bicolor*), botoncillo (*Conocarpus erectus*) y sincaguite (*Laguncularia racemosa*; CORDES 2009). No obstante, hay diferencias entre la zona occidental y oriental del estero Jaltepeque, en cuanto al desarrollo del bosque salado: la primera se caracteriza por árboles bajos y menor biomasa, así como por soportar mayor presión antrópica. La zona oriental, desde la bocana del río Lempa, hasta la zona donde se recibe abundante agua dulce de la microcuenca del río Guayabo, presenta rodales muy desarrollados y mayor biomasa (MARN 2008).

En términos de vida silvestre, la franja costera del Complejo Jaltepeque es importante para la anidación y refugio de tortugas marinas en peligro de extinción y para una diversidad de aves. En el área estuarina se han reportado 98 especies de peces, lo que le clasifica como uno de los sitios con mayor diversidad íctica de humedales de agua salada, dulce y salobre de El Salvador. Además, juega un papel crítico como zona de cría, alimentación, refugio y producción pesquera. Es igualmente relevante para los moluscos, crustáceos y peces presentes en su complejo de manglares (MARN 2013d).

En el siglo XIX el estero Jaltepeque fue una de las tres zonas más importantes para la producción de sal en El Salvador y Centroamérica. Actualmente, otros productos importantes para la economía del área de Jaltepeque son de la industria pesquera y camaronera, sin embargo, la industria camaronera está concentrada en Bahía de Jiquilisco, mientras que la pesca artesanal, se concentra en las áreas pobladas del estero (Andrews 1991, MARN y MOP 2004, CENDEPESCA 2007 y MARN 2008; citados por Rodríguez 2012). Además, se aprovecha la ganadería, caña de azúcar, plantaciones de coco y el turismo; estimándose que más de 10 000 personas subsisten de este sistema de manglar y humedales (MARN 2013d). Las actividades humanas generan impactos negativos importantes en el estero. Por ejemplo, la tala de manglar con diversos fines es una práctica de difícil control en el área. Los núcleos urbanos importantes contaminan los ríos con aguas residuales y desechos sólidos. Además, las actividades turísticas carentes de ordenamiento en La Costa del Sol generan desechos sólidos que afectan la calidad ambiental del humedal, incidiendo de forma negativa en actividades turísticas y vida silvestre acuática (MARN 2012a). Por otro lado, las inundaciones en la época lluviosa crean pérdidas económicas y evacuaciones recurrentes.

Cuadro 3. Cobertura del suelo en el sector de Jaltepeque (Datos Corine Land Cover 2002).

Categoría	Área (ha)
Agrosistemas diversos	16 008
Manglar	7351
Bosque siempre verde	3847
Humedal	1672
Zona ecotonal	1223
Vegetación arbustiva	909
Vegetación herbácea	892
Pradera pantanosa	820
Urbano	697
Playa	287
Bosque de galería	124
Bosque semicaducifolio	70
Acuicultura	46
Total	33 942

Fuente: Rodríguez (2012).

El estero Jaltepeque se encuentra situado en la llanura aluvial costera de El Salvador (Molina *et al.* 2008), entre las coordenadas Lambert Conformal Conic, longitud Oeste: 497600 y 523800 m; latitud Norte: 237200 y 250400 m (Figura 6). El área se encuentra dentro de la zona de vida bosque húmedo subtropical caliente. Las temperaturas mínimas y máximas medias anuales oscilan entre 23 °C y 31 °C. Los meses calurosos son marzo y abril, cuando la temperatura puede alcanzar hasta 34,6 °C, mientras que los meses con temperaturas más bajas son diciembre y enero (hasta 20,1 °C). El territorio es uno de los más expuestos de El Salvador a las sequías e inundaciones frecuentes (MARN 2007). La precipitación media anual es de 1500 mm; la época lluviosa es de mayo a octubre y la época seca de noviembre a abril. El mes de setiembre es el más lluvioso seguido de junio. Los vientos que soplan normalmente en la zona alcanzan una velocidad promedio de 7 km/h, clasificado como muy débil. La humedad relativa es del 68% (Molina *et al.* 2008).

5.2 DISEÑO DEL INVENTARIO

Para entender la dinámica de las existencias de carbono actuales en los manglares de los dos sitios de estudio y cómo han evolucionado históricamente, se realizaron mediciones en cuatro estratos de manglares (mangle alto, medio, bajo y restauración ecológica de manglar – REM), así como en áreas adyacentes donde el manglar fue convertido en otros usos de la tierra (camaroneras, salineras, usos agropecuarios).

Al comparar los ecosistemas naturales con los agropecuarios que los han reemplazado a lo largo de esta gradiente de usos de la tierra presente en las áreas de estudio, se pueden hacer enunciados acerca de cómo el reemplazo de los manglares por otros usos afecta los acervos de carbono. Además, utilizando imágenes de satélite de varias fechas pasadas, se pueden hacer también enunciados de cómo la dinámica del almacenamiento del carbono podría haber cambiado con el tiempo.

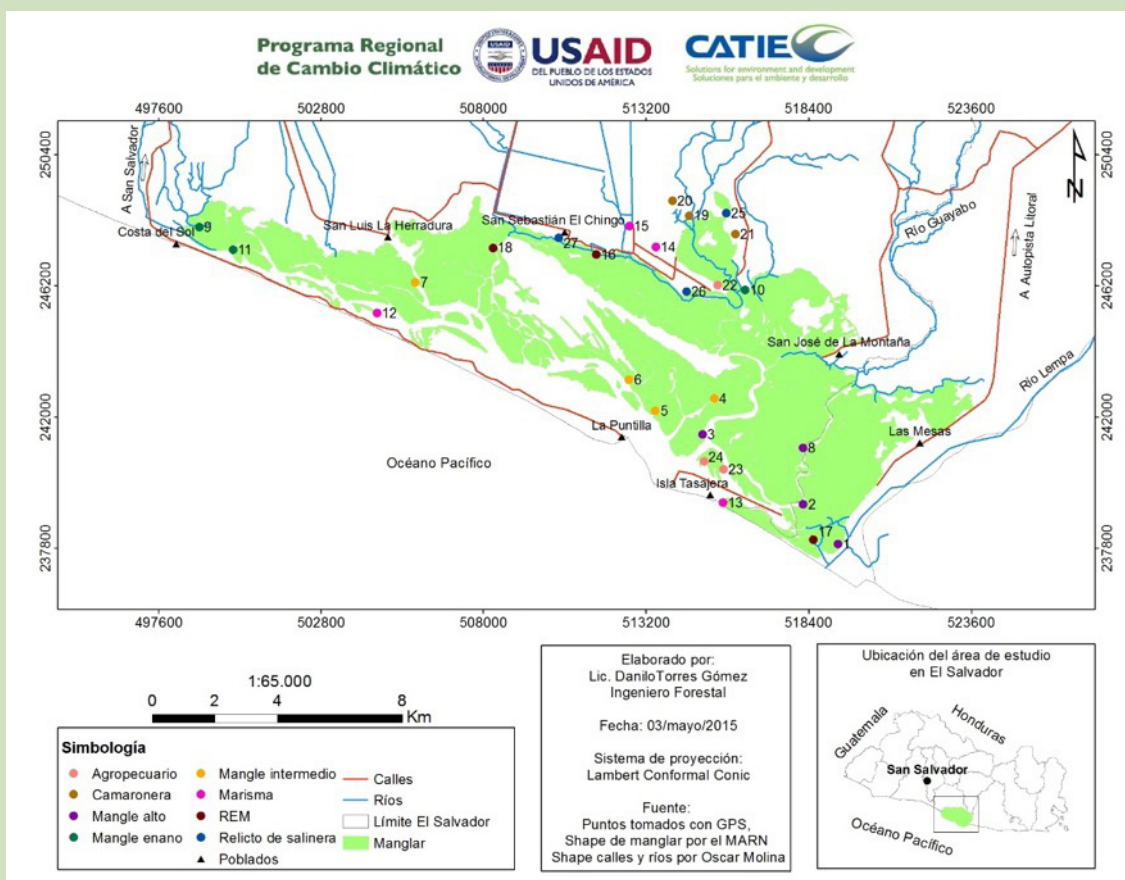


Figura 6. Ubicación de los transectos para el inventario de las existencias de carbono en los manglares del estero Jaltepeque, El Salvador, 2015.

5.2.1 Estratos muestreados

Los siguientes estratos fueron definidos en coordinación con los expertos del MARN y especialistas nacionales con experiencia de trabajo en la zona.

Manglar alto: Son bosques con especies de árboles adaptadas a condiciones de alta salinidad (por agua del mar) e inundación frecuente por las mareas. Las especies presentes son *Rhizophora recemosa* (mangle espigado), *Rhizophora mangle* (mangle colorado), *Avicennia germinas* (istatén) y *Laguncularia racemosa* (sincaguite). En algunos de estos sitios hay presencia de tocones y madera caída producto de actividades extractivas. La talla de estos manglares (en especial *R. racemosa*) puede alcanzar los 80 cm de diámetro y sobrepasar los 30 m de altura (Figura 7). En el estero de Jaltepeque estos manglares se muestrearon en su extremo oriental, cerca de la desembocadura del río Lempa y río Guayabo.

Manglar intermedio: Manglares con composición florística similar al manglar alto, pero con tallas menores (diámetro de casi 40 cm y altura de hasta 25 m; Figura 7). Estos manglares son frecuentes en la porción centro-occidental del estero Jaltepeque.

Manglar bajo o enano: Estos manglares se encuentran generalmente en sitios que limitan con *tierra dulce* (firme), en pequeños parches aislados. La talla de estos manglares no sobrepasa los 6 m de altura y son áreas relativamente abiertas (Figura 7). El suelo de estos sitios es considerablemente menos fangoso en comparación con el del mangle alto e intermedio. Además de las especies comunes de mangle, se pueden encontrar aquí individuos de *Acacia cornigera* (cornizuelo), *Pithecellobium* sp. (mongollano) y *Randia* sp. (caimito de manglar).



Figura 7. Tipos de manglar presentes en la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque medidos para determinar las existencias de carbono a lo largo de una gradiente de uso de la tierra, El Salvador. Arriba: mangle alto (*Rhizophora racemosa*); abajo izquierda: mangle intermedio (con dominancia de *Rhizophora mangle*); abajo derecha: mangle bajo o enano.

Restauración ecológica de manglares (REM): Estas son áreas donde se están realizando esfuerzos para restaurar la cobertura original de manglares. En algunas de estas áreas se han realizado obras físicas (como canales y drenajes) para facilitar el flujo de la marea, restaurar la hidrología de los sitios y progresivamente incentivar la regeneración del sitio con especies propias del manglar (Figura 8). La cobertura del suelo es variada, frecuentemente con *verdolaga salada* cubriendo el suelo en sitios jóvenes y regeneración de istatén (*Avicennia germinans*), mangle colorado (*Rhizophora mangle*), sincaguite (*Laguncularia racemosa*) u otras

especies del bosque de manglar conforme avanza el proceso de restauración. Es común que el ganado entre en estas áreas y se coma la regeneración natural, por lo que estas áreas pueden desarrollarse lentamente.



Figura 8. Ejemplos de áreas de restauración ecológica de manglares (REM) utilizadas para el muestreo de las existencias de carbono a lo largo de una gradiente de uso de la tierra en la zona costera de El Salvador.

Marisma o chacastera: Son sitios frecuentemente anegados donde la vegetación dominante es el pasto comúnmente conocido como chacaste (*Fimbristylis spadicea*), que es el que da el nombre a estos ambientes (Figura 9). La hierba *verdolaga salada* (*Portulaca oleracea*) es una especie habitual de estos ambientes. Son sitios con abundante evidencia de actividad de cangrejos azules (*Cardisoma crassum*). Están comúnmente rodeadas de potreros y manglares, en cuyos márgenes hay presencia de cornizuelo (*Acacia cornigera*), istatén (*Avicennia germinans*), madre sal (*Avicennia bicolor*), mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), sincaguite (*Laguncularia racemosa*) y mangle colorado (*Rhizophora mangle*).



Figura 9. Ejemplos de áreas de marisma para el muestreo de carbono a lo largo de una gradiente de uso de la tierra en la zona costera de El Salvador.

Salineras y camaroneras: Estas son áreas extensas que pertenecen generalmente a cooperativas locales. Para su establecimiento dependen de la tala y remoción completa del manglar original y la construcción de obras de infraestructura que permitan drenar el área o inundarla completamente (Figura 10). Por el tipo de manejo que se da a los estanques, los suelos de estos sitios son muy compactados. A partir de los 50 cm de profundidad es frecuente encontrar un horizonte *gleysado* (color gris-azulado), producto de las condiciones anóxicas provocadas por la falta de drenaje y el anegamiento constante. En Jaltepeque, las salineras que se muestrearon fueron abandonadas aproximadamente hace 60 años, según los vecinos locales y los guardarecursos del MARN consultados. En los alrededores del estero se ubicaron solo cuatro cooperativas con estanques de camarón.



Figura 10. Ejemplos de áreas de salineras (izquierda) y estanques de camarón (derecha, inundados) utilizados para el muestreo de las existencias de carbono a lo largo de una gradiente de uso de la tierra en la zona costera de El Salvador.

Usos agropecuarios: En estas áreas anteriormente existía cobertura de manglar que fue reemplazado para establecer áreas de granos básicos (maíz), pastos, ganadería, caña de azúcar (*Saccharum officinarum*; Figura 11). Dependiendo del sitio y la dinámica de siembra, otra vegetación presente incluyó *Ricinus communis*, *Senna* sp., Asteraceae, Fabaceae y multitud de plantas herbáceas sin identificar. La altura de la vegetación varió entre 30 y 190 cm. Por su proximidad al manglar estas áreas se encuentran frecuentemente anegadas.



Figura 11. Ejemplos de áreas de uso agropecuario (caña de azúcar a la derecha y área para la siembra de maíz o ganadería a la izquierda) para el muestreo de carbono a lo largo de una gradiente de uso de la tierra en la zona costera de El Salvador.

5.2.2 Ubicación de los sitios de muestreo

Se utilizaron mapas de uso y cobertura del suelo para identificar la ubicación y extensión de los estratos de muestreo en ambas áreas (por ejemplo, Figura 3). Los transectos de muestreo fueron ubicados aleatoriamente a partir de los polígonos de los usos de la tierra presentes en el área y considerando las particularidades de acceso a los sitios (Figura 5 y Figura 6).

Los sitios de muestreo de manglar se ubicaron a lo largo de los canales de la bahía. La longitud de los transectos de medición no debía sobrepasar el ancho de la franja de manglar presente, para controlar la heterogeneidad del paisaje y evitar mezclas de cobertura entre estratos. La distancia entre los transectos fue mayor a 1 km para evitar la autocorrelación espacial entre los sitios. En total se instalaron 57 sitios de muestreo (32 en bahía de Jiquilisco y 27 en el estero de Jaltepeque; Cuadro 4).

Cuadro 4. Estratos, número de transectos y profundidad de los perfiles de sedimento para la recolección de las muestras de suelo en los sitios de muestreo seleccionados para medir las existencias de carbono en los manglares de la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque

Bahía de Jiquilisco			
Estrato	Número de transectos	Profundidad del muestreo de suelo (m)	Sitios de muestreo
Manglar alto	5	2	Arco del espino, Piedra marcada, Samuria y Montecristo*
Manglar intermedio	5	2	El Chile*, Rincón Grande, Isla Tortuga e Isla Jobal
Manglar bajo	5	2	Boca de los Muchachos, Los Lagartos, Las Tijeras, El Zamorancito y Puerto Parada
Camaroneras	5	1	La Canoa, Sisiguayo*, Salinas del Potrero y San Hilario
Salineras	3	1	Puerto El Flor, Los Almendros y Puerto Ramírez
Áreas de REM	3	2	El Llorón, San Sebastián e Isla Jobal
Marismas	3	2	Los Cedrones, San Dionisio y La Canoa
Agropecuario	3	1	El Encanto, Colonia Melara y Puerto Viejo
Total de transectos	32		
Esteros de Jaltepeque			
Manglar alto	4	2	Desembocadura río Lempa, La Curbinera, El Rajado y El Plan de La Ceiba
Manglar intermedio	4	2	Santa Cruz, Santo Domingo, El Espino y La Herradura
Manglar bajo	3	2	San Marcelino, Ánimas Abajo y Bordo Chele
Camaroneras	3	1	Cooperativas Los Piñalitos, Los Aguiluchos y El Palmo
Salineras	3	1	Ánimas Arriba, San Sebastián El Chingo y Cooperativa El Astillero
Áreas de REM	3	2	Desembocadura río Jalponga, San Sebastián El Chingo y El Cañón del Bagre
Marismas	4	2	Isla Tasajera, Los Blancos y El Aguaje*
Agropecuario	3	1	Isla Tasajera* y Cooperativa El Astillero
Total de transectos	27		

Nota: El * indica sitios donde se establecieron dos transectos en un mismo estrato.

5.3 MEDICIONES DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO

La metodología adoptada para estimar las existencias de carbono en los manglares de la bahía de Jiquilisco y del estero de Jaltepeque se basó en los lineamientos de Kauffman y Donato (2012), Kauffman *et al.* (2013) y Howard *et al.* (2014). Estos métodos son coherentes con los lineamientos de buenas prácticas internacionales para la medición de carbono (IPCC 2003), y permiten cuantificar la cantidad de carbono acumulada en los diferentes componentes del ecosistema de manglar. También posibilitan realizar análisis ecológicos tradicionales de estructura forestal y diversidad florística. Además, son métodos ya probados por CATIE en otros países de la región (Guatemala, Honduras, Costa Rica y Panamá), así como en otras latitudes (Asia, África), lo que da la ventaja de proveer datos consistentes y fácilmente comparables con otros inventarios. Un resumen de la metodología se presenta a continuación (adaptado de Cifuentes-Jara *et al.* 2017).

5.3.1 Mediciones de los componentes del carbono sobre el suelo

En cada sitio de muestreo se establecieron transectos sobre los cuales se ubicaron parcelas anidadas de medición. Los transectos fueron de 150 m de largo, en dirección perpendicular a la dirección del borde del manglar, iniciando a 25 m del mismo. Sobre cada transecto se establecieron, cada 25 m, parcelas circulares principales anidadas de 7 m de radio (Murdiyaso *et al.* 2009, Kauffman y Donato 2012; Figura 12). En cada parcela se midieron todos los componentes de la biomasa sobre el suelo (árboles en pie, regeneración, herbáceas y madera caída) y se tomaron muestras de suelo y densidad aparente hasta la máxima profundidad que fue posible (Cuadro 4). La hojarasca no se midió porque representa un 0,02% del carbono total sobre el suelo (BIOMARCC *et al.* 2012).

En los sitios de mangle alto e intermedio, y en la parcela principal de 7 m de radio se midió el dap (diámetro a la altura del pecho, medida a 1,30 m de altura sobre el fuste) o el diámetro (D, medido a 30 cm por encima de la última raíz fúlcrea o irregularidad del fuste) de todos los individuos con diámetro ≥ 5 cm. Para cada uno de estos individuos se anotó si estaban vivos o muertos. Los individuos muertos se identificaron bajo tres categorías de clasificación visual, según la cantidad de biomasa remanente relativa al árbol vivo original (97,5%, 80% y 50% de la biomasa original remanente en pie; Kauffman y Donato 2012). Se identificó la especie de cada individuo medido para asignar el valor apropiado de densidad específica de la madera durante el cálculo del carbono almacenado y con el fin de contar con la información para posteriores análisis de diversidad florística. Se estimó la altura de todos los tallos vivos y de los muertos en posición vertical de la parcela. En la subparcela de 2 m de radio contenida dentro de la principal se midió el diámetro altura total y se identificó la especie de los individuos con diámetro < 5 cm.

En el caso particular de los sitios con mangle bajo o enano, debido a la alta densidad de tallos presentes, se establecieron parcelas semicirculares (la mitad de un círculo) de 7 m de radio. Estas parcelas se establecieron alternando su posición a la derecha o a la izquierda del transecto principal. En estas parcelas semicirculares se midió el diámetro de los individuos presentes (medido a 30 cm de altura sobre el suelo), la altura total, el diámetro de copa y la altura de copa de todos los individuos, y se identificó la especie de cada árbol.

La madera caída se midió con la metodología del plano de intersección (Van Wagner 1968, Brown y Roussopoulos 1974) a lo largo de cuatro transectos de medición de 12 m de longitud. Estos se colocan sobre el suelo del manglar partiendo del centro de la parcela y orientados a 45° respecto de la dirección principal del transecto (Figura 12). Se midió la madera caída con diámetro $\geq 7,5$ cm a lo largo de todo el transecto. Las piezas de madera caída con diámetro entre 2,5 y 7,5 cm se midieron a lo largo de 5 m sobre el transecto. A

cada pieza de madera se le asignó una categoría de descomposición (sólido, intermedio o podrido) golpeando cada pieza con un objeto contundente (Penman et al. 2003, IPCC 2013). Se recolectaron 5 trozos de madera caída de cada estado de descomposición para determinar su gravedad específica. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio analítico del CATIE en Costa Rica.

En cada parcela principal el componente herbáceo y la regeneración fueron medidos usando un cuadrante de tubo PVC de 50 x 50 cm, ubicado aleatoriamente. Toda la materia dentro del cuadrante se cortó utilizando una tijera podadora, y se obtuvo el peso total verde con una báscula. Luego se tomó una submuestra de 100 g, que se llevó al laboratorio para determinar la biomasa seca y el contenido de carbono.

5.3.2 Toma de muestras para determinar el carbono en el suelo

Las muestras de suelo se extrajeron con un barreno para suelo no consolidado⁶ en un punto ubicado aleatoriamente dentro de la parcela (Figura 12). Los núcleos extraídos se separaron a intervalos de 0-15, 15-30, 30-50, 50-100 y 100-200 cm de profundidad (Murdiyaso *et al.* 2009). En el caso particular de las camaroneras, salineras y los sitios de uso agropecuario, las muestras de suelo se extrajeron utilizando

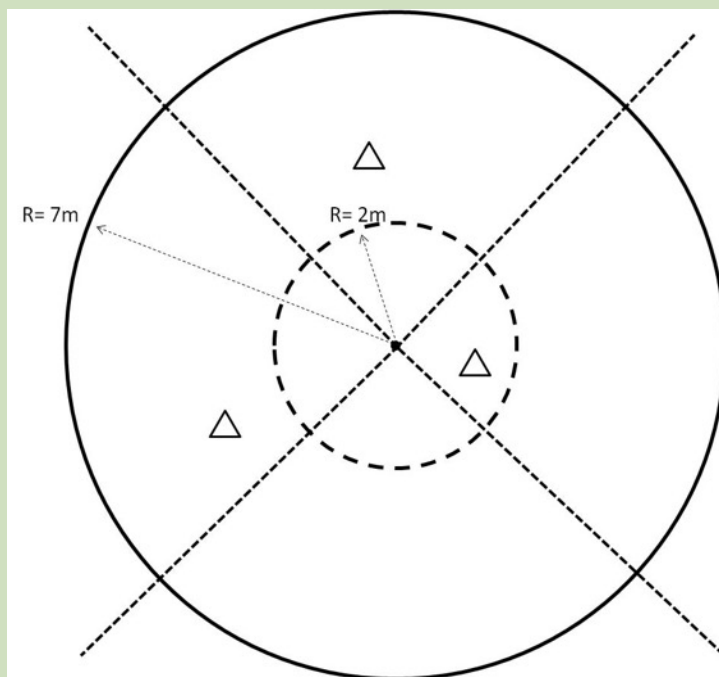


Figura 12. Detalle de las parcelas anidadas utilizadas para medir la biomasa y el carbono en bosques de manglar y zonas aledañas en la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque, El Salvador.

Nota: Adaptado de Kauffman y Donato (2012). En la parcela principal de 7 m de radio se midió el diámetro de todos los individuos con diámetro ≥ 5 cm. En la subparcela de 2 m de radio se midió el diámetro de los individuos < 5 cm. La madera caída se midió a lo largo de cuatro transectos de medición de 12 m de longitud a partir del centro de la parcela y orientados a 45° respecto de la dirección principal del transecto (líneas punteadas). Los triángulos ilustran los puntos aleatorios de muestreo de suelos.

6 2 1/2" x 40" Stainless steel gouge auger. AMS Inc. 105 Harrison Street, American Falls, ID 83211-1230, USA. Teléfono: +1-208-226-2017. www.ams-samplers.com Consultado Ago. 2017.

un barreno diferente, especial para suelo consolidado⁷, y hasta una profundidad de 1 m solamente, debido a la alta compactación de dichos suelos. Los núcleos extraídos fueron separados en los mismos intervalos mencionados anteriormente. Se tomó una muestra de 3 cm de largo del centro de cada intervalo de profundidad para determinar la densidad aparente del suelo (Figura 13). El material restante fue homogenizado y una submuestra de entre 150 y 250 g llevada al laboratorio analítico de suelos del CATIE en Costa Rica para realizar los análisis del contenido de carbono total según los métodos de Nelson y Sommers (1996). Allí, las muestras para densidad aparente se secaron al horno a 110 °C hasta obtener peso constante. Las raíces gruesas (≥ 2 mm) se excluyeron de las muestras, pero las raíces finas se incluyen dentro de la misma muestra de suelo.



Figura 13. Demostración de la extracción de una muestra de suelo para determinar la densidad aparente del suelo del manglar y otros usos de la tierra.

Nota: El suelo no utilizado para determinar la densidad aparente (porción izquierda del barreno en la foto) se recolectó para el análisis de carbono total. Foto: Danilo Torres

5.3.3 Secado y procesamiento de las muestras para su transporte internacional

Previo a que se transportaran las muestras de suelo y tejido vegetal internacionalmente entre El Salvador y Costa Rica, estas debieron ser secadas y procesadas *in situ*. Inmediatamente después de extraídas las muestras del campo, se colocaron en un congelador comercial para preservarlas (a una temperatura promedio de 60 °C), mientras se efectuaba el secado. Para secar las muestras congeladas y almacenadas previamente se adaptó un horno artesanal en un mueble comercial tipo vitrina (Figura 14). Se le instaló una repisa para colocar las muestras y se instalaron cuatro bombillos incandescentes de 100 W (dos arriba y dos abajo) y un termostato para controlar la temperatura por debajo de los 55 °C (durante el tiempo de trabajo la temperatura osciló entre los 42 y 53 °C). Las muestras de suelo demoraron entre 1 y hasta

⁷ Se utilizó este tipo de barrenos, de 1 m de largo: <https://en.eijkkamp.com/products/augering-soil-sampling-equipment/single-gouge-auger-set-a.html> Consultado Ago. 2017.

4 días en secarse completamente, dependiendo de su contenido de humedad. Las muestras de material vegetal, por otra parte, demoraron entre 8 y 15 días en secarse completamente. Posterior al secado, las muestras fueron agrupadas y empacadas por transectos, cumpliendo los requisitos de sanidad para el envío internacional de El Salvador a Costa Rica.



Figura 14. Detalle del horno artesanal de convección utilizado para almacenar y secar las muestras de suelo y tejido vegetal recolectadas en los manglares de El Salvador.

5.4 DESAFÍOS ENCONTRADOS EN EL TRABAJO DE CAMPO

Como en todo proyecto de investigación en zonas rurales, se encontraron una serie de desafíos inesperados y que tuvieron que ser solucionados en el transcurso del trabajo de campo. Por ejemplo, debido a lo restringido de la existencia de mangle bajo en el estero de Jaltepeque, solo fue posible ubicar tres sitios. El transecto 9, ubicado en el Cocal de San Marcelino (Anexo 5), se estableció en un parche pequeño de mangle enano, por lo cual se montaron dos transectos paralelos con tres parcelas cada uno. Además, en algunas parcelas no fue posible recolectar las muestras de sedimento hasta los 2 m de profundidad, debido a la alta compactación del sedimento. En el mismo estero las únicas salineras que existen se abandonaron hace aproximadamente 60-70 años, por lo que los sitios identificados ahora están dedicados, uno a la agricultura y los demás se están regenerando poco a poco. En todos estos casos, la ayuda de personas que viven en la cercanía y de los guardarecursos del MARN fue clave para ubicar los sitios apropiados para el muestreo.

En las marismas no fue posible extraer las muestras de suelo hasta los 2 m de profundidad debido a la severa compactación del terreno, ya que estos sitios son habitualmente usados para la ganadería, y a la condición reseca de los suelos. Por lo anterior, en algunas parcelas solo se obtuvo las muestras de sedimento hasta 1 m de profundidad.

Algunos sitios de muestreo se encontraban en zonas conflictivas debido a la presencia de pandillas organizadas. Para trabajar en estos lugares se solicitó el apoyo de la Policía Nacional Civil (PNC) y se accedió al sitio con la presencia de guardarecursos del MARN y líderes de las comunidades o miembros de cooperativas, quienes son conocidos por los pobladores locales.

5.5 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Con los datos recopilados en las parcelas y transectos de muestreo se procedió a analizar la estructura y la diversidad florística, así como las existencias de carbono y su dinámica a lo largo de una serie de tiempo de la cobertura del suelo.

5.5.1 Estructura horizontal y vertical de los manglares

La estructura horizontal de un bosque refleja la distribución de los árboles por clase diamétrica. Está determinada por las características del suelo y del clima, las características y estrategias de las especies y los efectos de disturbios sobre la dinámica del bosque (CATIE 2001). Se calculó el área basal (G) y el número de individuos (N) por hectárea y según su distribución diamétrica y por tipo de mangle (alto, intermedio y enano). Para calcular el área basal de los individuos muestreados, se empleó la siguiente fórmula:

$$G = \sum \left(\frac{\pi}{4} * dap^2 * N \right)$$

G: área basal en m²

dap: diámetro a la altura del pecho, en metros; medido a 1,30 m sobre el suelo

Por otra parte, la estructura vertical es determinada por la distribución de los organismos, tanto plantas como animales, a lo alto del perfil. Se relaciona con las características de las especies que componen el bosque y a las condiciones microambientales presentes en las diferentes alturas del perfil. Las diferencias en el microambiente permiten que especies con diferentes requerimientos de energía, se ubiquen en los niveles que mejor satisfagan sus necesidades (CATIE 2001). La estructura vertical de los bosques se determinó utilizando la metodología IUFRO (Leibundgut 1958; citada por Lamprecht 1990), en la que se distinguen tres estratos de altura:

- **Piso superior:** número de individuos por especie que se encuentran a una altura mayor a dos terceras partes de la altura superior del vuelo del bosque en estudio.
- **Piso medio:** número de individuos por especie que se encuentran entre las dos terceras partes y una tercera parte de la altura superior del vuelo del bosque en estudio.
- **Piso inferior:** número de individuos por especie que se encuentran en una altura menor a un tercio de la altura superior de vuelo del bosque en estudio.

Se realizó un análisis de varianza y una prueba Tukey con un 95% de confiabilidad en el programa estadístico InfoStat versión 2008 para encontrar si existían diferencias significativas entre las medias del número de individuos, el área basal y la estructura de los bosques.

5.5.2 Diversidad florística de los manglares

Para analizar la diversidad florística de las especies presentes en los manglares en ambos sitios de estudio, se calculó el índice de Valor de Importancia (IVI; Curtis y McIntosh 1951), el índice de Shannon-Wiener, el índice de Margalef, el índice cualitativo de Sorensen y el índice de similitud de Jaccard (Cuadro 5). Cada uno de estos índices tienen propiedades particulares y por eso es habitual calcular y reportar varios en un mismo estudio con el propósito de ampliar la base de análisis y las inferencias. Por ejemplo, el IVI se calcula para

cada especie a partir de la suma los valores relativos de abundancia, dominancia y frecuencia. Con este índice es posible comparar el peso ecológico de cada especie dentro del tipo de bosque correspondiente. Así, valores similares para especies indicadoras, sugieren la igualdad o por lo menos la semejanza del rodal en su composición y en sus estructuras (Lamprecht 1990).

Cuadro 5. Fórmulas de los índices utilizados para comparar la composición florística de los manglares en bahía Jiquilisco y estero Jaltepeque, El Salvador.

Índice	Fórmula	Variabes
Índice Valor de Importancia (IVI)	$IVI = \%DR + \%AR + \%FR$	$\%DR \frac{G \text{ de la especie por ha}}{\sum G \text{ de la especie por ha}} * 100;$ $\%AR \frac{\# \text{ individuos de una especie por ha}}{\sum \text{ de individuos de cada especie por ha}} * 100;$ $\%FR \frac{\text{Frecuencia de una especie}}{\text{Frecuencia total para todas las especies}} * 100;$
Shannon-Wiener	$H = -\sum P_i (\ln) P_i$	H= Índice de Shannon-Wiener P _i = Abundancia relativa de cada una de las especies
Índice de Margalef	$D_{MG} = (S-1) / \ln N$	D _{MG} = Índice de Margalef S= número de especies encontradas N= número total de individuos
Índice cualitativo de Sorensen	$S = (2C / (A+B)) * 100$	A= número de especies en la comunidad A B= número de especies en la comunidad B C= número de especies comunes en A y B
Índice de similitud de Jaccard	$I_j = (C / A+B-C) * 100$	A= número de especies en la comunidad A B= número de especies en la comunidad B C= número de especies comunes en A y B

5.5.3 Cálculo de la biomasa y el carbono

La biomasa aérea y de raíces se calculó utilizando ecuaciones alométricas disponibles por especie y estrato del manglar (alto, medio, bajo). Para especies de bosque terrestre o para las que no se encontraron ecuaciones específicas, se utilizaron ecuaciones generales desarrolladas para manglares o bosques pantropicales (Cuadro 6). Para las ecuaciones que requerían un dato de gravedad específica de la madera, se empleó bases de datos mundiales y centroamericanas de densidad de la madera (Chave *et al.* 2006, Zanne *et al.* 2009, Torres 2012; Cuadro 7). La biomasa de los árboles muertos en pie se corrigió multiplicando la biomasa del árbol calculada con el diámetro medido en campo y corregida a partir de la categoría de descomposición antes descrita.

Cuadro 6. Ecuaciones alométricas utilizadas para calcular las existencias de carbono a nivel de ecosistema en los manglares de bahía de Jiquilisco y el estero Jaltepeque, El Salvador.

Manglares altos y medios			
Especie	Ecuación	R ²	Referencia
<i>Rhizophora mangle</i> <i>Rhizophora racemosa</i>	$Bt = 0,1282 * D_R^{2.6}$	0,92	Fromard <i>et al.</i> (1998)
<i>Avicennia germinans</i>	$Bt = 0,14 * D^{2.4}$	0,97	
<i>Laguncularia racemosa</i>	$Bt = 0,1023 * D^{2.5}$	0,97	
Otras especies	$Bt = \rho * \exp(-1,349 + 1,98 * \ln(D) + 0.207 * \ln(D)^2 - 0,0281 * \ln(D)^3)$		Chave <i>et al.</i> (2005)
Manglares bajos o enanos			
<i>Rhizophora mangle</i>	$Bt = 125,9571 * D_{30}^2 * H^{0.8557}$	0,99	Cintrón y Shaeffer-Novelli (1984)
<i>Avicennia germinans</i>	$Bt = 200,4 * D_{30}^{2.1}$	0,82	Fromard <i>et al.</i> (1998)
Biomasa de raíces			
Todas las especies de mangle	$Br = 0,199 * \rho^{0.899} * D_i^{2.22}$		Komiyama <i>et al.</i> (2008)
Demás especies de árboles	$Br = \exp(-1,085 + 0,9256 * \ln(B))$		Cairns <i>et al.</i> (1997)
Madera caída con diámetro < 7,6 cm	$V = \pi * (N_i * D * P * C_i^2) / (8 * L)$		Kauffman <i>et al.</i> (2013)
Madera caída con diámetro ≥ 7,6 cm	$V = \pi * (d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2) / (8 * L)$		Kauffman <i>et al.</i> (2013)

Nota: Bt: biomasa total sobre el suelo (kg), Br: Biomasa de raíces (kg), D: diámetro del tronco a la altura del pecho (cm), D_R: diámetro del tronco medido por encima de la raíz aérea más alta en árboles de *R. mangle* (cm), D₃₀: diámetro del tronco a 30 cm del suelo (cm), D_i: diámetro del fuste a la altura del pecho o diámetro del tronco medido por encima de la raíz aérea más alta en árboles de *R. mangle* (cm), H: altura (m), ρ: densidad de la madera (g/cm³), V: volumen de madera (m³/ha), DPC_i: promedio cuadrático del diámetro de clase i (cm) calculado como $\sqrt{(\sum d_i^2)/n}$, d₁, d₂, d_n: diámetros de las n piezas de madera caída intersectadas (cm), L: longitud del transecto (m), R²: coeficiente de correlación entre la biomasa y la variable independiente.

En el caso de la madera caída, primero se calculó el volumen de las piezas de madera caída (Van Wagner 1968, Brown y Roussopoulos 1974) distinguiendo entre piezas con tamaño ≥ 7,6 cm (Kauffman *et al.* 2013). Este se convirtió en biomasa y luego en carbono multiplicando por un valor de densidad de la madera determinado por su estado de descomposición (Penman *et al.* 2003).

Cuadro 7. Densidades de madera (g/cm³) para especies comunes de mangle y otras especies de árboles presentes en esos ecosistemas y áreas asociadas.

Especie	Densidad de la madera (g/cm ³)			
	Zanne <i>et al.</i> (2009)	Chave <i>et al.</i> (2006)	Torres <i>et al.</i> (2012)	Promedio
<i>Rhizophora mangle</i>	1,05, 0,89, 0,84, 0,904, 0,88, 0,81, 0,91.	0,91		0,899
<i>Rhizophora racemosa</i>	0,88, 0,999, 0,92,	0,88		0,920
<i>Avicennia germinans</i>	0,9, 0,75, 0,67, 0,77, 0,792	0,578		0,743
<i>Laguncularia racemosa</i>	0,600, 0,620	0,61		0,610
<i>Conocarpus erectus</i>	1,00, 0,69,	1,00		0,897
<i>Anacardium occidentale</i>	0,5, 0,42, 0,45, 0,41, 0,431, 0,468.	0,44		0,446
<i>Acacia cornígera</i>	-----	0,72		0,720
<i>Jatropha curcas</i>	0,17	0,17		0,170
<i>Persea americana</i>	0,6, 0,53, 0,516	0,55		0,549
<i>Pithecellobium dulce</i>	0,55, 1, 0,5, 0,86, 0,64, 0,551	0,73		0,805
<i>Achatocarpus nigricans</i>	-----	-----	0,78	0,780

Los valores de la concentración de carbono y nitrógeno (en %) para suelos y muestras vegetales se realizaron en el laboratorio analítico del CATIE, en Costa Rica, mediante el método de combustión seca descrito por Nelson y Sommers (1996). La biomasa calculada por especie se convirtió a carbono multiplicando por la concentración del elemento (47,52 %C para *Rhizophora mangle* y 46,67 %C para *Pelliciera rhizophorae*). Para especies sin un dato específico de concentración de C se usó 0,47, que es el factor más reciente recomendado por el IPCC (Penman *et al.* 2003).

Para calcular el carbono del suelo se multiplicó el contenido de carbono por el intervalo de profundidad, por la densidad aparente correspondiente a ese intervalo. Luego, para obtener el carbono acumulado en el suelo hasta la profundidad máxima de muestreo (1 o 2 m), se sumaron las existencias parciales para todos los intervalos de profundidad muestreados. Para efectos comparativos con otros estudios se usan los valores hasta 1 m de profundidad.

La suma de todos los componentes epigeos del manglar y del carbono acumulado en el suelo constituyen las existencias de carbono a nivel de ecosistema para los manglares y otros usos muestreados en El Salvador. Los datos para todos los componentes del ecosistema se reportan en MgC ha⁻¹ (megagramos o toneladas de carbono por hectárea). Al multiplicar estas existencias por el área de cada cobertura se obtiene el total de carbono para dicha cobertura, a nivel de paisaje.

5.6 ELABORACIÓN DE MAPAS DE COBERTURA DEL SUELO

El análisis de cobertura del suelo se circunscribe a la bahía de Jiquilisco. A continuación, se describe el proceso metodológico desarrollado.

5.6.1 Selección del área de estudio

Para realizar el análisis de cobertura del suelo y de sus cambios se consultaron mapas existentes de uso y cobertura del suelo de El Salvador, así como imágenes que se utilizaron para elaborar dichos mapas. Luego se aisló de manera preliminar el área de manglar por medio de una clasificación no supervisada. Tomando en cuenta que las áreas de manglar se encuentran amenazadas por los usos que la circundan, se procedió a agregar al área de interés una franja buffer de 1 km alrededor de los manglares y de la línea de costa, a excepción del área que limita con el río Lempa, donde el límite lo constituye el mismo río (Figura 15). Esta área se incluyó en el análisis de cobertura y cambio de uso del suelo, no así en el análisis de carbono, a menos que áreas de manglar hayan migrado a algunos de los usos circundantes durante el período de análisis.

5.6.2 Selección y adquisición de escenas satelitales

Para realizar el análisis de uso y cobertura del suelo del área de estudio se buscaron imágenes satelitales disponibles en el sitio *EarthExplorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Para garantizar la uniformidad de la fuente de información espectral, se seleccionaron todas las imágenes de un mismo sensor. Estas debían estar separadas entre sí por un período de tiempo parecido (de preferencia 10 años) y debían proceder de tomas de la misma época del año. A través de una búsqueda preliminar se determinó que las imágenes a utilizar serían de la serie de satélites Landsat. Se seleccionaron las siguientes escenas correspondientes al "Path" 18 y "Row" 51, todas con resolución de 30 m:

- Imagen Landsat 5 TM (Thematic Mapper) del 6 de agosto de 1986
- Imagen Landsat 5 TM (Thematic Mapper) del 29 de noviembre de 1993

- Imagen Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) del 18 de agosto de 2002
- Imagen Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) del 6 de octubre de 2014

5.6.3 Pre-procesamiento de las escenas

Todas las escenas tienen un proceso de Nivel 1, lo que significa que han sido calibradas y ortorrectificadas utilizando puntos de control y modelos de elevación digital para corregirlas por desplazamientos de relieve. Este nivel de proceso es el de más alta calidad que está disponible para análisis de series de tiempo. Sin embargo, aún fue necesario realizar correcciones atmosféricas, reproyectar y cortar las escenas antes de estar listas para el análisis. Los detalles de estos procesos se describen a continuación.

5.6.3.1 Corrección atmosférica

Como las imágenes seleccionadas están prácticamente libres de nubes no hubo necesidad de hacer tratamiento alguno para extraerlas de las imágenes. Sin embargo, para realizar un análisis multitemporal es necesario hacer una corrección atmosférica a cada una de las imágenes.

El método aplicado para hacer la corrección fue el llamado *Quick Atmospheric Correction* o QUAC® del programa ENVI 5.1. El método QUAC determina los parámetros de corrección atmosférica directamente del espectro observado en el pixel en una escena, sin necesidad de información auxiliar. Produce mejores resultados que otros métodos físicos, generando una reflectancia espectral dentro de un rango de aproximadamente 10% de la reflectancia real en la superficie (Bernstei 2012).

QUAC® está basado en el hallazgo empírico que establece que la reflectancia promedio del espectro de diversos materiales (excluyendo los materiales altamente estructurados como la vegetación, agua poco profunda y lodo) no son dependientes entre sí en cada escena. Además, permite realizar el proceso para cualquier ángulo de visión o de elevación del sol. Aun cuando el sensor tiene una apropiada calibración radiométrica o si la intensidad de la iluminación solar es desconocida, el método puede recuperar una reflectancia espectral siempre y cuando haya al menos 10 materiales diferentes en la escena y existan suficientes pixeles oscuros para permitir una buena estimación base del espectro.

5.6.3.2 Reproyección de escenas

Una vez corregidas las imágenes, las escenas se reproyectaron al sistema de coordenadas de la República de El Salvador, utilizando el programa ENVI 5.1. Las imágenes originales están georreferenciadas al sistema *Universal Transversal de Mercator* (UTM), zona 16 Norte y datum WGS84. Por su parte, El Salvador utiliza una proyección propia basada en la proyección *Lambert Conformal Cónica*. El proceso de reproyección asegura la consistencia geográfica de todos los elementos de los mapas respecto de la cartografía base del país. Para evitar la variación de la reflectancia de los pixeles las imágenes fueron remuestreadas utilizando el algoritmo de vecino más próximo (*Nearest Neighbor*).

5.6.3.3 Cortado de escenas

Cada imagen fue cortada tomando como base el polígono que define el exterior del área *buffer* ilustrada en la Figura 15. Para mantener una perfecta coincidencia entre los pixeles de las imágenes, se escogió la opción que impide que se fuerce el cambio de la estructura de las escenas de entrada, cosa que puede

ocurrir cuando se corta un polígono utilizando un elemento ráster. Esto garantiza la integridad de las áreas definidas en cada escena.

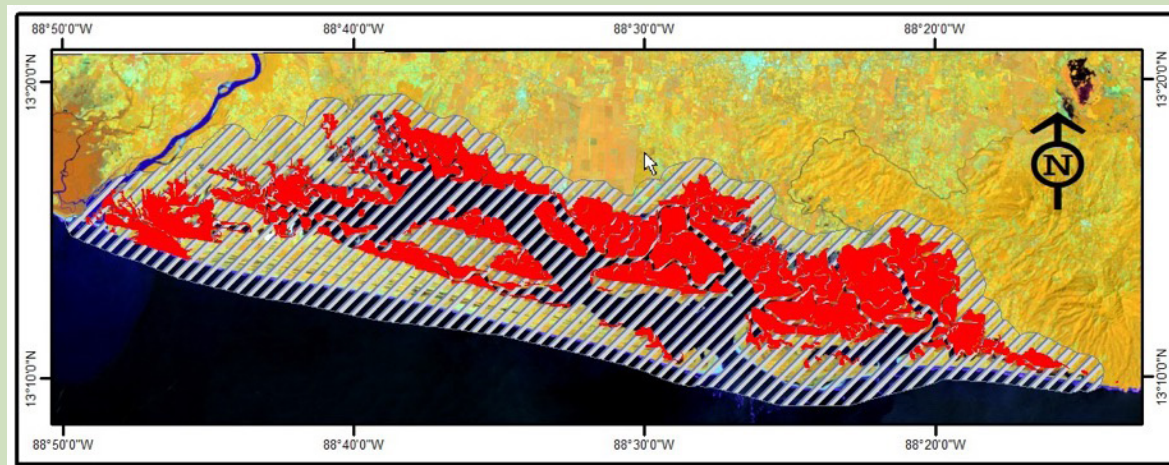








Figura 15. Delimitación del área de estudio para determinar la cobertura del suelo en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, mostrando un buffer de 1 km (polígono rayado) alrededor de los límites de la bahía (polígono rojo).




5.6.4 Definición de la leyenda

Antes de realizar cualquier proceso de clasificación de las imágenes, es necesario definir una leyenda para establecer las categorías en las que se clasifica la imagen. Dado que este trabajo tiene un muy específico objetivo como lo es el mapeo de las áreas cubiertas con bosque de mangle, se procedió a elaborar una leyenda con 12 categorías (Cuadro 8), basada principalmente en el sistema *CORINE Land Cover* (Gallo 2005). Este sirvió de base para el mapa de uso del suelo de El Salvador, elaborado por el MARN en 2002, por lo que el presente trabajo es consistente con esfuerzos nacionales previos. A pesar de que en el campo se distinguieron varias categorías de manglar (alto, medio, bajo) y de otras coberturas (salineras y camaronerías, por ejemplo), la resolución espectral de las imágenes no permitió hacer esa separación, así que dichas categorías fueron combinadas para los análisis posteriores (ver Sección 5.7).

Cuadro 8. Leyenda para la clasificación de cobertura/uso del suelo en zonas marino-costeras y áreas aledañas en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.

Identificador	Cobertura/Uso	Imagen
1	Bosque siempre verde	
2	Bosque mixto semicaducifolio	
3	Mangle denso (alto/medio)	

Identificador	Cobertura/Uso	Imagen
4	Mangle bajo (enano)	
5	Otros humedales (marismas, praderas pantanosas)	
6	Plantaciones de palma o coco	

Identificador	Cobertura/Uso	Imagen
7	Agropecuario (mezcla de cultivos y pastos)	
8	Urbano/Suelo desnudo	
9	Camaronera/ salinera	

Identificador	Cobertura/Uso	Imagen
10	Dunas, arena	
11	Cuerpos de agua	
12	Vegetación arbustiva	

5.6.5 Validación de campo

Previo a la clasificación de las imágenes se realizó una gira de reconocimiento al área de estudio para establecer la posible ubicación de puntos de control para la clasificación. Luego se realizó una visita adicional, especialmente enfocada en las áreas de mangle, para levantar puntos de control de campo. Se recolectó un total de 32 puntos de control (Anexo 3), que no cubrieron el 100% del área de estudio porque ciertas porciones de la misma son inaccesibles. Como este número de puntos resultó insuficiente para hacer una evaluación de la precisión de la clasificación, se generó un set de 148 puntos al azar sobre el área de estudio

(Anexo 3, Figura 7) y se procedió a interpretarlos sobre fotografías de alta resolución de *Google Earth*. El número de puntos interpretados fue de 148, cuya ubicación se presenta en el mapa del Anexo 2.

5.6.6 Clasificación de las escenas

Cada una de las escenas de las diferentes fechas se clasificó utilizando el programa *ECognition Developer 9*®. El método utilizado para la clasificación fue el de Clasificación Orientada a Objetos (OBIA, por sus siglas en inglés). Este método identifica *objetos* en la imagen (o *segmentos*), que son grupos de píxeles espacialmente contiguos con textura, color y tono similares (MacLean y Congalton 2012). La literatura con respecto a la aplicación de esta metodología en manglares y otro tipo de cobertura es abundante (Reddy y Roy 2008; Laongmanee *et al.* 2013; Ahmad 2012; Chaves 2008; Chen *et al.* 2013; Dow 2008, Elmahdy *et al.* 2013; Heumann 2011a y 2011b, Hirata *et al.* 2010; Hussain *et al.* 2013, Lopez *et al.* 2013, Luo *et al.* 2013, Myint *et al.* 2008, Nguyen *et al.* 2013, Rabiatal *et al.* 2012, Sremongkontip *et al.* 2000, Yuvaraj *et al.* 2014 por lo que consideramos que es una opción robusta para la clasificación de las escenas.

Esta solución permite considerar la forma, tamaño y contexto, así como el contenido espectral de los objetos. Además, el método toma en cuenta que las relaciones entre los objetos pueden jugar un rol importante en su identificación y la clasificación. Los métodos orientados a objetos son a menudo mucho más efectivos que los métodos basados en píxeles cuando se clasifican imágenes de alta resolución, ya que conforme la resolución espacial se incrementa, mayor variabilidad podría haber en los píxeles que pertenecen a la misma clase. La consideración de grupos de píxeles como objetos supera la incrementada complejidad de una escena de alta resolución debido a las sombras, cambios en la densidad de la vegetación, o firmas espectrales similares de elementos distintos.

Los objetos son una unidad de clasificación más poderosa que los píxeles ya que pueden ser delineados para corresponder con elementos físicos en el paisaje. Los píxeles, por otro lado, son *cajas* arbitrarias de contenido espectral. Los clasificadores orientados a objetos imitan de manera más cercana los elementos interpretados manualmente (Figura 16). De esta forma, los objetos creados por medio de la segmentación tienen tamaños y formas que pueden ser cuantificados, como podría ser la distancia de un tipo de objeto a otro (por ejemplo, un píxel que contiene la firma espectral puede estar cerca de un río o en el centro de una isla).

El análisis de clasificación orientado a objetos se dividió en tres pasos: la segmentación, la creación de las clases generales y las reglas de clasificación (Figura 17). Durante el primer paso los segmentos de imagen se definieron y calcularon. Los parámetros se definen por la escala, las propiedades espectrales y las propiedades de forma. Esta segmentación tiene que ser calculada en varios niveles jerárquicos en un proceso de *prueba y error*, para que al final se obtenga una imagen que represente los segmentos de los objetos de interés. El resultado de la clasificación es un archivo vectorial en formato shapefile de ESRI®, que contiene las clases definidas durante el proceso anterior.

5.6.7 Post-proceso de las imágenes clasificadas

Una vez clasificados los *shapes* (archivos de cobertura) con el procedimiento anterior, se realizó un post-proceso de los mismos. Por ejemplo, debido a que en el proceso de segmentación y clasificación se obtuvieron subclases de una misma clase (por ejemplo, agua profunda y agua superficial), se procedió a fusionar (*merge*) las subclases en la categoría de leyenda correspondiente.

Aunque el procedimiento utilizado evita el efecto de *sal y pimienta* (píxeles de una clase aislados o embebidos en otra clase), que es común en las clasificaciones basadas en píxeles, fue necesario hacer algunas correcciones manuales a la clasificación para eliminar efectos de borde en algunos de los polígonos y para corregir principalmente áreas de tejido urbano que son difíciles de aislar. Luego de aplicar estas correcciones se procedió a calcular las áreas de los polígonos de cada una de las clases y a generar las tablas de resumen de la clasificación de la cobertura del suelo resultante para cada fecha.

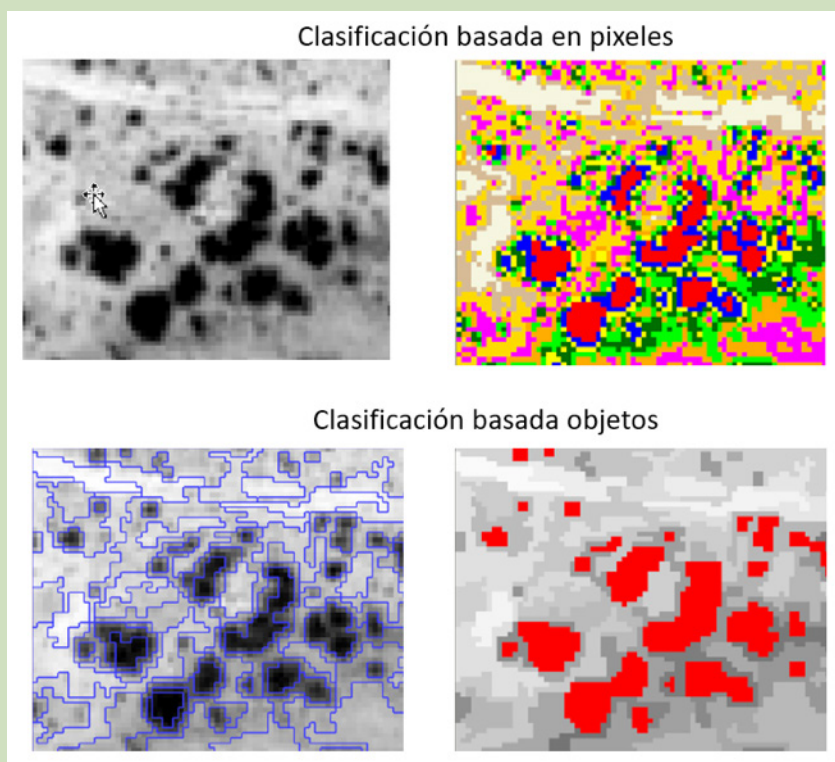


Figura 16. Comparación visual de las diferencias entre la clasificación basada en píxeles (arriba) y la basada en objetos (abajo).

5.6.8 Evaluación de la clasificación del año 2014

Solamente se hizo la evaluación de la clasificación de la cobertura para el 2014, pues es para la que se cuenta con información de campo. Una vez clasificadas las imágenes se procedió a trazar una zona *buffer* de 60 m alrededor de cada uno de los puntos de control de campo. Estos *buffer* fueron luego convertidos a formato ráster con los códigos identificadores de cobertura que coinciden con los códigos de la imagen clasificada. Utilizando el *Semi-automatic Classification Plugin* (SSP) de QGIS se calculó la matriz de confusión y las estadísticas respectivas.

En esta matriz, la exactitud del usuario muestra falsos positivos, donde los píxeles se clasifican incorrectamente como una clase conocida, cuando deberían haberse clasificado como algo diferente. Un ejemplo podría ser donde la imagen clasificada identifica un píxel como mangle, pero la referencia lo identifica como bosque. En este caso, la clase mangle tiene píxeles extra que no debería tener según los datos de referencia. La exactitud del usuario también se conoce como *errores de comisión* o *errores de*

tipo 1. Los datos para calcular esta tasa de error se leen en las filas de la tabla. En la fila Total se muestra el número de puntos (o píxeles), los cuales deben haber sido identificados como una clase dada, según los datos de referencia.

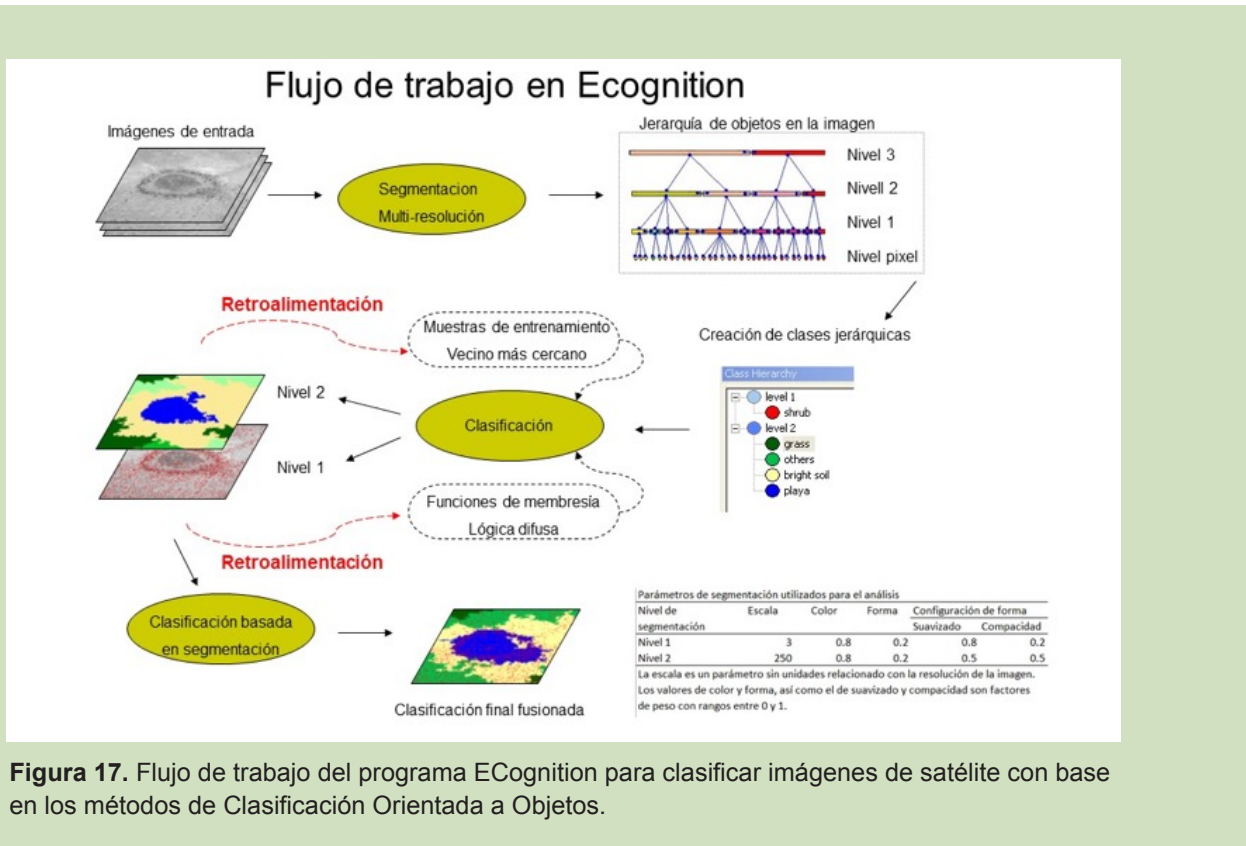


Figura 17. Flujo de trabajo del programa ECognition para clasificar imágenes de satélite con base en los métodos de Clasificación Orientada a Objetos.

Por otro lado, la exactitud del productor es un falso negativo, donde los píxeles de una clase conocida se clasifican como algo diferente a una clase. Un ejemplo podría ser donde la imagen clasificada identifica un píxel como bosque, pero en realidad debería ser mangle. En este caso, a la clase mangle le faltan píxeles según los datos de referencia. La exactitud del productor también se conoce como *errores de omisión* o *errores de tipo 2*. Los datos para calcular esta tasa de error se leen en las columnas de la tabla. En la columna Total se muestra el número de puntos (o píxeles) que se identificaron como una clase dada, según el mapa clasificado.

Para realizar una evaluación global de la exactitud de la clasificación se utilizó el índice de concordancia *Kappa* (Pontius 2000, Pontius *et al.* 2004). A diferencia de la proporción de celdas correctamente clasificadas, cuyo rango de valores se sitúa entre 0 y 1, el índice *Kappa* puede tomar valores desde -1 a 1. El valor 1 indica una concordancia completa, mientras que el -1 define una correlación de signo negativa. Valores alrededor de 0 indican que no existe correlación entre las capas. Valores por encima de 0,75 indican en general una muy buena correlación

5.7 ANÁLISIS DE CAMBIOS DE COBERTURA

La clasificación de las cuatro fechas de las escenas genera tres períodos de análisis de cambio de cobertura/ uso: 1986-1993, 1993-2002, 2002-2014. Para hacer el análisis de cada período se procedió a combinar los

shapes para obtener una combinación única de acuerdo con el tipo de cambio o transición que se observe en cada período. Es así como puede darse el caso de aquellos polígonos donde la cobertura permanece sin cambio (aunque no es posible establecer si ha habido algún tipo de degradación), las cuales designamos como áreas de persistencia. Luego tenemos las áreas donde se da un cambio de la cobertura original hacia otros tipos de cobertura, que son las áreas que se denominan como de pérdida. Por último, tenemos las áreas en donde la cobertura se incrementa por aporte de otro tipo de cobertura (áreas de ganancia). Por último, tenemos la ganancia/pérdida neta que resulta de la diferencia entre el área ganada y el área perdida para un mismo tipo de cobertura. Así puede establecerse la tasa anual de cambio (pérdida o ganancia) que ha sufrido una determinada cobertura.

Se aplicaron dos fórmulas matemáticas utilizadas para calcular la tasa anual de cambio para la cobertura de mangle, de tal manera que permita la comparación con otros estudios. La primera ecuación es la utilizada por FAO (FAO 1996), misma que es equivalente a la tasa de interés utilizada en los cálculos financieros:

$$s = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{1/(t_2 - t_1)} - 1$$

La segunda (Puyravaud 2003) tiene un significado matemático y biológico, es decir, es utilizada para cálculos financieros de interés compuesto, pero al mismo tiempo, no subestima la tasa anual de deforestación cuando los cambios son grandes y acelerados. Esta fórmula arroja valores más altos que la tasa sugerida por FAO cuando la deforestación es más alta, ya que toma en cuenta la pérdida de los recursos forestales y su implicación en la parte biológica de estos ecosistemas (Peralta-Rivero *et al.* 2015):

$$r = \frac{1}{t_2 - t_1} \times \ln \frac{S_2}{S_1}$$

En las ecuaciones, “s” y “r” son las tasas de cambio. S_1 es la superficie al inicio del periodo, S_2 es la superficie al final del periodo, t_1 año de inicio del periodo y t_2 el año final del periodo. Para expresar los valores en porcentaje, el resultado debe ser multiplicado por 100. Esta tasa expresa el cambio en términos de porcentaje de la superficie al inicio de cada año. Este procedimiento fue aplicado para cada una de las clases de tal manera que todos los resultados reflejen todas las transiciones con respecto al cambio de la cobertura del suelo.

Para representar los resultados se construyeron matrices de tabulación cruzada o matrices de cambios que resultan de la intersección de los mapas de dos fechas consecutivas (tiempo 1 y tiempo 2). En dicha matriz las filas representan las categorías del mapa en el tiempo 1 y las columnas las categorías del mapa en el tiempo 2 (Cuadro 9). De acuerdo con Pontius *et al.* (2004), la matriz permite distinguir las transiciones de las diferentes clases evaluadas y detectar los cambios de la cobertura del suelo y hacer un análisis de los patrones reales que llevan estos cambios.

Cuadro 9. Matriz de tabulación cruzada o “matriz de cambio” para dos mapas de diferentes fechas.

Tiempo 2						Total tiempo 1 Pérdidas	
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría n		
Tiempo 1							
Categoría 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	..... P_{1n}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	..... P_{2n}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
Categoría 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	..... P_{3n}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
Categoría 4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	..... P_{4n}	P_{4+}	$P_{4+} - P_{44}$
Categoría n	P_{n1}	P_{n2}	P_{n3}	P_{n4}	..... P_{nn}	P_{n+}	$P_{n+} - P_{nn}$
Total tiempo 2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	P_{+n}	P	
Ganancia	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$	$P_{+n} - P_{nn}$		

Fuente: Elaboración propia, basada en Pontius *et al.* (2004).

5.8 FLUJOS HISTÓRICOS DE EMISIONES

Para determinar los flujos históricos de emisiones de cualquier ecosistema son necesarios dos tipos de datos: primero, la cobertura del uso del suelo y cómo cambia entre dos fechas (estos son los llamados *datos de actividad*) y segundo, las existencias de carbono medidas en las coberturas bajo análisis (de las cuales se derivan los *factores de emisión* para cada transición entre dos categorías de cobertura a través del tiempo). Los datos de actividad se obtuvieron mediante los procesos descritos en la Sección 5.4 y 5.5, al comparar las coberturas entre las diferentes fechas de estudio. Los factores de emisión se determinaron con base en las mediciones de campo realizadas en este proyecto (ver Secciones 5.6 y 5.7) o a partir de datos publicados en la literatura científica (Jobse 2009, CDIAC sf, Ranasinghe & Thimothias 2012). Dichos factores de emisión se derivan de la diferencia entre las existencias de carbono de la cobertura original y la cobertura hacia donde se da un cambio con el tiempo.

En este estudio, los datos utilizados para el modelaje de emisiones corresponden a mediciones sobre el total del ecosistema. Estas mediciones se realizaron solo hasta 1 m de profundidad, porque esta es la profundidad máxima común entre todos los sitios y, además, es la que permite comparar directamente con otros estudios. Por otra parte, se estableció que la categoría de mangle denso corresponde a los estratos alto e intermedio y el mangle ralo, al mangle enano, debido a que en el análisis de la dinámica de la cobertura no se hizo diferencia entre mangle alto, intermedio y bajo, sino que se categorizó como mangle denso y ralo. Las reservas de carbono de los dos primeros estratos fueron promediadas, por lo que el valor utilizado podría subestimar las reservas de carbono existentes. Se procedió de forma similar para los estratos de camaronera y salinera, que en el análisis de cobertura se combinaron en una sola categoría.

Para realizar el balance de emisiones, primero se superpusieron los mapas de pérdidas y ganancias de mangle para el periodo 1986-2014, a los usos del suelo correspondientes (con épocas que abarcan los periodos 1986-1993, 1993-2002 y 2002-2014). Luego, a través de esas matrices de transición resultantes se determinó la dirección y la magnitud de los cambios en la cobertura; es decir, se determinó si un

pixel cambió de mangle a marisma, o de usos agropecuarios a mangle, por ejemplo. Posteriormente, se consideraron solo las transiciones entre camaronera/salinera, mangle alto+intermedio, mangle bajo y marismas; no así para los estratos que están fuera del área de los manglares. Además, para cada una de las áreas de las transiciones observadas se calculó la diferencia neta de la existencia de carbono al inicio y al final de cada periodo de análisis (que puede ser negativa/pérdida o positiva/ganancia). Esta operación constituye el *factor de emisión* de carbono para una transición determinada; el proceso se repite para todas las transiciones. El balance de emisiones se calculó como una suma algebraica entre los valores de emisiones o remociones producto del conjunto de transiciones en el área de estudio. Finalmente, el carbono se convirtió a dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) multiplicando por el factor 3,67 (Penman *et al.* 2003).

5.9 FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES TÉCNICAS Y LOCALES

Uno de los compromisos adquiridos por el CATIE ante el MARN fue fortalecer las capacidades entre sus funcionarios, técnicos nacionales y personas locales de las comunidades donde se desarrolló el trabajo de campo. Este proceso se realizó en dos momentos entre 2014 y 2015.

En primera instancia, en 2014, durante las labores de campo en la bahía de Jiquilisco se contrató personal de la zona y además se contó con el apoyo de personal del MARN en Puerto Parada, La Canoa y Montecristo. Un total de 12 personas fueron capacitadas en Jiquilisco bajo la metodología de *entrenamiento en servicio* en el quehacer del proyecto. Así, después de una corta inducción teórica, se integraron directamente en las labores de campo, para *aprender haciendo* cómo establecer las parcelas, utilizar instrumentos forestales para medir la talla de los árboles del manglar, recolectar muestras, etc.

Posteriormente, en abril de 2015 se llevó a cabo un curso-taller teórico-práctico de cuatro días, con el objetivo de fortalecer las capacidades nacionales para llevar a cabo inventarios forestales de carbono en manglares, caracterizar su dinámica histórica utilizando imágenes de satélite y métodos de Sistema de Información Geográfica (SIG), con la intención de apoyar procesos locales de gestión sostenible de estos ecosistemas y asegurar el fortalecimiento de la provisión de servicios ecosistémicos y bienestar humano. El curso-taller fue dictado por expertos internacionales de CATIE en coordinación con la Facultad de Agronomías de la Universidad de El Salvador (UES), mediante una combinación de charlas magistrales, ejercicios prácticos y trabajo de campo. Estas actividades tuvieron como fin ilustrar conceptos, herramientas y técnicas relevantes para la cuantificación y el monitoreo del carbono azul en manglares. En total, 34 técnicos nacionales se capacitaron en los siguientes temas:

1. Antecedentes globales y centroamericanos acerca del carbono azul
2. Diseño y ejecución de inventarios forestales de carbono en manglares
3. Manejo de datos y cálculos de existencias de carbono
4. Técnicas geoespaciales para caracterizar la dinámica de uso y cambio de uso de la tierra de los manglares y áreas aledañas
5. Nociones de modelado de emisiones asociadas a la dinámica de uso de la tierra
6. Técnicas de inventarios forestales de carbono en el campo

6. RESULTADOS

El trabajo de campo y los análisis geográficos realizados nos permitieron caracterizar el paisaje marino-costero del Bajo Lempa y los ecosistemas que ahí prevalecen. En esta sección describimos los principales hallazgos relacionados con la estructura horizontal y vertical de los manglares, su composición florística, la cobertura/uso del suelo y su dinámica histórica entre 1986 y 2014, y la cuantificación de las existencias de carbono a nivel de ecosistema y paisajes de los ecosistemas y coberturas encontradas. Con base en esa información calculamos la magnitud de los flujos de dióxido de carbono, con énfasis en la bahía de Jiquilisco.

6.1 ESTRUCTURA HORIZONTAL DE LOS BOSQUES DE MANGLAR

En general, encontramos que los manglares presentan características de ecosistemas naturales estables, pese a los impactos de uso que se dan a partir de las poblaciones aledañas.

6.1.1 Densidad de árboles (n/ha)

En general, los datos encontrados sugieren que los manglares estudiados en este proyecto tienen una distribución horizontal similar a otros inventariados en la costa Pacífica y Caribe de la región, desde Yucatán (Zaldivar *et al.* 2004, citados por Manrow 2011), y Costa Rica (Manrow 2011, Cifuentes Jara *et al.* 2017) hasta Palau y Yap en Micronesia (Kauffman y Cole 2010, Kauffman *et al.* 2012).

El manglar alto de la bahía Jiquilisco presentó una densidad de 496 n/ha y el del Estero Jaltepeque 709 n/ha. Los manglares con mayor densidad de árboles son los de porte bajo en ambas áreas de estudio. En ambos manglares se encontró a la mayoría de los individuos en las primeras clases diamétricas. En la bahía de Jiquilisco el 66,8% (331 n/ha) de los árboles están en las primeras tres clases diamétricas, es decir, hasta los 20 centímetros de diámetro, mientras que en el estero Jaltepeque el 77,86% (552 n/ha) de los individuos se ubican en esas clases (Figura 18). Todas estas diferencias son estadísticamente significativas ($\alpha = 0,05$; Anexo 9).

Por otra parte, la distribución diamétrica encontrada en los tres estratos de manglar (alto, medio, bajo) medidos en la bahía de Jaltepeque y el estero de Jiquilisco, se asemeja a una *jota invertida* (Figura 18, Figura 19 y Figura 20). Esta es la distribución típica en un bosque tropical, donde la mayor cantidad de árboles se concentra en las clases diamétricas inferiores y muy pocos en los diámetros mayores. Esta es una característica de los bosques donde la regeneración es suficientemente abundante para sustituir a los árboles grandes cuando mueren. En este sentido, aunque los manglares pudieran estar intervenidos, aprovechados, o hasta degradados, naturalmente el rendimiento sostenido está asegurado (Lamprecht 1990).

En el estero Jaltepeque los árboles del mangle alto no sobrepasan en promedio los 65 cm de dap, mientras que en bahía Jiquilisco se encontraron árboles de hasta 79,9 cm de dap (Figura 18). No obstante, en el estero Jaltepeque se encontró el doble de individuos en la clase diamétrica de 5-10 cm (384 n/ha, 54,2% del total) que en bahía Jiquilisco (188 n/ha, 38% del total).

En bahía Jiquilisco los árboles de mangle intermedio no sobrepasan los 40 cm de diámetro, mientras que en estero Jaltepeque se encontraron individuos que midieron más de 42 cm de diámetro (Figura 19). La densidad de individuos de mangle en bahía Jiquilisco es significativamente mayor ($\alpha = 0,05$) que en el estero de Jaltepeque (1973 n/ha en Jiquilisco y 1510 n/ha en Jaltepeque; Anexo 11). En ambos sitios, la mayoría de

los individuos se ubicó en las primeras clases diamétricas; el 97,37 % de los árboles en bahía de Jiquilisco estaban en las primeras dos clases diamétricas, es decir, hasta los 15 cm de diámetro. En el estero de Jaltepeque el 93,55 % (1413 n/ha) de los individuos se encontró en esa misma categoría. En la primera clase diamétrica (5-10 cm), se contabilizaron 1713 n/ha (86,83 % del total) en Jiquilisco y 1107 n/ha (73,30 % del total) en el estero de Jaltepeque.

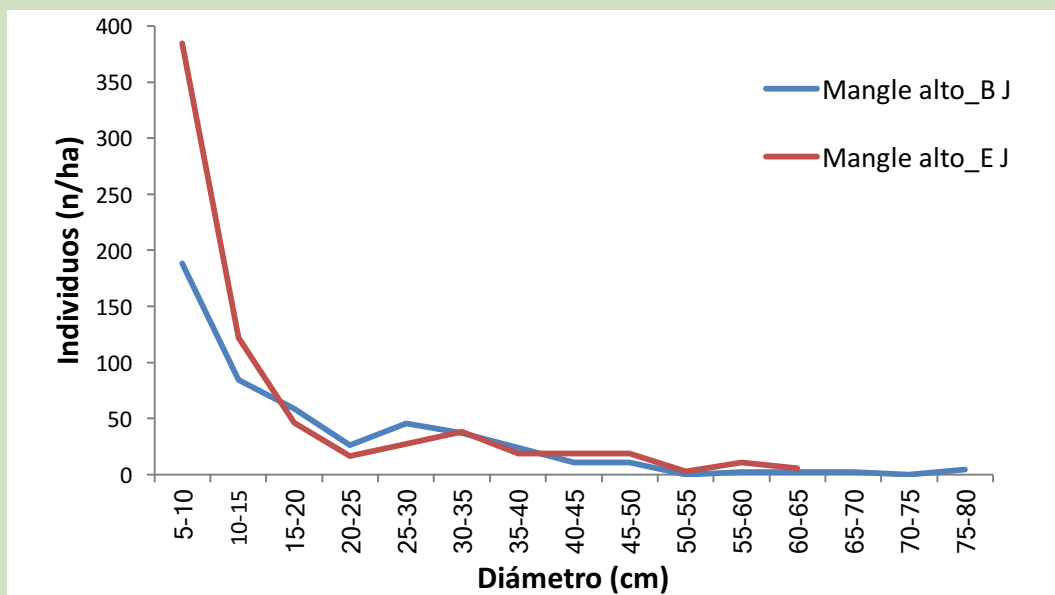


Figura 18. Distribución diamétrica del número de individuos por hectárea (n/ha) de los manglares altos ubicados en bahía Jiquilisco (B J) y estero Jaltepeque (E J), El Salvador.

En bahía Jiquilisco los árboles del mangle enano no sobrepasan los 20 cm de diámetro. En cambio, en estero Jaltepeque se encontraron individuos que midieron más de 36 cm de diámetro (Figura 20). En ese mismo sitio, el 81% de los árboles que sobrepasaron los 15 cm de diámetro fueron de la especie *Avicennia germinans*. Por otra parte, hay diferencias significativas en la densidad de individuos en ambos sitios ($\alpha = 0,05$, Anexo 11). El mangle enano de la bahía Jiquilisco presentó 11 043,26 n/ha y el situado en estero Jaltepeque 4561,66 n/ha. En bahía de Jiquilisco se encontró que la mayoría de los individuos (99,8%, 11 022 n/ha) están en las clases diamétricas < 10 cm. En el estero Jaltepeque esa proporción es similar, aunque un poco menor (92,09% o 4201 n/ha). Además, en bahía de Jiquilisco la densidad de individuos en la categoría diamétrica de 0-5 cm, también fue tres veces mayor que en el estero Jaltepeque (10 511 versus 3392 n/ha, respectivamente). Esa misma categoría diamétrica representó el 95,18% del total de individuos en Jiquilisco y un 74,37% del total en el estero de Jaltepeque.

6.1.2 Área basal (m^2/ha)

La Figura 21 resume la distribución del área basal por clase diamétrica de los manglares altos, intermedios y enanos. El mangle alto de bahía Jiquilisco presentó un área basal de 19,78 m^2/ha y el de estero Jaltepeque 22,57 m^2/ha . En los manglares intermedios de bahía Jiquilisco y estero Jaltepeque se encontraron 10,81 y 10,78 m^2/ha de área basal, respectivamente. Los manglares enanos presentaron 6,48 y 12,57 m^2/ha en bahía

Jiquilisco y estero Jaltepeque, respectivamente. No encontramos diferencias significativas ($\alpha= 0,05$; Anexo 12) en el área basal entre mangles altos, ni para mangles intermedios, pero se halló diferencias para los manglares enanos.

En particular, el mangle enano encontrado en estero Jaltepeque presentó una talla mayor, que inclusive podría confundirse con el mangle intermedio. Estos valores de área basal son coincidentes con los encontrados en otros sitios de estudio, sin embargo, tienden a ser menores que esos. Por ejemplo, en el Caribe costarricense Manrow (2011) reportó área basal alrededor de 26,35 m²/ha. Además, en los manglares de la bahía Chengue (Caribe de Colombia), río Celestún (México) y en el archipiélago de sabana Camaguey (Cuba) se encontraron áreas basales de 17,3, 23,6 a 41,5 y 59,02 m²/ha, respectivamente (Rodríguez *et al.* 2004, Zaldivar *et al.* 2004 y Meléndez *et al.* 2006; citados por Manrow 2011). Esta diferencia puede deberse a diferencias en el estado de conservación o degradación de los manglares entre los distintos sitios, a combinaciones particulares de especies, a la geomorfología del sitio, o a gradientes biogeográficos (Rovai *et al.* 2015).

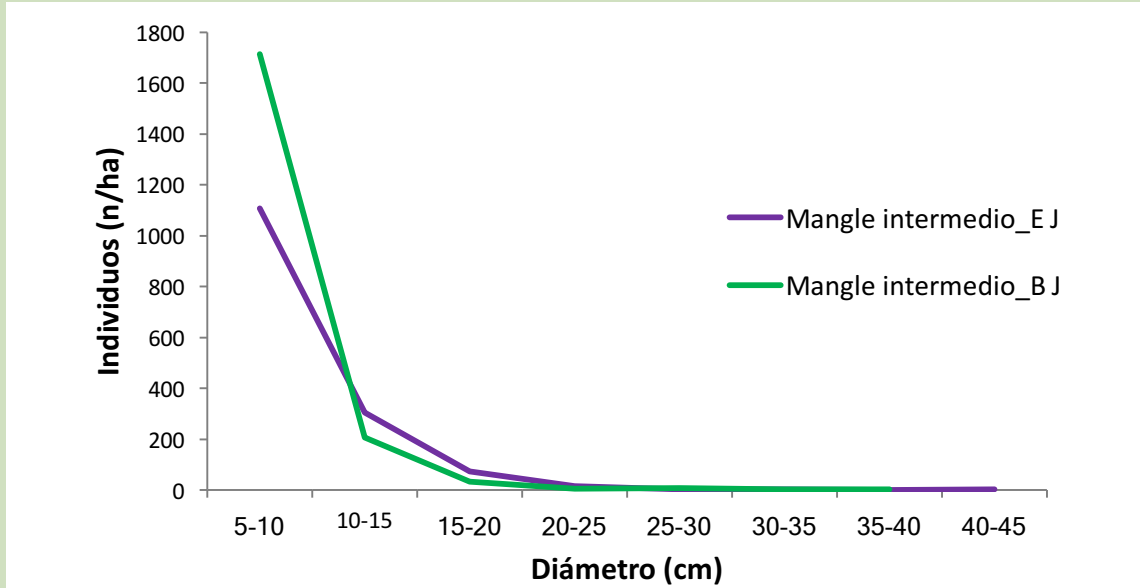


Figura 19. Distribución diamétrica del número de individuos por hectárea de los manglares intermedios ubicados en bahía Jiquilisco (B J) y estero Jaltepeque (E J), El Salvador.

Los individuos de los manglares altos agruparon las mayores áreas basales en las clases diamétricas intermedias (25 a 50 cm). En las clases diamétricas superiores (dap > 55 cm) se encontró un área basal significativa, debido a la presencia de varios árboles con diámetro considerable. En contraste, los manglares intermedios reunieron las mayores áreas basales en las primeras clases diamétricas (5 a 10 y 10 a 15 cm). En particular, el mangle intermedio en bahía Jiquilisco presentó 6,80 m²/ha de área basal (62,86% del total) en la clase de 5 a 10 centímetros y, conforme aumentó el diámetro, decreció el área basal. Esta distribución sugiere una dinámica alta entre individuos por alcanzar el dosel superior (Santander 1980, Alpizar 1981, Brenes 1986 y Ortiz 1985; citados por Vílchez *et al.* 2004).

Los mangles enanos tuvieron un comportamiento diferente, lo que concuerda con las diferencias significativas encontradas, ya que en bahía de Jiquilisco se halló la mayor área basal en la primera clase diamétrica (0 a 5 cm) y decreció considerablemente conforme el diámetro aumentó. En cambio, en el estero de Jaltepeque las mayores áreas basales se presentaron en las primeras cuatro clases diamétricas.

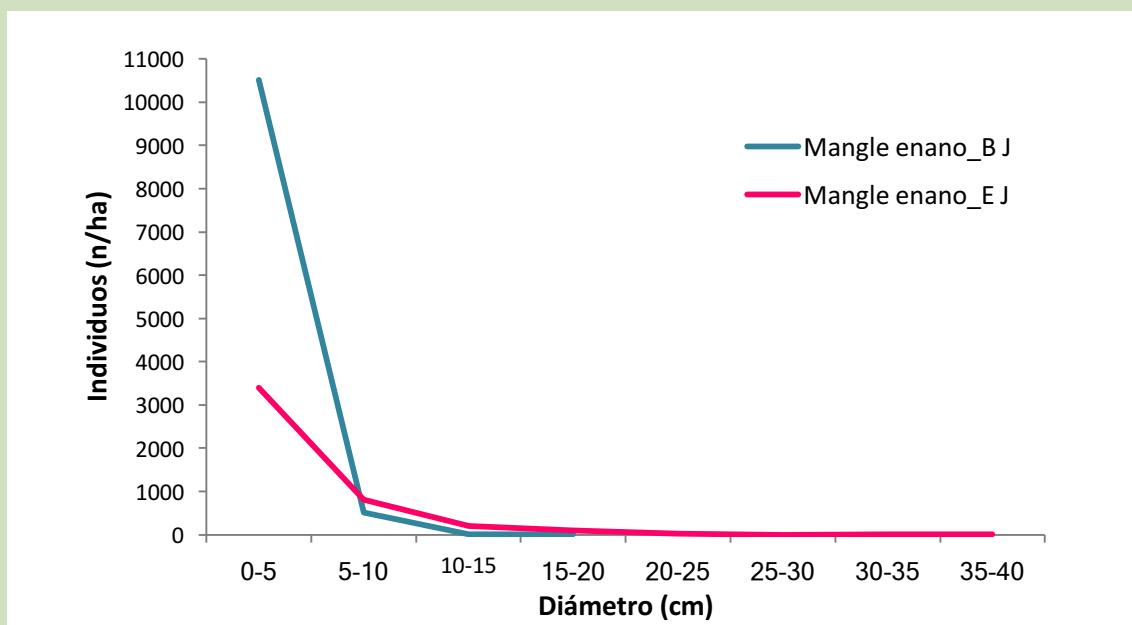


Figura 20. Distribución diamétrica del número de individuos por hectárea de los manglares enanos ubicados en bahía Jiquilisco (B J) y estero Jaltepeque (E J), El Salvador.

6.2 ESTRUCTURA VERTICAL

El MARN (2008) menciona que hay diferencias entre la zona occidental y oriental del estero Jaltepeque en cuanto al desarrollo del *bosque salado*. La primera se caracteriza por árboles bajos y menor biomasa, así como una mayor presión antrópica. La zona oriental, desde la bocana del río Lempa, hasta la zona donde se recibe abundante agua dulce de la microcuenca del río Guayabo, presenta rodales muy desarrollados y mayor biomasa. Esta descripción es consistente con los resultados obtenidos y descritos a continuación, y además con la distribución de los sitios de muestreo de mangle alto cerca de la desembocadura del río Lempa (Figura 5 y Figura 6).

En general, los manglares se caracterizan por formar rodales monoespecíficos o mixtos, con árboles de tamaños similares y alturas medias que rondan entre 7 y 15 m (Bossi y Cintrón 1990, Rodríguez *et al.* 2004, Meléndez *et al.*, 2006, Zaldivar *et al.* 2004; citados por Manrow 2011). En promedio, en este estudio encontramos un rango mucho más amplio de altura que en los estudios anteriores. Por ejemplo, los manglares enanos varían en promedio entre 1,95 y 3,45 m en la bahía de Jiquilisco y en el estero de Jaltepeque. Por su parte, los manglares intermedios en los mismos sitios tienen una altura de 6,7 m (para ambos sitios), y los altos oscilan entre 12,3 y 16,2 m, en Jaltepeque y Jiquilisco, respectivamente. En contraste, en el Caribe de

Costa Rica se encontraron alturas promedio de 10 - 12 m (Manrow 2011), lo que es esperable, pues refleja la mayor homogeneidad en la estructura de esos manglares muestreados en un solo sitio, en comparación con la amplitud geográfica y heterogeneidad de este estudio. Al considerar los pisos de vuelo de los manglares, podemos observar una mayor heterogeneidad en los datos, pues consideramos el rango completo de alturas. Puntualmente, en la bahía de Jiquilisco el piso inferior presentó una altura entre 0 y 10,67 m, el piso medio entre 10,67 y 21,33 m y el piso superior entre 21,33 y 32,00 m. En el estero de Jaltepeque medimos alturas similares, pero inferiores a las anteriores: 0 y 9,33 m para el piso inferior, entre 9,33 y 18,67 m para el intermedio y entre 18,67 y 28,00 m para el piso superior.

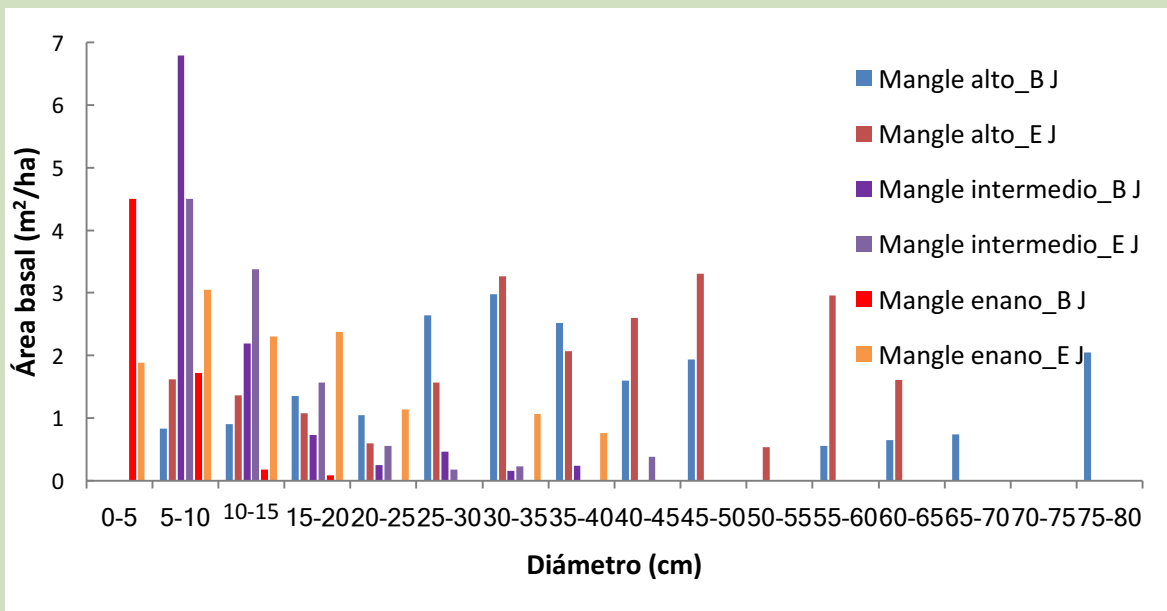


Figura 21. Distribución diamétrica del área basal por hectárea de los manglares ubicados en bahía de Jiquilisco (B J) y el estero de Jaltepeque (E J), El Salvador.

Lamprecht (1990) indica que el mayor número de especies y árboles se encuentran en el piso inferior y/o medio de los bosques. Esto coincide con lo encontrado en los tres tipos de manglares muestreados (Figura 22, Figura 23 y Figura 24), donde el mayor número de árboles se concentraron en el piso inferior y luego en el piso medio; el mangle enano, por su naturaleza, solo presentó árboles en el piso inferior. Manrow (2011) encontró en el Caribe costarricense que el 50% de los árboles estaban en el piso medio.

En sitios donde la precipitación anual promedio es baja, se ha observado un marcado descenso en la altura del dosel de los manglares. Los manglares con los doseles superiores más altos se observan en las zonas de vida bosque muy húmedo tropical y bosque pluvial tropical (Hartshorn 2002). Los manglares enanos en México dominan varias zonas de Quintana Roo y zonas áridas como Baja California Sur (Kauffman *et al.* 2013). Las precipitaciones en bahía de Jiquilisco y estero Jaltepeque oscilan entre 1500 y 2019 mm (García 2012 y Molina *et al.* 2008). Otro factor que determina la altura máxima y sus diferencias entre sitios es la relación inversa entre la salinidad y la altura del dosel y el área basal; donde la vegetación disminuye en altura y área basal, según aumenta la salinidad (Jiménez y Soto 1985). A continuación, se detalla la estructura vertical de los manglares según la densidad de los árboles y el área basal encontrada.

6.2.1 Densidad de árboles (n/ha)

En los manglares altos se halló la mayor cantidad de árboles en el piso inferior (Figura 22). En el caso del estero de Jaltepeque, el número de individuos decrece conforme aumenta el piso de vuelo. En contraste, en la bahía de Jiquilisco se da un comportamiento diferente, donde el piso superior concentró mayor cantidad de árboles por hectárea, comparado con el piso medio. Este comportamiento se debe a que bahía de Jiquilisco presentó más árboles que alcanzaban el dosel superior del manglar. Específicamente, en bahía Jiquilisco se encontraron 204, 119 y 173 n/ha en los pisos inferior, intermedio y bajo, respectivamente. Por otro lado, en el estero de Jaltepeque se encontraron 317, 260 y 133 n/ha en los pisos antes descritos.

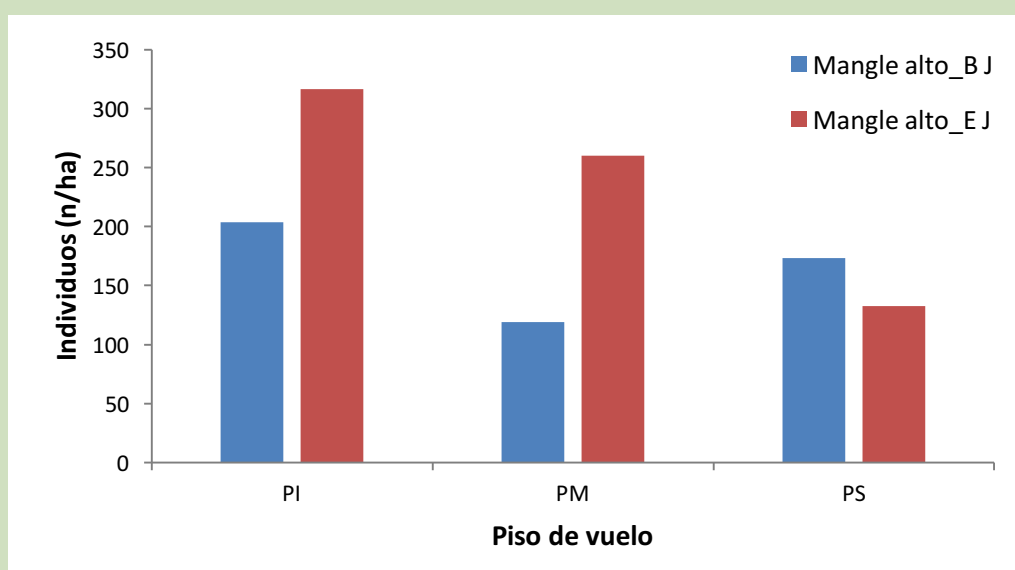


Figura 22. Distribución del número de individuos por hectárea, según piso de vuelo en los manglares altos ubicados en bahía Jiquilisco (B J) y estero Jaltepeque (E J), El Salvador.

Nota: PI: piso inferior, PM: piso medio, PS: piso superior.

Las especies encontradas en el piso inferior del mangle alto en bahía Jiquilisco fueron, en orden decreciente de abundancia: *Rhizophora racemosa*, *R. mangle*, *Avicennia germinans* (con muy pocos individuos presentes). En el piso medio se encontraron, en el mismo orden de abundancia, árboles de *R. racemosa*, *R. mangle* y *Laguncularia racemosa*. En el piso superior se halló solo *R. racemosa* y *A. germinans*; siendo la primera considerablemente más abundante.

Por otro lado, en el estero de Jaltepeque, las especies halladas en el piso inferior del mangle alto fueron, de mayor a menor abundancia, *R. racemosa*, *L. racemosa* y *A. germinans*; en el piso medio fueron *R. racemosa*, *A. germinans* y *L. racemosa*. En el piso superior, las únicas especies encontradas fueron *R. racemosa* (la más abundante) y *A. germinans*.

En los manglares intermedios se presentó la mayor cantidad de árboles en el piso inferior. En los sitios bahía Jiquilisco y estero Jaltepeque, el número de individuos disminuye considerablemente conforme aumenta el

piso de vuelo (Figura 23). En comparación con el mangle alto, en el mangle intermedio se encontró a pocos individuos que alcanzaron el piso superior o dosel del manglar. En bahía Jiquilisco se encontraron 1921, 43 y 9 n/ha en el piso bajo, medio y superior, respectivamente. En estero Jaltepeque se hallaron 1383, 125 y 3 n/ha, en esos mismos pisos.

En bahía de Jiquilisco las especies más abundantes en el piso inferior y medio de los manglares intermedios fueron *R. mangle* y *R. racemosa*. En el piso inferior también se encontraron individuos de *L. racemosa*. En el piso superior se halló únicamente a *R. racemosa*, especie que presentó algunos árboles aislados y es predominante en el mangle alto. La distribución de especies en el estero de Jaltepeque fue diferente. En el piso inferior del mangle intermedio encontramos, de mayor a menor abundancia, a *L. racemosa*, *R. mangle* y *A. germinans*. En el piso medio, en el mismo orden, encontramos *R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans*. En el piso superior la única especie encontrada fue *R. mangle*, con muy pocos árboles.

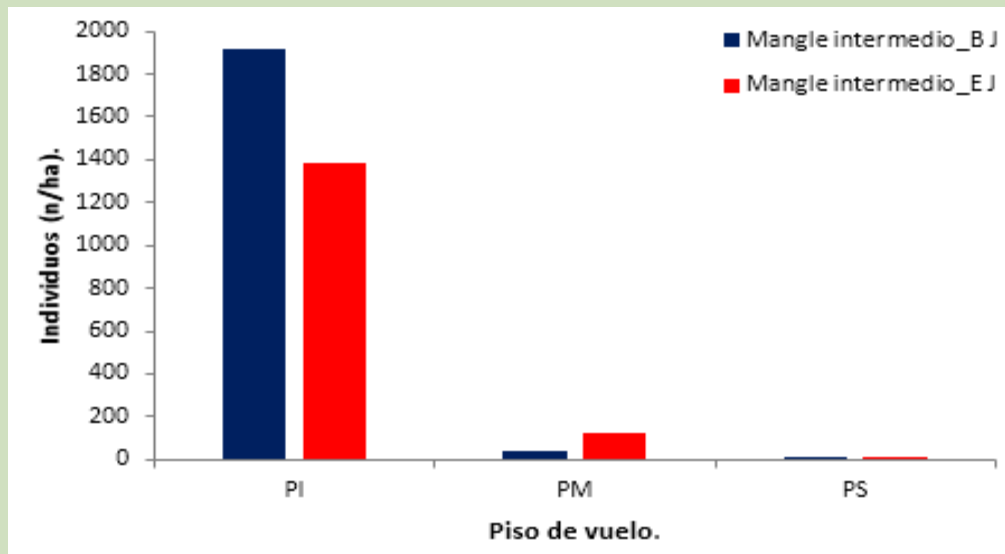


Figura 23. Distribución del número de individuos por hectárea, según piso de vuelo en los manglares intermedios ubicados en bahía Jiquilisco (B J) y estero Jaltepeque (E J), El Salvador.
Nota: PI: piso inferior, PM: piso medio, PS: piso superior.

En los manglares enanos de bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque todos los árboles de este estrato se encontraron en el piso inferior (Figura 24). En comparación con el mangle alto e intermedio, el mangle enano no presentó individuos en el piso medio y superior. La densidad de árboles en la bahía de Jiquilisco fue 2,4 veces mayor que en el estero de Jaltepeque (11 043,26 versus 4561,66 n/ha, respectivamente).

De mayor a menor abundancia, las especies encontradas en el piso inferior del mangle enano en la bahía de Jiquilisco fueron *R. mangle*, *L. racemosa*, *A. germinans*, *Acacia cornigera*, *Pithecellobium dulce* y *Randia sp.* En el estero de Jaltepeque, las especies halladas en el piso inferior del mangle enano fueron, en el mismo orden anterior, *L. racemosa*, *A. germinans*, *Conocarpus erectus*, *R. mangle*, *Pithecellobium dulce* y *Acacia cornigera*.

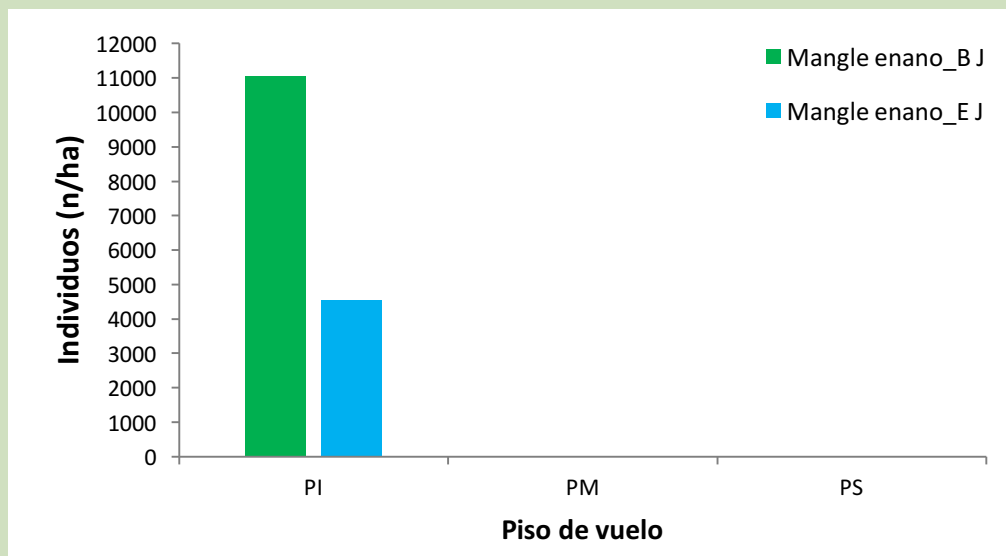


Figura 24. Distribución del número de individuos por hectárea, según piso de vuelo en los manglares enanos ubicados en bahía Jiquilisco (B J) y estero Jaltepeque (E J), El Salvador.

Nota: PI: piso inferior, PM: piso medio, PS: piso superior.

6.2.2 Área basal (m^2/ha)

Encontramos diferencias en los patrones del área basal entre los diferentes estratos de manglar (Figura 25). En los manglares altos se encontró mucha mayor área basal en los árboles más altos, los cuales son los de mayores diámetros. Además, conforme aumentó la altura, el área basal creció también. Los manglares intermedios presentaron mayor área basal en el piso inferior y, en contraste con los manglares altos, conforme aumentó la altura, el área basal disminuyó. Los manglares enanos presentaron toda su área basal en el piso inferior, ya que los individuos de este estrato no sobrepasaron el rango de altura del piso de vuelo.

El mangle enano de la bahía de Jiquilisco presentó $6,48 m^2/ha$ de área basal y el de estero Jaltepeque $12,57 m^2/ha$. En el piso superior del mangle alto de la bahía de Jiquilisco se encontró $16,38 m^2/ha$ de área basal (82,85% del total). En el piso medio y el inferior se encontró $2,32$ y $1,07 m^2/ha$, respectivamente. En el estero de Jaltepeque se encontraron valores similares de área basal para el piso superior ($16,75 m^2/ha$, 74,20% del total) e inferior ($1,42 m^2/ha$), pero el doble en el piso medio ($4,40 m^2/ha$).

En el mangle intermedio de la Bahía de Jiquilisco se encontró en el piso inferior $9,16 m^2/ha$ de área basal (84,75% del total), en el piso medio $1,05 m^2/ha$ y en el piso superior $0,59 m^2/ha$. En contraste, el Estero de Jaltepeque los valores de área basal para los mismos pisos fueron de $8,07 m^2/ha$ (74,81% del total), $2,54$ y $0,18 m^2/ha$.

6.3 DIVERSIDAD FLORÍSTICA DE LOS BOSQUES DE MANGLAR

En El Salvador se han reportado siete especies de manglar (CORDES 2009). En mayor o menor medida estas estuvieron incluidas en el inventario realizado. A continuación, caracterizamos la composición florística de los bosques de manglar en la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque.

6.3.1 Índice de Valor de Importancia (IVI)

Las especies con el mayor índice de importancia ecológica en los manglares de la bahía de Jiquilisco fueron *Rhizophora mangle* y *R. racemosa* (46,51% del IVI). Por el contrario, en el estero de Jaltepeque fueron *Laguncularia racemosa* (32,26% del IVI), *Avicennia germinans* y *R. racemosa* (Cuadro 10). Especies con altos valores de abundancia y frecuencia son características de las especies con distribución horizontal continua (Lamprecht 1990), como es el caso de *R. racemosa*, localizada en ambos sitios de estudio. Por otra parte, *R. mangle* y *L. racemosa* presentaron valores altos de abundancia y frecuencia en Jiquilisco y Jaltepeque, respectivamente, pero no presentaron individuos en algunas clases diamétricas.

En la bahía de Jiquilisco, el 71,9% del IVI está representado por dos especies: *R. racemosa* (la más dominante) y *R. mangle* (la más abundante y frecuente). Esto se debe a que *R. mangle* se encontró en todos los estratos de manglar, mientras que *R. racemosa* fue más abundante solo en los manglares altos y con escasos árboles aislados en el mangle intermedio. En el estero de Jaltepeque, el 63% del IVI se encontró en dos especies. *A. germinans* fue la especie más dominante y *L. racemosa* la más abundante y frecuente. En Jaltepeque se encontró *Conocarpus erectus*, otra de las especies del *bosque salado* que no fue posible encontrar en la Bahía de Jiquilisco.

Cuadro 10. Índice de valor de importancia (IVI) de las especies encontradas en los manglares de bahía Jiquilisco y estero Jaltepeque, El Salvador.

Manglares bahía Jiquilisco					Manglares estero Jaltepeque				
Especie	DR (%)	AR (%)	FR (%)	IVI	Especie	DR (%)	AR (%)	FR (%)	IVI
<i>Rhizophora mangle</i>	35,65	68,78	35,10	139,53	<i>Laguncularia racemosa</i>	16,67	45,46	34,65	96,78
<i>Rhizophora racemosa</i>	51,51	3,48	21,19	76,18	<i>Avicennia germinans</i>	37,54	32,65	22,05	92,24
<i>Laguncularia racemosa</i>	6,38	20,62	21,85	48,86	<i>Rhizophora racemosa</i>	30,18	7,03	16,54	53,74
<i>Avicennia germinans</i>	6,21	6,96	19,87	33,03	<i>Rhizophora mangle</i>	13,22	11,56	21,26	46,04
<i>Randia sp.</i>	0,13	0,03	0,66	0,83	<i>Conocarpus erectus</i>	1,27	2,98	3,94	8,18
<i>Acacia cornigera</i>	0,07	0,10	0,66	0,83	<i>Pithecellobium dulce</i>	0,67	0,21	0,79	1,67
<i>Pithecellobium dulce</i>	0,05	0,03	0,66	0,74	<i>Acacia cornigera</i>	0,45	0,11	0,79	1,34
Total	100	100	100	300	Total	100	100	100	300

Nota: DR= Dominancia relativa AR= Abundancia relativa FR= Frecuencia relativa.

Los bajos valores de abundancia, frecuencia y dominancia son características de especies acompañantes; con abundancias absolutas menores a cuatro (Lamprecht 1990). Bajo estas condiciones, se encontraron en bahía de Jiquilisco a las especies *Randia sp.* y *Pithecellobium dulce* (Cuadro 10). Las especies más importantes por estrato son: *R. racemosa* y *R. mangle* en el mangle alto e intermedio de ambos sitios, *R. mangle* y *L. racemosa* en el mangle enano en Jiquilisco y en Jaltepeque, respectivamente.

Estos resultados son esperados debido a la restringida diversidad de especies presentes en los manglares en múltiples sitios y latitudes. En Costa Rica, por ejemplo, Cifuentes Jara *et al.* (2017), encontró que las tres especies con mayor peso ecológico fueron *Rhizophora mangle* (45,98% del IVI total), *Laguncularia racemosa* y *R. racemosa*, respectivamente. En los manglares del Caribe de Costa Rica, las tres especies con más peso ecológico fueron *R. mangle* (76,38% del IVI), *L. racemosa* y *Pterocarpus officinalis* (especie asociada a manglares); específicamente en los manglares de Estero Moín, se encontró a *P. officinalis* (36,13% del IVI; Manrow 2011).

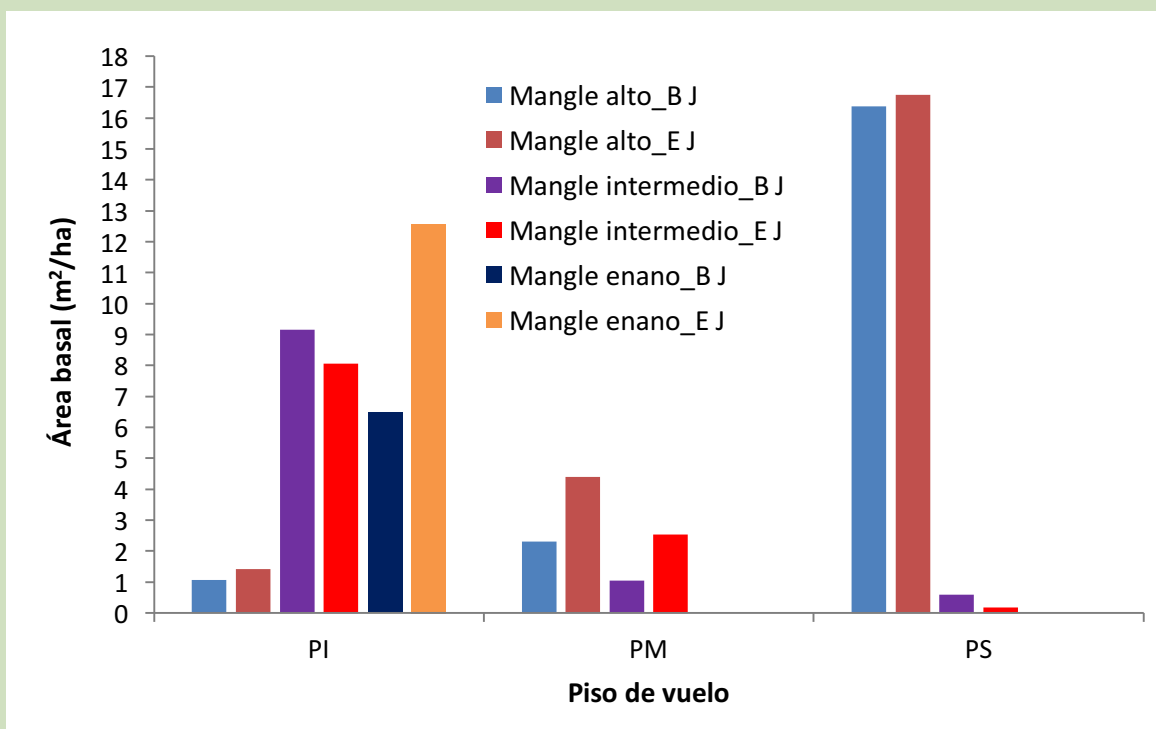


Figura 25. Distribución del área basal por hectárea, según piso de vuelo en los manglares altos, intermedios y enanos ubicados en bahía Jiquilisco (B J) y estero Jaltepeque (E J), El Salvador.

Nota: PI: piso inferior, PM: piso medio, PS: piso superior.

6.3.2 Diversidad y similitud

Los manglares de la bahía de Jiquilisco presentaron valores de 0,90 y 0,73 para los índices de Shannon-Wiener y Margalef, respectivamente. Estos son menores a los encontrados en los manglares del estero Jaltepeque, donde esos índices fueron de 1,28 y 0,82, respectivamente. De acuerdo con estos índices, los manglares del estero Jaltepeque son un poco más diversos que los de Jiquilisco. Sin embargo, esto es relativo pues los valores son cercanos a cero y los manglares presentan pocas especies en comparación a los bosques naturales de tierras dulces o altas. Estos valores denotan la baja diversidad florística de los manglares de El Salvador. A modo de comparación, el índice de Margaleff puede sobrepasar valores de 28 en un bosque tropical maduro con 211 especies (Torres 2012).

Los manglares de bahía Jiquilisco y estero Jaltepeque compartieron el 86% de las especies arbóreas, según el índice cualitativo de Sorensen y el 75% de las especies, según el índice de Jaccard. La diferencia en similitud se debe a que *Conocarpus erectus*, especie del *bosque salado*, apareció solo en el estero de Jaltepeque, mientras que *Randia* sp. se encontró únicamente en la bahía de Jiquilisco, asociada a las partes altas o más duras de los manglares enanos; las demás especies halladas están en los dos sitios. Esta alta similitud es esperable, ya que son sitios muy cercanos y con condiciones ambientales similares (precipitación, temperatura, humedad relativa, otros).

6.4 COBERTURA DEL SUELO

En ese apartado consignamos los resultados de la clasificación de las imágenes de satélite de los años 1986, 1993, 2002 y 2004 tomadas para la bahía de Jiquilisco y que, en conjunto, constituyen la *época* de este estudio. El área bajo estudio (el área de manglares y el buffer de 1 km alrededor) tiene una extensión de 63 754,47 ha. Esta área puede variar en las capas *shapefile* de la cobertura de las diferentes fechas debido a que el polígono de corte no coincide exactamente con el trazo de los píxeles en las imágenes clasificadas. Ya que esta área no representa, *per se*, un área protegida o administrativa, sino que ha sido tomada de manera arbitraria, los porcentajes de cobertura que hacen referencia a esta área total pudieran no tener un marco comparativo útil más que en el contexto de este trabajo. Las unidades de área preferidas son las hectáreas.

6.4.1 Año 1986

En 1986, el área de mangle de la bahía de Jiquilisco se estimó en 18 849,43 ha (29,57% del área total bajo estudio; Cuadro 11). El mangle alto/medio fue la principal cobertura encontrada (18,71% del área de estudio), lo que representa 1,72 veces más área que la del mangle enano. Las camaroneras, salineras y otros humedales abarcaban casi un 3% del área total (1797,62 ha), una cobertura menor que la de las plantaciones de palmas y cocoteros (3,59%).

Las diferentes coberturas se distribuyeron de manera particular en el área de estudio, con cierta agregación que diferencia a los bosques mixto semicaducifolio y el siempre verde (Figura 26). Los manglares están presentes básicamente en toda la costa interna de la bahía de Jiquilisco. Solo un parche se ubica en el margen marino de la bahía, cerca de su límite oeste. Detrás y alrededor del bosque de manglar encontramos cultivos agropecuarios de diversos tipos.

6.4.2 Año 1993

En 1993 pueden observarse algunas variaciones relacionadas con las áreas de cobertura de uso de la tierra en la bahía de Jiquilisco. En primer lugar, el área total de mangle se estimó en 19 035,12 ha (29,86% del área total bajo estudio). Aunque hubo una leve disminución en el área de cobertura de mangle alto/medio (se perdieron casi 220 ha), el incremento del área de mangle enano, de 6921,62 ha en 1986 (Cuadro 11) a 7326,86 ha (11,49% del área total bajo análisis) en 1993 (Cuadro 11) puede ser un factor para explicar la diferencia encontrada. Por otro lado, el área de las camaroneras y salineras también disminuyó ligeramente (casi un 11%), el área bajo cobertura de palmas y cocoteros se mantuvo casi igual (3,66% del área total analizada en 1993).

Cuadro 11. Categorías de cobertura del suelo en el área de estudio de la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para 1986 (valores en ha y %).

Cobertura	1986		1993		2002	
	Area (ha)	% área	Area (ha)	% área	Area (ha)	% área
Agropecuario	15 601,33	24,47	15 123,51	23,72	1 5774,48	24,74
Bosque mixto semicaducifolio	1196,87	1,88	989,46	1,55	1015,65	1,59
Bosque siempre verde	961,02	1,51	819,65	1,29	512,41	0,80
Camaronera/Salinera	1274,58	2,00	1156,23	1,81	1292,04	2,03
Cuerpos de agua	20 487,37	32,13	20 040,39	31,43	19 695,86	30,89
Mangle enano	6921,62	10,86	7326,86	11,49	6688,06	10,49
Mangle alto/medio	11 927,81	18,71	11 708,76	18,37	12 354,70	19,38
Otros humedales	523,04	0,82	452,53	0,71	635,49	1,00
Palmas, Cocoteros	2290,50	3,59	2333,16	3,66	2705,67	4,24
Playas, dunas y arena	251,64	0,39	250,02	0,39	539,73	0,85
Urbano/Suelo desnudo	86,85	0,14	127,35	0,20	651,78	1,02
Vegetación arbustiva	2231,86	3,50	3426,55	5,37	1888,60	2,96
Total	63 754,49	100	63 754,47	100	63 754,47	100,00

Los patrones de distribución espacial se mantuvieron casi constantes entre 1986 y 1993. Sin embargo, se puede distinguir un aumento de las áreas de vegetación arbustiva, en detrimento del manglar en la desembocadura de la bahía (Figura 27).

6.4.3 Año 2002

Para 2002 el área de mangle se recuperó por encima del área estimada en 1986, hasta alcanzar 19 042,76 ha (29,87% del total del área analizada). De ese total, el mangle alto/medio alcanzó una cobertura de 12 354,70 ha (19,38% del área de estudio), mientras que el mangle enano cubría poco más de la mitad de dicha área (Figura 28). Las camaroneras, salineras y otros humedales mantuvieron una cobertura del 3% del área total de trabajo (Cuadro 11).

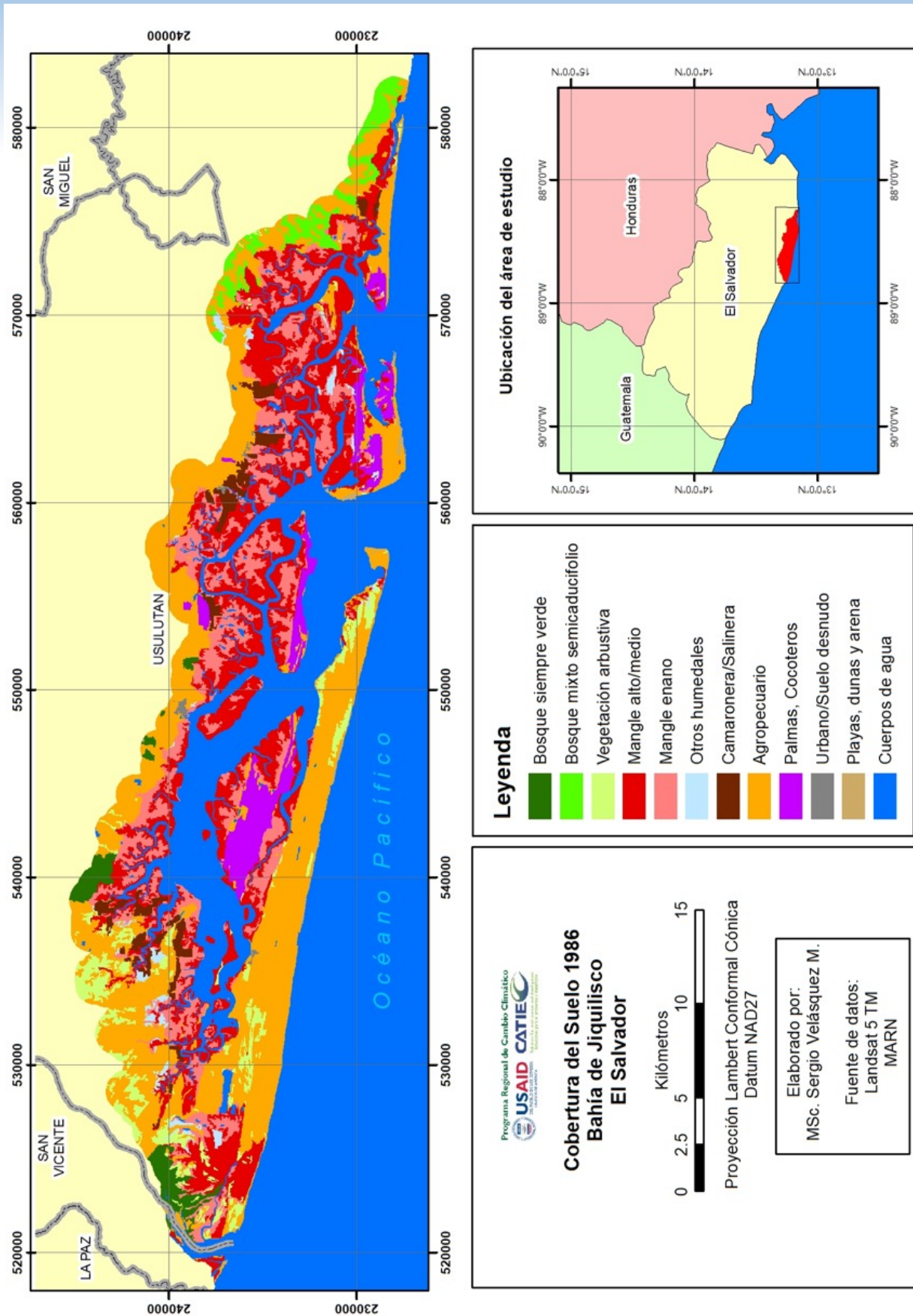


Figura 26. Mapa de cobertura del suelo en el área de estudio de la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para 1986.

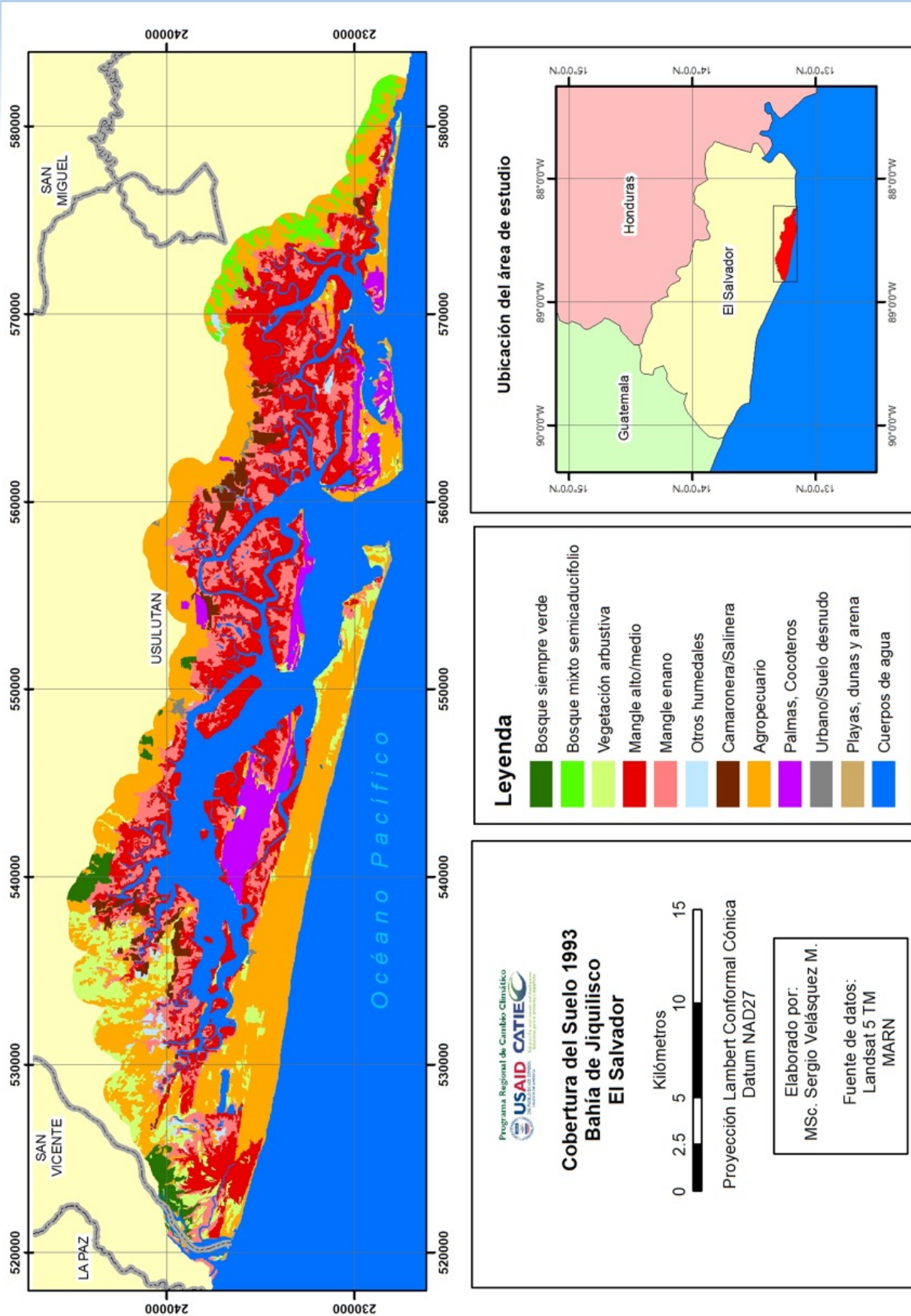


Figura 27. Mapa de cobertura del suelo en el área de estudio de la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para 1993.

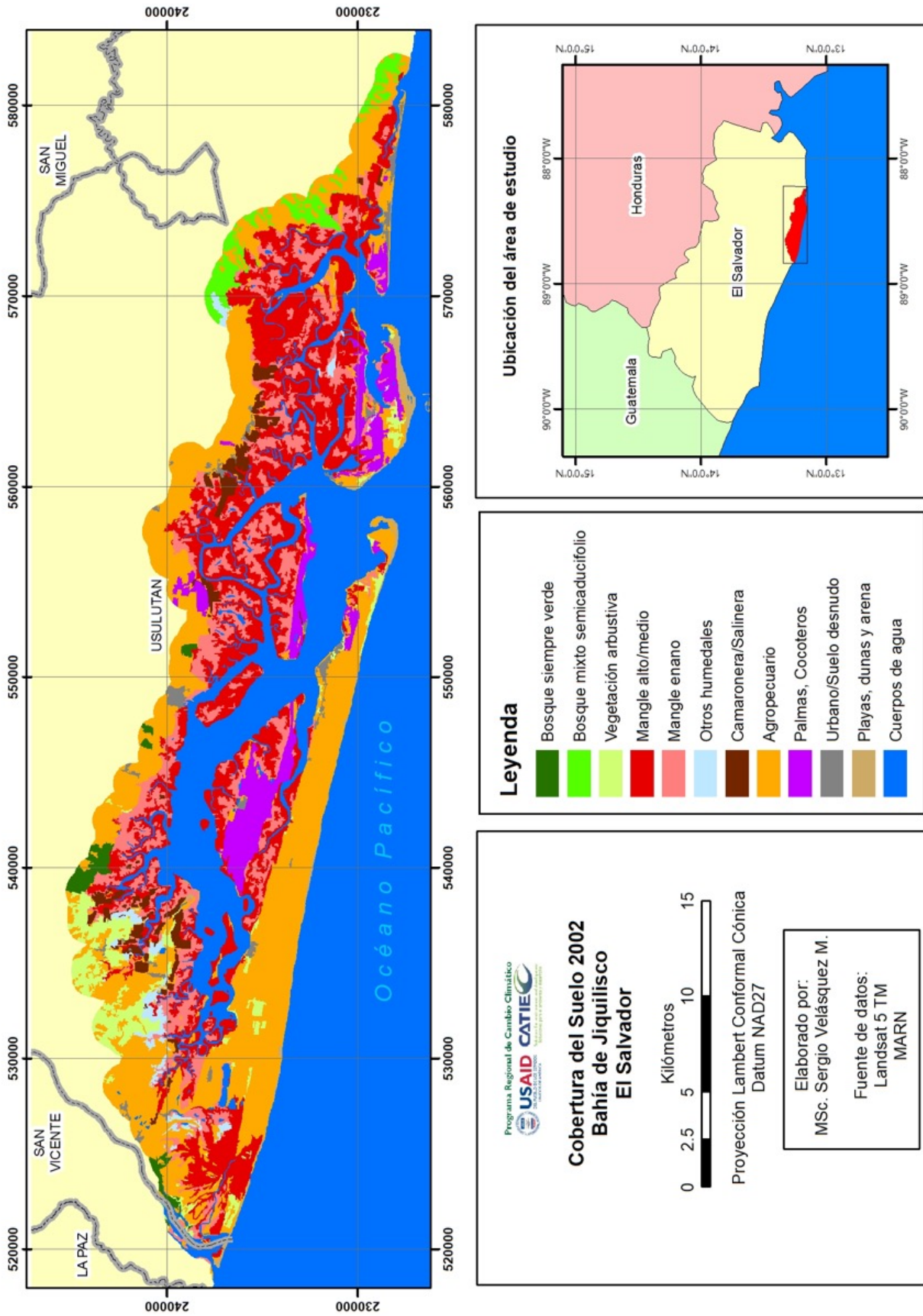


Figura 28. Mapa de cobertura del suelo en el área de estudio de la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para 2002.

6.4.4 Año 2014

En 2014 el mangle alto/medio tenía una cobertura de 11 410,31 ha, mientras que el mangle enano cubría 6944,04 ha (en conjunto, un 28,81% del área total de muestreo; Figura 29). Esto representa una reducción de casi 500 ha respecto de la cobertura original de manglares encontrada en 1986. Las camaroneras y salineras ocupaban en ese año un área equivalente a solo el 12% del área de manglares en la bahía de Jiquilisco. Respecto de 1986, en 2014 había 185 ha menos de camaroneras y salineras en Jiquilisco. Las palmas y cocoteros ocupaban un 4,53% (un aumento de 593,92 ha respecto de 1986). Otros humedales mantuvieron su cobertura desde 1986 (alrededor de un 3% del área total).

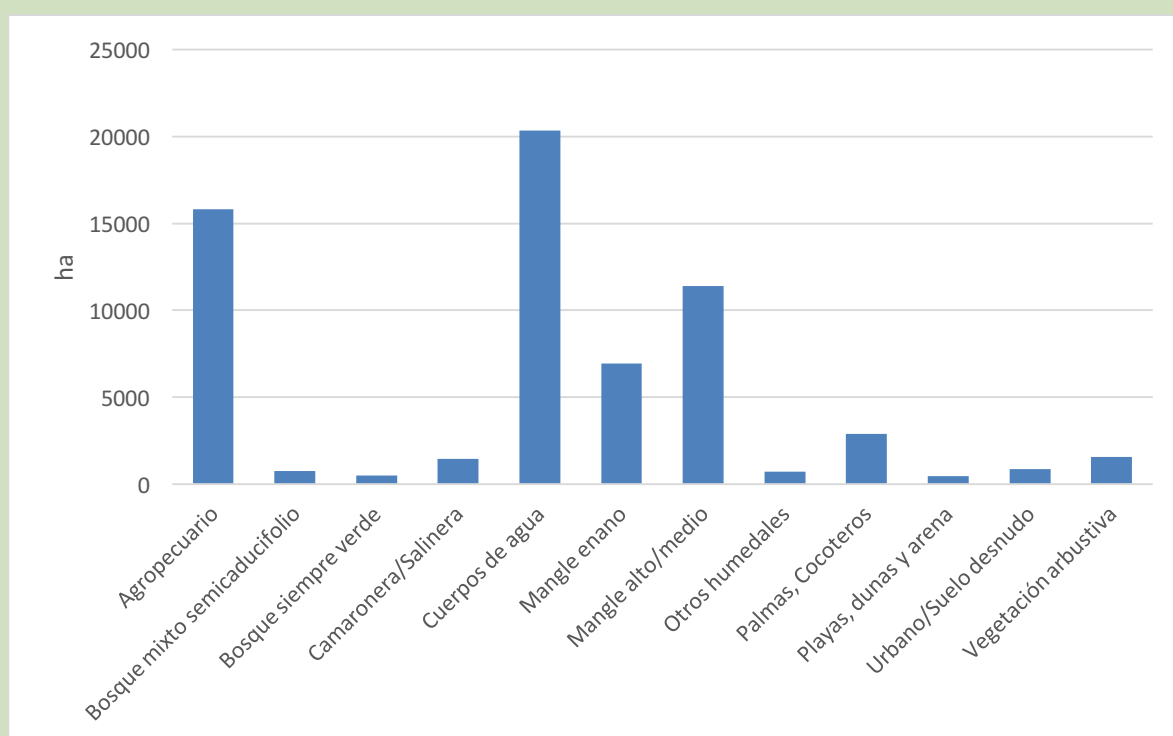


Figura 29. Distribución de la cobertura del suelo en el área de estudio de la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para 2014.

Como en los años anteriores, la distribución espacial de las diferentes coberturas se mantiene relativamente estable. Las pequeñas variaciones que responden a aumentos o disminución de ciertas coberturas generalmente se encuentran hacia los márgenes de los límites de los polígonos y no son espacialmente dispersas en el paisaje. Esto indica un patrón de cambios de cobertura más relacionado con expansión o contracción de un uso particular, que con frentes amplios y discretos de cambio de cobertura o uso del suelo (Figura 30).

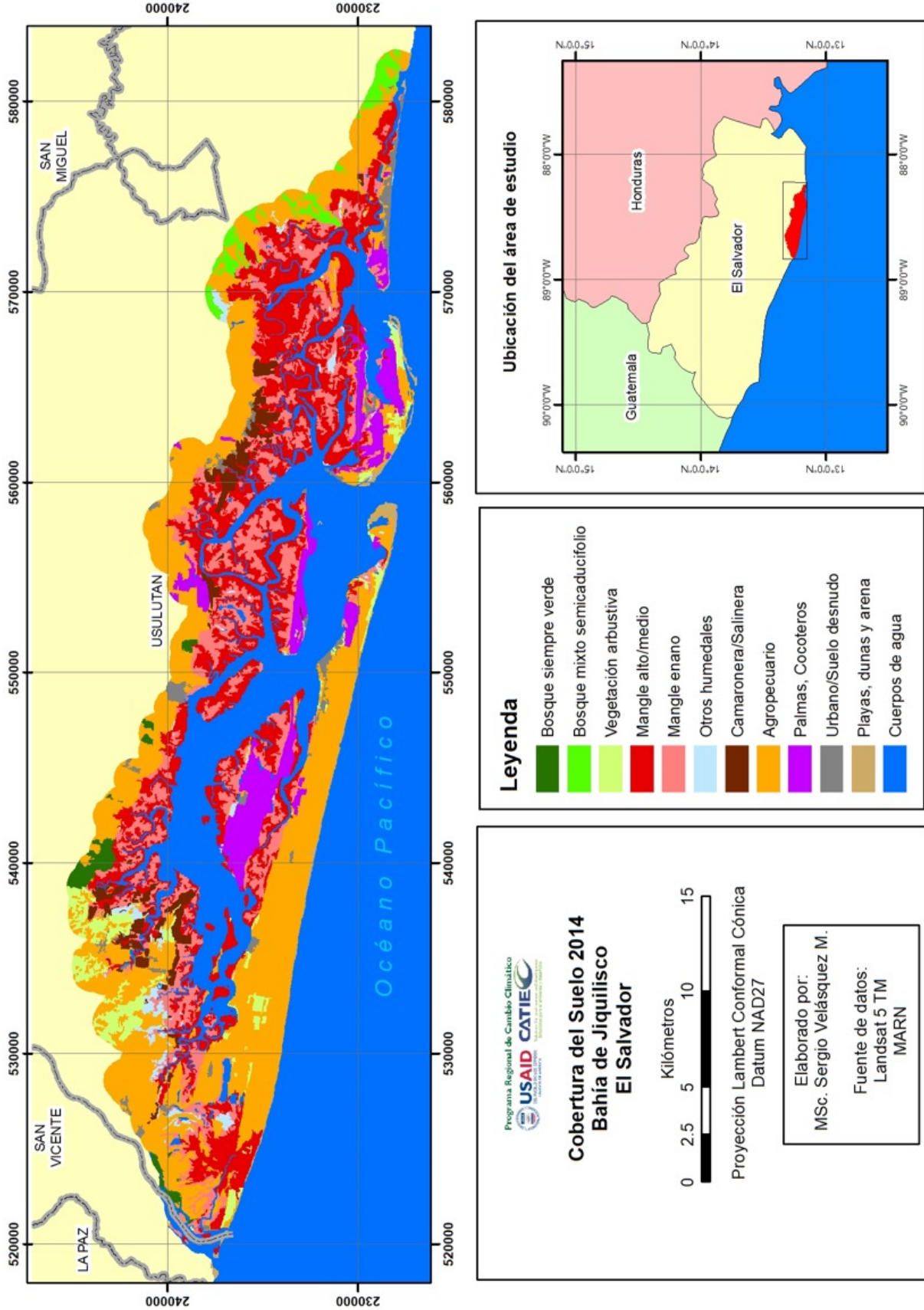


Figura 30. Mapa de cobertura del suelo en el área de estudio de la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para 2014.

6.4.5 Evaluación de la clasificación

La evaluación de la clasificación únicamente se realizó para el producto del año 2014, porque es la única fecha para la cual se cuenta con un trabajo de verificación de campo con puntos de control (Anexo 3). En general, la clasificación tuvo una precisión total de 95,59% y un índice de Kappa de 0,95 (Cuadro 12) lo que indica una excelente concordancia entre las coberturas clasificadas a partir de las imágenes y las que existen en el campo (Cuadro 13). La categoría *otros humedales* y la de *vegetación arbustiva* tuvieron la precisión del productor y del usuario más bajas, respectivamente. Esto no tiene mayor impacto en la clasificación pues son coberturas con extensión muy limitada en el paisaje general del área.

Cuadro 12. Valores de precisión (en %) del productor y del usuario, y de concordancia (coeficiente Kappa) para la clasificación de la cobertura/uso del suelo en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, 2014.

Clase	Precisión del productor (%)	Precisión del usuario (%)	Coefficiente Kappa
Bosque siempre verde (BoSV)	86,04	100	1
Bosque mixto semicaducifolio (BoMSc)	100	100	1
Mangle alto/medio (MaAlMe)	98,1	98,41	0,98
Mangle enano (MaEn)	95,38	98,31	0,98
Otros humedales (Ohum)	64,06	78,84	0,78
Palmas/Cocotero (Pal/Coc)	100,0	90,62	0,90
Agropecuaria (AG)	94,58	90,8	0,89
Urbano/Suelo desnudo (Urb/Sd)	99,19	100	1
Camaronera/Salinera (C/S)	100	99,13	0,99
Playas (Playa)	88,46	100	1
Cuerpos de agua (Cagua)	100	96,25	0,95
Vegetación arbustiva (VegArb)	100	65,79	0,65

6.5 CAMBIOS DE COBERTURA DEL SUELO

En este apartado se analiza los cambios de cobertura ocurridos durante los diferentes períodos de tiempo que corresponden a las fechas de análisis de la cobertura del suelo. El análisis se centra en los cambios ocurridos a las coberturas de interés: mangle, humedal, camaronera/salinera y palmas/cocotero.

6.5.1 Período 1986-1993

De acuerdo con la matriz de cambios para el período 1986-1993 (Cuadro 14), hubo una persistencia en la cobertura de mangle alto/medio y enano de 10 077,48 y 5334,39 ha, respectivamente. La principal pérdida de cobertura de mangle alto/medio se dio hacia mangle enano (16%). Los cambios hacia los cuerpos de agua, camaronera/salinera y los usos agropecuarios, en conjunto, representaron casi el 2% del área que persistió como mangle (Cuadro 14). Por otro lado, las ganancias de la categoría de mangle alto/medio fueron a expensas, como apuntamos anteriormente, del mangle enano (1397,16 ha), cuerpos de agua (187,65 ha) y camaroneras y salineras (13,86 ha).

Cuadro 13. Matriz de concordancia para la clasificación de la cobertura/uso del suelo para el año 2014 en la Bahía de Jiquilisco.

Clasificación 2014	BoSV	BoMSc	MaAlMe	MaEn	Ohum	Pal/Coc	AG	Urb/Sd	C/S	Playa	Cagua	VegArb	Total
BoSV	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74
BoMSc	0	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51
MaAlMe	0	0	310	5	0	0	0	0	0	0	0	0	315
MaEn	0	0	6	351	0	0	0	0	0	0	0	0	357
Ohum	0	0	0	11	41	0	0	0	0	0	0	0	52
Pal/Coc	12	0	0	0	0	116	0	0	0	0	0	0	128
AG	0	0	0	0	23	0	227	0	0	0	0	0	250
Urb/Sd	0	0	0	0	0	0	0	122	0	0	0	0	122
C/S	0	0	0	1	0	0	0	0	115	0	0	0	116
Playa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	0	0	69
Cagua	0	0	0	0	0	0	0	1	0	9	257	0	267
VegArb	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	25	38
Total	86	51	316	368	64	116	240	123	115	78	257	25	1839

Nota: Las categorías de cobertura analizadas son: AG: Agropecuario; BoMSc: Bosque mixto semicaducifolio; BoSV: Bosque siempre verde; C/S: Camaronera/Salinera; Cagua: Cuerpos de agua; MaEn: Mangle enano; MaAlMe: Mangle alto/medio; Ohum: Otros humedales; Pal/Coc: Palmas/Cocotero; Playa: Playas, dunas, arena; Urb/Sd: Urbano/Suelo desnudo; VegArb: Vegetación arbustiva. La precisión total de la clasificación es de 95,59%.

Mientras tanto, la principal pérdida de cobertura de mangle enano se dio hacia mangle alto/medio (26% del área que persistió como mangle enano) y cantidades casi ínfimas hacia usos agropecuarios (1%), camaronera/salinera (1%) y cuerpos de agua (0,7%). En contraste, las ganancias para esta categoría (sin tomar en cuenta el mangle alto/medio) fueron a expensas de cuerpos de agua (176,4 ha), camaroneras/salineras (93,33 ha) y otros humedales (82,53 ha; Cuadro 14).

Los cambios de cobertura entre los dos tipos de mangle pueden ser debidos a procesos de degradación o de recuperación que pueden darse entre estas categorías o bien, en el caso de las diferencias menores, a errores mismos del proceso de clasificación, principalmente en áreas de borde entre estas dos categorías. Este es un fenómeno inherente al tipo de análisis realizado y las propiedades geométricas espaciales de los objetos identificados y, por tanto, común a todo el periodo de estudio. Las pérdidas de área de la categoría *otros humedales* ocurren también principalmente hacia las dos categorías de mangle (Cuadro 14), proceso que puede deberse también a la recuperación del manglar, o hacia el uso agropecuario.

Cuadro 14. Matriz de cambios de uso del suelo en la bahía de Jaltepeque para el período 1986-1993.

Cobertura	AG	BoMSc	BoSV	C/S	Cagua	MaEn	MaAlMe	Ohum	Pal/Coc	Playa	Urb/Sd	VegArb	Total 1986	Pérdidas
AG	13 751,82	133,47	0	16,92	101,88	17,91	4,5	80,91	72,81	24,75	39,15	1357,56	15 601,68	1849,86
BoMSc	353,16	841,05	0	0	0	0	0	2,61	0	0	0	0	1196,82	355,77
BoSV	30,42	0	819,63	0	6,84	0	0	0	0	0	0	104,13	961,02	141,39
C/S	56,88	0	0	1073,43	11,61	93,33	13,86	7,38	0	3,87	0	14,22	1274,58	201,15
Cagua	175,59	0,54	0	7,47	19 715,22	176,4	187,65	2,43	3,24	198,99	0	19,8	20 487,33	772,11
MaEn	64,71	0	0	56,34	36,99	5334,39	1397,16	16,83	2,79	0	0	12,24	6921,45	1587,06
MaAlMe	59,49	1,44	0	2,07	109,71	1614,42	10 077,48	13,77	17,64	0,72	1,35	29,88	11 927,97	1850,49
Ohum	74,16	2,16	0	0	5,49	82,53	27,81	322,02	0	0	0	8,91	523,08	201,06
Pal/Coc	31,86	0	0	0	1,89	0	0	0	2221,83	0,54	0	34,38	2290,5	68,67
Playa	143,46	0	0	0	50,76	8,1	0	0	6,21	21,15	0	21,96	251,64	230,49
Urb/Sd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86,85	0	86,85	0
VegArb	381,96	10,8	0	0	0	0	0	6,66	8,64	0	0	1823,49	2231,55	408,06
Total 1993	15 123,51	989,46	819,63	1156,23	20 040,39	7327,08	11 708,46	452,61	2333,16	250,02	127,35	3426,57	63 754,47	
Ganancias	1371,69	148,41	0	82,8	325,17	1992,69	1630,98	130,59	111,33	228,87	40,5	1603,08		

Nota: Las categorías de cobertura analizadas son: AG: Agropecuario; BoMSc: Bosque mixto semicaducifolio; BoSV: Bosque siempre verde; C/S: Camaronera/Salinera; Cagua: Cuerpos de agua; MaEn: Mangle enano; MaAlMe: Mangle alto/medio; Ohum: Otros humedales; Pal/Coc: Palmas/Cocotero; Playa: Playas, dunas, arena; Urb/Sd: Urbano/Suelo desnudo; VegArb: Vegetación arbustiva. La precisión total de la clasificación es de 95,59%.

Las mayores magnitudes de ganancias y pérdidas relativas (calculadas solo como cambios unidireccionales (Cuadro 15) se dieron en las categorías de mangle, agropecuario y vegetación arbustiva. Sin embargo, cuando se analizan las pérdidas y ganancias netas se encuentra que el mangle alto tuvo una pérdida neta de 219,51 ha y el mangle enano una ganancia de 405,63 ha (Figura 31). Los otros humedales perdieron un total de 70,47 ha. En contraste, la categoría de cobertura con mayor ganancia fue la vegetación arbustiva, con casi 1200 ha (Figura 32). Esto podría sugerir una degradación de los ecosistemas arbustivos hacia otros degradados, o bien, una recuperación temprana de la cobertura arbórea a partir del abandono de usos agropecuarios de todo tipo, patrón que se repite a lo largo del tiempo en este estudio.

Especialmente, y debido a la escala del mapa, es difícil observar todos los cambios de cobertura con claridad. Aún con esta restricción, podemos reconocer que las áreas de cambio (ganancia o pérdida) se concentran en las orillas de los canales del humedal y en la frontera entre el manglar y la zona agrícola (Figura 33). Las primeras podrían deberse a variaciones de nivel del agua que se da en esos sitios, debido a las mareas y a la dinámica constante de cambio de sedimentos y colonización y sucesión de manglar. Por otro lado, en la interfaz manglar/zona agrícola que se evidencia lejos de la línea costera y principalmente en pequeñas áreas en los márgenes norte del área de estudio (Figura 33), la dinámica de cambio es evidentemente impulsada por causas más antropogénicas y relacionadas con la presión que hay sobre los manglares y humedales para convertirlos en otros usos.

Cuadro 15. Dinámica de ganancias y pérdidas por tipo de cobertura (en ha y %) para el periodo 1986-1993 en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.

Cobertura	Ganancia (ha)	Pérdida (ha)	Cambio neto (ha)	% de cambio
Agropecuario	1371,69	1849,86	-478,17	-3,06
Bosque mixto semicaducifolio	148,41	355,77	-207,36	-17,33
Bosque siempre verde	0	141,39	-141,39	-14,71
Camaronera/Salinera	82,8	201,15	-118,35	-9,29
Cuerpos de agua	325,17	772,11	-446,94	-2,18
Mangle enano	1992,69	1587,06	405,63	5,86
Mangle alto/medio	1630,98	1850,49	-219,51	-1,84
Otros humedales	130,59	201,06	-70,47	-13,47
Palmas, Cocoteros	111,33	68,67	42,66	1,86
Playas, dunas y arena	228,87	230,49	-1,62	-0,64
Urbano/Suelo desnudo	40,5	0	40,50	46,63
Vegetación arbustiva	1603,08	408,06	1195,02	53,55

Nota: El % de pérdida y ganancia neta está calculada tomando como base el área que existía de cada cobertura en el año 1986 y no la totalidad del área de estudio.

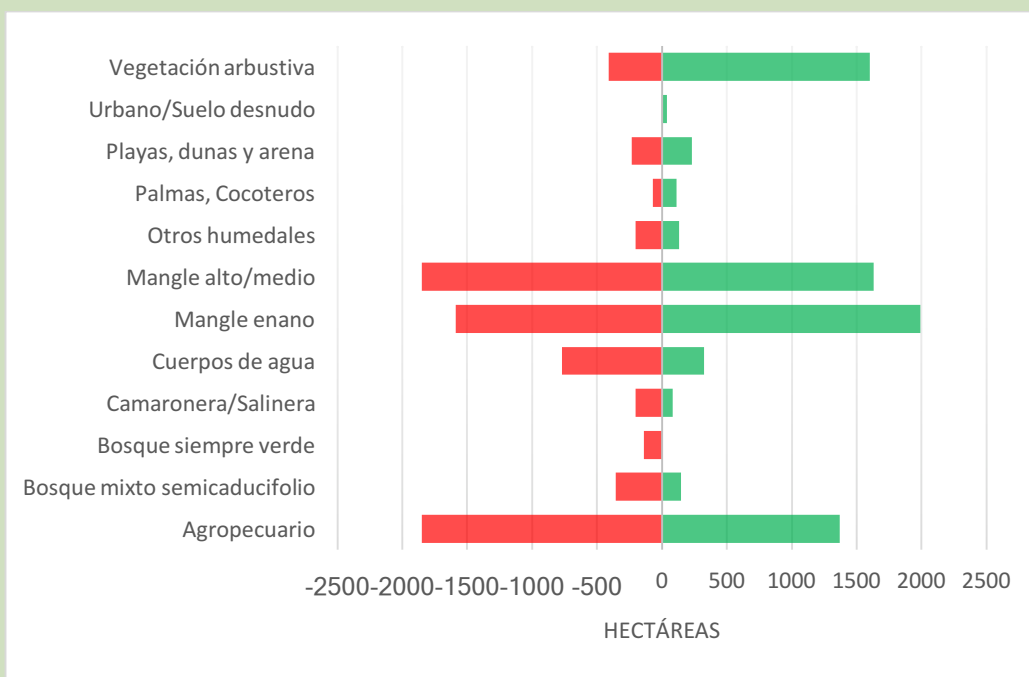


Figura 31. Ganancias y pérdidas relativas por tipo de cobertura en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo 1986-1993.

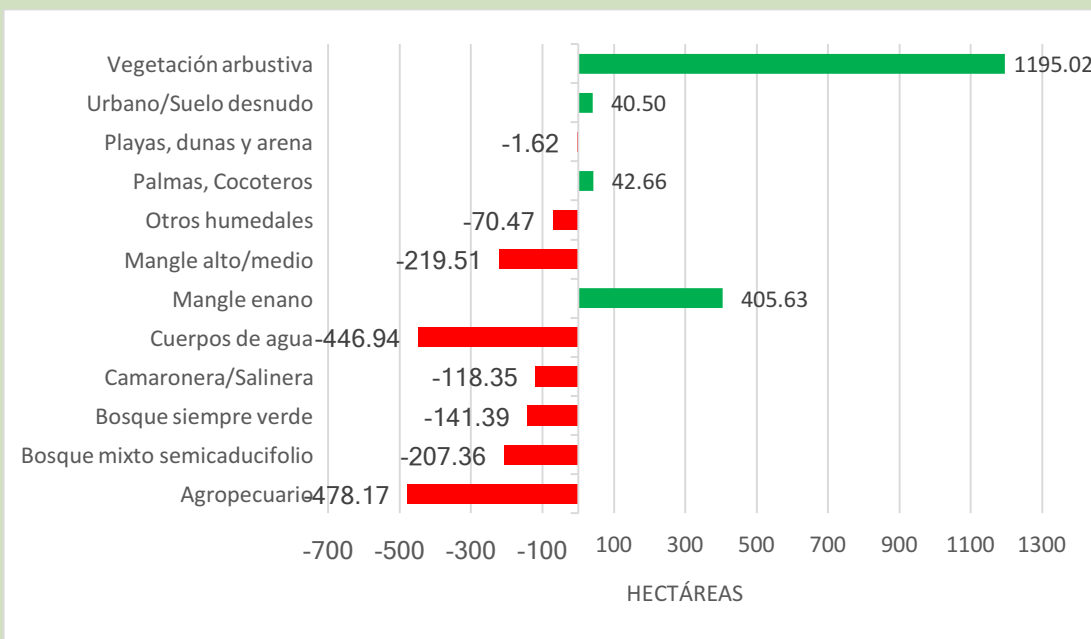


Figura 32. Ganancias y pérdidas netas por tipo de cobertura en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo 1986-1993.

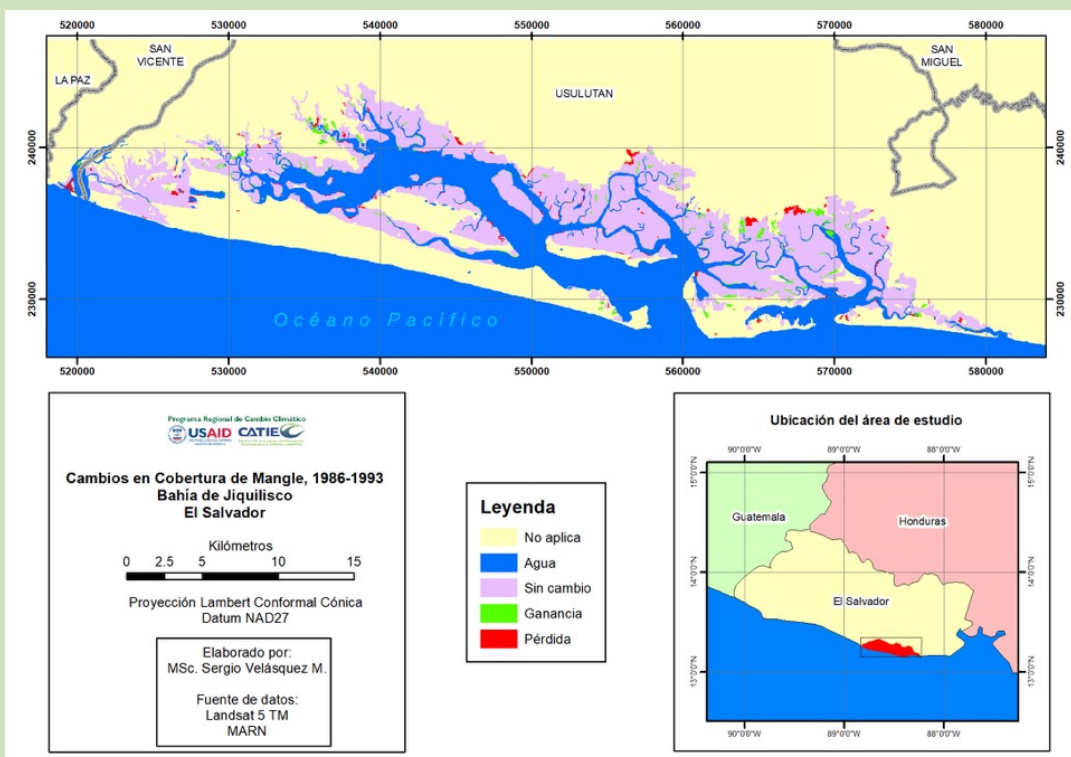


Figura 33. Ubicación espacial de los cambios en la cobertura de mangle en la bahía de Jiquilisco durante el periodo 1986-1993.

6.5.2 Período 1993-2002

En el período 1993-2002, 10 137,51 y 4899,33 ha de mangle alto/medio y enano, respectivamente, se mantuvieron como tales (Cuadro 16). Las ganancias de la categoría de mangle alto/medio se dieron a expensas del mangle enano, como en el periodo anterior. Otras ganancias de la categoría fueron a expensas de cuerpos de agua (187,65 ha) y camaroneras y salineras (13,86 ha). Por otro lado, en ese periodo se perdió el 14% de la cobertura de mangle alto/medio hacia mangle enano, y cerca del 2% de esa área hacia, cuerpos de agua, camaronera/salinera y uso agropecuario. Mientras tanto, las principales pérdidas de cobertura de mangle enano se dieron principalmente hacia mangle alto/medio (18% del cambio), agropecuario (4%), camaronera/salinera (3%) y cuerpos de agua (2%; Cuadro 16). Las pérdidas de la categoría *otros humedales* ocurren también hacia las dos categorías de mangle y los usos agropecuarios, como en el periodo anterior, pero también hacia las camaroneras y salineras. Para el mangle enano, las ganancias de la categoría (sin tomar en cuenta el mangle alto/medio) fueron a expensas de cuerpos de agua (329 358 ha), camaroneras/salineras (16,02 ha) y otros humedales (8,73 ha).

Cuadro 16. Dinámica de ganancias y pérdidas por tipo de cobertura (en ha y %) para el periodo 1993-2002 en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.

Cobertura	Ganancia (ha)	Pérdida (ha)	Cambio neto (ha)	% de cambio
Agropecuario	2923,74	2272,77	650,97	4,30
Bosque mixto semicaducifolio	242,46	216,27	26,19	2,65
Bosque siempre verde	3,96	311,22	-307,26	-37,49
Camaronera/Salinera	268,38	132,57	135,81	11,75
Cuerpos de agua	534,15	878,67	-344,52	-1,72
Mangle enano	1788,75	2427,75	-639,00	-8,72
Mangle alto/medio	2217,24	1570,95	646,29	5,52
Otros humedales	319,14	136,26	182,88	40,41
Palmas, Cocoteros	380,43	7,92	372,51	15,97
Playas, dunas y arena	458,37	168,66	289,71	115,87
Urbano/Suelo desnudo	527,04	2,61	524,43	411,80
Vegetación arbustiva	867,87	2405,88	-1538,01	-44,88

En este período, las mayores ganancias y pérdidas brutas se dieron en las categorías de mangle, agropecuario y vegetación arbustiva (Figura 34). Por otro lado, en términos netos (Figura 35), las áreas de mangle variaron menos del 9% de su área original (el mangle alto/medio ganó alrededor de 6% y el enano perdió cerca del 9%) al inicio del periodo (Cuadro 18). En este período también hubo un incremento significativo (un 411,8%) de las áreas urbanas que rodean el manglar, lo que podría aumentar la amenaza sobre la estabilidad futura de las áreas de manglar.

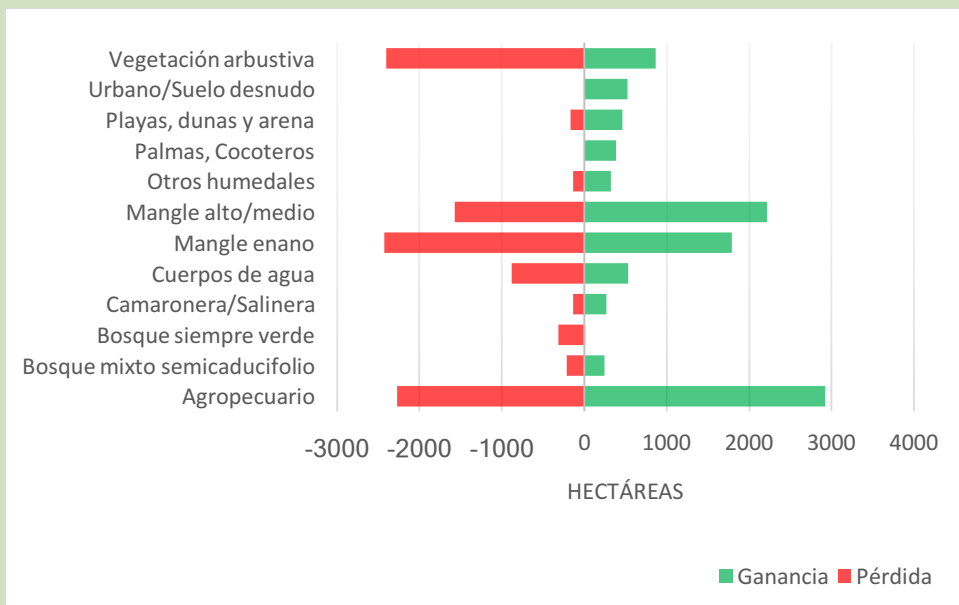


Figura 34. Ganancias y pérdidas brutas relativas por tipo de cobertura en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo 1993-2002.

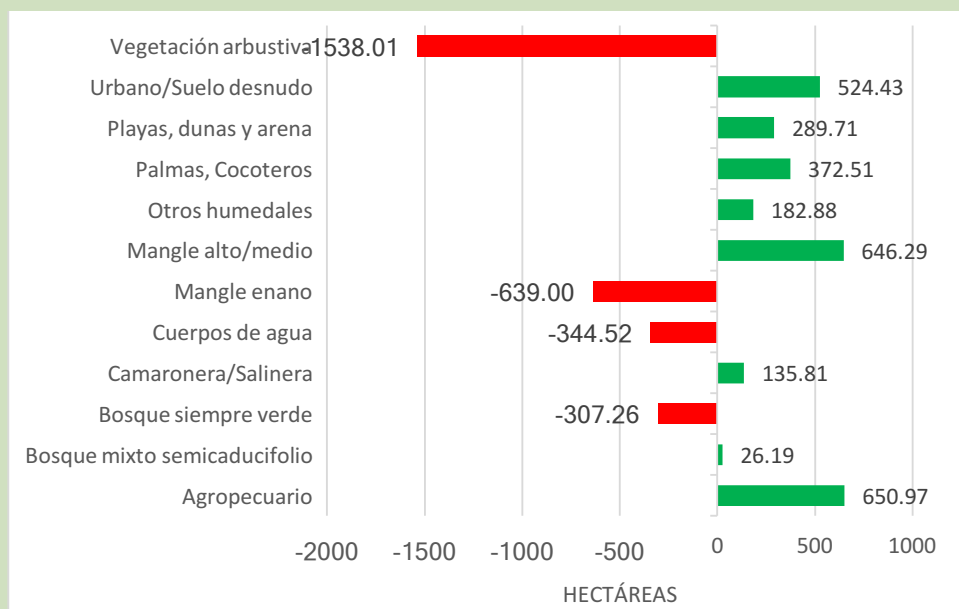


Figura 35. Ganancias y pérdidas netas por tipo de cobertura en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo 1993-2002.

Cuadro 17. Matriz de cambios de uso del suelo en la bahía de Jiquilisco para el período 1993-2002.

Cobertura	AG	BoMSc	BoSV	C/S	Cagua	MaEn	MaAlMe	Ohum	Pal/Coc	Playa	Urb/Sd	VegArb	Total 1993	Pérdidas
AG	12 850,74	239,22	0	63,09	189,9	193,05	0	177,21	207,81	96,75	340,11	765,63	15 123,51	2272,77
BoMSc	197,01	773,19	0	0	0,27	0,81	0,54	17,64	0	0	0	0	989,46	216,27
BoSV	271,35	0	508,41	0	5,85	0,63	0	0	0	0	0	33,39	819,63	311,22
C/S	29,61	0	0	1023,66	0	81,9	16,02	2,34	0	1,98	0	0,72	1156,23	132,57
Cagua	129,33	0	3,96	9,54	19 161,72	57,78	329,58	4,77	3,24	330,75	1,53	8,19	20 040,39	878,67
MaEn	198,54	0	0	130,86	118,44	4899,33	1839,87	92,7	27,63	2,88	1,53	15,3	7327,08	2427,75
MaAlMe	81,36	0	0	14,94	84,69	1383,21	10 137,51	0	0,72	5,67	0	0,36	11 708,46	1570,95
Ohum	41,13	3,24	0	23,85	2,61	17,28	8,73	316,35	0	0	0,99	38,43	452,61	136,26
Pal/Coc	0	0	0	0	3,06	0	0	0	2325,24	0	4,86	0	2333,16	7,92
Playa	74,34	0	0	1,53	85,23	0	0	0	0,36	81,36	1,35	5,85	250,02	168,66
Urb/Sd	1,35	0	0	1,26	0	0	0	0	0	0	124,74	0	127,35	2,61
VegArb	1899,72	0	0	23,31	44,1	54,09	22,5	24,48	140,67	20,34	176,67	1020,69	3426,57	2405,88
Total 2002	15 774,48	1015,65	512,37	1292,04	19 695,87	6688,08	12 354,75	635,49	2705,67	539,73	651,78	1888,56	63 754,47	
Ganancias	2923,74	242,46	3,96	268,38	534,15	1788,75	2217,24	319,14	380,43	458,37	527,04	867,87	10 531,53	

Nota: Las categorías de cobertura analizadas son: AG: Agropecuario; BoMSc: Bosque mixto semicaducifolio; BoSV: Bosque siempre verde; C/S: Camaronera/Salinera; Cagua: Cuerpos de agua; MaEn: Mangle enano; MaAlMe: Mangle alto/medio; Ohum: Otros humedales; Pal/Coc: Palmas/Cocotero; Playa: Playas, dunas, arena; Urb/Sd: Urbano/Suelo desnudo; VegArb: Vegetación arbustiva. La precisión total de la clasificación es de 95,59%.

Aunque el patrón espacial de las pérdidas y ganancias de manglares en la bahía de Jiquilisco es similar al periodo entre 1986 y 1993, entre 1993 y 2002 observamos un patrón de pérdidas (marcadas en rojo en la Figura 36) más fragmentado y disperso a lo largo del área bajo estudio.

6.5.3 Período 2002-2014

De acuerdo con la matriz de cambios para el período 2002-2014 (Cuadro 19) hubo una persistencia en la cobertura de mangle alto/medio y enano de 10 659,78 y 5676,75 ha, respectivamente. Las principales pérdidas de cobertura de mangle alto/medio se dieron hacia mangle enano (1208,70 ha), cuerpos de agua (361,17 ha), camaronera/salinera (11,70 ha), y agropecuario (62,82 ha). Mientras tanto, las principales pérdidas de cobertura de mangle enano se dieron hacia mangle alto/medio (702,36 ha), agropecuario (42,66 ha), camaronera/salinera (75,78 ha), cuerpos de agua (130,77 ha) y otros humedales (38,34 ha). Al igual que en periodos anteriores, los cambios de cobertura entre los dos tipos de mangle pueden deberse a procesos de degradación/recuperación que pueden darse entre estas categorías, o bien, a errores del proceso de clasificación, principalmente en áreas de borde entre estas dos categorías. Las pérdidas de la categoría *otros humedales* en este período se dieron principalmente hacia la categoría de uso agropecuario (123,84 ha) y hacia cuerpos de agua (9,45 ha).

Las ganancias de la categoría de mangle alto/medio se dieron a expensas del mangle enano. Para este, las ganancias (sin tomar en cuenta el mangle alto/medio) se dieron a expensas de los cuerpos de agua (33,39 ha), las camaroneras/salineras (8,10 ha) y el uso agropecuario (14,49 ha).

En este período, las mayores ganancias y pérdidas relativas (Cuadro 19 y Figura 37) se dieron en las categorías de mangle, agropecuario y cuerpos de agua. La ganancia y pérdida del mangle enano está bastante equilibrada, sin embargo, no sucede lo mismo con el mangle alto/medio donde se nota un desbalance que no ocurrió en períodos anteriores.

La ganancia/pérdida neta del período (Cuadro 19 y Figura 38) refleja una pérdida de mangle alto/medio de cerca de 944,37 ha (7,64%) y una ganancia del mangle enano de 255,96 ha (3,83%). Las camaroneras/salineras sufrieron un incremento neto de 167,40 ha (12,96%). El crecimiento urbano siguió siendo significativo con un incremento de 215,19 ha (33,03%), lo que de nuevo hace tangible la amenaza que significa esto para los manglares.

Los cambios espaciales de la cobertura de mangle en el período 2002-2014 (Figura 39) muestran los mismos patrones observados en los periodos anteriores (Figura 33 y Figura 36), lo que demuestra la presión a la que se ven sometidos los manglares por los efectos de borde.

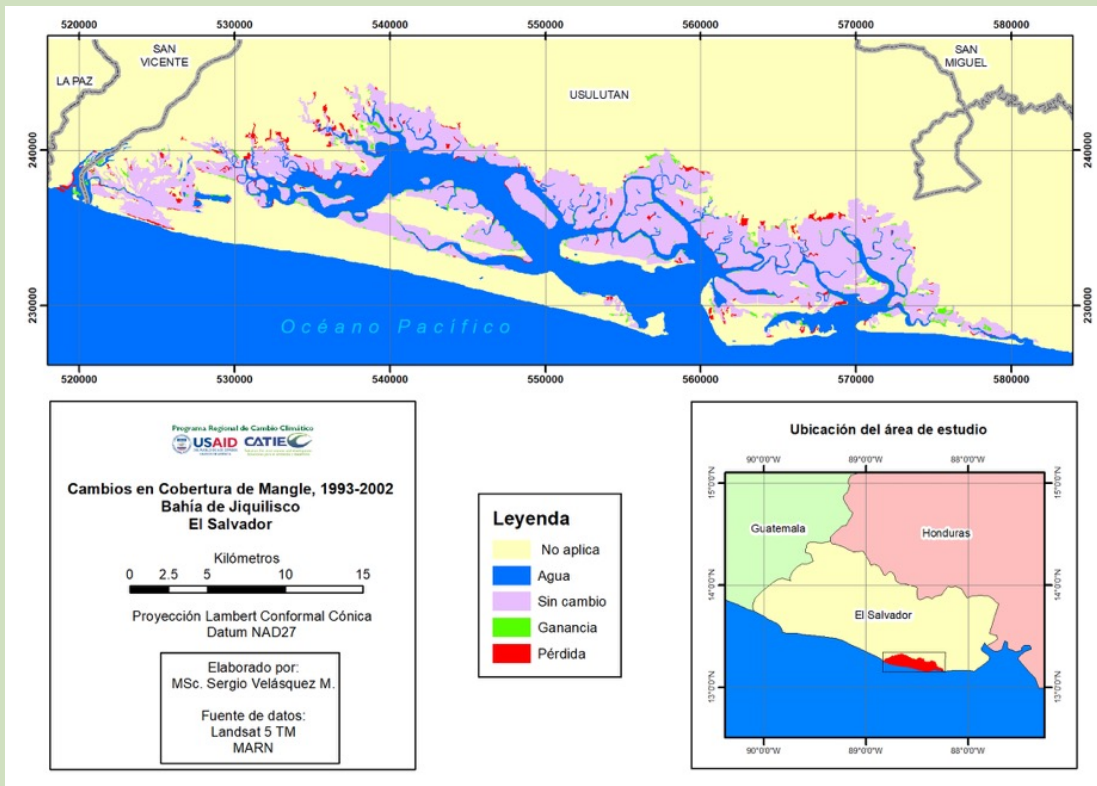


Figura 36. Ubicación espacial de los cambios en la cobertura de mangle en la bahía de Jiquilisco durante el periodo 1993-2002.

Cuadro 18. Matriz de cambios de uso del suelo en la bahía de Jiquilisco para el período 2002-2014.

Cobertura	AG	BoMSc	BoSV	C/S	Cagua	MaEn	MaAlMe	Ohum	Pal/Coc	Playa	Urb/Sd	VegArb	Total 2002	Pérdidas
AG	14 584,77	72,27	0	85,32	275,67	14,49	43,74	129,78	153,18	89,82	187,74	123,21	15 759,99	1175,22
BoMSc	322,29	690,12	0	0	0	0	0	0,36	0	0	0	0	1012,77	322,65
BoSV	44,37	0	457,47	0	8,91	0	0	0	0	0	0	0	510,75	53,28
C/S	0	0	0	1260,81	18,72	8,1	0	0	2,43	0	1,98	0	1292,04	31,23
Cagua	29,07	0	0	7,56	19 338,12	33,39	0	32,13	0	225,9	0	7,47	19 673,64	335,52
MaEn	42,66	0	5,85	75,78	130,77	5676,75	702,36	38,34	15,57	0	0	0	6688,08	1011,33
MaAlMe	62,82	0	23,67	11,7	361,17	1208,7	10 659,78	12,15	1,08	10,44	0	3,24	12 354,75	1694,97
Ohum	123,84	0	0	6,12	9,45	0	0	487,98	3,33	0	4,77	0	635,49	147,51
Pal/Coc	0	0	0	0	0	0	0	0	2693,97	0,9	10,8	0	2705,67	11,7
Playa	132,75	0	0	10,53	169,56	1,62	0	5,85	1,89	124,65	7,56	85,32	539,73	415,08
Urb/Sd	0	0	0	0,72	0	0	0	0	0	0	650,79	0	651,51	0,72
VegArb	486,99	0	17,82	0,9	19,89	0,99	4,5	0	12,15	4,14	3,06	1336,41	1886,85	550,44
Total 2014	15 829,56	762,39	504,81	1459,44	20 332,26	6944,04	11 410,38	706,59	2883,6	455,85	866,7	1555,65	63 711,27	
Ganancias	1244,79	72,27	47,34	198,63	994,14	1267,29	750,6	218,61	189,63	331,2	215,91	219,24		

Nota: Las categorías de cobertura analizadas son: AG: Agropecuario; BoMSc: Bosque mixto semicaducifolio; BoSV: Bosque siempre verde; C/S: Camaronera/Salinera; Cagua: Cuerpos de agua; MaEn: Mangle enano; MaAlMe: Mangle alto/medio; Ohum: Otros humedales; Pal/Coc: Palmas/Cocotero; Playa: Playas, dunas, arena; Urb/Sd: Urbano/Suelo desnudo; VegArb: Vegetación arbustiva. La precisión total de la clasificación es de 95,59%.

6.5.4 Tendencia del cambio y tasas de pérdida/ganancia en los períodos de estudio.

A continuación, se analiza la tendencia que ha tenido el cambio de cobertura de la zona de estudio entre 1986 y 2014, además de las tasas de cambio interanual en los tres períodos estudiados. Se eliminaron los cuerpos de agua del análisis porque los mismos incluyen un área del océano Pacífico dentro de su cobertura. Tanto el mangle alto/medio como el enano sufrieron variaciones relativamente pequeñas (Figura 40), pero que en términos de conservación podrían ser significativas. En el caso del mangle alto, alcanzó un pico de cobertura en 2002 (28,05% del total) y su valor más bajo en el 2014 (26,3%), para una diferencia de 944,37 ha (Cuadro 20). El mangle enano alcanzó su cobertura máxima en 1993 (16,76%) y su valor más bajo en 2002 (15,19%), una diferencia de 639 ha (Cuadro 20).

Las relativamente pequeñas variaciones en el área de las dos coberturas descritas son probablemente debidas al proceso bidireccional de recuperación/degradación de esas áreas, lo cual ha ocurrido en los períodos multianuales. Por otro lado, el tamaño de pixel de los sensores Landsat (30 m) provoca un efecto de borde puede incrementar o disminuir la cantidad de cobertura de mangle, principalmente en las fronteras entre estos dos tipos de cobertura. Lo anterior, combinado con la ubicación espacial de estos cambios, cerca de la orilla de canales y el margen de la costa, nos permite hipotetizar que este aumento/disminución también puede deberse a las variaciones en las mareas que muchas veces la interpretación clasifica como cuerpos de agua, en lugar de manglar (o viceversa).

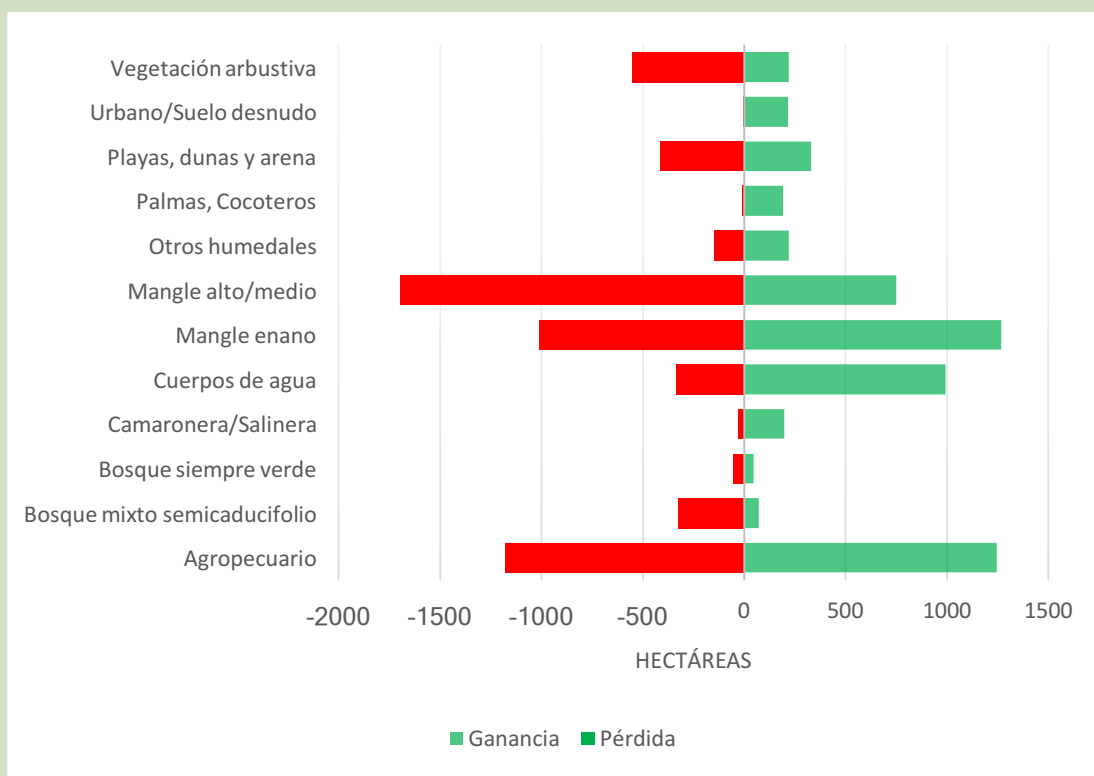


Figura 37. Ganancias y pérdidas relativas por tipo de cobertura en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo 2002-2014.

Cuadro 19. Dinámica de ganancias y pérdidas por tipo de cobertura (en ha y %) para el periodo 2002-2014 en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.

Cobertura	Ganancia (ha)	Pérdida (ha)	Cambio neto (ha)	% de cambio
Agropecuario	1244,79	1175,22	69,57	0,44
Bosque mixto semicaducifolio	72,27	322,65	-250,38	-24,72
Bosque siempre verde	47,34	53,28	-5,94	-1,16
Camaronera/Salinera	198,63	31,23	167,40	12,96
Cuerpos de agua	994,14	335,52	658,62	3,35
Mangle enano	1267,29	1011,33	255,96	3,83
Mangle alto/medio	750,6	1694,97	-944,37	-7,64
Otros humedales	218,61	147,51	71,10	11,19
Palmas, Cocoteros	189,63	11,7	177,93	6,58
Playas, dunas y arena	331,2	415,08	-83,88	-15,54
Urbano/Suelo desnudo	215,91	0,72	215,19	33,03
Vegetación arbustiva	219,24	550,44	-331,20	-17,55

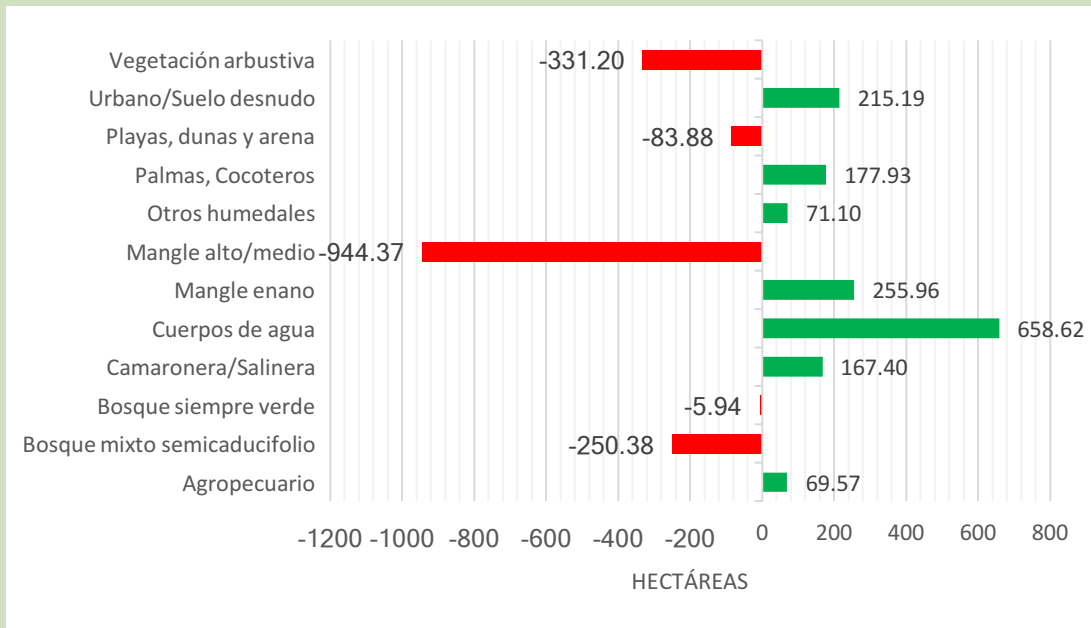


Figura 38. Ganancias y pérdidas netas por tipo de cobertura en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo 2002-2014.

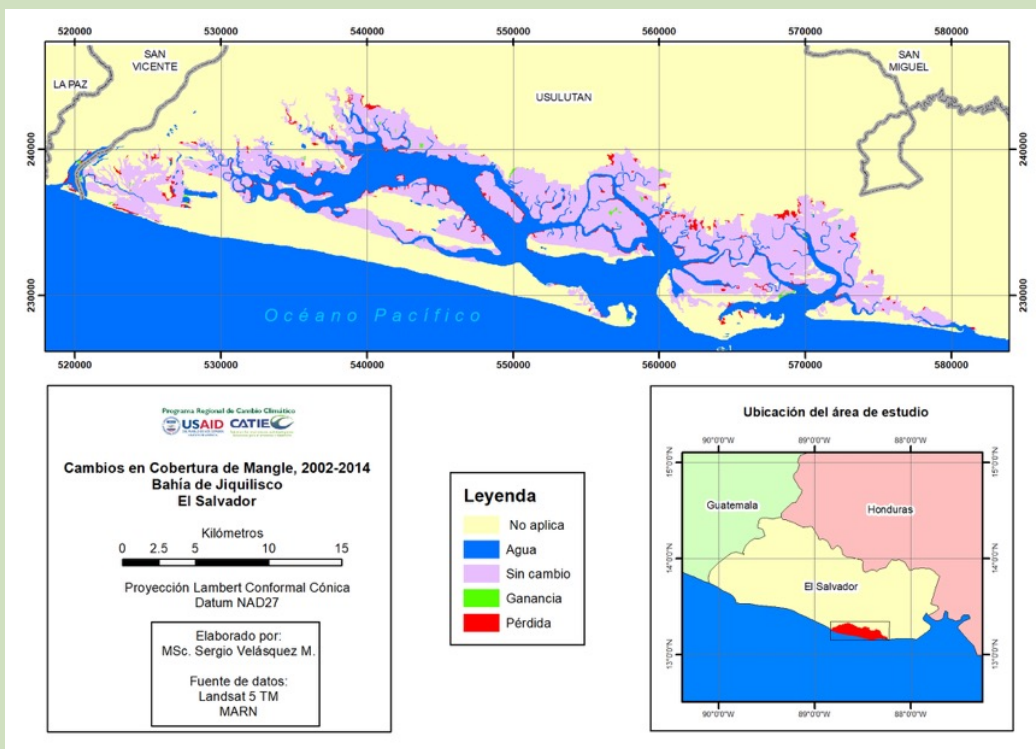


Figura 39. Ubicación espacial de los cambios en la cobertura de mangle en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, durante el periodo 2002-2014.

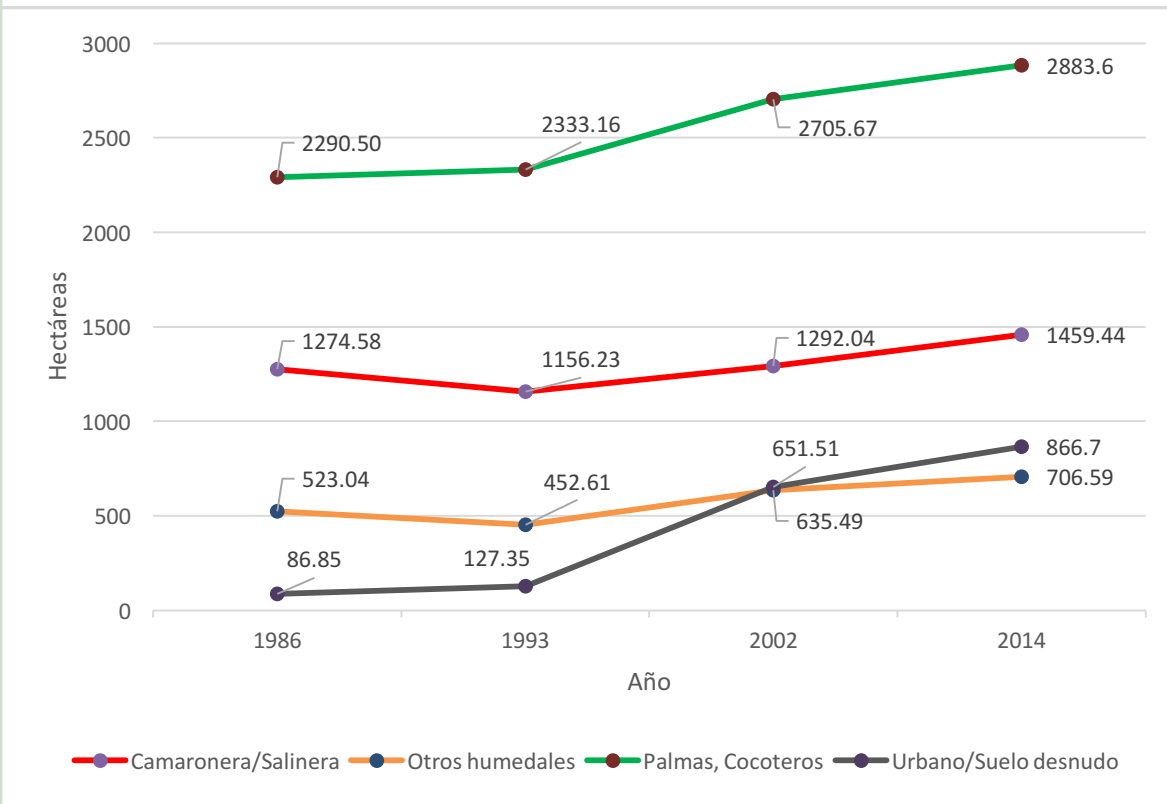
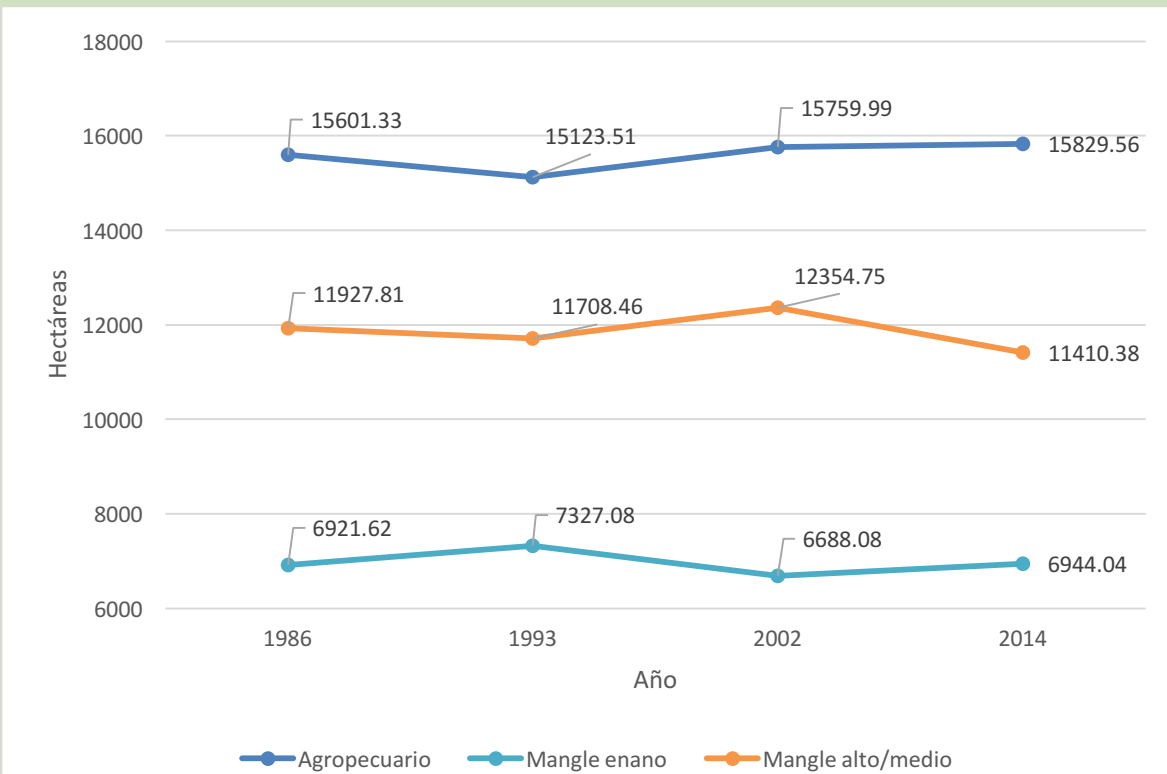
Cuadro 20. Magnitud del área para las categorías de cobertura/uso del suelo (en ha y %) asociadas a los manglares en bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo 1986-2014.

Cobertura	Año							
	1986	%	1993	%	2002	%	2014	%
Agropecuario	15 601,33	36,06	15 123,51	34,60	15 759,99	35,79	15 829,56	36,49
Bosque mixto semicaducifolio	1196,87	2,77	989,46	2,26	1012,77	2,30	762,39	1,76
Bosque siempre verde	961,02	2,22	819,63	1,87	510,75	1,16	504,81	1,16
Camaronera/Salinera	1274,58	2,95	1156,23	2,64	1292,04	2,93	1459,44	3,36
Mangle enano	6921,62	16,00	7327,08	16,76	6688,08	15,19	6944,04	16,01
Mangle alto/medio	11 927,81	27,57	11 708,46	26,78	12 354,75	28,05	11 410,38	26,30
Otros humedales	523,04	1,21	452,61	1,04	635,49	1,44	706,59	1,63
Palmas, Cocoteros	2290,50	5,29	2333,16	5,34	2705,67	6,14	2883,60	6,65
Playas, dunas y arena	251,64	0,58	250,02	0,57	539,73	1,23	455,85	1,05
Urbano/Suelo desnudo	86,85	0,20	127,35	0,29	651,51	1,48	866,70	2,00
Vegetación arbustiva	2231,86	5,16	3426,57	7,84	1886,85	4,28	1555,65	3,59
Total	43 267,12	100	43 714,08	100	44 037,63	100	43 379,01	100

De igual forma, las camaroneras/salineras mostraron una variación que tiende a incrementarse hacia el final del periodo, pasando de su menor cobertura en 1993 (1156,23 ha, 2,64%) a 1459,44 ha en 2014 (Cuadro 21). Sin embargo, esto es un cambio de menos de 190 ha entre 1986 y 2014 (Figura 40). Por otro lado, los otros humedales alcanzaron su mayor extensión en 2014 (habiendo aumentado en 183 ha entre 1986 y 2014; Figura 40), pero en ningún momento alcanzaron siquiera el 2% del área de análisis. Los humedales son otra cobertura cuya identificación depende comúnmente del estado de inundación en el que se encuentren al momento de la toma de la escena. Este hecho, combinado con su limitada extensión no permite hacer inferencias de peso acerca de su dinámica.

Las palmas y cocoteros también compiten con los manglares y aumentaron su área de un 5,34% del área en 1993 a un 6,65% en 2014 (casi 600 ha; Cuadro 21). La cobertura agropecuaria permaneció bastante estable a lo largo del período, con una ligera disminución en 1993 (una pérdida de 478 ha desde 1986), pero recuperándose para alcanzar su cobertura máxima en 2014 (el 36,49% del área de análisis; Cuadro 21). Por último, el área urbana mostró un incremento en cada período, pasando del 0,2% del área en 1986, al 2% en 2014; esta es la mayor magnitud de incremento entre todas las categorías analizadas (Figura 40). El crecimiento del área urbana en los alrededores de la zona norte del manglar (Figura 33, Figura 36 y Figura 39) evidencia el peligro latente que existe para la conservación de este recurso.

Las tasas interanuales de cambio en la extensión de las categorías de cobertura/uso del suelo son relativamente pequeñas en todo el periodo de estudio. La excepción la constituye la tasa de crecimiento urbano, para el período 1993 - 2002, alcanzando casi un 20% (Cuadro 22). La mayor tasa de reducción en el área de los manglares se presentó para el mangle alto/intermedio en el período 2002-2014, mientras que el mayor aumento lo mostró la misma categoría, pero entre 1993 y 2002. Esto evidencia la alta inestabilidad que tiene la cobertura de manglares en la zona. Las tasas interanuales de cambio en la extensión del manglar enano fue la mitad de la del manglar alto/intermedio en 2002 - 2014 (Cuadro 22). Otras coberturas que tuvieron un crecimiento positivo durante el último período fueron las camaroneras/salineras (1,02%), los otros humedales (0,88%), las palmas y cocoteros (0,53%) y agropecuario (0,04%). La tasa de crecimiento fue negativa para el bosque mixto semicaducifolio y la vegetación arbustiva (-2,37% y -1,61%, respectivamente).



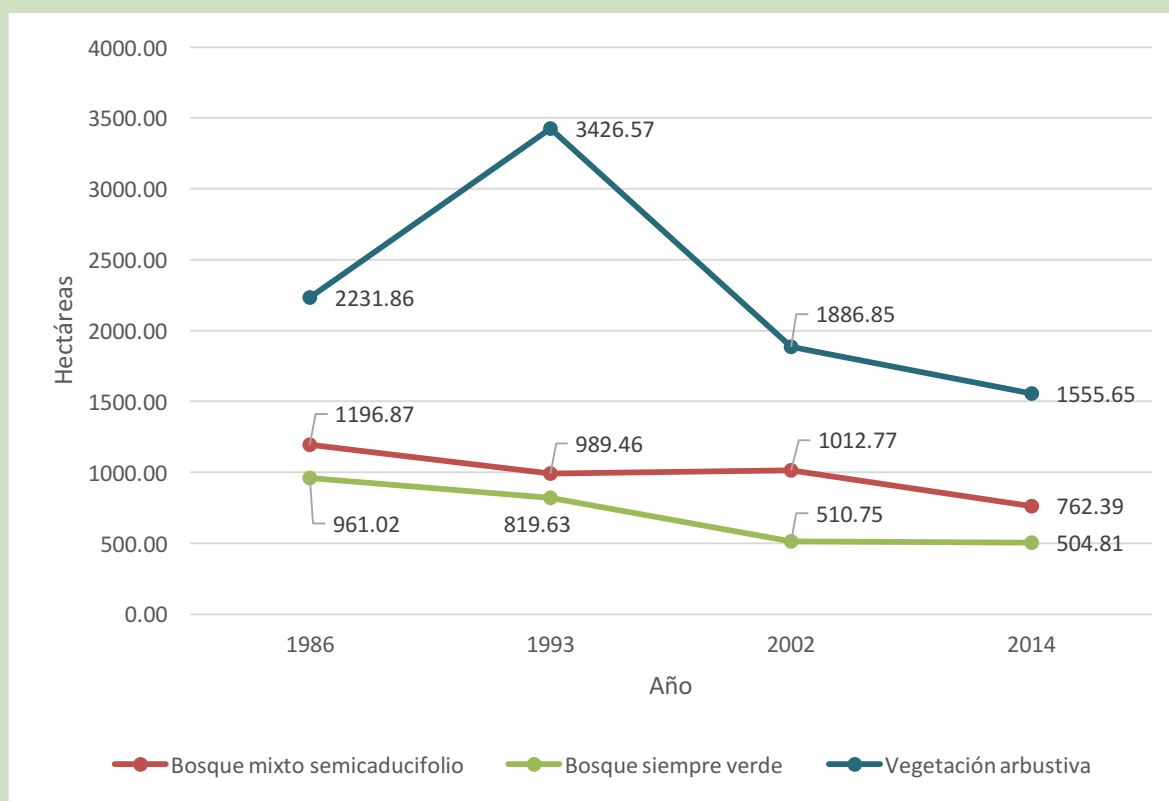


Figura 40. Tendencias de cambio entre las categorías de cobertura/uso del suelo en la bahía de Jiquilisco entre 1986 y 2014.

Cuadro 21. Tasas interanuales de cambio (expresadas en %) de aumento (valores positivos) y reducción (valores negativos) del área de las categorías de cobertura/uso del suelo en la bahía de Jiquilisco entre 1986 y 2014.

Cobertura	1986-1993		1993-2002		2002-2014	
	FAO	Puyravaud	FAO	Puyravaud	FAO	Puyravaud
Agropecuario	-0,44	-0,44	0,46	0,46	0,04	0,04
Bosque mixto semicaducifolio	-2,68	-2,72	0,26	0,26	-2,34	-2,37
Bosque siempre verde	-2,25	-2,27	-5,12	-5,26	-0,10	-0,10
Camaronera/Salinera	-1,38	-1,39	1,24	1,23	1,02	1,02
Mangle enano	0,82	0,81	-1,01	-1,01	0,31	0,31
Mangle alto/medio	-0,26	-0,27	0,60	0,60	-0,66	-0,66
Otros humedales	-2,04	-2,07	3,84	3,77	0,89	0,88
Palmas, Cocoteros	0,26	0,26	1,66	1,65	0,53	0,53
Playas, dunas y arena	-0,09	-0,09	8,93	8,55	-1,40	-1,41
Urbano/Suelo desnudo	5,62	5,47	19,89	18,14	2,41	2,38
Vegetación arbustiva	6,32	6,12	-6,41	-6,63	-1,60	-1,61

6.6 EXISTENCIAS DE CARBONO POR COMPONENTE DEL ECOSISTEMA

Para la medición del carbono en el ecosistema de manglar, la metodología desarrollada contempla la medición de sus componentes por separado. En esta sección describimos los principales hallazgos relacionados con la cantidad de carbono acumulada en cada uno de esos componentes para luego continuar, en la siguiente sección del documento, con la descripción de las existencias de carbono a nivel de ecosistema. Los resultados se describen para los manglares y otras coberturas del suelo en la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque.

6.6.1 Existencia de carbono aérea y subterránea de árboles

Encontramos diferencias en la magnitud de acumulación de carbono entre los diferentes estratos de manglares en ambos sitios de estudio. Los manglares altos han acumulado mayores cantidades de carbono en todos los sitios. En promedio, estos presentaron 174,14 y 167,89 MgC/ha para la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque, respectivamente. Los manglares intermedios presentaron existencias promedio menores que las anteriores: 51,15 y 47,77 MgC/ha en Jiquilisco y Jaltepeque, respectivamente. Los manglares enanos de bahía de Jiquilisco y del estero de Jaltepeque representan, respectivamente, el 5,7% (9,88 MgC/ha) y 11,6% (19,55 MgC/ha) de las existencias medidas en los manglares altos (Cuadro 23).

En los manglares altos, *Rhizophora racemosa* concentró en ambos sitios la mayor cantidad de carbono, pero en el mangle intermedio fue *R. mangle*. En manglares enanos, las reservas de carbono disminuyen considerablemente (Cuadro 23), debido al tamaño de los árboles. Además, en esos sitios se encontraron especies que se asocian con las de *bosque salado*, como *Pithecellobium dulce* y *Acacia cornigera* (ver transecto 31 en la Figura 5 y transecto 11 en la Figura 6). En cambio, en los manglares altos e intermedios se encontraron solamente a especies propias de los bosques de manglar. En esos sitios, los sedimentos son muy fangosos, además de la altísima salinidad que impide el establecimiento y desarrollo de otras especies ajenas a estos ecosistemas.

En ambos sitios de estudio se encontraron especies arbóreas (con dap \geq 5 cm) en otros estratos de cobertura, como en áreas REM, marismas, terrenos de uso agropecuario donde antes fue manglar, y en relictos de salinera (Cuadro 23). En las áreas REM se encontraron en promedio 17,98 y 6,54 MgC/ha para Jiquilisco y Jaltepeque, respectivamente. En el estero de Jaltepeque, las marismas tienen una existencia de 9,93 MgC/ha, el uso agropecuario 4 MgC/ha y los relictos de salinera 1,43 MgC/ha.

En las áreas de REM y en relictos de salinera encontramos especies de manglares como *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle* y *Conocarpus erectus*, *A. germinans* y *L. racemosa*, las cuales acumularon la mayor cantidad de carbono en Jiquilisco y Jaltepeque, respectivamente. Las especies arbóreas en las áreas de REM en Jiquilisco acumularon casi tres veces (2,75) más carbono que esa misma cobertura en Jaltepeque (Cuadro 24). En las marismas *C. erectus* acumuló entre 5,5 y 91,8 veces más carbono que las demás especies encontradas y comúnmente asociadas a manglares, como *Acacia cornigera* y *Pithecellobium dulce*, y hubo sitios sin cobertura arbórea. El relicto de salinera en Jaltepeque es un caso particular porque presentó vegetación con una estructura de mangle enano, con preponderancia de *A. germinans*. Es probable que la compactación por el uso que se le dio a la salinera retarda o impide que los árboles puedan desarrollarse completamente como en otros sitios de manglar.

En los terrenos de uso agropecuario, a excepción de un transecto bajo cultivo activo de caña de azúcar, se encontraron árboles de diferentes especies establecidas solamente en cercas vivas a lo largo de los bordes. Las especies encontradas en estos casos fueron *Jatropha curcas*, *Persea americana* y *Anacardium occidentale*. *Pithecellobium dulce* estuvo presente entre el límite del manglar, en los terrenos destinados a cultivos o ganadería.

Cuadro 23. Existencias de carbono (Mg/ha) distribuidas por estratos de manglar y las especies presentes en el sitio y clases diamétricas para los manglares de la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque, El Salvador.

Sitio	Estrato	Especie	Diámetro (cm)							Total	
			5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70		70-80
Bahía de Jiquilisco	Mangle alto	<i>Avicennia germinans</i>	0,05	0,04	0,59	3,80	2,33				6,82
		<i>Laguncularia racemosa</i>	0,05	0,09	1,02	1,22					2,38
		<i>Rhizophora mangle</i>	0,79	1,67							2,46
		<i>Rhizophora racemosa</i>	2,54	12,03	27,06	39,95	32,60	6,03	16,06	26,20	162,48
	Mangle intermedio	<i>Laguncularia racemosa</i>	0,01	0,06							0,07
		<i>Rhizophora mangle</i>	26,61	13,82	1,08						41,51
		<i>Rhizophora racemosa</i>	0,55	1,46	4,31	3,26					9,57
	Mangle enano	<i>Acacia cornigera</i>	0,04								0,04
		<i>Avicennia germinans</i>	1,41	0,26							1,67
		<i>Laguncularia racemosa</i>	2,69								2,69
		<i>Pithecellobium dulce</i>	0,03								0,03
<i>Randia sp.</i>			0,08							0,08	
	<i>Rhizophora mangle</i>	5,28	0,11							5,39	
Estero Jaltepeque	Mangle alto	<i>Avicennia germinans</i>	0,71	1,81	2,17	11,01	17,75	4,59	4,99		43,03
		<i>Laguncularia racemosa</i>	0,81	1,31	1,30	1,13		2,39			6,95
		<i>Rhizophora racemosa</i>	4,81	9,79	11,21	26,80	26,11	30,02	9,16		117,91
	Mangle intermedio	<i>Avicennia germinans</i>	0,22	1,45							1,67
		<i>Laguncularia racemosa</i>	6,17	7,55	0,36						14,08
		<i>Rhizophora mangle</i>	9,20	13,14	4,36	1,82	3,50				32,02
	Mangle enano	<i>Acacia cornigera</i>		0,33							0,33
		<i>Avicennia germinans</i>	3,97	5,27	1,40	3,10					13,73
		<i>Conocarpus erectus</i>	0,45	0,42							0,87
		<i>Laguncularia racemosa</i>	2,38	0,83	0,46						3,67
<i>Pithecellobium dulce</i>		0,00	0,49							0,49	
	<i>Rhizophora mangle</i>	0,46								0,46	

Cuadro 24. Existencias de carbono (Mg/ha) para las áreas de restauración ecológica de manglares (REM), marismas, usos agropecuarios y relictos de salineras de la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque, El Salvador.

Sitio	Estrato	Especie	Diámetro (cm)					Total
			5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	
Bahía de Jiquilisco	Áreas REM	<i>Avicennia germinans</i>	1,33	4,70	4,95	1,64		12,62
		<i>Laguncularia racemosa</i>	0,05					0,05
		<i>Rhizophora mangle</i>	0,77	1,34	3,20			5,31
Esteros Jaltepeque	Áreas REM	<i>Avicennia germinans</i>	0,32	0,441				0,76
		<i>Laguncularia racemosa</i>	3,81	1,322				5,13
		<i>Rhizophora mangle</i>	0,64					0,64
	Marisma	<i>Acacia cornigera</i>	0,12	1,044				1,17
		<i>Anacardium occidentale</i>		0,085				0,08
		<i>Conocarpus erectus</i>	0,43	0,749		3,341	2,825	7,34
		<i>Pithecellobium dulce</i>	0,18	0,728	0,426			1,34
	Agropecuario	<i>Anacardium occidentale</i>	0,07					0,07
		<i>Jatropha curcas</i>	0,01					0,01
		<i>Persea americana</i>	0,06	0,095				0,15
		<i>Pithecellobium dulce</i>	0,06	0,5			3,207	3,77
	Relicto de salinera	<i>Avicennia germinans</i>	0,94	0,469				1,40
		<i>Conocarpus erectus</i>	0,02					0,02

6.6.2 Existencia de carbono aérea y subterránea de la regeneración

El carbono acumulado en la regeneración presente en los sitios de estudio varió dependiendo del estrato (Cuadro 25). En los manglares altos se encontraron 3,27 y 5,62 MgC/ha para bahía Jiquilisco y estero Jaltepeque, respectivamente. En manglares intermedios se halló en promedio un total de 3,01 y 3,98 MgC/ha, en los mismos sitios. En las áreas REM de bahía de Jiquilisco y estero Jaltepeque, se encontraron aproximadamente 5,95 y 51,99 MgC/ha, respectivamente. El valor tan grande se debe a la considerable presencia y talla de los individuos de *L. racemosa* y *R. mangle*. En las marismas de estero Jaltepeque se encontraron un total de 2,42 MgC/ha (Cuadro 25).

En bahía de Jiquilisco las especies con mayores reservas de carbono en mangle alto e intermedio son *Rhizophora racemosa* y *R. mangle*, respectivamente. En el estero Jaltepeque para mangle alto e intermedio, respectivamente, las especies con mayores reservas de carbono cambian, siendo, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. En las áreas REM, las especies que están regenerando y a la vez almacenando carbono con su crecimiento son propias de manglares, como *A. germinans*, *L. racemosa* y *R. mangle*. Estas especies se desarrollan en ambos sitios; algunas contienen reservas de carbono altas, debido al grado de desarrollo y abundancia que presentan, como *L. racemosa* en estero Jaltepeque (Cuadro 25). En las marismas se encontró regenerando principalmente a *Conocarpus erectus*, por tanto, es la que presentó mayor reserva de carbono en este estrato, además se encontró a otras especies regenerando, ya que las condiciones de los sitios, principalmente el sedimento, se prestan para que estas especies se asocien con las de *bosque salado*.

Cuadro 25. Existencias de carbono (Mg/ha) para la regeneración de especies de manglar encontradas en bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque, El Salvador.

Sitio	Estrato	Especie	Carbono (Mg/ha)
Bahía de Jiquilisco	Mangle alto	<i>Rhizophora racemosa</i>	3,27
	Mangle intermedio	<i>Rhizophora mangle</i>	3,00
		<i>Rhizophora racemosa</i>	0,00
	Áreas REM	<i>Avicennia germinans</i>	4,82
		<i>Laguncularia racemosa</i>	0,03
		<i>Rhizophora mangle</i>	1,08
Esterio Jaltepeque	Mangle alto	<i>Avicennia germinans</i>	2,86
		<i>Laguncularia racemosa</i>	0,45
		<i>Rhizophora racemosa</i>	2,32
	Mangle intermedio	<i>Laguncularia racemosa</i>	3,76
		<i>Rhizophora mangle</i>	0,21
	Áreas REM	<i>Avicennia germinans</i>	5,63
		<i>Laguncularia racemosa</i>	29,73
		<i>Rhizophora mangle</i>	16,63
	Marisma	<i>Acacia cornigera</i>	0,09
<i>Achatocarpus nigricans</i>		0,70	
<i>Conocarpus erectus</i>		1,63	

6.6.3 Existencia de carbono en la madera caída

En general, las existencias de carbono en la madera caída en las áreas de estudio son reducidas y no sobrepasan las 2 MgC/ha (Cuadro 26). Esto es consistente con otros inventarios realizados en la región (BIOMARCC 2012, Cifuentes-Jara *et al.* 2017). Los manglares de Jaltepeque acumulan más carbono que los encontrados en Jiquilisco: 1,8 veces más en los manglares altos y 8,5 veces más en los manglares intermedios. La diferencia más significativa fue encontrada entre los manglares bajos: encontramos 26,8 veces más carbono en la madera caída en Jaltepeque que en Jiquilisco.

En los manglares altos y en las áreas de REM, los contenidos de carbono son mayores en los pedazos de madera grandes ($\geq 7,5$ cm; Cuadro 26). Esto es esperable, ya que las dimensiones de los árboles ubicados en estos manglares son mayores, con respecto a los manglares intermedios y enanos. Sin embargo, en el caso de las áreas de REM la madera caída es procedente de troncos de madera del bosque original que se perdió y que aún permanecen en los sitios en diferentes estados de descomposición.

Cuadro 26. Existencias de carbono (Mg/ha) en la madera caída encontrada en sitios de muestreo de manglar y coberturas asociadas en la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque, El Salvador.

Sitio	Estrato	Estado	Diámetro (cm)		Total
			≥ 2,5 a < 7,5	≥ 7,5	
Bahía de Jiquilisco	Mangle alto	Intermedio	0,0567	0,4086	0,4653
		Podrido	0,0179	0,1401	0,1580
		Sólido	0,0592	0,5133	0,5725
	Mangle intermedio	Intermedio	0,0129		0,0129
		Podrido	0,0013	0,0046	0,0059
		Sólido	0,0073		0,0073
	Mangle enano	Sólido	0,0335		0,0335
	Áreas REM	Intermedio	0,0287	0,2318	0,2606
		Podrido	0,0528	0,9415	0,9943
Sólido		0,0376	0,0860	0,1236	
Esteros Jaltepeque	Mangle alto	Intermedio	0,0617	0,3250	0,3867
		Podrido	0,1809	0,4438	0,6247
		Sólido	0,0251	1,1087	1,1338
	Mangle intermedio	Intermedio	0,0280	0,0097	0,0377
		Podrido	0,1120	0,0449	0,1569
		Sólido	0,0092	0,0184	0,0275
	Mangle enano	Intermedio	0,0243	0,0634	0,0877
		Podrido	0,0416	0,1320	0,1736
		Sólido	0,0130	0,6099	0,6229
	Áreas REM	Intermedio		0,1869	0,1869
		Podrido	0,0037	0,0385	0,0421
		Sólido	0,0202	0,8379	0,8581
Marisma	Sólido	0,0017		0,0017	

6.6.4 Existencia de carbono en el sedimento

El suelo de los manglares es el componente del ecosistema donde se encuentran la gran mayoría del carbono almacenado; hasta 98% en manglares estuarinos (Donato *et al.* 2011). En esta sección reportamos las existencias de carbono hasta 2 m de profundidad para los manglares y otros usos del suelo asociados a ellos en la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque, El Salvador.

6.6.4.1 Bahía de Jiquilisco

El carbono en el suelo en los sitios de estudio varió entre menos de 50 MgC/ha en las camaroneras, hasta más de 550 MgC/ha. A 30 cm de profundidad, los tres tipos de manglares presentaron reservas de carbono similares. Sin embargo, a 2 m, el mangle intermedio presentó la mayor cantidad de carbono en el sedimento, seguido del mangle enano y mangle alto (Figura 42). En manglares altos se encontró en promedio 290,01 MgC/ha 496,02 MgC/ha, hasta 1 y 2 m de profundidad, respectivamente.

En manglares intermedios medimos en promedio 314,92 y 562,64 MgC/ha para las mismas profundidades anteriores, mientras que en los manglares enanos encontramos 289,92 y 554,12 MgC/ha, respectivamente. Estos valores son similares a los medidos en otros estudios de carbono azul en Centroamérica (Cifuentes-Jara *et al.* 2017), lo que sugiere una cierta consistencia en la dinámica de carbono de los manglares en la región. Las áreas REM también presentan cantidades similares de carbono que los manglares altos, con 208,34 y 494,63 MgC/ha, respectivamente, para las profundidades analizadas (Figura 41). Aunque estas existencias son, en alguna medida, menores que las encontradas en los demás estratos de manglar, evidencian el alto potencial de recuperación de carbono que tienen las actividades de restauración de esos ecosistemas.

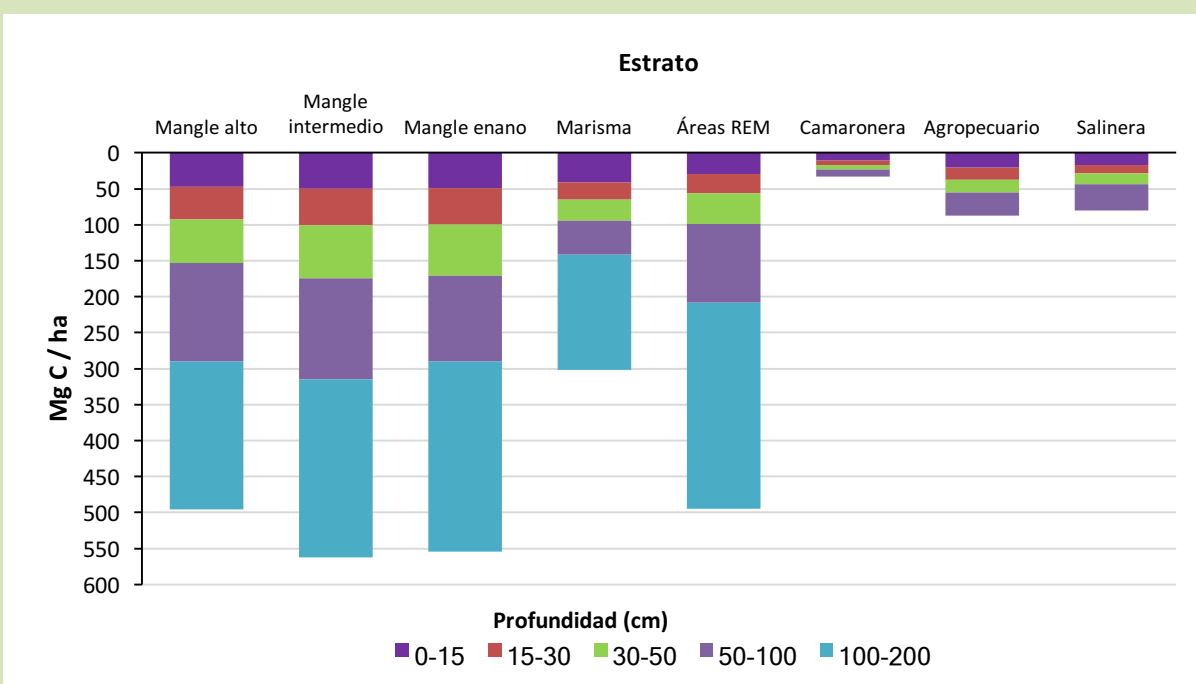


Figura 41. Existencias de carbono (Mg/ha), divididas por rango de profundidad, en el suelo de los manglares y otras coberturas/ usos del suelo presentes en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.

Las coberturas del suelo que originalmente fueron manglares, presentan menores existencias de este elemento, evidenciando las pérdidas por el proceso de cambio de uso que han sufrido con el pasar del tiempo. Las marismas, por otro lado, tienen niveles intermedios de carbono, con 141,80 MgC/ha a 1 m de profundidad y 301,81 MgC/ha, hasta los 2 m (Cuadro 27).

En las camaroneras se encontraron 32,84 MgC/ha a 1 m de profundidad, mientras que en terrenos agropecuarios medimos 87,37 MgC/ha, y en salineras 79,77 MgC/ha, a esa misma profundidad. Por ende, las mayores pérdidas de carbono se encuentran en la conversión de manglares a camaroneras donde, en promedio, se pierde el 89% de las existencias de carbono originales (unas 265,44 MgC/ha, o el equivalente al 92% del carbono en promedio almacenado en los manglares altos hasta 1 m de profundidad).

La conversión a salineras y otros usos agropecuarios es un poco menor (pérdidas equivalentes al 73 y 71% del total original, respectivamente) pero no por eso dejan de ser importantes transiciones de pérdida de manglares con el potencial de generar considerables emisiones de CO₂ a la atmósfera (en el orden de 218,51 y 210,91 MgC/ha, respectivamente; Cuadro 27). En el caso particular de las marismas, la pérdida no es tan considerable (solo un 52%, 156.48 MgC/ha), posiblemente por la naturaleza propia y el anegamiento parcial y frecuente que mantienen dichos suelos.

Espacialmente encontramos algunas diferencias en las existencias de carbono en los sitios de muestreo, aún dentro de los mismos estratos. Por ejemplo, en los manglares altos de Montecristo, establecidos cerca de la desembocadura del río Lempa (Figura 5), se encontraron entre 255 y 265 MgC/ha, mientras que en los mismos manglares ubicados en el sector este de bahía de Jiquilisco (sitios Arco del Espino, Samuria y Piedra Marcada; Anexo 4), las existencias oscilan entre 585 y 698 MgC/ha. La cantidad de carbono almacenado en los suelos de los manglares bajos parece depender de la especie dominante, aunque la evidencia no es definitiva. Donde dominó la especie *Avicennia germinans* se halló considerablemente menos carbono en el suelo, como el caso del sitio de mangle bajo El Zamorancito, donde se encontraron 52,24 MgC/ha, a 2 m de profundidad. En este sitio, el sedimento era menos fangoso y se podía caminar con mucha facilidad en comparación a los sitios de mangle alto e intermedio. Además, se hallaron especies diferentes a las de manglar que se asociaron con *A. germinans*. En comparación, en Boca de los Muchachos, Los Lagartos y Las Tijeras (Anexo 4, Figura 5), donde *Rhizophora mangle* era la especie dominante, se hallaron reservas de carbono superiores a 650 MgC/ha y hasta 696 MgC/ha.

Cuadro 27. Resumen de las existencias de carbono (Mg/ha) en los suelos de las principales categorías de cobertura/ uso del suelo en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.

Cobertura	Carbono hasta 1 m (Mg/ha)	Carbono hasta 2 m (Mg/ha)
Manglar alto	290,01	496,02
Manglar intermedio	314,92	562,64
Manglar bajo	289,92	494,12
Áreas de REM	208,34	494,63
Marismas	141,80	301,81
Camaroneras	32,84	na
Salineras	79,77	na
Agropecuario	87,37	na

Nota: na: no aplica; datos no fueron recolectados a esa profundidad.

Rhizophora mangle fue la especie que dominó en la mayoría de los sitios de mangle intermedio (transectos 24, 25, 26 y 27, Figura 5). Allí también encontramos la mayor reserva de carbono a 2 m de profundidad, en comparación a los demás estratos. En las áreas REM, la estructura del suelo es similar a la encontrada en los manglares altos, intermedios y enanos, de ahí que tengan valores similares o cercanos de carbono a estos estratos. Para los demás estratos, los contenidos de carbono en el suelo son menores, principalmente en camaroneras.

La densidad aparente presenta un comportamiento esperado para esa variable; aumenta con la profundidad del muestreo (Figura 42). Los estratos de manglar presentaron los valores más bajos de densidad aparente

en los diferentes intervalos de profundidad. Por otra parte, los más altos valores de densidad aparente en los otros estratos no son suficientes para compensar la pérdida en la concentración de carbono. De los manglares, el intermedio presentó las menores densidades aparentes a lo largo de todo el perfil de suelo; le siguen el mangle enano y el mangle alto. Los datos además sugieren una relación entre densidad aparente y contenido de carbono; a menor densidad aparente, mayor contenido de carbono en el sedimento, cosa que tiene sentido por las mismas propiedades físicas de la considerable materia orgánica presente.

La densidad aparente del suelo en las áreas de REM tiene la particularidad de ser similar a los valores de esa variable en las salineras y otros usos diferentes al manglar, pero solo hasta los 50 cm de profundidad, aproximadamente. A partir de esa profundidad, los valores de densidad tienen a parecerse a los valores encontrados en los demás estratos de bosque de manglar (Figura 42). Este patrón puede obedecer a dos razones: primeramente, la densidad aparente de esos sitios y profundidades se está recuperando gracias a los procesos de REM y el crecimiento de raíces y a la actividad de bioturbación a profundidades mayores a los 50 cm (Mohktari *et al.* 2016).

Por otro lado, podría argumentarse que la densidad aparente a mayores profundidades no se ve influenciada considerablemente por el cambio de uso del manglar. Sin embargo, esta segunda hipótesis parece no ser tan robusta porque los perfiles de densidad aparente del suelo de los usos no-manglar muestran que esta aumentó considerablemente, de alrededor de 0,30 a casi 0,80 g/cm³, en los primeros 50 cm de profundidad (Figura 42). Las marismas posiblemente tuvieron alta densidad aparente debida a la compactación del suelo y sitios dedicados a la ganadería, ya que en el momento del muestreo se encontró ganado y algunas marismas estaban quemadas. En las camaroneras, agropecuario y salineras la alta densidad es esperable debido al manejo y uso intensivo que le dan.

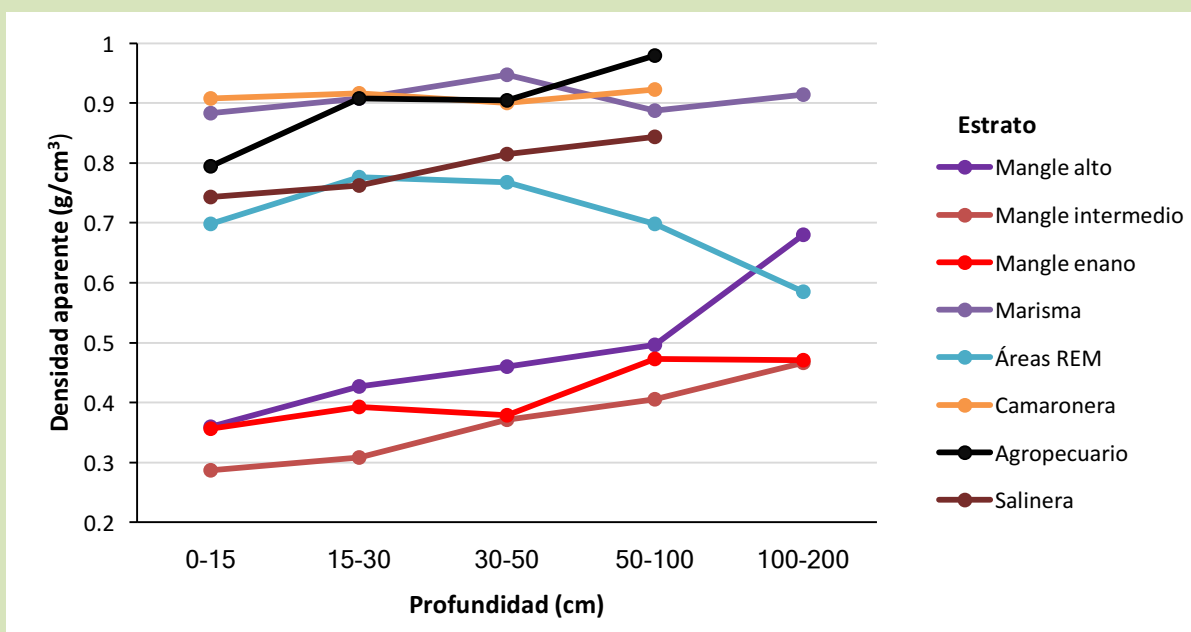


Figura 42. Perfiles de densidad aparente del suelo (g/cm³) de los manglares y otras coberturas/ usos del suelo en la Bahía de Jiquilisco, El Salvador.

6.6.4.2 Estero de Jaltepeque

En el estero de Jaltepeque las existencias de carbono en el suelo varían entre alrededor de 26 y 620 MgC/ha, en camaroneras y manglares intermedios (Figura 43). Al igual que en bahía de Jiquilisco, a 30 cm de profundidad, los manglares altos e intermedios presentaron reservas de carbono similares. A 2 m de profundidad, el mangle intermedio presentó la mayor cantidad de carbono en el sedimento que todos los demás estratos.

En general, en Jaltepeque también observamos el patrón de pérdida de carbono entre los manglares y otros usos del suelo. Sin embargo, en esta zona se pueden diferenciar más claramente los estratos (Figura 43). En primera instancia, los manglares intermedios y altos presentaron las mayores existencias de carbono en el suelo: entre 302,40 y 352,17 MgC/ha para el primer metro de profundidad, y entre 562,25 y 619,63 MgC/ha hasta los 2 m. Las áreas de mangle enano y de REM constituyen un estrato intermedio, cuyo carbono en el suelo varía de 108,38 y 118,63 MgC/ha, a 1 m de profundidad hasta 171,45 y 207,76 MgC/ha, hasta los 2 m (Cuadro 28). Aunque la densidad de carbono no es tan alta como en los manglares intermedios y altos, estos datos nuevamente sugieren que las técnicas de REM están teniendo efectos positivos y considerables sobre la recuperación de las existencias de carbono en las áreas de manglar que se están regenerando.

Cuadro 28. Resumen de las existencias de carbono (Mg/ha) en los suelos de las principales categorías de cobertura/ uso del suelo en el estero de Jaltepeque, El Salvador.

Cobertura	Carbono hasta 1 m (Mg/ha)	Carbono hasta 2 m (Mg/ha)
Manglar alto	352,17	629,63
Manglar intermedio	302,40	562,25
Manglar bajo	108,38	171,45
Áreas de REM	118,63	207,76
Marismas	63,17	81,23
Camaroneras	26,16	na
Salineras (relictos)	118,03	na
Agropecuario	103,89	na

Nota: na: no aplica; datos no fueron recolectados a esa profundidad.

Las marismas, los usos agropecuarios y los relictos de salinera encontrados en Jaltepeque constituyen un tercer grupo de coberturas, con existencias de carbono en el suelo considerablemente menores a las demás (Figura 43). Al igual que en Jiquilisco, estos valores encontrados son similares a otros reportados para el continente americano (Manrow 2011, Adame *et al.* 2013, Cifuentes-Jara *et al.* 2017).

Al igual que en Jiquilisco, la conversión de manglares, especialmente los altos, a otros usos, provoca una considerable pérdida del carbono almacenado. En el caso más extremo, en el proceso de transición entre los manglares alto e intermedio y las camaroneras, se pierden entre 276,24 y 326,01 MgC/ha, lo cual equivale al 91 - 92% del carbono original almacenado hasta 1 m de profundidad (Cuadro 28). En contraste, las áreas de REM demuestran que es posible recuperar las existencias de carbono. En Jaltepeque, en promedio, estos sitios han recuperado cerca del 34% de las existencias de carbono medidas en los manglares altos. Sería necesario un estudio más exhaustivo para determinar las edades, intervenciones

y tasas de crecimiento. A diferencia de Jiquilisco, en Jaltepeque los sitios de salinera tienen mayores existencias de carbono, inclusive similares a las áreas de REM (Cuadro 28). Esto quizás se debe a que en Jaltepeque las salineras han estado inactivas por un periodo considerable, dando oportunidad para una restauración autónoma en los sitios.

Al igual que en Jiquilisco, en Jaltepeque también encontramos diferencias entre los sitios. Por ejemplo, en el manglar alto establecido en la desembocadura del río Lempa (transecto 1, Anexo 5), se encontró menos cantidad de carbono en el sedimento, alrededor de 262,69 MgC/ha, y una dominancia de *Avicennia germinans*. En otros transectos alejados de la desembocadura del río Lempa, las reservas oscilan entre 484 y 844 MgC/ha, y la especie que domina es *Rhizophora racemosa*. Al igual que en Jiquilisco, en los sitios donde dominó *A. germinans* y la talla del manglar fue baja, se halló considerablemente menos contenido de carbono en el sedimento (Figura 43). Estos son en su mayoría los transectos ubicados cerca de la desembocadura del río Lempa (Figura 6) y los que son dominados por *A. germinans* presentaron menos contenido de carbono a 2 m de profundidad. En el mangle intermedio, al igual que en Jiquilisco, *R. mangle* dominó en todos los sitios de manglar intermedio, donde también se encontró la mayor reserva de carbono hasta los 2 m de profundidad.

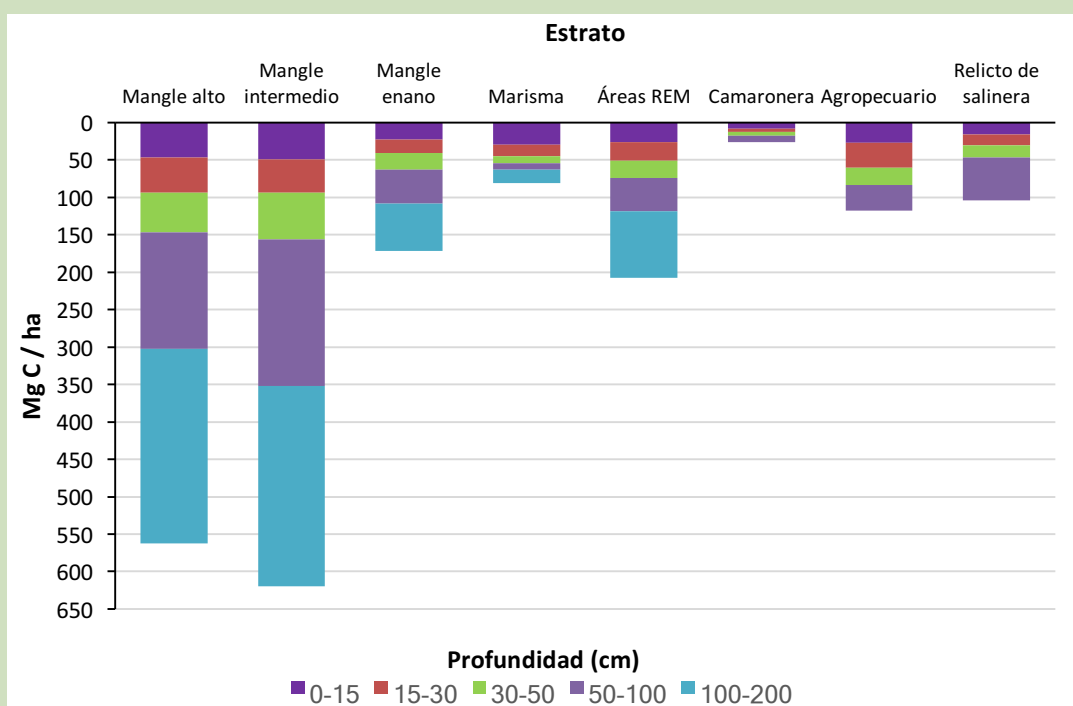


Figura 43. Existencias de carbono (Mg/ha) divididas por rango de profundidad, en el suelo de los manglares y otras coberturas/ usos del suelo presentes en el estero de Jaltepeque, El Salvador.

En general, la densidad aparente del suelo aumentó con la profundidad del perfil de suelo (Figura 44). Al igual que en Jiquilisco, los manglares altos e intermedios presentan valores considerablemente más bajos que las demás categorías de cobertura. Sin embargo, a diferencia de Jiquilisco, los suelos en los manglares enanos de Jaltepeque presentan densidad aparente similar a los de las salineras, áreas REM, marismas

y otros usos agropecuarios. Esto contrasta con lo encontrado en Jiquilisco (Figura 41) y es contrario a la expectativa de hallar menor densidad aparente en áreas de manglar y no de otros usos humanos donde la compactación, el uso agrícola, la presencia de ganado, quemas y otros efectos de la tala del manglar provocan compactación.

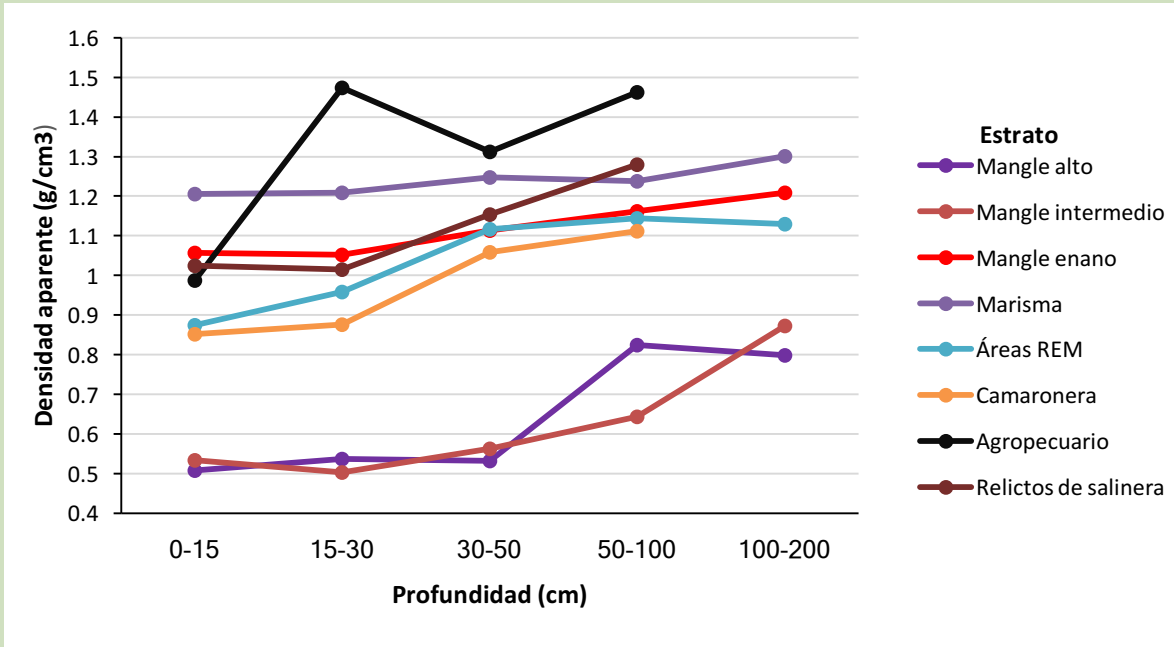


Figura 44. Perfiles de densidad aparente del suelo (g/cm^3) de los manglares y otras coberturas/ usos del suelo en el estero de Jaltepeque, El Salvador

6.6.5 Existencia de carbono del ecosistema

Las existencias de carbono a nivel de ecosistema resultan de la suma de las existencias parciales de todos sus componentes. No hay a nivel internacional una profundidad estándar para reportar estos análisis por lo que en este caso usamos las profundidades máximas muestreadas en el campo (1 o 2 m de profundidad, según la categoría de cobertura/uso del suelo) para realizar las comparaciones.

6.6.5.1 Bahía de Jiquilisco

En este sitio de estudio podemos distinguir varios niveles de existencias de carbono entre las coberturas del suelo muestreadas (Figura 45). En primer lugar, tenemos los manglares altos e intermedios como los estratos con mayores existencias de carbono. Estos alcanzaron promedios de hasta 674,64 y 616,82 MgC/ha hasta 2 m de profundidad, y 468,63 y 369,1 MgC/ha , hasta 1 m de profundidad, respectivamente. En segundo lugar, los manglares enanos y las áreas de REM presentaron valores más bajos, equivalentes al 84 y 77% de las existencias de los manglares con mayores existencias de carbono. Las marismas, que en general no tuvieron cobertura arbórea significativa de manglar, alcanzaron menos de la mitad (45%) del carbono máximo

encontrado en la zona (Cuadro 29). Por otro lado, las camaronerías, salineras y áreas agropecuarias solo fueron muestreadas hasta 1 m de profundidad y no presentaron cobertura arbórea. Por tanto, las existencias de carbono para todo el ecosistema y hasta esa profundidad del suelo representan únicamente del 5 al 13% del carbono máximo encontrado en la zona (Cuadro 29). En general, estos son valores comunes a otros sitios de manglares muestreados en Mesoamérica (Manrow 2011, Adame *et al.* 2013, Cifuentes-Jara *et al.* 2017)

De todos los componentes del ecosistema, el mayor es el suelo (hasta 2 m de profundidad), con el 73,52% del carbono total encontrado en el caso del mangle alto, el 91,22% en el mangle intermedio, el 98,24% en el mangle enano y el 95,13% en las áreas REM. Estos porcentajes varían ligeramente, pero mantienen las tendencias, al considerar el muestreo solo hasta 1 m de profundidad. En ese caso, el suelo (hasta 1 m de profundidad) representa el 61,88% del carbono total en los manglares altos, 85,32% en los intermedios, 96,66% en los enanos y 89,17% en las áreas de REM. Por otro lado, la madera caída es el componente con la menor cantidad de carbono almacenado, variando entre 0,03 MgC/ha y hasta 2,15 MgC/ha en los estratos con cobertura arbolada. La regeneración también presentó porcentajes ínfimos del carbono en el ecosistema; no alcanzó ni el 0,5% del total medido en los estratos de manglar (Cuadro 30). En los demás estratos no hubo presencia de estos componentes, muy probablemente como efecto directo de la remoción de estos materiales a través de la conversión del manglar y su periodo de uso posterior. (Figura 46).

El componente arbóreo fue muy variable entre los estratos muestreados, alcanzando casi 132 MgC/ha, pero solo alrededor de 10 MgC/ha en los manglares de REM y los enanos (Cuadro 29). Esto representa un rango de entre el 19,55%, hasta solo un 2,29% del carbono total en los árboles del manglar alto y los que se encuentran creciendo en las áreas de REM. Sería necesaria información más detallada de la intensidad y tipos de intervenciones humanas en estos sitios para poder explicar de una forma más definitiva estas diferencias, e inclusive, tratar de determinar si estas proporciones varían con el tiempo.

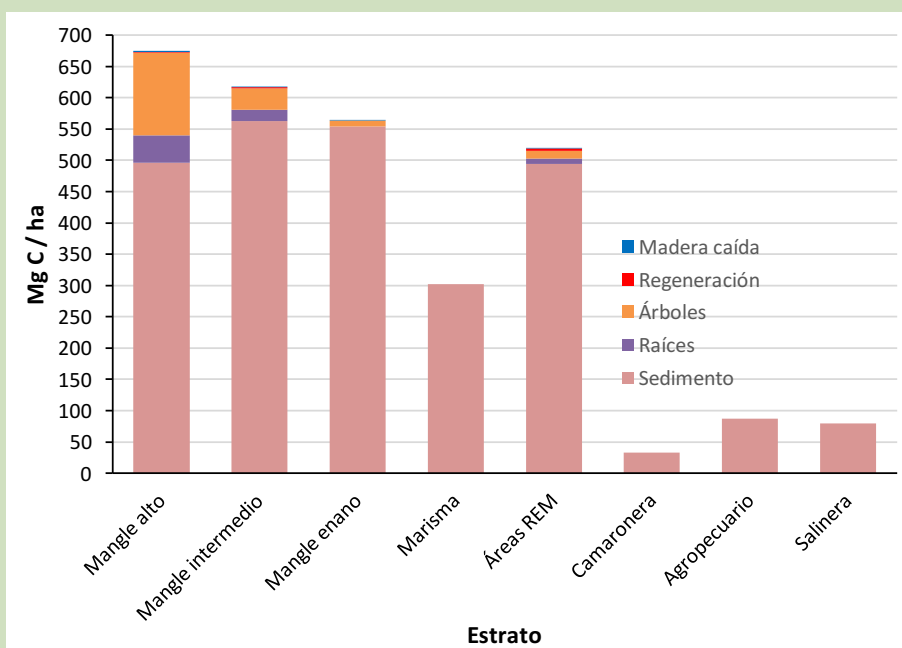


Figura 45. Existencias de carbono a nivel de ecosistema para los manglares y otras coberturas/usos del suelo en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.

6.6.5.2 Estero Jaltepeque

Los patrones de acumulación de carbono a nivel de ecosistema en Jaltepeque difieren en alguna medida de los encontrados en Jiquilisco. En particular, distinguimos una marcada diferencia entre la considerable cantidad de carbono almacenado en los manglares altos e intermedios en comparación con los demás estratos muestreados. Sin embargo, también encontramos ciertas similitudes, como es el caso del carbono en el suelo, que representa el 76,19% del total de carbono (en el mangle alto), hasta el 98,64% en las salineras (Figura 47).

En los dos estratos con manglares de mayor talla (ver sección 6.2) encontramos un promedio de carbono total a nivel de ecosistema de entre 671,59 MgC/ha en el mangle intermedio, hasta 737,91 MgC/ha en el mangle alto, estimado hasta 2 m de profundidad del suelo, y 404,13 MgC/ha y 478,06 MgC/ha, respectivamente, hasta 1 m de profundidad (Cuadro 30).

Contrario a los manglares de Jiquilisco, en Jaltepeque las áreas de REM presentan mayores existencias de carbono que los manglares enanos (Figura 46 y Figura 47); una diferencia de 75,49 Mg/ha hasta 2 m de profundidad y de 30,21 Mg/ha, considerando hasta 1 m solamente (Cuadro 30). En Jaltepeque los manglares enanos son considerablemente de menor estatura y tienen significativamente menos carbono a nivel de ecosistema (solo 34%) que en Jiquilisco (Figura 47). En general, podríamos decir que las existencias de carbono entre los manglares enanos, las marismas, los usos agropecuarios y los relictos de salinera en Jaltepeque son similares, variando entre 93,58 Mg/ha medidos en las marismas, hasta en los manglares enanos 191,89 Mg/ha (Cuadro 30). Por otro lado, las camaroneras acumularon menos de 29 Mg/ha (Cuadro 29), distinguiéndose como el estrato con la menor densidad de carbono en todos los sitios muestreados en este estudio.

La distribución de las existencias de carbono es similar a las descritas para Jiquilisco: después del suelo, el componente con mayor proporción de carbono en el ecosistema son los árboles (hasta el 17%) y la madera caída y la regeneración los menores (entre 0,03 y 0,29% del total; Cuadro 29). Sin embargo, a diferencia de Jiquilisco, en Jaltepeque las marismas, las áreas agropecuarias y las salineras presentan un componente arbóreo que varía desde 1,43 MgC/ha, hasta 7,39 MgC/ha, entre las salineras y las marismas, respectivamente (Cuadro 30). Al parecer, estas áreas están sometidas a procesos parciales o totales de abandono. Las salineras, particularmente, han estado en desuso por aproximadamente 60 años.

En general, en las áreas de REM, la regeneración es un componente relevante, principalmente en el estero de Jaltepeque, lo cual es de esperarse, ya que han sido áreas restauradas recientemente de manera artificial y otras de manera natural. Además, esas mismas áreas, en ambas zonas de estudio, tuvieron importantes contenidos de carbono en el sedimento, lo cual es una oportunidad para restaurar y manejar aquellas áreas de manglares pérdidas o degradadas.

Cuadro 29. Detalle de las existencias de carbono a nivel de ecosistema (en MgC/ha), por sus componentes principales, para los manglares y otras coberturas/ usos del suelo en la bahía de Jiquilisco y el estero de Jaltepeque, El Salvador.

Bahía de Jiquilisco														
Estrato	Árboles	IC (±)	Regeneración	IC (±)	Raíces	IC (±)	Madera caída	IC (±)	Sedimento (a 1 m)	IC (±)	Sedimento (a 2 m)	IC (±)	Total	IC (±)
Mangle alto	131,91	63,77	1,75	1,99	43,76	16,56	1,20	1,04	290,01	40,81	496,02	66,53	674,64	93,66
Mangle intermedio	34,54	10,90	1,75	3,09	17,87	4,91	0,03	0,05	314,92	51,20	562,64	104,20	616,82	104,93
Mangle enano	9,88	2,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	289,92	35,86	554,12	104,02	564,04	104,07
Marisma	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	141,80	39,26	301,81	72,99	301,81	72,99
Áreas REM	11,92	5,60	3,40	3,77	8,61	3,66	1,38	0,94	208,34	39,22	494,63	89,09	519,93	89,42
Camaronera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,84	11,74			32,84	11,74
Agropecuario	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	87,37	13,37			87,37	13,37
Salinera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,77	21,99			79,77	21,99
Estero de Jaltepeque														
Mangle alto	123,72	64,02	3,07	3,20	46,72	17,77	2,15	1,84	302,40	53,19	562,25	92,81	737,91	114,20
Mangle intermedio	32,49	11,56	2,24	1,44	17,01	4,18	0,22	0,18	352,17	72,44	619,63	150,83	671,59	151,34
Mangle enano	19,55	8,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	0,64	127,60	39,94	171,45	26,46	191,89	27,95
Marisma	7,39	8,98	1,60	2,44	3,37	3,50	0,00	0,00	68,44	15,48	81,23	10,84	93,58	14,71
Áreas REM	4,15	3,92	29,38	22,38	25,00	17,14	1,09	1,31	118,63	29,27	207,76	60,58	267,38	66,95
Camaronera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,16	8,89			26,16	8,89
Agropecuario	3,42	5,97	0,00	0,00	0,58	0,98	0,00	0,00	118,03	24,18			122,03	6,05
Relicto de salinera	1,43	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	103,89	53,52			105,32	0,95

Notas: IC = intervalo de confianza al 95%. Camaronera, agropecuario y salinera hasta 1 metro de profundidad.

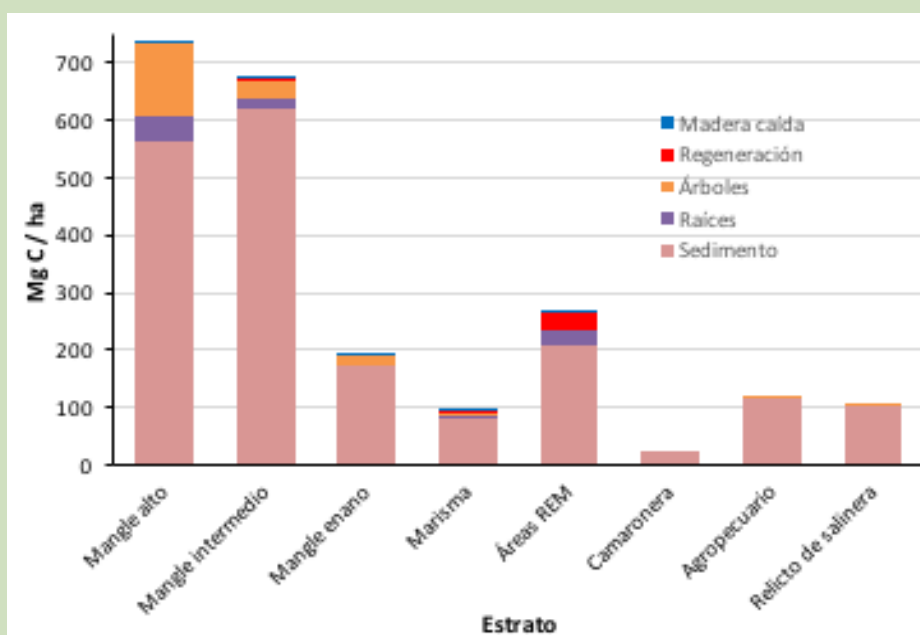


Figura 46. Existencias de carbono a nivel de ecosistema para los manglares y otras coberturas/ usos del suelo en el estero de Jaltepeque, El Salvador.

6.7 EXISTENCIAS DE CARBONO A LO LARGO DEL TIEMPO

Las existencias de carbono en la bahía de Jiquilisco no variaron considerablemente entre 1983 y 2014, aunque hay una reducción del 4% de las existencias totales (pasando de 11 805,92 a 11 559 GgC) entre esos años. Las áreas de mangle alto/medio poseen casi el doble del carbono que las de mangle enano y cerca del 90% de todo el carbono almacenado se encuentra en los suelos.

6.7.1 Existencias de carbono en 1986

Para 1986 estimamos un total de 11 805,92 GgC almacenados en el paisaje de la bahía de Jiquilisco (Cuadro 30). De este total, el mangle alto/medio fue el estrato con más carbono, con un total de 7702,20 GgC, seguido del mangle enano con 3904 GgC. Por otro lado, el carbono almacenado en las camaroneras/salineras y en otros humedales de la bahía fue muy reducido: solo 0,54% y 2% del total a nivel de paisaje, respectivamente (Cuadro 30). Esto implica que, de darse una pérdida de manglares en la zona, en 1986 se habría provocado una pérdida de entre 96 y 99% del carbono almacenado originalmente.

6.7.2 Existencias de carbono en 1993

Para 1993 calculamos un total de 11 867,8 GgC almacenados en el paisaje de la bahía de Jiquilisco (Cuadro 30). El estrato de mangle alto/medio almacenó casi el doble de carbono (1,83 veces más) que el mangle enano y 55 veces más que otros humedales en la zona (Cuadro 30). A nivel de paisaje, el 88% del carbono se encuentra almacenado en el suelo de todas las coberturas analizadas y 86% del total en los diferentes tipos de manglares (Cuadro 30). La conversión de manglares a otros usos del suelo en este año implicaría la pérdida de 97 - 99% de las existencias originales de carbono en el paisaje; entre 3996 y 7547 GgC, dependiendo de la transición (Cuadro 30).

Cuadro 30. Distribución de las existencias de carbono a nivel de paisaje (en MgC y GgC) por componente del ecosistema para las principales coberturas/usos del suelo, estero de Jiquilisco, El Salvador, 1986 y 1983.

Año 1986							
Cobertura	Area (ha)	Árboles (Mg C)	Regeneración (Mg C)	Raíces (Mg C)	Madera caída (Mg C)	Sedimento (Mg C)	Total (Gg C)
Camaronera/Salinera	1274,6	0,0	0,0	0,0	0,0	41 857,2	41,86
Mangle enano	6921,6	68 385,6	0,0	0,0	207,6	3 835 408,1	3904,00
Mangle alto/medio	11 927,8	992 692,0	20 873,7	367 555,5	7335,6	6 313 747,7	7702,20
Otros humedales	523,0	0,0	0,0	0,0	0,0	157 858,7	157,86
Total por componente	20 647,1	1 061 077,6	20 873,7	367 555,5	7543,3	10 348 871,7	11 805,92
Año 1993							
Camaronera/Salinera	1156,2	0,0	0,0	0,0	0,0	37 970,6	38,0
Mangle enano	7327,1	72391,6	0,0	0,0	219,8	4 060 081,6	4132,7
Mangle alto/medio	11 708,5	974 436,6	20 489,8	360 796,2	7200,7	6 197 639,1	7560,6
Otros humedales	452,6	0,0	0,0	0,0	0,0	136 602,2	136,6
Total por componente	20 644,4	1 046 828,1	20 489,8	360 796,2	7420,5	10 432 293,5	11 867,8

6.7.3 Existencias de carbono en 2002

El patrón de almacenamiento de carbono a nivel de ecosistema es prácticamente idéntico; 98% del total en el paisaje (11 750,2 GgC) se mantiene almacenado en los manglares (Cuadro 31), recalcando su indiscutible rol en salvaguardar las existencias de carbono en la zona marino-costera de El Salvador. Debido a la poca cobertura de las camaroneras/salineras y los otros humedales, la cantidad de carbono que almacenan es pequeña en comparación a la cobertura de los manglares (entre 0,5 y hasta el 5% del carbono total; Cuadro 31).

6.7.4 Existencias de carbono en 2014

Para 2014 estimamos un total de 11 545,9 GgC almacenados en el paisaje de la bahía de Jiquilisco (Cuadro 31). El mangle alto/medio almacenó el 64% del total, seguido del mangle enano con el 34%. Las camaroneras/salineras y los otros humedales almacenaron menos del 2% del carbono total en la bahía (Cuadro 31).

Los patrones encontrados en 2014, con muy pequeñas variaciones, son consistentes con los observados en las fechas anteriores. Las existencias totales a nivel de paisaje tampoco variaron considerablemente (entre 0,52 y un máximo de 3,8% del total en los 28 años bajo estudio).

Cuadro 31. Distribución de las existencias de carbono a nivel de paisaje (en MgC y GgC) por componente del ecosistema para las principales coberturas/ usos del suelo, estero de Jiquilisco, El Salvador, 2002.

Año 2002							
Cobertura	Area (ha)	Árboles (Mg C)	Regeneración (Mg C)	Raíces (Mg C)	Madera caída (Mg C)	Sedimento (Mg C)	Total (Gg C)
Camaronera/Salinera	1292,04	0,0	0,0	0,0	0,0	42 430,6	42,4
Mangle enano	6688,08	66 078,2	0,0	0,0	200,6	3 705 998,9	3772,3
Mangle alto/medio	12 354,75	1 028 224,1	21 620,8	380 711,6	7598,2	6 539 739,8	7977,9
Otros humedales	635,49	0,0	0,0	0,0	0,0	191 797,2	191,8
Total por componente	20 970,4	1 094 302,3	21 620,8	380 711,6	7798,8	10 479 966,5	11 984,4
Año 2014							
Camaronera/Salinera	1459,44	0,0	0,0	0,0	0,0	47 928,0	47,9
Mangle enano	6944,04	68 607,1	0,0	0,0	208,3	3 847 831,4	3916,6
Mangle alto/medio	11 410,38	949 628,9	19 968,2	351 610,9	7017,4	6 039 856,4	7368,1
Otros humedales	706,59	0,0	0,0	0,0	0,0	213 255,9	213,3
Total por componente	20 520,5	1 018 236,0	19 968,2	351 610,9	7225,7	10 148 871,8	11 545,9

En resumen, el carbono almacenado en el paisaje permanece estable a lo largo del tiempo. Sin embargo, para realizar un enunciado definitivo hay que caracterizar y cuantificar la degradación que pudiera haber sufrido el ecosistema. Además, las mediciones de carbono son de un solo momento en el tiempo y pueden variar naturalmente a lo largo de este, impactando, por tanto, las emisiones. Por otro lado, la dinámica de ganancia/pérdida de carbono fuera del rango de tiempo de este estudio es desconocida, y es evidente que

alrededor de 1800 a 2200 ha de manglares fueron convertidas a otros usos en la bahía. En la sección siguiente abordamos esta dinámica y sus implicaciones en detalle.

6.8 FLUJO DE EMISIONES A NIVEL DE ECOSISTEMA

Las emisiones netas asociadas con la dinámica de uso y cambio de uso del suelo en la zona bajo estudio se calcularon para el periodo de estudio desde 1986 hasta 2014. Los cálculos y análisis se realizaron principalmente hasta una profundidad de 1 m para asegurar una base consistente de comparación entre todas las coberturas estudiadas. Encontramos una dinámica dominada por emisiones hacia la atmósfera debida a la pérdida de cobertura de manglares, la cual describimos a continuación.

En todas las épocas incluidas en este estudio, la mayor parte del flujo de CO_{2e} se dio por transiciones entre las mismas categorías de manglar (de manglar alto o intermedio a manglar enano) y la conversión de cualquier tipo de manglares a camaroneras/salineras, otros humedales y plantaciones de coco y palmas (Cuadros 15, 16 y 17). Las mayores emisiones (-802,72 GgCO_{2e}) se dieron en el periodo más reciente (2002-2014), seguidas del periodo 1986 - 1993 (-559,17 GgCO_{2e} , Cuadro 31).

El flujo de emisiones entre 1986 y 1993 obedece a las transiciones entre mangle alto que se convirtió, en su mayoría, en mangle enano (un 16% del área; Cuadro 15). En el periodo 1993 - 2002 se dio un incremento significativo del área con vegetación arbustiva (casi 1200 ha) y considerable en la categoría de bosque enano (unas 400 ha; Figura 32) lo que compensó las modestas pérdidas que se dieron de manglares altos (aproximadamente 220 ha; Figura 33). Durante el periodo final del análisis las emisiones se incrementaron nuevamente, y alcanzaron su máximo, probablemente debido al crecimiento urbano, que representó un 33% de cambio con respecto a su valor inicial en 2002 (Cuadro 19).

Entre 1986 y 2014 se emitieron un total de 1527,5 GgCO_{2e} , principalmente debido a la pérdida de 1012,44 ha de manglares. Durante ese tiempo solo encontramos una remoción neta durante 1993-2002, debido al modesto crecimiento de los manglares enanos y otros humedales. En consecuencia, en la bahía de Jiquilisco podemos concluir que durante los años que abarca este estudio se dio una pérdida neta de carbono almacenado igual a 1375,6 GgCO_{2e} (Figura 51). Esta magnitud de emisiones equivale al 9,52% del total nacional de emisiones de GEI, reportadas para El Salvador en su Segunda Comunicación Nacional ante la CMNUCC (MARN 2013a), y al 41% de las emisiones para el sector UTCUTS consignadas en ese mismo documento.

Aunque estos cálculos de la dinámica de emisiones se circunscriben a la bahía de Jiquilisco, si asumimos razonablemente que el estero de Jaltepeque muestra una dinámica de cambio de uso del suelo similar, encontraríamos que las emisiones, con base en una relación proporcional del área (49 454 ha para el estero de Jaltepeque, según MARN 2012), podrían alcanzar hasta el 17% de las emisiones nacionales. Por otro lado, nuestro modelado con datos de hasta 1 m de profundidad sugieren que las estimaciones que brindamos en este estudio son conservadoras y bien podrían estar subestimando el total de las emisiones. Por ejemplo, al realizar los cálculos de emisiones hasta 2 m de profundidad, las emisiones (calculadas como pérdidas instantáneas) alcanzarían 2492,76 GgCO_{2e} , 1,8 veces más que el cálculo base que desarrollamos. Esto equivale a 17% del total nacional de emisiones de GEI y al 73,7% de las emisiones del sector UTCUT reportadas en MARN (2013a).

Cuadro 32. Flujos y balance neto de emisiones (en MgCO_{2e}) debidos a la dinámica de cambio de uso de las coberturas de suelo y humedales asociados a los manglares en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para tres periodos entre 1986 y 2014.

Periodo 1986-1993			
Cobertura	Balance Neto (Mg CO _{2e})	Emisiones (Mg CO _{2e})	Remociones (Mg CO _{2e})
Camaronera/Salinera	-55 395,06	-61 517,40	6122,34
Mangle enano	-216 397,65	-706 029,94	489 632,29
Mangle alto/medio	-237 950,85	-860 386,63	622 435,78
Otros humedales	-49 423,35	0,00	-49 423,35
Flujo del ecosistema	-559 166,92	-1 627 933,97	1 068 767,06
Periodo 1993-2002			
Camaronera/Salinera	-95 863,18	-184 065,83	88 202,65
Mangle enano	-119 184,84	-604 521,36	485 336,51
Mangle alto/medio	68 155,65	-739 526,09	807 681,74
Otros humedales	83 736,52	0,00	83 736,52
Flujo del ecosistema	-63 155,86	-1 528 113,27	1 464 957,42
Periodo 1993-2002			
Camaronera/Salinera	-87 771,69	-95 461,48	7689,79
Mangle enano	-335 643,07	-515 833,93	180 190,86
Mangle alto/medio	-371 157,14	-684 648,92	313 491,77
Otros humedales	-8144,02	0,00	-8144,02
Flujo del ecosistema	-802 715,92	-1 295 944,33	493 228,41

Nota: Los signos negativos denotan emisiones de CO_{2e} hacia la atmósfera mientras que los valores positivos representan remociones de la atmósfera hacia la biomasa. Los cálculos toman en cuenta las existencias a nivel de ecosistema de las coberturas estudiadas, hasta 1 m de profundidad.

Lo anterior refleja la contribución desproporcionada que tiene la pérdida de pequeñas áreas de manglares sobre el balance nacional de emisiones, debido a sus altísimas densidades de carbono, (como se demostró en el Cuadro 28). Sin embargo, el corolario de esta situación es que el país también tiene una oportunidad importante para restaurar esas áreas, revertir el proceso de pérdida y secuestrar importantes cantidades de carbono. Para determinar la magnitud y velocidad exactas de este proceso, haría falta mayores estudios de la dinámica de crecimiento y regeneración histórica de los manglares en las áreas REM.

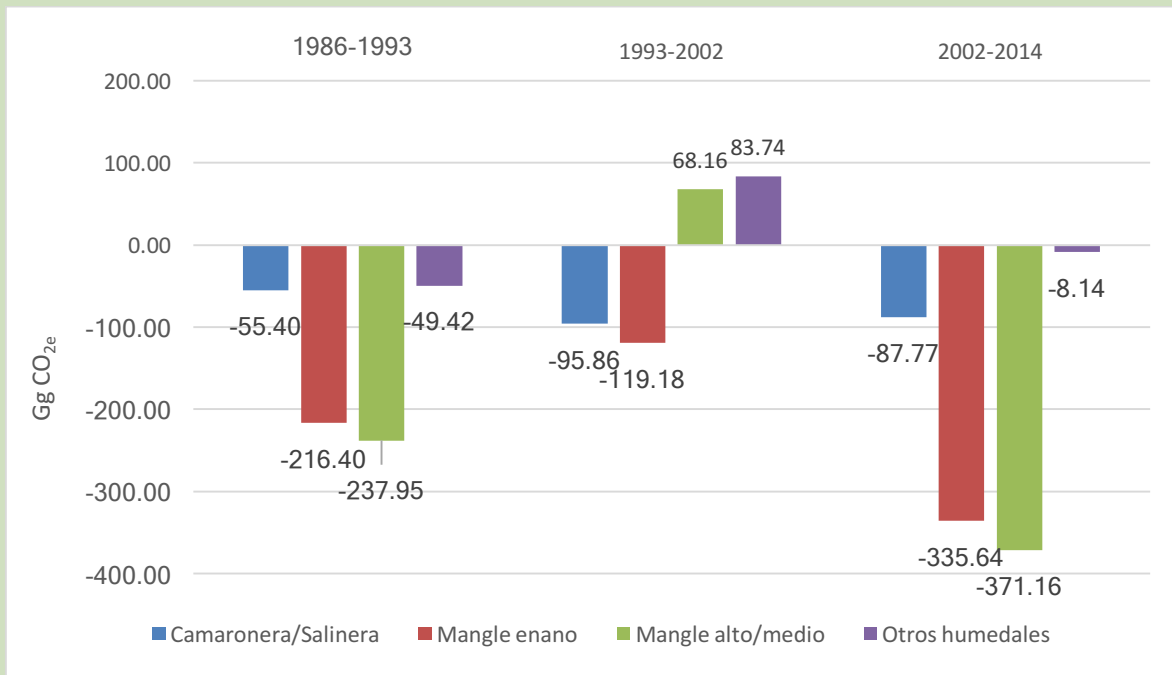


Figura 47. Balance neto de emisiones (en GgCO_{2e}) por categoría de cobertura/uso del suelo en la bahía de Jiquilisco, El Salvador, para el periodo comprendido entre 1986 y 2014.

7. CONCLUSIONES

Los manglares de la bahía de Jiquilisco y el estero Jaltepeque presentaron baja diversidad florística, pero alta similitud florística entre ellos, característica similar a la de otros manglares de Centroamérica y México. Las especies encontradas son las típicas descritas para este tipo de ecosistemas en la región. La estructura horizontal de los sitios muestreados sugiere que son ecosistemas donde los procesos de degradación no son severos o no afectan de forma considerable la capacidad de regeneración de los manglares.

La clasificación por objetos probó ser una alternativa viable para realizar evaluaciones de la cobertura del suelo en zonas marino-costeras, evita el problema de clasificación de píxeles aislados (sal y pimienta) y reduce el problema de confusión entre las firmas espectrales de la cobertura de manglar, al tomar en cuenta otras características como tamaño, forma, textura y posición espacial relativa, en lugar de depender únicamente de las características espectrales de la cobertura. Prueba de esto son la alta precisión alcanzada en el análisis.

La cobertura del suelo dentro del área que enmarca el ecosistema de manglares de la bahía de Jiquilisco se redujo solo en 495,01 ha. El manglar enano experimentó una ganancia de 22,42 ha y el mangle alto/medio una pérdida de 517,43 ha entre 1986 y 2014, para una pérdida total de 1012,44 ha. La persistencia de la cobertura del mangle enano, a niveles similares a los de 1986, se debe a que es el tipo de mangle más fácil de recuperar; su posición espacial dentro del ecosistema lo hace más accesible que el del mangle alto. Además, el mangle alto/medio es más aprovechable que el enano, en términos de extracción de madera para construcción, carbón y leña.

Las principales transiciones de cobertura del suelo se dieron por la conversión del manglar a salineras y camaroneras, y por la expansión de la frontera agrícola en el margen norte del área de estudio. Además, se dieron transiciones entre las categorías de mangle, que podrían deberse a la regeneración de los manglares después de haber sido deforestados y abandonados. Por la magnitud de las transiciones, estas podrían también deberse al efecto de borde que se da en la clasificación en la frontera entre las categorías de manglar y otros usos, principalmente por la clasificación errónea de píxeles mezclados.

El área cubierta por camaroneras y salineras se incrementó en 184,86 ha durante el período de análisis. El principal daño asociado a esta transición se da por la remoción total de la cobertura, generalmente de manglar y marismas, y a la pérdida casi absoluta (entre el 96 y hasta el 99%) del carbono almacenado originalmente.

A pesar de que las emisiones de CO₂ podrían considerarse elevadas, la mayor parte de esas se dan como consecuencia de transiciones entre los dos tipos principales de manglar, debido a procesos de pérdida/recuperación, o bien a los efectos de borde apuntados anteriormente. También en estas cifras se ve reflejada la gran cantidad de carbono que se emite al perderse cobertura de manglar hacia otros usos, pues los factores de emisión son en extremo altos en esos casos.

Nuestros cálculos preliminares sugieren que la dinámica de pérdida de manglares que describimos anteriormente equivale al 9,52% del total nacional de emisiones de GEI, cantidad que podría aumentar al menos hasta el 17% una vez que se amplíen los esfuerzos de contabilidad a otras áreas de manglares del país. Hay que tomar en cuenta que estos valores son subestimaciones puesto que, por restricciones

en los datos, el modelado se realizó solo tomando en cuenta las existencias de carbono hasta 1 m de profundidad; sin embargo, sabemos que el suelo en los manglares es mucho más profundo. El corolario de lo anterior es que el país también tiene una oportunidad importante para restaurar esas áreas, revertir el proceso de pérdida y secuestrar importantes cantidades de carbono. Para determinar la magnitud y velocidad exactas de este proceso, haría falta mayores estudios de la dinámica de crecimiento y regeneración histórica de los manglares en las áreas REM.

En vista de lo anterior recomendamos que, para poder establecer un adecuado seguimiento a los cambios de cobertura y flujos de carbono, se refuerce y amplíe el actual programa de medición de campo y monitoreo satelital de los manglares, lo cual permita el establecimiento de parcelas permanentes de medición para alimentar los procesos de contabilidad (MRV) de emisiones y carbono a nivel nacional. Además, estos procesos permitirían desarrollar factores de emisión más detallados, los cuales incluyan también procesos de degradación de la cobertura de manglares, que es un factor que no fue posible incluir en los cálculos de este estudio, principalmente por las limitantes técnicas que presentan los sensores remotos para detectar esos procesos graduales de cobertura, estructura y existencias de carbono.

Hasta la consecución del presente estudio, estas métricas no han sido estimadas por el país ni incorporadas directamente en los procesos asociados al inventario nacional de GEI, por lo que es necesario internalizar estos procesos aprovechando las capacidades creadas, a partir de las contribuciones de CATIE a la fecha.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Adame, M.F.; Kauffman, J.B.; Medina, I.; Gamboa, J.N.; Torres, O.; Caamal, J.P.; Reza, M.; Herrera-Silveira, J.A. 2013. Carbon Stocks of Tropical Coastal Wetlands within the Karstic Landscape of the Mexican Caribbean. *PLOS One* 8(2):e56569
- Ahmad, F. 2012. Detection of change in vegetation cover using multi-spectral and multi-temporal information for district Sargodha, Pakistan. *Sociedade & Natureza* (en línea) 24(3):557–571. Consultado 21 nov. 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132012000300014>
- Ajonina, G.; Kairo, J.G.; Grimsditch, G.; Sembres, T.; Chuyong, G.; Mibog, D.E.; Nyambane, A.; Fitzgerald, C. 2014. Carbon pools and multiple benefits of mangroves in Central Africa: Assessment for REDD+. Nairobi, Kenia, PNUMA. 72 p.
- Alongi, D.M. 2002. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation* (en línea) 29(3): 331-349. Consultado 9 nov. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.1017/S0376892902000231>
- Alongi, D.M. 2014. Carbon Cycling and Storage in Mangrove Forests (en línea). *Annual Review of Marine Science* 6(1):195–219. Consultado 9 nov. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>
- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente); ARAP (Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá). 2013. Manglares de Panamá: importancia, mejores prácticas y regulaciones vigentes. Ciudad de Panamá, Panamá. Editora Novo Art S.A. 75 p.
- Aparocio-Orellana, J.B.; Escalante de Avelar; D.M.; Figueroa, I.C. 2010. Requisitos de calidad e inocuidad para la exportación del camarón marino a los estados unidos y la union europea. Tesis como requisito a Maestro en Gestión de Calidad, La Libertad, El Salvador, Vicerrectoría de Estudios de Postgrado, Universidad Don Bosco. 54 p.
- Arguedas, M. 2015. Manglares del golfo de Nicoya, Costa Rica: Valoración económica y análisis de vulnerabilidad. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 58 p.
- Atwood, T.B., Connolly, R.M.; Almahasheer, H.; Carnell, P.E.; Duarte, C.M.; Ewers Lewis, C.J.; Lovelock, C.E. 2017. Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses (en línea). *Nature Clim. Change* 7(7):523–528. Consultado 21 nov. 2017. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate3326>
- Barzev, R.D. 2013. Indicadores de Seguimiento Ambiental. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. Managua, Nicaragua. 129 p.
- Barbier, E.; Hacker, S.D.; Kennedy, C.; Koch, E.W.; Stier, A.C.; Silliman, B.R. 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs* 81(2):169–193.
- Benitez-Castellón, F.A.; Pérez-Vazquez, M.D.; Saravia-Gutiérrez, F.M. 2005. Proyecto sobre la prefactibilidad en la integración de la cadena productiva del camarón marino en la bahía de jiquilisco. Tesis de Ingeniería. San Salvador, El Salvador. Escuela de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador (UES). 278 p.
- Bernstein, L.S. 2012. Quick atmospheric correction code: algorithm description and recent upgrades (en línea). *Optical Engineering* 51(11):111719. Consultado 24 Oct. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.1117/1.OE.51.11.111719>

- BIOMARCC; SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación); GIZ (Agencia Alemana de Cooperación Técnica). 2012. Evaluación de Carbono a Nivel de Ecosistema en el Área Silvestre Protegida Humedal Térraba-Sierpe. Informe Técnico No. 01. San José, Costa Rica, Editorial. 30 p.
- Bhomia, R.K.; Kauffman, J.B.; McFadden, T.N. 2016. Ecosystem carbon stocks of mangroves along the Pacific and Caribbean coasts of Honduras (en línea). *Wetlands Ecology & Management* 24(2):187-201. Consultado 9 nov. 2017. Disponible en DOI 10.1007/s11273-016-9483-1
- Bossi, R.; Cintrón, G. 1990. Manglares del Gran Caribe: hacia un manejo sostenible. Washington D.C., Estados Unidos, CCA/PNUMA. 35 p.
- Brown, J.K.; Roussopoulos, P.J. 1974. Eliminating biases in the planar intersect method for estimating volumes of small fuels. *Forest Science* 20(4):350-356.
- Calderón, C; Aburto, O.; Ezcurra, E. (2009). El valor de los manglares. *Biodiversitas* (82):1-6.
- Cairns, M.A; Brown, S; Helmer, E.H; Baumgardner, G.H. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia Review* 111:1-11.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Bastiaan Louman, David Quirós, Margarita Nilsson (eds.). Turrialba, Costa Rica, CATIE. (Serie técnica. Manual técnico No. 46). 265 p.
- CDIAC. (s. f.). Olson's Major World Ecosystems Ranked by Carbon in Live Vegetation: An Updated Database Using the GLC2000 Land Cover Product, NDP-017b (en línea). Consultado 21 Nov. 2017. Disponible en <http://cdiac.ornl.gov/epubs/ndp/ndp017/ndp017b.html>
- Chave, J.; Andalo, C.; Brown, S.; Cairns, M.A.; Chambers, J.Q.; Eamus, D.; Folster, H.; Fromard, F.; Higuichi, N.; Kira, T.; Lescure, J.P.; Nelson, B.W.; Ogawa, H.; Puig, H.; Riéra, B.; Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia Review*. 145:87-99.
- Chave, J.C.; Muller Landau, H.C.; Baker, T.R.; Easdale, T.A.; ter Steege, H.; Webb, C.O. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. *Ecological Applications* 16:2356-2367
- Chaves, A. 2008. Remote Sensing and GIS-Based Integrated Study and Analysis for Mangrove-Wetland Restoration in Ennore Creek, Chennai, South India (en línea). *Proceeding of Taal 2007: The 12 th World Lake Conference*: 685-690. Consultado 21 Oct. 2017. Disponible en <http://moef.nic.in/modules/recent-initiatives/nlcp/D - Remote Security GIS Application/D-9.pdf>
- Chen, C.-F.; Son, N.-T.; Chang, N.-B.; Chen, C.-R.; Chang, L.-Y.; Valdez, M.; Aceituno, J. 2013. Multi-Decadal Mangrove Forest Change Detection and Prediction in Honduras, Central America, with Landsat Imagery and a Markov Chain Model (en línea). *Remote Sensing* 5(12):6408-6426. Consultado 9 Nov. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.3390/rs5126408>
- Chmura, G.L.; Anisfeld, S.C.; Cahoon, D.R.; Lynch, J.C. 2003. Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Global Biogeochemical Cycles* 17:1111.
- Cifuentes Jara, M., Brenes, C., Manrow, M.; Torres, D. 2017 (En prensa). Dinámica de uso de la tierra y potencial de mitigación de los manglares del Golfo de Nicoya. San José, Costa Rica. Conservación Internacional, CATIE. 44 p.

- Cintrón, G.; Schaeffer-Novelli, Y. 1984. Methods for studying mangrove structure. *En: The mangrove ecosystem: research methods*. Snedaker S.C. y Snedaker J.G. (eds.). Paris, France, UNESCO. pp. 91-113.
- Cojom Pac, J.I.; Cifuentes Figueroa, C. A.; Aceituno Caal, M. de los A.; Bosarreyes, A. 2016. Estimación del contenido de carbono en el componente arbóreo del ecosistema manglar en el pacífico de Guatemala. Ciudad de Guatemala, Guatemala, MARN. s.p.
- Córdova-Ortíz, D. 2010. Hábitos Alimentarios de *Ucides occidentalis* (punche) del Sector Occidental de la Bahía de Jiquilisco, Departamento de Usulután. Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador, Ciudad, País. 54 p.
- Córdova-Ortíz, D. 2011. Generación de Información clave y relevante para el proceso de formulación del Plan Local de Extracción Sostenible para Bahía de la Unión e islas del Golfo de Fonseca. San Salvador, El Salvador, Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID); Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Proyecto Manejo Integrado de la Zona Costero Marino. s.p.
- Córdova-Ortíz, D. 2012. Generación de Información Clave y Relevante para el Proceso de Formulación del Plan Local de Extracción Sostenible (PLES) del complejo Bar ra de Santiago. Proyecto Manejo Integrado de Ecosistemas Prioritarios en la zona Costera-Marina. San Salvador, El Salvador, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN); Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). 90 p.
- Córdova-Ortíz, D. 2015. Estudio de Línea Base de los Servicios Ecosistémicos de Provisión y Aportes a Modelos de Gobernanza Local de Conservación y Restauración Inclusiva en el Ecosistema de Manglar del Bajo Lempa, Estero Jaltepeque. San Salvador, El Salvador, Programa Regional de Cambio Climático de USAID, CATIE. 181 p.
- CORDES (Corporación de Estudios para el Desarrollo de El Salvador). 2009. Evaluación de la vida silvestre asociada al ecosistema costero-marino en el Bajo Lempa, Estero de Jaltepeque. San Salvador, El Salvador, CORDES; MARN.
- Corrales, L. 26 jul. 2014. La última frontera de los ecosistemas de manglar de Costa Rica (en línea, blog). San José, Costa Rica, Lenincorrales's Blog. Consultado 21 Nov. 2017. Disponible en <https://lenincorrales.com/2014/07/26/la-ultima-frontera-de-los-ecosistemas-de-manglar-de-costa-rica/>
- Córtés, J. 2016. The Pacific Coastal and Marine Ecosystems. Capítulo 5. En: M. Kapelle (Ed.). *Costa Rican Ecosystems*. University of Chicago Press. Chicago, Estados Unidos. pp. 591-617
- Curtis, J. T.; McIntosh, R. P. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32:3.
- Danielsen, F.; Sørensen, M.K.; Olwig, M.F.; Selvam, V.; Parish, F.; Burgess, N.D.; Hiraishi, T.; Karunagaran, V.; Rasmussen, M.S.; Hansen, L.B.; Quarto, A.; Suryadiputra, N. 2005. The Asian tsunami: A protective role for coastal vegetation. *Science* 310:643.
- Díaz, O. 2011. La evolución del rol territorial de la Bahía de Jiquilisco. San Salvador, El Salvador, Fundación Prisma. 24 p.
- Donato, D.C.; Kauffman, J.B.; Murdiyarsa, D.; Kurnianto, S.; Stidham, M.; Kanninen, M. 2011. Mangroves among the most carbon - rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*. 4:293-294.

- Dow, E.J. 2008. The Effect of Land Use/Land Cover on Mangrove Forest in the Northeastern Panama Canal Region. Development Impacts on Mangrove Forest (en línea). Consultado 24 Oct. 2017. 23p. Disponible en https://nature.berkeley.edu/classes/es196/projects/2008final/Dow_2008.pdf
- Elmahdy, S.I.; Mohamed, M.M.; Emirates, U.A. 2013. Change detection and mapping of mangrove using multi-temporal remote sensing data: a case study of Abu Dhabi, UAE. *Journal of Geomatics* 7(1):41–46.
- FAO. 1996. Forest resources assessment 1990: Survey of tropical forest cover and study of change processes. Roma, Italia, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 152 p.
- FAO. 2007. Mangroves of North and Central America 1980-2005: Country Reports (en línea). Roma, Italia, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 161p. Consultado 24 Oct. 2017. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai446t/ai446t00.pdf>
- Fayad, I.; Baghdadi, N.; Guitet, S.; Bialy, J-S.; Hérault, B.; Gond, V.; Hajj, M.E.; Minh, D.H.T. 2016. Aboveground biomass mapping in French Guiana by combining remote sensing, forest inventories and environmental data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 52:502–514.
- Fromard, F.; Puig, H.; Mougín, E.; Marty, G.; Betoulle, J.L.; Cadamuro, L. 1998. Structure above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia Review* 115:39–53.
- Fuentes-Rivera, C.I.; Hernández-Rodríguez, N.R. 2004. Distribución y abundancia de la ictiofauna con importancia comercial asociada a la pesca de arrastre de camarones peneidos (*Penaeus stylirostris*, *P. vannamei*, *P. occidentalis*, *P. californiensis* y *P. brevirostris*) en la costa salvadoreña. Tesis Licenciatura. San Salvador, El Salvador, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador (UES). 74 p.
- Gallo, M. 2005. Estado del conocimiento de la Biodiversidad en El Salvador. San Salvador, El Salvador, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. 154p. Consultado 24 Oct. 2017. Disponible en <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:%22Estado+del+Conocimiento+de+la+Biodiversidad+en+El+Salvador%22#0>
- García, S. 2012. Propuesta del plan de manejo actualizado para el período 2012-2017 del Área de Conservación Bahía Jiquilisco. Descripción general de la Bahía de Jiquilisco. San Salvador, El Salvador, Editorial. 21 p.
- Gilman, E.; Van Lavieren, H.; Ellison, J.; Jungblut, V.; Wilson, L.; Areki, F.; Brighthouse, G.; Bungitak, J.; Dus, E.; Henry, M.; Sauni Jr., I.; Kilman, M.; Matthews, E.; Teariki Ruatu, N.; Tukia, S.; Yuknavage, K. 2006. Pacific island mangroves in a changing climate and rising sea. Nairobi, Kenya, UNEP Regional Seas Programme. 70p. UNEP Reports and Studies No. 179.
- Giri, C.; Ochieng, E.; Tieszen, L.L.; Zhu, Z.; Singh, A.; Loveland, T.; Duke, N. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography* 20(1):154–159. Consulta 9 Nov. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- Hamilton, S.E.; Lovette, J.P.; Borbor-Cordova, M.J.; Millones, M. 2016. The Carbon Holdings of Northern Ecuador's Mangrove Forests (en línea). *Annals of the American Association of Geographers*. Consultado 9 Nov. 2107. Disponible en <DOI:10.1080/24694452.2016.1226160>
- Hartshorn, G. 2002. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Biogeografía de los bosques neotropicales. Manuel Guariguata, Gustavo Kattan (eds.) Cartago, Costa Rica, Ediciones LUR. pp. 59-81.

- Heumann, B.W. 2011a. An object-based classification of mangroves using a hybrid decision tree-support vector machine approach. *Remote Sensing*. 3(11):2440-2460. Consultado 9 Nov. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.3390/rs3112440>
- Heumann, B.W. 2011b. *Remote Sensing of Mangrove Composition and Structure in the Galapagos Islands*. Ph.D. Dissertation. Chapel Hill, USA. University of North Carolina, Department of Geography. 154 p.
- Hirata, Y.; Tabuchi, R.; Patanaponpaiboon, P.; Pongpam, S.; Yoneda, R.; Fujioka, Y. 2010. Estimation of Aboveground Biomass in Mangrove Forest Damaged by the Major Tsunami Disaster in 2004 in Thailand Using High Resolution Satellite Data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*. XXXVIII:643–646.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, E. (eds.) 2014. *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses*. Arlington, Estados Unidos, Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. 182 p.
- Hussain, M.; Chen, D.; Cheng, A.; Wei, H.; Stanley, D. 2013. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches (en línea). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 80:91–106. Consultado 9 Nov. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.03.006>
- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF). 2015. *Anuario estadístico forestal 2014* (en línea). Tegucigalpa, Honduras, ICF. 125p. Consultado 21 Nov. 2017. Disponible en <http://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2016/07/Anuario-Forestal-2014.pdf>
- IPCC. 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, F. Wagner (eds.). IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Tokio, Japón. WMO.
- IPCC. 2013. *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories: Wetlands: Methodological Guidance on Lands with Wet and Drained Soils, and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. T. Hiraishi, T. Krug, K. Tanabe, N. Srivastava, B. Jamsranjav, M.a Fukuda, T.y Troxler (eds.). Task Force on National Greenhouse Gas Inventories. Gland, Suiza, IPCC. 354 p.
- Jiménez, J.A. 1994. *Los manglares del Pacífico centroamericano*. Heredia, Costa Rica, Editorial UNA. 352 p.
- Jiménez, J.; Soto, R. 1985. Patrones regionales en la estructura y composición florística de los manglares de la costa pacífica de Costa Rica. *Revista Biología Tropical* 33:25-37.
- Jiménez, J.A. 1999. El manejo de los manglares en el Pacífico de Centroamérica: Usos tradicionales y potenciales, pp.275-290. *En*: A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (eds.). *Ecosistemas de Manglar en América Tropical*. México,, México, Instituto de Ecología A.C. 380 p.
- Jiménez Pérez, I.; Sanchez-Mármol, L. 2004. *Ficha Ramsar Bahía de Jiquilisco* (en línea). San Salvador, El Salvador, MARN. 24 p. Consultado 9 Nov. 2017. Disponible en https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjhtvyv-urVAhULNSYKHS0fCxUQFggIMAA&url=http%3A%2F%2Fip190-5-148-229.intercom.com.sv%2Findex.php%3Foption%3Dcom_phocadownload%26view%3D-category%26download%3D549%3Aficha-ramsar-bahia-jiquilisco%26id%3D34%3Afichas&usg=AFQjCNGiXXhMc0zvUWNGNuo4S_bfakq7iQ

- Jobse, J. 2009. Impacts of Forest-to-Agriculture Conversion on Aboveground and Soil Carbon and Nitrogen Stocks along a Bioclimatic Gradient in Costa Rica. Ph.D. Dissertation. Corvallis, Estados Unidos, Oregon State University. 186 p.
- Kauffman, J.B.; Donato, D.C. 2012. Protocols for the measurement, monitoring, and reporting of structure, biomass, and carbon stocks in mangrove forests. Bogor, Indonesia, CIFOR. 40 p. (Working Paper 86).
- Kauffman, J.B.; Donato D.C.; Adame M.F. 2013. Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Bogor, Indonesia, CIFOR. 48 p. Documento de Trabajo 117.
- Komiyama, A.; Ong, J.E.; Pongparn, S. 2008. Allometry, biomass and productivity of mangrove forests. *Aquatic Botany Review*. 89:128-137.
- Laffoley, D.; Grimsditch, G. 2009. The management of natural coastal carbon sinks (en línea). Gland, Suiza, IUCN. 53 p. Consultado 9 Nov. 2017. Disponible en http://cmsdata.iucn.org/downloads/carbon_management_report_final_printed_version_1.pdf
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Berlin, República Federal de Alemania. Instituto de Silvicultura de Gottingen. 335 p.
- Laongmanee, W.; Vaiphasa, C.; Laongmanee, P. 2013. Assessment of Spatial Resolution in Estimating Leaf Area Index from Satellite Images: A Case Study with Avicennia Marina Plantations in Thailand. *International Journal of Geoinformatics* 9(3):69-77.
- Larios, N. 2017. El rol de los servicios ecosistémicos de los manglares en la generación de medios de vida locales en el estero de Jaltepeque, Bajo Lempa, El Salvador. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 56 p.
- Lopez, R.; Lyon, J.; Lyon, L.; Lopez, D. 2013. Wetland Landscape Characterization: Practical Tools, Methods, and Approaches for Landscape Ecology (en línea). 2 ed. Boca Raton, Estados Unidos, CRC Press. 297 p. Disponible en <https://doi.org/10.1201/b14057>
- MacLean, M.G.; Congalton, R.G. 2012. Map accuracy assessment issues when using an object-oriented approach. *Proceedings of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. Marzo 19-23, 2012. 5 p.
- McLeod, E.; Rodney, V.S. 2006. Managing mangroves for resilience to climate change. IUCN Resilience Group Working Paper Series No. 2. Gland, Suiza. IUCN. 64 p
- Mainardi Grellet, V. 1995. Estructura y composición florística de rodales con *Pelliciera rhizophorae* del manglar de estero Guarumal, Sierpe, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 103p. Consultado 21 Oct. 2017. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0664e/A0664e.pdf>
- Mainardi, V. 1996. El manglar de Terraba-Sierpe en Costa Rica (en línea). Turrialba, Costa Rica, CATIE. 91 p. Serie Técnica. Informe Técnico No. 284. Disponible en http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/1576/El_manglar_de_Terraba_Sierpe.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Manrow, M. 2011. Estructura, composición florística, biomasa y Carbono arriba del suelo en los manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín, en Limón, Costa Rica. Tesis Licenciatura. Cartago, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 38 p.

- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador). 2004. Plan de manejo del área natural y humedal de la bahía de Jiquilisco (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 24 Oct. 2017. Disponible en: http://www.marn.gob.sv/descarga/plan-de-manejo-bahia-de-jiquilisco/?wpdmdl=16388&ind=usmk-Pw2ml1WYFNXsgrt-WxlGJtO0q_DQSGD4VLrgbESbpTF5Zh435E5FodQUAszc5WqrFSKoWBnoIVoUKYdSA
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2007. Evaluación de los impactos hidrológicos e hidráulicos asociados a las subcuencas de la planicie costera central de El Salvador. San Salvador, El Salvador, MARN.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador). 2008. Plan de Manejo para el Humedal y Área Natural Estero de Jaltepeque, departamentos de La Paz y San Vicente. San Salvador, El Salvador, MARN. 206 p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2012. Catálogo de mapas de zonas críticas prioritarias en humedales Ramsar de El Salvador. Complejo Jaltepeque. San Salvador, El Salvador. MARN. pp. 25-27.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2012a. Restauración y aprovechamiento inclusivo y sostenible de ecosistemas productivos costeros marinos. San Salvador, El Salvador, MARN. 61 p.
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales). 2013. Estudio de la cobertura de mangle en la República de Guatemala (en línea). Ciudad de Guatemala, Guatemala. 63 p. Disponible en: <http://www.sia.marn.gob.gt/publicaciones/otros/Estudio-de-la-cobertura-de-mangle-en-Guatemala-FINAL.pdf>
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador). 2013a. Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. San Salvador, El Salvador, MARN. 133 p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador). 2013b. Estrategia Nacional de Biodiversidad. San Salvador, El Salvador, MARN. 24 p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013c. Avances en la conservación y restauración inclusiva de manglares: estrategias de adaptación al cambio climático. Memorias del FORO. 26 de noviembre de 2013. Programa de Restauración de Ecosistemas y Paisajes (PREP). San Salvador, El Salvador. 46p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador). 2013d. Estrategia y plan ambiental operativo: humedal Complejo Jaltepeque. San Salvador, El Salvador, MARN. 21 p.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and human well-being. Washington D.C., United States of America. Island Press. 64 p.
- MINAE (Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones); SINAC(Sistema Nacional de Áreas de Conservación). 2014. Cartografía base para el inventario nacional forestal 2013-2014: Volumen 1. Preparado por Dr. Edgar Ortiz Malavassi. San José, Costa Rica, SINAC, Programa REDD CCAD-GIZ, FONAFIFO. 52 p.
- Mokhtari, M.; Ghaffar, M.A.; Usup, G.; Cob, Z.C. 2016. Effects of Fiddler Crab Burrows on Sediment Properties in the Mangrove Mudflats of Sungai Sepang, Malaysia. *Biology (Basel)* 5(1):7.
- Molina, O.; Villacorta, R.; Zavala, C. 2008. Plan de Manejo del Área Natural del Estero y Humedal de Jaltepeque. San Salvador, El Salvador, MARN-AECl. 258 p

- Murdiyarso, D.; Donato, D.; Kauffman, J.B.; Kurniatio, S.; Stidham, M.; Kanninen, M.; 2009. Carbon storage in mangrove and peatland ecosystems: A preliminary account from plots in Indonesia. Bogor, Indonesia, CIFOR. 37 p.
- Myint, S.W; Giri, C.P.; Wang, L.; Zhu, Z.; Gillette, S. C. 2008. Identifying Mangrove Species and Their Surrounding Land Use and Land Cover Classes Using an Object-Oriented Approach with a Lacunarity Spatial Measure (en línea). *GIScience & Remote Sensing*. 45(2):188–208. Consultado 9 Nov. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.2747/1548-1603.45.2.188>
- Nelson, D.W.; Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter: *In* Sparks, DL. *Methods of soil analysis: Part 3, chemical methods*. Madison, Wisconsin, USA, Soil Science Society of America, Inc. and American Society of Agronomy.
- Nguyen, H.H.; McAlpine, C.; Pullar, D.; Johansen, K.; Duke, N. C. 2013. The relationship of spatial-temporal changes in fringe mangrove extent and adjacent land-use: Case study of Kien Giang coast, Vietnam (en línea). *Ocean and Coastal Management*. 76:12–22. Consultado 9 Nov. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.01.003>
- OSPESCA (Organización del Sector Pesquero y Acuícola de Centroamérica).- 2007. Caracterización del Estero de Jaltepeque, con énfasis en la pesca y la Acuicultura. Proyecto Plan Regional de Pesca y Acuicultura Continental (PREPAC). San Salvador, El Salvador, OSPESCA/TAIWAN/OIRSA. 156 p.
- Pascal, N. 2013. Valor económico de los servicios ambientales del Parque Nacional Jeannette Kawas. Tegucigalpa, Honduras, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 5 p.
- Paz-Martínez, C.M.; Vides-Padilla, J. 2008. Distribución y abundancia de post-larvas y juveniles de camarones blancos (*Litopenaeus vannamei*, *L. stylirostris*, *L. occidentalis*) en Bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador. Tesis Licenciatura. San Salvador, El Salvador, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador (UES). 81 p.
- Penman, J.; Gytarsky, M.; Hiraiishi, T.; Krug, T.; Kruger, D.; Pipatti, R.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K.; Wagner, F. (eds.). 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Consultado 24 Oct. 2017. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpoglulucf/gpoglulucf.html>
- Peralta-Rivero, C.; Torrico-Albino, J. C.; Vos, V.A.; Galindo-Mendoza, M.G.; Contreras-Servín, C. 2015. Tasas de cambios de coberturas de suelo y deforestación (1986-2011) en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana (en línea). *Ecología en Bolivia*. 50(2):91–114. Consultado 24 Oct. 2017. Disponible en http://www.scielo.org.bo/pdf/reb/v50n2/v50n2_a03.pdf%5Cnfile:///scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282015000200003&lang=pt
- Pizarro, F.; Piedra, L.; Bravo, J.; Asch, J.; Asch, C. 2004. Manual de procedimientos para el manejo de los manglares de Costa Rica. Heredia, Costa Rica, UNA. 132 p.
- Pontius Jr., R.G. 2000 Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66:1011-1016.
- Pontius, R.G.; Shusas, E.; McEachern, M. 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence (en línea). *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 101(2–3):251–268. Consultado 9 Nov. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>

- Puyravaud, J. P. 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation (en línea). *Forest Ecology and Management*. 177(1–3):593–596. Disponible en [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00335-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00335-3)
- Rabiatul Khairunnisa, M.R.; Mohd Hasmadi, I. 2012. Biomass and Carbon in Mangrove: Measuring and Managing through Remote Sensing Technique. *Malaysia Geospatial Forum*. 6-7:12.
- Ranasinghe, C.S; & Thimothias, K. H. 2012. Estimation of carbon sequestration potential in coconut plantations under different agro-ecological regions and land suitability classes (en línea). *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 40(1):77-93. Consultado 9 Nov. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.4038/jnsfsr.v40i1.4171>
- Reddy, S.; Roy, A. 2008. Assessment of Three Decade Vegetation Dynamics in Mangroves of Godavari Delta, India, Using Multi-Temporal Satellite Data and GIS (en línea). *Research Journal of Environmental Sciences*. 2(2):108-115.
- Rivera, C. 2010. El ecosistema de manglar de la Bahía de Jiquilisco: Sector Occidental. *Biodiversidad de la Bahía de Jiquilisco* (en línea). C.G. Rivera y T.C. Cuéllar Martínez. (eds.) San Salvador, El Salvador, editorial 243p. Consultado 9 Nov. 2017. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Enrique_Barraza/publication/299461917_Biodiversidad_de_Bahia_de_Jiquilisco/links/56f9a9be08ae7c1fda311b28.pdf?origin=publication_list
- Rodríguez, E. 2012. Documento de diagnóstico del Bajo Lempa y Estero de Jaltepeque (en línea). San Salvador, El Salvador. 62 p. Consultado 9 Nov. 2017. Disponible en: <http://www.losnonualcos.org/ramas/diagnostico.pdf>
- Rodríguez, G. 2016. Destrucción de bosque de mangle amenaza biodiversidad del Golfo de Fonseca (en línea). Consultado 5 Jul. 2017. Disponible en <http://www.elheraldo.hn/pais/992312-466/destrucción-del-bosque-de-mangle-amenaza-biodiversidad-del-golfo>
- Rovai, A.S.; Riul, P; Twilley, R.R.; Castañeda-Moya, E.; Rivera-Monroy, V.H.; Williams, A.A.; Simard, M.; Cifuentes-Jara, M.; Lewis, R.R.; Crooks, S.; Horta, P.A.; Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón, G.; Pozo-Cajas, M.; Pagliosa, P.R. 2015. Scaling mangrove aboveground biomass from site-level to continental-scale (en línea). *Global Ecology and Biogeography*. Consultado 24 Oct. 2017. Disponible en DOI: 10.1111/geb.12409
- Sanjurjo Rivera, E.; Welsh Casas, S. 2005. Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares (en línea). *Gaceta Ecológica*. (74):55-68. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/539/53907405.pdf>
- Sasmitho, S.D.; Taillardat, P.; Clendenning, J.; Friess, A.; Murdiyarso, D.; Hutley, L.B. 2016. Carbon stocks and fluxes associated with land-use and land-cover change in mangrove ecosystems: A systematic review protocol No. 211. Bogor, Indonesia. 18 p. Consultado 5 Sep. 2017. Consultado Dic. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.17528/cifor/006225>
- Spalding, M. 1997. The global distribution and status of mangrove ecosystems. *Int. Newslett. Coast. Manage.* 1:20-21.
- Sremongkontip, S.; Hussin, Y.; Groenindijk, L. 2000. Detecting changes in the mangrove forests of southern Thailand using remotely sensed data and GIS (en línea). *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 33(Part B7):567-574. Consultado 21 Nov. 2017. Disponible en http://www.isprs.org/proceedings/XXXIII/congress/part7/567_XXXIII-part7.pdf

- Torres, D. 2012a. Evaluación de la calidad y la composición florística de los bosques en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica. Tesis de licenciatura. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 134 p.
- Torres-G, A.M.; Adarve, J.B.; Cárdenas, M; Vargas, J.A.; Londoño, V.; Rivera, K.; Home, J.; Duque, O.L.; González, A.M. 2012b. Dinámica sucesional de un fragmento de bosque seco tropical del Valle del Cauca, Colombia. *Biota Colombiana* 2(13): 66-84. Consultado el 17 jul. 2016. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/281969852_Dinamica_sucesional_de_un_fragmento_de_bosque_seco_tropical_del_Valle_del_Cauca_Colombia
- Twilley, R.R. 1995. Properties of mangrove ecosystems related to the energy signature of coastal environments. *En*: C. Hall (ed.). *Maximum Power: the ideas and applications of H.T. Odum*, The University Press of Colorado. pp. 43-62.
- Valiela, I.; Bowen, J.L.; York, J.K. 2001. Mangrove Forests: One of the world's threatened major tropical environments. *BioScience Magazine* 51(10):807-815.
- Velásquez, S. 2015. Aplicaciones de teledetección para el análisis de cambios de uso del suelo y cuantificación de flujos de carbono. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 221p.
- Van Wagner, C.E. 1968. The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science* 14(1): 20-25.
- Vílchez, B.; Chazdon, R.; Milla, V. 2004. Dinámica de la regeneración en cuatro bosques secundarios tropicales de la región Huetar Norte, Costa Rica: Su valor para la conservación o uso comercial. *Revista Recursos Naturales y Ambiente* 55:118-128.
- Wells, S.; Ravilous, C.; Corcoran, E. 2006. In the front line: Shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs. Cambridge, Reino Unido, UNEP/WCMC. 33 p.
- Widevoxhel-Lora, N.; Imbach, A. 1995. Uso sostenible de manglares en América Central. San José, Costa Rica, UICN/ORMA. pp. 1-22.
- Yuvaraj, E.; Dharanirajan, K.; Karpoorasundarapandian, N. 2014. Evaluation of Vegetation density of the Mangrove Forest in South Andaman Island using Remote Sensing and GIS techniques. *International Research Journal of Environment Sciences* 3(8):19–25.
- Yanmin, L.; Minghong, L.; Yan, J. 2013. Development and Demonstration of an Artificial Immune Algorithm for Mangrove Mapping Using Landsat TM. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 10(4):751–755. Consultado 23 Nov. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.1109/LGRS.2012.2221675>
- Zamora-Trejos, P.; Cortés, J. 2009. Los manglares de Costa Rica: el Pacífico Norte. *Revista Biología Tropical* 57(3):473-488.
- Zanne, A.E.; Lopez-Gonzalez, G.; Coomes, D.A.; Ilic, J.; Jansen, S.; Lewis, S.L.; Miller, R.B.; Swenson, N.G.; Wiemann, M.C.; Chave, J. 2009. Global wood density database (en línea). *Dryad*. Consultado 27 set. 2017. Disponibles en <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>
- Zelaya-Cruz R.S. 2003. Efecto de la tasa de alimentación sobre el crecimiento del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en cultivo intensivo. Tesis Licenciatura. San Salvador, El Salvador, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador (UES). 70 p.

9. ANEXOS

ANEXO I. DESCRIPCIÓN DE LOS ESTRATOS Y SITIOS DE MUESTREO PARA LA MEDICIÓN DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO EN MANGLARES Y OTROS USOS DE LA TIERRA EN LA BAHÍA DE JIQUILISCO, EL SALVADOR

En la bahía de Jiquilisco se muestrearon 32 sitios de ocho tipos diferentes de uso del suelo. A continuación, se describen las principales características de dichos usos y se hace referencia a los transectos de muestreo que se instalaron en cada lugar.

Agropecuario (granos básicos): el transecto 1 se estableció en la localidad de El Encanto. Este lugar es destinado para la siembra de maíz, pero al momento del muestreo se encontró una vegetación diferente (pasto, *Ricinus communis*, *Senna* sp., asteráceas, otras), esto debido a que los agricultores no sembraban maíz (Figura 48) debido a los problemas de sequía en la zona. Las herbáceas tuvieron en promedio un metro de altura. Aproximadamente, a 500 m al sur del punto de muestreo se encuentra el manglar.



Figura 48. Área agropecuaria para la siembra de maíz en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.

Agropecuario (ganadería): el transecto 2 se estableció en Colonia Melara, el sitio está colindando con otros potreros, manglar y un canal que bordea el potrero. Se encontró presencia de ganado (Figura 49) y la parte del potrero cercana al canal se encontraba anegada y un poco fangosa. Se encontraron herbáceas de la familia Asteraceae, Mimosoideae y Poaceae, las cuales tenían una altura que oscilaba entre 30 a 190 cm.



Figura 49. Muestreo de suelos para determinar las existencias de carbono en un área agropecuaria (ganadería) de la bahía de Jiquilisco.

Agropecuario (caña de azúcar): el transecto 3 fue establecido en la localidad de Puerto Viejo, a unos 4 kilómetros al Este del poblado de Puerto Parada. La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) tenía en promedio una altura de 1,8 m, en asociación con pasto de una altura entre 40 y 50 cm (Figura 50). Al límite sur del área con caña de azúcar se visualizaron especies de manglar como: *Avicennia germinans* (istatén) y *Laguncularia racemosa* (sincaguite).



Figura 50. Cultivo de caña de azúcar en la bahía de Jiquilisco, El Salvador.

Marisma (transecto 4): el transecto fue establecido en el sitio Los Cedrones. En el lugar se encontró el pasto llamado por los lugareños como *chacaste*, de ahí el nombre de chacastera (Figura 51), con 60 a 80 cm de alto y gran cantidad de huecos de cangrejos azules (*Cardisoma crassum*). La marisma está rodeada al Sur, Este y Oeste por el manglar y al Norte por la playa y el estero. Algunas de las especies que se observaron cerca del área de estudio son *Acacia cornigera* (cornizuelo), *Avicennia germinans* (istatén), *Avicennia bicolor* (madre sal), *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo), *Laguncularia racemosa* (sincaguite) y *Rhizophora mangle* (mangle colorado). Este es uno de los pocos sitios de la bahía de Jiquilisco en donde se pueden encontrar las dos especies del género *Avicennia* juntas, la cual es poco frecuente en la bahía.



Figura 51. Marisma salada, mostrando el pasto *chacaste* que le da su nombre local *chacastera*, bahía de Jiquilisco, El Salvador.

Marisma (transecto 5): el transecto se estableció en San Dionisio. En este sitio, las unidades de muestreo presentaban el pasto *chacaste* en asocio con la hierba *verdolaga salada* (*Portulaca oleracea*); además, el área estaba un poco anegada (Figura 52). El lugar estaba rodeado de potreros y en el lado sur y oeste delimitaba con el manglar. Las especies de manglar observadas cerca del sitio de muestreo fueron *Rhizophora mangle* (mangle colorado) y *Laguncularia racemosa* (sincaguite). Al lugar se accedió con la Policía Nacional Civil (PNC), debido a lo conflictivo que es el sitio.

Marisma (transecto 6): el transecto fue establecido en el sitio La Canoa, detrás de la caseta de vigilancia de los guardarecursos del MARN. El lugar se encuentra ubicado en el sector occidental de la bahía de Jiquilisco (Figura 53). En todas las unidades de muestreo se encontró el pasto *chacaste* de una altura promedio de 70 cm. La *chacastera* estaba rodeada de potreros y manglar en su límite oeste y sur. Se observó la especie *Avicennia germinans* (istatén) cerca del sitio de muestreo.



Figura 52. Vegetación típica de la marisma de San Dionisio, bahía de Jiquilisco, El Salvador.



Figura 53. Marisma de Las Mesitas, La Canoa, bahía de Jiquilisco, El Salvador.

REM (transecto 7): el transecto fue establecido en el sitio El Llorón (Figura 54). El área se encontraba anegada y con presencia de madera caída, regeneración de *Avicennia germinans* (istatén) y la hierba *verdolaga salada*, de aproximadamente 20 cm de alto. Según el biólogo marino Oscar Molina, ésta herbácea es formadora de suelos, ya que sus raíces finas retienen partículas muy pequeñas como las arcillas y limos. La madera caída, se debe a que hace tiempo por influencia antropogénica, el área del REM se secó y los árboles murieron, en la actualidad el REM cuenta con un canal diseñado para que la marea entre y salga, nuevamente el sitio se está restaurando poco a poco con los años.

REM (transecto 8): el transecto se estableció en la comunidad de San Sebastián (Figura 55). Para llegar al sitio de muestreo se contó con la ayuda de dos personas líderes del pueblo; primero porque conocían exactamente dónde estaba el REM, y segundo porque el lugar era un poco conflictivo, entonces se requirió de la presencia de ellos, quienes son conocidos por los demás pobladores de la comunidad. En el muestreo se encontró la hierba *verdolaga salada* en menor cantidad, en comparación con el REM ubicado en El Llorón, regeneración de *Avicennia germinans* (istatén) y *Laguncularia racemosa* (sincaguite) y no se halló madera caída en los subtransectos de medición establecidos. El manglar de este REM fue destruido anteriormente por efectos antropogénicos, al igual que el REM situado en El Llorón. En la actualidad se está restaurando. De acuerdo con los líderes del pueblo, en el REM es frecuente encontrar ganado, el cual se come los meristemos apicales de la regeneración encontrada y por ello, algunos árboles no se desarrollan.

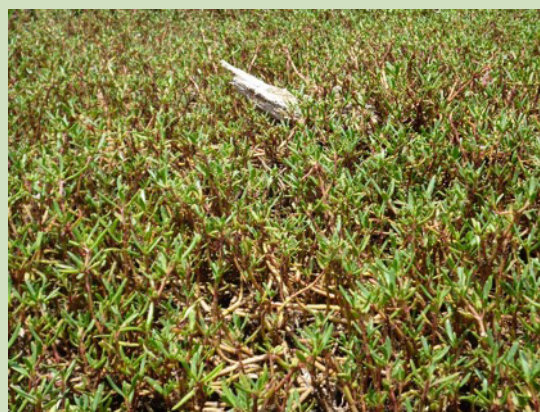


Figura 54. Área de restauración ecológica de manglares (REM) en El Llorón, bahía de Jiquilisco, El Salvador, mostrando obras de drenaje (izquierda) y cobertura de *verdolaga salada* (derecha).

REM (transecto 9): el transecto fue establecido al Sur de la comunidad de El Jobal (Figura 56). Para llegar al sitio de muestreo se contó con un transporte a caballo con carreta; esto para llevar el equipo y el personal de trabajo (Figura 56) y dos personas de la comunidad; aunque el lugar no era conflictivo, sí conocían exactamente donde se ubicaba el sitio de muestreo. El REM de este lugar estaba más desarrollado en composición florística y estructura, en comparación a las otros REM muestreados. Se midieron piezas de madera caída, regeneración y árboles de *Rhizophora mangle* (mangle colorado), con 28 cm de diámetro y 14 m de alto; de *Avicennia germinans* (istatén) árboles con 33 cm de diámetro y 12 m de alto y de *Laguncularia racemosa* (sincaguite), árboles con diámetros de 6 cm y 5 m de alto. En la parcela 1 de este transecto fue únicamente donde se encontró herbácea, en las otras unidades de muestreo predominaban árboles.

Salineras y camaroneras: las salineras fueron establecidas en los sitios: Puerto El Flor, Los Almendros y Puerto Ramírez y las camaroneras en: La Canoa, Sisiguayo, Salinas del Potrero y San Hilario. Estas salineras y camaroneras pertenecían a cooperativas, algunas con grandes áreas de estanques para este fin (Figura 57). El muestreo se realizó en la estación seca, cuando la mayoría de los estanques de salineras y camaroneras están en uso (llenas), por lo cual, la escogencia y selección de los sitios para llevar a

cabo el muestreo en estos estratos fue muy restringida. Los suelos de estos estratos se encontraban muy compactados. A partir de los 50 cm de profundidad, el suelo mostraba una coloración azulada y apariencia de un suelo gleysado (falta de drenaje).



Figura 55. Área joven de restauración ecológica de manglares (REM) ubicada en San Sebastián, bahía de Jiquilisco, El Salvador.



Figura 56. Área de restauración ecológica de manglares (REM) en El Jobal, bahía de Jiquilisco, El Salvador, mostrando medio de transporte tradicional en la zona.



Figura 57. Ejemplos de áreas de salineras (izquierda) y camaroneras (derecha) muestreadas para cuantificar las existencias de carbono en bahía de Jiquilisco, El Salvador.

Manglar alto: los transectos 18, 19 y 20 de mangle alto se montaron en los sitios Arco del Espino, Samuria y Piedra Marcada, respectivamente; los transectos 21 y 22 se establecieron en Montecristo. Las especies encontradas en Arco del Espino, Samuria y Piedra Marcada, sector oriental de la bahía de Jiquilisco fueron: *Rhizophora racemosa* (mangle espigado; Figura 58) y *Rhizophora mangle* (mangle colorado). En Montecristo, sector occidental de la bahía de Jiquilisco, se muestrearon individuos de las especies *R. racemosa*, *Avicennia germinans* (istatén) y *Laguncularia racemosa* (sincaguite).

La especie *R. racemosa* presentó los árboles con diámetros y alturas mayores, de la cual se encontraron individuos de hasta 79,9 cm de diámetro y alturas de 32 m; les siguen *A. germinans*, *L. racemosa* y *R. mangle*. En este estrato se encontró poca madera caída, moderada cantidad de regeneración y algunos tocones de mangle espigado; cortados por personas de comunidades aledañas al lugar para usarlos como postes y madera aserrada en la construcción de casas, según los comentarios de los colaboradores de campo. El promedio de altura de los árboles medidos en este estrato fue de 15,1 m; la altura de los individuos osciló entre 4 y 32 m.

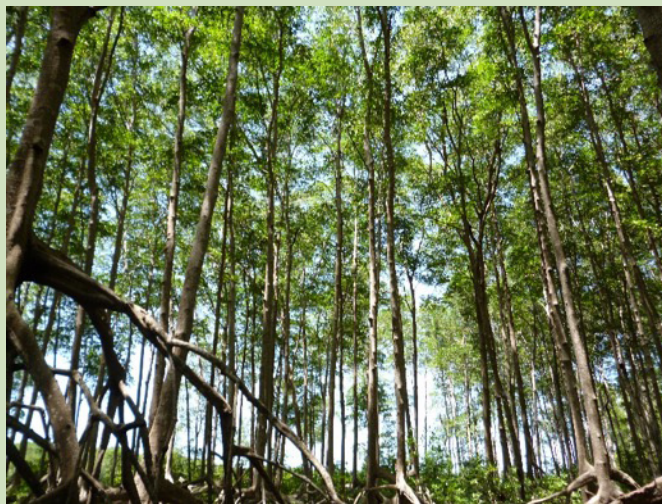


Figura 58. Mangle alto dominado por *Rhizophora racemosa* en Samuria, bahía de Jiquilisco, El Salvador.

Manglar intermedio: los transectos 23, 24, 25, 26 y 27 de mangle intermedio fueron establecidos en los sitios: Bordo El Chile, Los Mapaches-El Chile, Estero Rincón Grande, Isla Tortuga y El Jobal, respectivamente. Las especies encontradas en el transecto 23 fueron: *Rhizophora racemosa* (mangle espigado) y *Rhizophora mangle* (mangle colorado); en los transectos 24 y 27 *R. mangle* y *Laguncularia racemosa* (sincaguite) y en los transectos 25 y 26 fue *R. mangle*. En estos sitios, el traslado en el manglar de un punto a otro sobre el transecto establecido fue difícil y lento, debido a la alta densidad de raíces fúlcreas de los árboles de *R. mangle* (Figura 59).

Al igual que en el mangle alto, la especie con los árboles de diámetros y alturas mayores fue *R. racemosa*, la cual se encontró desde las orillas de los esteros hasta aproximadamente 50 m adentro del manglar, en las primeras dos unidades de muestreo y cuyos individuos no sobrepasaron los 37,1 cm de diámetro y los 25 m de altura; les siguen *R. mangle* y *L. racemosa*, respectivamente. La altura promedio del estrato cuando solo se presentaron *R. mangle* y *L. racemosa* fue de 7 m. En este estrato hubo escasa regeneración y madera caída. El promedio de altura de los árboles medidos en este estrato fue de 6,6 metros; la altura de los individuos osciló entre 3 y 25 m.

Manglar bajo o enano: los transectos 28, 29, 30, 31 y 32 de este estrato se establecieron en los sitios llamados Bocas de los Muchachos, Los Lagartos, Las Tijeras, El Zamorancito y en Puerto Parada, respectivamente (Figura 60). Las especies *Rhizophora mangle* (mangle colorado), *Avicennia germinans* (istatén) y *Laguncularia racemosa* (sincaguite) fueron encontradas en los transectos 28, 29, 30 y 32; en el transecto 31 se encontró a las especies *A. germinans*, *L. racemosa*, *Acacia cornigera* (cornizuelo), *Pithecellobium sp* (mongollano) y *Randia sp* (caimito de manglar). El promedio de altura de los árboles medidos en este estrato fue de 1,95 m; la altura de los individuos osciló entre 0,4 y 5,5 m. Además, el suelo de estos sitios muestreados fue considerablemente menos fangoso en comparación al mangle alto e intermedio, especialmente donde se encontraba la especie *A. germinans*. Solo en el transecto 31, ubicado en El Zamorancito se midió madera caída.



Figura 59. Mangle intermedio dominado por *Rhizophora mangle* (derecha), que presenta gran cantidad de raíces fúlcreas (izquierda), bahía de Jiquilisco, El Salvador.

Limitantes y desafíos encontrados y las formas en que fueron subsanados.

Estanques llenos de camaronerías y salineras: inicialmente se iban a establecer algunos transectos en otros sitios diferentes a los muestreados, sin embargo, los estanques en su mayoría estaban en uso (llenos; Figura 61).



Figura 60. Sitios de mangle enano o bajo en Las Tijeras (izquierda) y El Zamorancito (derecha), bahía de Jiquilisco, El Salvador.



Figura 61. Fotografía de estanques de camarón inundados, bahía de Jiquilisco, El Salvador.

Camaronera pequeña: la camaronera situada en La Canoa era pequeña, donde el transecto de 150 m se salía del área del estanque; entonces se procedió a establecer dos transectos con tres parcelas cada uno, partiendo de dos vértices o esquinas de la camaronera. Aunque se encontraron camaroneras más grandes en la zona de estudio, no obstante, sus estanques estaban llenos.

Potrero anegado: el potrero donde se estableció el transecto 2, estrato agropecuario (ganadería), se encontraba en un 50% anegado y fangoso, esto por estar cerca del manglar y a un canal que bordeaba el sitio. Al igual que en la camaronera pequeña, se establecieron dos transectos con tres parcelas cada uno, partiendo de dos vértices o esquinas diferentes. Se procedió de esta manera porque al obtener las muestras del suelo en el área anegada, estas se desprendían muy fácil del barreno. También se tuvo problemas a la hora de cortar las herbáceas en el cuadrante de 0,5 x 0,5 m.

Sitios conflictivos: los transectos 5 y 8 establecidos en San Dionisio y San Sebastián, respectivamente, se encontraban en comunidades conflictivas, debido a la presencia de pandillas organizadas, por lo cual, se solicitó la colaboración de la Policía Nacional Civil de El Salvador (PNC) para el muestreo de la marisma en San Dionisio y el acompañamiento de dos personas líderes de la comunidad de San Sebastián, para el muestreo del REM.

ANEXO 2. DESCRIPCIÓN DE LOS ESTRATOS Y SITIOS DE MUESTREO PARA LA MEDICIÓN DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO EN MANGLARES Y OTROS USOS DE LA TIERRA EN EL ESTERO DE JALTEPEQUE, EL SALVADOR

En el estero de Jaltepeque se muestrearon 27 sitios de ocho tipos diferentes de uso del suelo. A continuación, se describen las principales características de dichos usos y se hace referencia a los transectos de muestreo que se instalaron en cada lugar.

Mangle alto: en este estrato se establecieron los transectos 1, 2, 3 y 8. Se encontraron árboles de las especies *Rhizophora racemosa*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. Se encontró para árboles con $dap \geq 5$ cm 22,57 m²/ha de área basal y 709,15 árboles/ha. El manglar encontrado en el transecto 1 fue el que presentó mayor grado de desarrollo, debido a que su área basal (32,25 m²/ha) fue mayor en comparación a los demás sitios muestreados (Cuadro 33). En cuanto a la regeneración presentada en este estrato, se encontró 0,05 m²/ha de área basal y 249,01 árboles/ha; siendo la especie *R. racemosa* la que se encontró en todos los sitios de este estrato. En madera caída, se muestreó un total de 200 piezas en estado podrido, 49 en estado sólido y 46 en estado intermedio. El Cuadro 33 resume el área basal y el número de individuos por especie para cada uno de los transectos establecidos.

Cuadro 33. Área basal y número de individuos por especie, según transecto de mangle alto en el inventario de las existencias de Carbono en los manglares del Estero Jaltepeque, El Salvador.

Transecto	Familia	Nombre científico	Nombre común	Área basal (m ² /ha)	Individuos (n/ha)
1	Acanthaceae	<i>Avicennia germinans</i>	Istatén	31,90	552,16
1	Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Sincaguite	0,15	32,48
1	Rhizophoraceae	<i>Rhizophora racemosa</i>	Mangle espigado	0,20	43,31
2	Rhizophoraceae	<i>Rhizophora racemosa</i>	Mangle espigado	17,35	487,20
3	Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Sincaguite	1,88	324,80
3	Rhizophoraceae	<i>Rhizophora racemosa</i>	Mangle espigado	17,45	974,41
8	Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Sincaguite	0,92	21,65
8	Rhizophoraceae	<i>Rhizophora racemosa</i>	Mangle espigado	20,42	400,59

Fuente: Elaboración propia.

Para los transectos 2, 3 y 8 la especie dominante y abundante fue *R. racemosa* (Figura 62); con árboles que alcanzaron los 61,6 cm de diámetro y aproximadamente 28 m de altura. En el transecto 1, establecido en la desembocadura del río Lempa, predominó la especie *A. germinans*; con árboles de hasta 61,4 cm de diámetro y 28 m de alto (Figura 62).



Figura 62. Manglar alto dominado por la especie *Rhizophora racemosa* en el estero de Jaltepeque, El Salvador.

Mangle intermedio: en este estrato se establecieron los transectos 4, 5, 6 y 7. Se encontraron árboles de las especies *R. mangle*, *A. germinans* y *L. racemosa* (Cuadro 34). El área basal encontrada en el mangle intermedio para árboles con $dap \geq 5$ cm fue de 10,78 m²/ha y 1510,33 árboles/ha, esto quiere decir, que se encontraron bastantes árboles, pero de diámetros pequeños. En cuanto a la regeneración en este estrato, se obtuvo 0,04 m²/ha de área basal y 121,80 árboles/ha. Cabe destacar que solo en el transecto 7 se encontró regeneración, principalmente de *L. racemosa* (Figura 63). En madera caída se muestreó un total de 78 piezas en estado podrido, 11 en estado intermedio y 6 en estado sólido. El Cuadro 34 resume el área basal y el número de individuos por especie para cada uno de los transectos establecidos.

Cuadro 34. Área basal y número de individuos por especie, según transecto de mangle intermedio en el inventario de las existencias de Carbono en los manglares del estero Jaltepeque, El Salvador.

Transecto	Familia	Nombre científico	Nombre común	Área basal (m ² /ha)	Individuos (n/ha)
4	Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Sincaguite	6,73	920,27
4	Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle colorado	7,52	682,08
5	Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Sincaguite	5,66	941,93
5	Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle colorado	6,33	649,60
6	Acanthaceae	<i>Avicennia germinans</i>	Istatén	0,36	32,48
6	Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Sincaguite	0,19	21,65
6	Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle colorado	6,67	1158,46
7	Acanthaceae	<i>Avicennia germinans</i>	Istatén	1,47	129,92
7	Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Sincaguite	4,97	1061,02
7	Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle colorado	3,24	443,90

Fuente: Elaboración propia.

La especie más abundante fue *L. racemosa*, seguida de *R. mangle* y la especie dominante fue *R. mangle*, ya que presentó árboles con mayores diámetros, hasta 42 cm. En este tipo de estrato el traslado dentro del manglar fue difícil, debido a la gran presencia de raíces fúlcreas del mangle colorado y que el sedimento es más fangoso o suave.



Figura 63. Ejemplo típico de un área de manglar intermedio, dominado por árboles de *Rhizophora mangle*, estero de Jaltepeque, El Salvador.

Mangle bajo o enano: En este estrato fueron establecidos los transectos 9, 10 y 11. Se encontraron árboles de las especies *R. mangle*, *A. germinans*, *L. racemosa*, *Conocarpus erectus*, *Acacia cornigera* y *Pithecellobium dulce* (Cuadro 35). El área basal encontrada en el mangle enano para el diámetro medido a 30 cm de altura sobre el suelo fue de 12,57 m²/ha y 4561,66 árboles/ha. En madera caída, se muestreó un total de 35 piezas en estado podrido, 24 en estado sólido y 11 en estado intermedio. La altura de los individuos osciló entre 0,4 y 6 m; con un promedio de 3,5 m.

En el transecto 9, la especie dominante y abundante fue *A. germinans*. En el transecto 10 fue *L. racemosa* y en el transecto 11 se encontró a *A. germinans* como la especie dominante y a *L. racemosa* como la más abundante, además se encontraron especies que se asociaron con las especies de manglar (Cuadro 35). En este estrato, se encontró el sedimento muy seco y duro, las causas podrían ser: a veces la marea no llega a estos sitios y haber realizado el muestreo al final de la época seca, por lo cual, en algunas parcelas no fue posible recolectar las muestras de sedimento hasta los dos metros de profundidad, ya que el barreno no pudo penetrar a más de un metro.

Este tipo de manglar es muy escaso en el estero Jaltepeque. Los individuos que se encontraron tienen una gran presión antropogénica para cortarlos, construir viviendas y usarlos en agricultura, debido a las condiciones de suelo que presentan, los cuales son relativamente secos y pocos fangosos en comparación con los del mangle alto e intermedio (Figura 64). Por las condiciones de suelo mencionadas anteriormente, es posible encontrar especies de bosque seco que se asocian con las de manglar como *P. dulce* y *A. cornigera*, las cuales son frecuentes encontrarlas cerca de la playa y en el límite tierra-manglar.

Cuadro 35. Área basal y número de individuos por especie, según transecto de mangle enano en el inventario de las existencias de carbono en los manglares del estero Jaltepeque, El Salvador.

Transecto	Familia	Nombre científico	Nombre común	Área basal (m ² /ha)	Individuos (n/ha)
9	Acanthaceae	<i>Avicennia germinans</i>	Istatén	18,89	5110,22
9	Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Sincaguite	0,77	1234,25
10	Acanthaceae	<i>Avicennia germinans</i>	Istatén	4,05	476,38
10	Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Sincaguite	5,80	4244,08
11	Fab./Mimosoideae	<i>Acacia cornigera</i>	Cornizuelo/carbón	0,61	21,65
11	Acanthaceae	<i>Avicennia germinans</i>	Istatén	3,48	519,68
11	Combretaceae	<i>Conocarpus erectus</i>	Botoncillo	1,75	606,30
11	Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Sincaguite	1,03	1277,55
11	Fab./Mimosoideae	<i>Pithecellobium dulce</i>	Mongollano	0,92	43,31
11	Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle colorado	0,40	151,57

Cerca del transecto 9, en la comunidad de El Cocal de San Marcelino, se encontraron parches de mangle enano talados, quemados y otros delimitados para posteriormente cortar la vegetación, construir viviendas y/o aplicar otro uso del suelo. En el transecto 10, ubicado en las Ánimas Abajo, se encontró una calle de acceso público que pasaba entre el parche del mangle enano.



Figura 64. Ejemplo de un sitio de muestreo con mangle enano, dominado por *Laguncularia racemosa*, estero de Jaltepeque, El Salvador.

Marismas: en este estrato fueron establecidos los transectos 12, 13, 14 y 15. En las marismas de los transectos 12 y 13 se encontraron árboles y regeneración de *C. erectus*, *A. cornigera*, *P. dulce* y *Anacardium occidentale* (Cuadro 36). En los transectos 14 y 15 no se encontró vegetación arbórea. El área basal encontrada para árboles con dap \geq 5 cm fue de 1,89 m²/ha y 108,27 árboles/ha. En cuanto a la regeneración presentada en este estrato, se encontró 0,02 m²/ha de área basal y 56,84 árboles/ha. En las marismas, la presencia de madera caída no es muy frecuente; se muestreó solo una pieza de madera en estado sólido.

El Cuadro 36 resume el área basal y el número de individuos por especie para cada uno de los transectos establecidos.

Cuadro 36. Área basal y número de individuos por especie, según transecto de marisma en el inventario de las existencias de Carbono en los manglares del estero Jaltepeque, El Salvador.

Transecto	Familia	Nombre científico	Nombre común	Área basal (m ² /ha)	Individuos (n/ha)
12	Fab./Mimosoideae	<i>Acacia cornigera</i>	Cornizuelo/carbón	1,22	86,61
12	Fab./Mimosoideae	<i>Pithecellobium dulce</i>	Mongollano	1,43	108,27
13	Fab./Mimosoideae	<i>Acacia cornigera</i>	Cornizuelo/carbón	0,19	10,83
13	Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i>	Marañón	0,17	10,83
13	Combretaceae	<i>Conocarpus erectus</i>	Botoncillo	4,53	216,53
14	----	----	----	----	----
15	----	----	----	----	----

En el transecto 12, la especie dominante y abundante fue *P. dulce*, en el transecto 13 fue *C. erectus*. Las marismas de los transectos 14 y 15, ubicadas en el Aguaje; sitio donde se concentra la mayor área de marismas, no se encontraron individuos (Cuadro 36). En el sector de Jaltepeque, la mayoría de las marismas tienen intervención humana, algunas son quemadas y otras usadas para ganadería; de ahí que los suelos de estas se encontraban muy compactados y en algunas parcelas no se pudieron obtener las muestras de sedimento de 100 a 200 cm.

El sedimento hasta dos metros de profundidad en el transecto 13 fue muy arenoso. De acuerdo con Oscar Molina, las marismas con presencia de arena son indicadoras de marismas jóvenes y conforme pase el tiempo van acumulando sedimento. En las marismas predominó la herbácea *Fimbristylis spadiacea* (chacaste) y en el transecto 14 se encontró *Portulaca oleracea* (verdolaga salada). Las marismas en el sector del Aguaje (Figura 65) se inundan a más de un metro de profundidad en la época lluviosa.



Figura 65. Ejemplos de sitios de marisma en la isla Tasajera y el sector del Aguaje, estero de Jaltepeque, El Salvador.

Áreas de Restauración Ecológica de Manglares (REM): En este estrato se establecieron los transectos 16, 17 y 18. Se encontraron árboles de las especies *R. mangle*, *A. germinans* y *L. racemosa* (Cuadro 37). El área basal encontrada para árboles con $dap \geq 5$ cm fue de 2,25 m²/ha y 498,03 árboles/ha. En cuanto a la regeneración, se obtuvo 0,51 m²/ha de área basal y 1465,22 árboles/ha. En las áreas REM, la presencia de madera caída es poca (Figura 66); se muestreó un total de ocho piezas de madera en estado sólido, tres en estado podrido y un en estado intermedio. El Cuadro 37 resume el área basal y el número de individuos por especie para cada uno de los transectos establecidos.

Cuadro 37. Área basal y número de individuos por especie, según transecto de REM en el inventario de las existencias de Carbono en los manglares del estero Jaltepeque, El Salvador.

Transecto	Familia	Nombre científico	Nombre común	Área basal (m ² /ha)	Individuos (n/ha)
16	Acanthaceae	<i>Avicennia germinans</i>	Istatén	0,14	43,31
16	Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Sincaguite	0,18	64,96
16	Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle colorado	0,52	162,40
17	Acanthaceae	<i>Avicennia germinans</i>	Istatén	0,55	75,79
17	Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Sincaguite	5,27	1125,98
18	Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Sincaguite	0,08	21,65

Fuente: Elaboración propia.

En el transecto 16, la especie dominante y abundante fue *R. mangle* y en los transectos 17 y 18 fue *L. racemosa*. Los REM de los transectos 16 y 18 tenían aproximadamente 3 años, según los guardas recursos de la zona. El REM del transecto 17 tenía 5 años, de acuerdo a los colaboradores de campo contratados, ya que ellos viven cerca del sitio.



Figura 66. Área de restauración ecológica de manglares (REM) de tres años, en la desembocadura río Jalponga, estero de Jaltepeque, El Salvador.

Camaroneras: Las camaroneras fueron establecidas en los sitios de la Cooperativa Los Piñalitos (transecto 19) y la Cooperativa Los Aguiluchos (transecto 20), ambas situadas en El Aguaje. El transecto 21 se estableció en la Cooperativa El Palmo ubicada en el poblado Las Ánimas Arriba (Figura 67). Los suelos de estos sitios se encontraban muy compactados a partir de los 50 cm de profundidad; se mostraba una coloración azulada y apariencia de un suelo gleysado (falta de drenaje).



Figura 67. Estanque de camaronera (drenado al momento de la fotografía) en la Cooperativa El Palmo, estero de Jaltepeque, El Salvador.

Relictos de salineras: En este estrato fueron establecidos los transectos 25, 26 y 27. En los sitios Las Ánimas Arriba, la Cooperativa El Astillero y en el cementerio de San Sebastián El Chingo, respectivamente. El relicto de salinera del transecto 25 presentó árboles de *A. germinans* y *C. erectus*; que con el transcurso del tiempo han crecido. Se encontró un área basal de 2,94 m²/ha y 2057,08 árboles/ha; caso contrario sucedió con las salineras de los transectos 26 y 27, la cuales son dedicadas para usos agropecuarios y en desuso, respectivamente (Figura 68). Estas salineras fueron abandonadas hace aproximadamente 60 años, según vecinos de las localidades y personal del MARN.



Figura 68. Relictos de salinera (vestigios de muros de contención a la izquierda y uso agropecuario actual a la derecha) en el estero de Jaltepeque, El Salvador.

Agropecuario: En este estrato se establecieron los transectos 22, 23 y 24; en caña de azúcar, ganadería y granos básicos (maíz), respectivamente. Estos transectos limitan con el bosque salado y en el de ganadería se encontró tala de árboles de la especie *P. dulce*, la cual se asocia con las especies de manglares. En el transecto 24 se encontró cultivos de maíz y frijoles (Figura 69) y árboles dispersos de mongollano, marañón, aguacate y tempate. El Cuadro 38 resume el área basal y el número de individuos por especie para cada uno de los transectos establecidos.

Cuadro 38. Área basal y número de individuos por especie, según transecto de agropecuario en el inventario de las existencias de Carbono en los manglares del estero de Jaltepeque, El Salvador.

Transecto	Familia	Nombre científico	Nombre común	Área basal (m ² /ha)	Individuos (n/ha)
22	----	----	----	----	----
23	Fab./Mimosoideae	<i>Pithecellobium dulce</i>	Mongollano	0,40	21,65
24	Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i>	Marañón	0,14	32,48
24	Euphorbiaceae	<i>Jatropha curcas</i>	Tempate	0,05	10,83
24	Lauraceae	<i>Persea americana</i>	Aguacate	0,21	21,65
24	Fab./Mimosoideae	<i>Pithecellobium dulce</i>	Mongollano	1,75	21,65

El estrato agropecuario presentó 0,85 m²/ha de área basal y 36,09 árboles/ha. No se encontró regeneración ni madera caída. La especie *P. dulce* estaba limitando con el manglar; *J. curcas* se presentó en cercas vivas; *A. occidentale* y *P. americana* se halló como árboles frutales dispersos. En cuanto a las herbáceas, se encontró *Sida acuta* (escobilla) y *Cynodon dactylon* (pasto barrenillo) en el transecto de ganadería. En el transecto de granos básicos se encontró *C. dactylon* y plántulas pequeñas de maíz. En el transecto 22 se muestreó *Saccharum officinarum* (caña de azúcar). Para herbáceas se recolectó una submuestra de 100 g, la cual fue llevada al laboratorio analítico del CATIE para sus análisis.



Figura 69. Áreas de cultivos agrícola (maíz a la izquierda y caña de azúcar a la derecha) en el Estero de Jaltepeque, El Salvador.

ANEXO 3. PUNTOS DE CONTROL LEVANTADOS DURANTE EL PROCESO DE INVENTARIO FORESTAL. BAHÍA DE JIQUILISCO, EL SALVADOR.

Transecto	Sitio	Estrato	Longitud (m)	Latitud (m)
1	El Encantado	Agropecuario (maíz)	567970	236310
2	Colonia Melara	Agropecuario (ganadería)	560800	238350
3	Cercano a Coop. 12 Playas	Agropecuario (caña de azúcar)	563610	235630
4	Los Cedrones	Marisma	565880	231930
5	Puerto Viejo, San Dionisio	Marisma	558268	239580
6	Las Mesitas-La Canoa	Marisma	526824	239602
7	El Llorón	REM	525170	239410
8	Puerto Ceiba, isla San Sebastián	REM	563003	229391
9	El Jobal	REM	542674	234519
10	Puerto El Flor	Salinera	562600	235570
11	Los Almendros	Salinera	561100	236950
12	Puerto Ramírez	Salinera	560400	237840
13	Coop. La Chacastera, La Canoa	Camaronera	527130	240590
14	Coop. 29 de Junio, Sisiguayo	Camaronera	536000	239270
15	Coop. La Romerito, Sisiguayo	Camaronera	537010	240350
16	Coop. Puerto Casona, Salinas del Potrero	Camaronera	536530	241730
17	Coop. El Torno, San Hilario	Camaronera	537220	244170
18	Arco del Espino	Mangle alto	572470	230140
19	Samuria	Mangle alto	571690	231480
20	Piedra Marcada	Mangle alto	572620	231840
21	Montecristo	Mangle alto	523960	236920
22	Montecristo	Mangle alto	522955	237417
23	Borda El Chile	Mangle intermedio	558490	233340
24	Los Mapaches-El Chile	Mangle intermedio	559100	234030
25	Rincón Grande	Mangle intermedio	565150	230670
26	Isla Tortuga	Mangle intermedio	547350	237892
27	El Jobal	Mangle intermedio	546453	235988
28	Boca de Los Muchachos	Mangle bajo	559430	235467
29	Los Lagartos	Mangle bajo	556841	236863
30	Las Tijeras	Mangle bajo	557347	235076
31	El Zamorancito	Mangle bajo	532921	240537
32	La Cruz-Puerto Parada	Mangle bajo	559838	236098

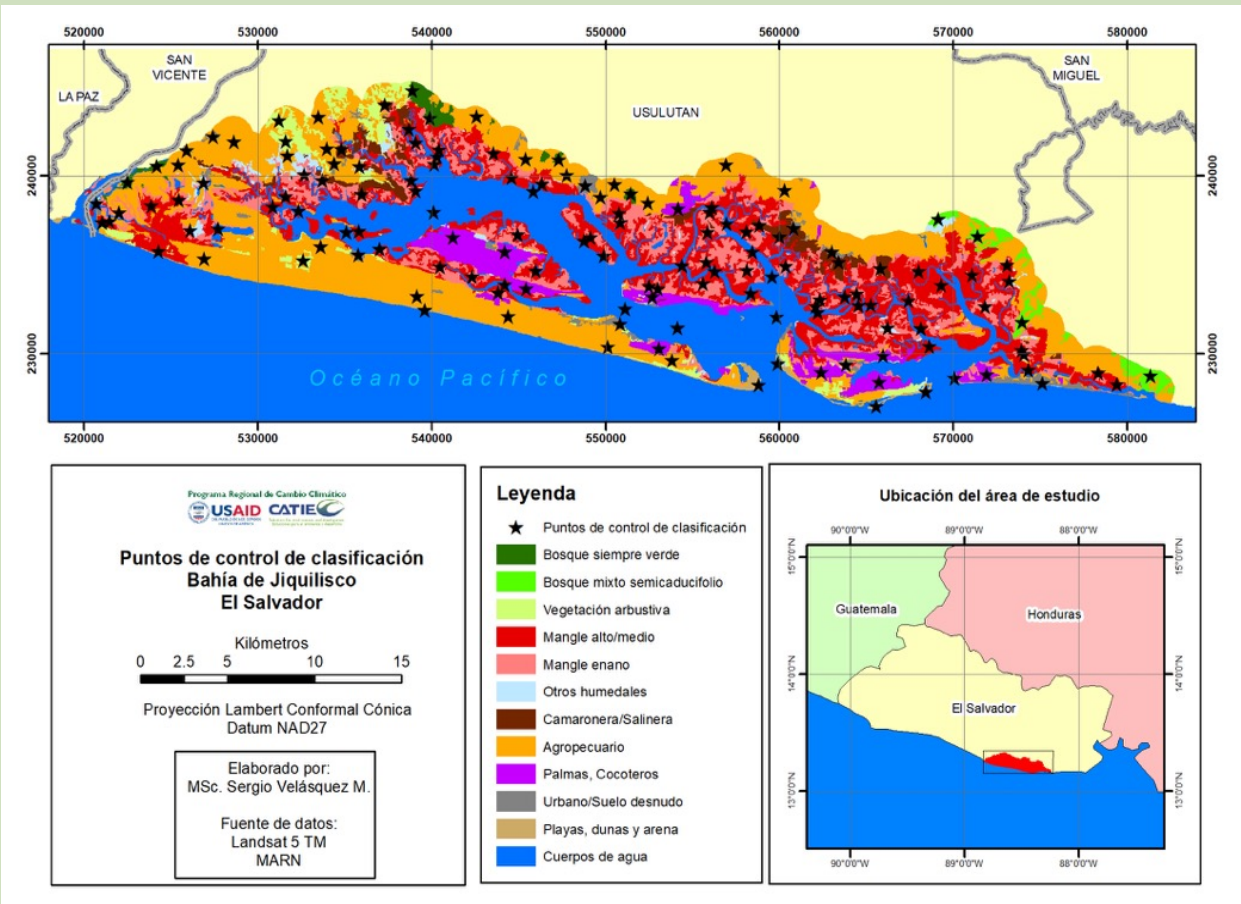


Figura 70. Distribución geográfica de los puntos de control para el cálculo de la precisión de la clasificación de la cobertura de uso de la tierra, bahía de Jiquilisco, El Salvador.

ANEXO 4. UBICACIÓN DE SITIOS DE ESTUDIO PARA CUANTIFICAR LAS EXISTENCIAS DE CARBONO EN MANGLARES DE LA BAHÍA DE JIQUILISCO, EL SALVADOR.

Tran-secto	Sitio	Estrato	Longitud (m)	Latitud (m)
1	El Encantado	Agropecuario (maíz)	567970	236310
2	Colonia Melara	Agropecuario (ganadería)	560800	238350
3	Cercano a Coop. 12 Playas	Agropecuario (caña de azúcar)	563610	235630
4	Los Cedrones	Marisma	565880	231930
5	Puerto Viejo, San Dionisio	Marisma	558268	239580
6	Las Mesitas-La Canoa	Marisma	526824	239602
7	El Llorón	REM	525170	239410
8	Puerto Ceiba, isla San Sebastián	REM	563003	229391
9	El Jobal	REM	542674	234519
10	Puerto El Flor	Salinera	562600	235570
11	Los Almendros	Salinera	561100	236950
12	Puerto Ramírez	Salinera	560400	237840
13	Coop. La Chacastera, La Canoa	Camaronera	527130	240590
14	Coop. 29 de Junio, Sisiguayo	Camaronera	536000	239270
15	Coop. La Romerito, Sisiguayo	Camaronera	537010	240350
16	Coop. Puerto Casona, Salinas del Potrero	Camaronera	536530	241730
17	Coop. El Torno, San Hilario	Camaronera	537220	244170
18	Arco del Espino	Mangle alto	572470	230140
19	Samuria	Mangle alto	571690	231480
20	Piedra Marcada	Mangle alto	572620	231840
21	Montecristo	Mangle alto	523960	236920
22	Montecristo	Mangle alto	522955	237417
23	Borda El Chile	Mangle intermedio	558490	233340
24	Los Mapaches-El Chile	Mangle intermedio	559100	234030
25	Rincón Grande	Mangle intermedio	565150	230670
26	Isla Tortuga	Mangle intermedio	547350	237892
27	El Jobal	Mangle intermedio	546453	235988
28	Boca de Los Muchachos	Mangle bajo	559430	235467
29	Los Lagartos	Mangle bajo	556841	236863
30	Las Tijeras	Mangle bajo	557347	235076
31	El Zamorancito	Mangle bajo	532921	240537
32	La Cruz-Puerto Parada	Mangle bajo	559838	236098

ANEXO 5. UBICACIÓN DE SITIOS DE ESTUDIO PARA CUANTIFICAR LAS EXISTENCIAS DE CARBONO EN MANGLARES DEL ESTERO DE JALTEPEQUE, EL SALVADOR.

Tran-secto	Sitio	Estrato	Longitud (m)	Latitud (m)
1	Desembocadura río Lempa	Mangle alto	519357	237924
2	La Curbinera	Mangle alto	518248	239195
3	El Rajado	Mangle alto	515027	241434
4	Santa Cruz (El Chuflar)	Mangle intermedio	515402	242586
5	Santo Domingo	Mangle intermedio	513515	242189
6	El Espino	Mangle intermedio	512675	243193
7	La Herradura	Mangle intermedio	505827	246298
8	El Plan de la Ceiba	Mangle alto	518235	241002
9A	EL Cocal (San Marcelino)	Mangle enano	498909	248076
9B	EL Cocal (San Marcelino)	Mangle enano	498860	248076
10	El Resedo (Ánimas Abajo)	Mangle enano	516381	246066
11	Bordo Chele	Mangle enano	499992	247357
12	San Antonio Los Blancos	Marisma	504608	245320
13	Punta de La Barrita (isla Tasajera)	Marisma	515687	239249
14	El Aguaje (área El Astillero)	Marisma	513527	247432
15	El Aguaje (área Escuincla)	Marisma	512681	248110
16	San Sebastián El Chingo	REM (3 años)	511616	247200
17	El Cañón del Bagre	REM (5 años)	518571	238071
18	Desembocadura río Jalponga (isla El Ranchón)	REM (3 años)	508312	247411
19	Cooperativa Los Piñalitos (El Aguaje)	Camaronera	514598	248443
20	Cooperativa Los Aguiluchos (El Aguaje)	Camaronera	514068	248910
21	Cooperativa El Palmo (Las Ánimas Arriba)	Camaronera	516079	247845
22	Cooperativa El Astillero (La Balsa)	Caña de azúcar	515505	246222
23	El Matocho (isla Tasajera)	Ganadería	515704	240325
24	El Aguacate (isla Tasajera)	Granos básicos	515072	240576
25	Las Ánimas Arriba	Relicto de salinera	515780	248515
26	Cooperativa El Astillero (La Gaveta)	Relicto de salinera	514506	246012
27	Cementerio San Sebastián El Chingo	Relicto de salinera	510416	247734

ANEXO 6. AFILIACIÓN INSTITUCIONAL DEL PERSONAL QUE PARTICIPÓ EN LOS INVENTARIOS DE CAMPO DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO EN MANGLARES Y ÁREAS ALEDAÑAS EN EL SALVADOR

Afiliación del personal	Nombre completo
Personal contratado por el proyecto	<ol style="list-style-type: none"> 1. José Santos García Rodríguez 2. José Orlando Rubio Reyes 3. José Antonio Orellana Rubio 4. Ernesto Antonio García Rodríguez
Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, sitio Puerto Parada	<ol style="list-style-type: none"> 1. Manuel Antonio Henríquez Serrano 2. José Ricardo León 3. René Armando Flores
Personal del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, sitio La Canoa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Leonel Antonio Rivas Ruiz 2. Evangelina Martínez 3. José Santos Lisandro Hernández 4. José Manuel González
Personal del Ministro de Medio Ambiente y Recursos Naturales, sitio Montecristo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dimas Molina

ANEXO 7. CRONOGRAMA DEL CURSO-TALLER “METODOLOGÍAS PARA LA MEDICIÓN DE CARBONO AZUL EN EL SALVADOR”, REALIZADO DEL 21 AL 24 DE ABRIL DE 2015 EN SAN SALVADOR Y EL ESTERO DE JALTEPEQUE

Martes 21 de abril de 2015 – Introducción al carbono azul y sus inventarios

Hora inicio	Hora final	Tema/actividad	Responsable/Instructores
08:00	08:30	Registro de participantes	
08:30	09:00	Actos de Protocolo	Representantes de entidades CATIE, UES, MARN, PRCC
09:00	09:30	Presentaciones participantes	
09:30	10:00	<i>Refrigerio</i>	
10:00	10:30	Antecedentes internacionales carbono azul	Miguel Cifuentes
10:30	11:00	Inventarios forestales de carbono en manglares	Miguel Cifuentes
11:00	11:30	Introducción al manejo de datos	Miguel Cifuentes
11:30	13:00	<i>Almuerzo</i>	
13:00	15:00	Práctica de manejo de datos	Miguel Cifuentes
15:00	15:30	<i>Refrigerio</i>	
15:30	16:45	Práctica de manejo de datos	Miguel Cifuentes
16:45	17:30	Síntesis del día y preparación día 2 (Instalación de <i>Software</i> y Datos para la práctica SIG)	Miguel Cifuentes/Sergio Velásquez

Miércoles 22 de abril de 2015 – Sistemas de información geográfica y análisis geoespacial

Hora inicio	Hora final	Tema/actividad	Instructores
08:00	09:00	Introducción a los sensores remoto y los SIG	Sergio Velásquez
09:00	10:00	Análisis geoespacial en zonas marino-costeras	Sergio Velásquez
10:00	10:30	<i>Refrigerio</i>	
10:30	12:00	Práctica de análisis geoespacial	Sergio Velásquez
12:00	13:30	<i>Almuerzo</i>	
13:30	15:00	Práctica de análisis geoespacial	Sergio Velásquez
15:00	15:30	<i>Refrigerio</i>	
15:30	16:45	Simulación de flujos de carbono	Sergio Velásquez
16:45	17:00	Síntesis del día y preparación día 3 y 4	Oscar Molina y Danilo Torres

Jueves 23 de abril de 2015 – Práctica de campo

Hora inicio	Hora final	Tema/actividad	Instructores
06:30	07:30	<i>Desayuno</i>	
07:30	11:00	Mangle intermedio, sector Santo Domingo	Oscar Molina, Danilo Torres
11:00	12:00	<i>Almuerzo, isla Tasajera (hostal La Casona)</i>	
12:00	12:30	Sistema de secado de muestras	Oscar Molina, Danilo Torres
12:30	15:00	Mangle alto, sector El Rajado	Oscar Molina, Danilo Torres
15:00	16:30	Regreso a hostal La Casona, entrega de equipo, retroalimentación de actividades, preparación para actividades día siguiente	Oscar Molina, Danilo Torres
16:30		Regreso al hotel Bahía del Sol	

Viernes 24 de abril de 2015 – Práctica de campo

Hora inicio	Hora final	Tema/actividad	Instructores
06:30	07:30	<i>Desayuno</i>	
7:30	8:30	Traslado al sitio de estudio	Oscar Molina, Danilo Torres
8:30	11:30	Marismas (chacasteras) del Aguaje	Oscar Molina, Danilo Torres
11:30	12:30	Regreso a hotel Bahía del Sol	Oscar Molina, Danilo Torres
12:30	13:00	Almuerzo	
13:00	14:00	Cierre de la actividad y entrega de certificados	Representantes de CATIE, MARN y UES

ANEXO 8. LISTA DE PARTICIPANTES DEL CURSO-TALLER “METODOLOGÍAS PARA LA MEDICIÓN DE CARBONO AZUL EN EL SALVADOR”, DESARROLLADO DEL 21 AL 24 DE ABRIL DE 2015 EN SAN SALVADOR Y EL ESTERO DE JALTEPEQUE, EL SALVADOR

Programa Regional
de Cambio Climático
de USAID

ASISTENTES AL CURSO-TALLER:
Metodologías Para la Medición de Carbono Azul en El Salvador



21 al 24 de abril de 2015

San Salvador y Estero de Jaltepeque

No.	Nombre Funcionario(a)	Institución País	< 24	SEXO		Correo Electrónico	Firma	
				F	M			
1	Ruth Estela Méndez	Ministerio Medio Ambiente / El Salvador			X	rmendez@yahoo.com		
2	Carlos Rivera	MARN/El Salvador				X	crivera@marn.gob.sv	
3	José Fernando Castaneda	UES, Dirección Agronómica			X	jfcastaneda@yahoo.com		
4	Mauricio Alvarado	UES, Agronomía			X	mauri.ues@hotmail.com		
5	Edson Moreno	UES, Agronomía			X	edson.moreno12@gmail.com		
6	Karl Barrera	Unidad Ambiental de la Zona Urbana				X	karlbarrera@unsa.gub.sv	
7	Jairme Alexander Aguilar Siqueira	Área Forestal/DIRA/MAG				X	jairme.aguilar@mag.gob.sv	
8	Jennyfer Vilanova Escamela	UES - Agronomía			X	jennyfer.vilanova@hotmail.com		
9	Efraín A. Rodríguez U.	UES - Agronomía			X	efraim.ues@unsa.gub.sv		
10	Andrés Fajardo Moreno	UNES				X	afajardomr@gmail.com	
11	Los Esmeralda Moreno	UES - AGRONOMÍA				X	les.esmeralda@hotmail.com	
12	Vladimir Baiza Auler	MARN				X	vbaiza@yahoo.com	

Programa Regional
de Cambio Climático
de USAID

ASISTENTES AL CURSO-TALLER:
Metodologías Para la Medición de Carbono Azul en El Salvador
del 21 al 24 de abril de 2015
San Salvador y Estero de Jaltepeque



No.	Nombre Funcionario(a)	Institución/País	< 29	SEXO		Correo Electrónico	Firma
				F	M		
1	Alejandra Pily	alcaldía de Teacalpan			X		
2	Mario Escalero	cadetpau			X	marioescalero@cadetpau.gub.sv	
3	Miguel Cortes	CATIE			X	miguelcortes@catie.ac.cr	
4	Ana María Campos	Com- UES		X		anna.campos@phd.com	
5	Esther Alcides	MARN			X	alcides@mar.gov.sv	
6	Silvia Calderón	MARN		X		scalderon@marn.gov.sv	
7	Patricia Maribel Godina	Coordinador de Proyecto		X		patriciagodina@gmail.com	
8	Esmeralda Cabel Callejas	Consultor Externo		X		CecyCallejas90@gmail.com	
9	Virgilio Alexander Lopez	Consultor Externo			X	analiza22@hotmail.com	
10	Erin Staly	Alcaldía San Luis la Herradura			X		
11	Milagro Figueroa Chávez	UES	X			milagro@yale.com	
12	David Aristides Villalón	UES			X		

Programa Regional
de Cambio Climático
de USAID

ASISTENTES AL CURSO-TALLER:
Metodologías Para la Medición de Carbono Azul en El Salvador
21 al 24 de abril de 2015
San Salvador y Estero de Jaltepeque



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

No.	Nombre Funcionario(a)	Institución/País	< 29	SEXO		Correo Electrónico	Firma
				F	M		
1	Oscar Alejandro Leiva	SIADES			X	koscaar@hotmail.com	
2	Daniela Torres Gómez	CATIE / Costa Rica			X	daniela.torres08@hotmail.com	Daniela Torres G.
3	Oscar A. Wilson	CATIE / Consultor			X	OSCAR 301 MLC 94760.com.vr	
4	José Wilfredo Castro Castro	MARN			X	wcastrominvado@gmail.com	
5	Felisa Gutiérrez	MARN			X	FelisaGutierrez@gmail.com	
6	DERRITO VELÁZQUEZ	CATIE / COSTA RICA			X	derrito2500@hotmail.com	
7	Abel Alexander Aguilar Platazo	UES / FCA			X	abelalexap@gmail.com	
8	Jorge Garza	CATIE / PRCC			X	jgarza@catie.ac.cr	
9	Wilfredo Diaz	communications UES			X	wilfridediaz@gmail.com	
10	José Antonio Villalón	MARN			X	avillalon@honor.com	
11	Wis Erazo	CORDES			X	wiseraso@yahoo.com	
12	Silvia Margarita Flores	FIAS			X	silvia.flores@tiar.org.sv	

Programa Regional
de Cambio Climático
de USAID

ASISTENTES AL CURSO-TALLER:
Metodologías Para la Medición de Carbono Azul en El Salvador
21 al 24 de abril de 2015
San Salvador y Estero de Jaltepeque



No	Nombre Funcionario(a)	Institución/Pais	< 29	SEXO		Correo Electrónico	Firma
				F	M		
1	Wilfredo Fuentes H.	MARN / El salv.			X	wfuentes@mangob.v	<i>[Signature]</i>
2	Miguel Hernández	UES / El salv.			X	hernandez_mha@ysalv.com	<i>[Signature]</i>
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

ANEXO 9. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS PARCELAS DE MANGLAR INVENTARIADAS EN LA BAHÍA DE JIQUILISCO, USULUTÁN, EL SALVADOR, PARA DETERMINAR SUS EXISTENCIAS DE CARBONO A NIVEL DE ECOSISTEMA

Estrato	Transecto	Parcela	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)	Longitud (m)	Latitud (m)	Nombre del lugar	
Mangle alto	18	1	29,07	25,43	572465	230165	Arcos del Espino	
Mangle alto	18	2	26,60	26,33	572460	230189		
Mangle alto	18	3	24,64	23,70	572456	230214		
Mangle alto	18	4	23,22	25,20	572451	230238		
Mangle alto	18	5	22,20	23,50	572446	230263		
Mangle alto	18	6	24,07	22,57	572441	230287		
Mangle alto	19	1	25,20	19,80	571694	231455	Samuria	
Mangle alto	19	2	21,57	14,67	571699	231431		
Mangle alto	19	3	20,16	17,78	571703	231406		
Mangle alto	19	4	21,55	20,00	571707	231382		
Mangle alto	19	5	25,07	21,86	571712	231357		
Mangle alto	19	6	33,83	24,00	571716	231332		
Mangle alto	20	1	23,48	23,40	572595	231836	Piedra marcada	
Mangle alto	20	2	16,86	19,44	572571	231831		
Mangle alto	20	3	17,09	16,50	572546	231827		
Mangle alto	20	4	15,98	13,83	572522	231823		
Mangle alto	20	5	9,30	9,63	572497	231818		
Mangle alto	20	6	7,75	7,85	572472	231814		
Mangle alto	21	1	10,43	11,83	523960	236895	Montecristo	
Mangle alto	21	2	22,12	17,20	523960	236870		
Mangle alto	21	3	20,50	12,58	523960	236845		
Mangle alto	21	4	13,35	15,67	523960	236820		
Mangle alto	21	5	15,00	11,63	523960	236795		
Mangle alto	21	6	14,45	12,50	523960	236770		
Mangle alto	22	1	30,05	22,00	522940	237397		
Mangle alto	22	2	21,90	14,43	522925	237377		
Mangle alto	22	3	17,81	13,45	522910	237357		
Mangle alto	22	4	34,63	23,75	522895	237337		
Mangle alto	22	5	16,58	13,25	522880	237317		
Mangle alto	22	6	13,82	14,92	522865	237297		
Mangle intermedio	23	1	10,78	9,00	558513	233329		Borda El Chile
Mangle intermedio	23	2	15,74	13,72	558535	233319		
Mangle intermedio	23	3	13,35	11,50	558558	233308		
Mangle intermedio	23	4	9,65	5,85	558581	233298		

Estrato	Transecto	Parcela	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)	Longitud (m)	Latitud (m)	Nombre del lugar
Mangle intermedio	23	5	8,04	7,14	558603	233287	Borda El Chile
Mangle intermedio	23	6	12,43	9,92	558626	233277	
Mangle intermedio	24	1	7,64	6,36	559088	234052	Los Mapaches- El Chile
Mangle intermedio	24	2	7,73	7,10	559075	234073	
Mangle intermedio	24	3	6,37	5,20	559063	234095	
Mangle intermedio	24	4	7,19	5,63	559050	234117	
Mangle intermedio	24	5	5,96	5,45	559038	234138	
Mangle intermedio	24	6	6,96	5,64	559025	234160	
Mangle intermedio	25	1	11,41	5,91	565134	230689		Rincón Grande
Mangle intermedio	25	2	8,72	6,14	565118	230708	
Mangle intermedio	25	3	6,76	3,86	565102	230727	
Mangle intermedio	25	4	7,90	4,59	565086	230747	
Mangle intermedio	25	5	8,78	5,73	565070	230766	
Mangle intermedio	25	6	11,91	7,00	565054	230785	
Mangle intermedio	26	1	8,75	8,10	547375	237896	Isla Tortuga
Mangle intermedio	26	2	8,41	7,00	547399	237901	
Mangle intermedio	26	3	8,93	8,74	547424	237905	
Mangle intermedio	26	4	8,40	7,57	547448	237909	
Mangle intermedio	26	5	6,40	5,50	547473	237914	
Mangle intermedio	26	6	6,93	5,66	547498	237918	
Mangle intermedio	27	1	8,33	7,20	546445	235964		Isla El Jobal Conocido por Espíritu Santo
Mangle intermedio	27	2	7,60	6,97	546438	235940	
Mangle intermedio	27	3	7,40	6,83	546430	235917	
Mangle intermedio	27	4	7,06	6,67	546422	235893	
Mangle intermedio	27	5	7,00	6,96	546414	235869	
Mangle intermedio	27	6	6,26	5,78	546407	235845	
Mangle enano	28	1	2,03	2,04	559419	235490	Boca de los Muchachos
Mangle enano	28	2	2,08	1,83	559409	235512	
Mangle enano	28	3	2,53	2,00	559398	235535	
Mangle enano	28	4	2,31	2,08	559388	235558	
Mangle enano	28	5	2,88	2,34	559377	235580	
Mangle enano	28	6	2,46	2,25	559367	235603	
Mangle enano	29	1	2,66	2,61	556819	236851		Los Lagartos
Mangle enano	29	2	2,50	1,54	556798	236838	
Mangle enano	29	3	2,70	2,06	556776	236826	
Mangle enano	29	4	2,42	2,07	556754	236813	
Mangle enano	29	5	2,64	2,30	556733	236801	
Mangle enano	29	6	2,41	2,05	556711	236788	
Mangle enano	30	1	2,60	2,81	557329	235094	Las Tijeras
Mangle enano	30	2	2,04	1,60	557312	235111	

Estrato	Transecto	Parcela	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)	Longitud (m)	Latitud (m)	Nombre del lugar
Mangle enano	30	3	2,17	1,42	557294	235129	Las Tijeras
Mangle enano	30	4	1,68	1,19	557276	235147	
Mangle enano	30	5	1,84	1,41	557259	235164	
Mangle enano	30	6	2,14	1,71	557241	235182	
Mangle enano	31	1	3,10	2,22	532936	240557	El Zamorancito
Mangle enano	31	2	4,76	4,05	532951	240577	
Mangle enano	31	3	4,75	3,93	532966	240597	
Mangle enano	31	4	2,33	1,18	532981	240617	
Mangle enano	31	5	3,36	0,94	532996	240637	
Mangle enano	31	6	4,10	1,43	533011	240657	
Mangle enano	32	1	3,05	2,52	559840	236123	La Cruz- Puerto Parada
Mangle enano	32	2	1,53	1,02	559842	236148	
Mangle enano	32	3	1,77	1,21	559845	236173	
Mangle enano	32	4	2,20	1,68	559847	236198	
Mangle enano	32	5	2,40	2,31	559849	236223	
Mangle enano	32	6	2,98	2,99	559851	236247	

Nota: Coordenadas planas en sistema de proyección Lambert Conformal Conic.

ANEXO 10. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS PARCELAS DE MANGLAR INVENTARIADAS EN EL ESTERO DE JALTEPEQUE, LA PAZ, EL SALVADOR LA BAHÍA DE JIQUILISCO, USULUTÁN, EL SALVADOR, PARA DETERMINAR SUS EXISTENCIAS DE CARBONO A NIVEL DE ECOSISTEMA.

Estrato	Transecto	Parcela	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)	Longitud (m)	Latitud (m)	Nombre del lugar
Mangle alto	1	1	17,09	11,08	519334	237934	Desembocadura Río Lempa
Mangle alto	1	2	11,69	10,40	519312	237945	
Mangle alto	1	3	26,08	15,50	519289	237956	
Mangle alto	1	4	25,80	15,71	519266	237966	
Mangle alto	1	5	23,36	17,10	519244	237977	
Mangle alto	1	6	25,07	15,33	519221	237987	
Mangle alto	2	1	13,68	13,63	518269	239181	La Curbinera
Mangle alto	2	2	26,30	25,00	518289	239167	
Mangle alto	2	3	16,06	14,60	518310	239152	
Mangle alto	2	4	23,80	19,80	518330	239138	
Mangle alto	2	5	20,00	13,50	518351	239124	
Mangle alto	2	6	19,84	13,00	518371	239109	
Mangle alto	3	1	11,99	11,25	515002	241434	El Rajado
Mangle alto	3	2	17,72	12,85	514977	241434	
Mangle alto	3	3	10,50	10,92	514952	241434	
Mangle alto	3	4	10,61	9,61	514927	241434	
Mangle alto	3	5	10,53	9,65	514902	241434	
Mangle alto	3	6	9,01	8,17	514877	241434	
Mangle alto	8	1	28,96	17,57	518216	241018	El Plan La Ceiba
Mangle alto	8	2	15,61	14,69	518197	241034	
Mangle alto	8	3	20,73	14,75	518178	241051	
Mangle alto	8	4	10,38	10,20	518158	241067	
Mangle alto	8	5	8,05	9,50	518139	241083	
Mangle alto	8	6	25,95	15,50	518120	241099	
Mangle intermedio	4	1	8,59	6,60	515391	242609	Santa Cruz (El Chufar)
Mangle intermedio	4	2	10,94	7,45	515381	242632	
Mangle intermedio	4	3	10,99	8,18	515370	242654	
Mangle intermedio	4	4	8,87	7,30	515360	242677	
Mangle intermedio	4	5	11,63	7,53	515349	242699	
Mangle intermedio	4	6	9,17	7,50	515338	242722	
Mangle intermedio	5	1	8,40	5,45	513502	242210	Santo Domingo
Mangle intermedio	5	2	10,26	7,79	513490	242232	
Mangle intermedio	5	3	7,79	6,11	513477	242254	
Mangle intermedio	5	4	8,91	7,74	513465	242275	

Estrato	Transecto	Parcela	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)	Longitud (m)	Latitud (m)	Nombre del lugar
Mangle intermedio	5	5	8,92	7,54	513452	242297	Santo Domingo
Mangle intermedio	5	6	9,92	8,42	513440	242319	
Mangle intermedio	6	1	9,24	6,50	512660	243214	El Espino
Mangle intermedio	6	2	8,26	5,50	512646	243234	
Mangle intermedio	6	3	7,83	4,87	512632	243255	
Mangle intermedio	6	4	8,99	5,95	512617	243275	
Mangle intermedio	6	5	7,95	5,38	512603	243296	
Mangle intermedio	6	6	7,63	5,35	512589	243316	
Mangle intermedio	7	1	8,42	7,41	505802	246302		La Herradura
Mangle intermedio	7	2	9,48	7,20	505778	246306	
Mangle intermedio	7	3	7,63	6,00	505753	246311	
Mangle intermedio	7	4	8,06	6,95	505728	246315	
Mangle intermedio	7	5	6,89	5,83	505704	246319	
Mangle intermedio	7	6	7,86	5,92	505679	246324	
Mangle enano	9	1	3,77	2,80	498909	248051	San Marcelino (El Cocal)
Mangle enano	9	2	2,97	2,67	498909	248026	
Mangle enano	9	3	5,56	3,27	498909	248001	
Mangle enano	9	4	4,37	2,58	498860	248051	
Mangle enano	9	5	4,84	3,21	498860	248026	
Mangle enano	9	6	5,85	3,23	498860	248001	
Mangle enano	10	1	3,18	3,51	516365	246085	El Recedo (Animas Abajo)
Mangle enano	10	2	2,34	2,63	516349	246104	
Mangle enano	10	3	2,15	3,40	516333	246123	
Mangle enano	10	4	4,66	4,48	516316	246142	
Mangle enano	10	5	6,65	4,25	516300	246161	
Mangle enano	10	6	4,48	4,37	516284	246180	
Mangle enano	11	1	4,45	3,89	500012	247343	Bordo Chele
Mangle enano	11	2	5,98	3,67	500033	247329	
Mangle enano	11	3	4,16	4,51	500053	247314	
Mangle enano	11	4	4,11	4,17	500074	247300	
Mangle enano	11	5	4,35	4,18	500094	247286	
Mangle enano	11	6	4,58	2,96	500115	247271	

Nota: coordenadas planas en sistema de proyección Lambert Conformal Conic.

ANEXO II. ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY REALIZADOS CON EL PROGRAMA ESTADÍSTICO INFOSTAT PARA COMPARAR EL NÚMERO DE INDIVIDUOS (N/HA) ENCONTRADOS EN BAHÍA DE JIQUILISCO Y ESTERO DE JALTEPEQUE, EL SALVADOR

Individuos (n/ha)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Individuos (n/ha)	5142	1,00	1,00	7,8E-06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12016,88	5	2403,38	25203005212338800,00	<0,0001
Sitio	1059,74	1	1059,74		sd sd
Estrato	9618,30	2	4809,15		sd sd
Sitio*Estrato	1338,83	2	669,42		sd sd
Error	4,9E-10	5136	0,00		
Total	12016,88	5141			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00000

Error: 0,0000 gl: 5136

Sitio	Medias	n	E.E.
Bahía Jiquilisco	2,89	3690	0,00 A
Estero Jaltepeque	4,21	1452	0,00 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00000

Error: 0,0000 gl: 5136

Sitio	Estrato	Medias	n	E.E.
Bahía Jiquilisco	Mangle intermedio	2,17	911	0,00 A
Bahía Jiquilisco	Mangle alto	2,17	229	0,00 A
Estero Jaltepeque	Mangle alto	2,71	262	0,00 B
Estero Jaltepeque	Mangle intermedio	2,71	558	0,00 B
Bahía Jiquilisco	Mangle enano	4,33	2550	0,00 C
Estero Jaltepeque	Mangle enano	7,22	632	0,00 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO 12. ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY REALIZADOS CON EL PROGRAMA INFOSTAT PARA COMPARAR EL ÁREA BASAL (M2/HA) ENCONTRADA EN BAHÍA DE JIQUILISCO Y ESTERO DE JALTEPEQUE, EL SALVADOR

Área basal (m2/ha)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Área basal (m2/ha)	5142	0,18	0,18	314,42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,92	5	0,58	226,42	<0,0001
Sitio	0,49	1	0,49	188,39	<0,0001
Estrato	2,39	2	1,20	464,16	<0,0001
Sitio*Estrato	0,04	2	0,02	7,71	0,0005
Error	13,23	5136	2,6E-03		
Total	16,14	5141			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00293

Error: 0,0026 gl: 5136

Sitio	Medias	n	E.E.
Bahía Jiquilisco	0,03	3690	1,3E-03 A
Estero Jaltepeque	0,04	1452	1,4E-03 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00833

Error: 0,0026 gl: 5136

Sitio	Estrato	Medias	n	E.E.
Bahía Jiquilisco	Mangle enano	2,5E-03	2550	1,0E-03 A
Bahía Jiquilisco	Mangle intermedio	0,01	911	1,7E-03 B
Estero Jaltepeque	Mangle intermedio	0,02	558	2,1E-03 B
Estero Jaltepeque	Mangle enano	0,02	632	2,0E-03 B
Estero Jaltepeque	Mangle alto	0,09	262	3,1E-03 C
Bahía Jiquilisco	Mangle alto	0,09	229	3,4E-03 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



ISBN: 978-9977-57-679-4

