

CLASIFICACIÓN SISTEMAS MARINO COSTEROS COSTA PACÍFICA DE COSTA RICA



giz

Por encargo de:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



El Proyecto Biodiversidad Marino Costera en Costa Rica, Desarrollo de Capacidades y Adaptación al Cambio Climático es un proyecto en el marco de la Iniciativa Internacional de la Protección del Clima "IKI" del Ministerio de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de la República Federal de Alemania

Publicado por: BIOMARCC-SINAC-GIZ

Analistas Técnicos: Carlos Campos, Ileana Méndez, Cornelia Miller, Rodolfo Mora, Christian Vargas, Allan Campos, Andrés Barahona, y Silvia Ordóñez del Programa de Investigaciones Aerotransportadas y Sensores Remotos (PRIAS) del Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT), con vinculación del Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE) y colaboración de Catalina Benavides, Arianne Gómez, Alejandra Méndez y Lloyd Foster.

Coordinación y Revisión: BIOMARCC-SINAC-GIZ

Copyright: © 2012. BIOMARCC-SINAC-GIZ

Esta publicación puede citarse sin previa autorización con la condición que se mencione la fuente

Citar como: BIOMARCC-SINAC-GIZ. 2012. *Clasificación sistemas marinos costeros costa pacífica de Costa Rica*. San José-Costa Rica. 63 pags.

Fotografías: Sistemas marinos costeros en Costa Rica del equipo técnico BIOMARCC.

Financiamiento: “ Proyecto Biodiversidad Marino Costera en Costa Rica, Desarrollo de Capacidades y Adaptación al Cambio Climático (BIOMARCC-SINAC-GIZ)”

Las opiniones que se expresan en esta publicación no reflejan necesariamente las opiniones del Proyecto BIOMARCC-GIZ-SINAC.

SINAC

El Sistema Nacional de Áreas de Conservación de Costa Rica (SINAC) es un sistema de gestión institucional desconcentrado y participativo, que integra las competencias en materia forestal, de vida silvestre y áreas silvestres protegidas del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), con el fin de dictar políticas, planificar y ejecutar procesos dirigidos a lograr la sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales de Costa Rica. (Ley de Biodiversidad 1998). El SINAC está constituido por once subsistemas denominados Áreas de Conservación y su Sede Central. Un Área de Conservación es una unidad territorial administrativamente delimitada, en donde se interrelacionan actividades tanto privadas como estatales y se buscan soluciones conjuntas, orientadas por estrategias de conservación y desarrollo sostenible de los recursos naturales.

“El SINAC es un concepto de conservación integral que ofrece la posibilidad de desarrollar una gestión pública responsable, con la participación del Estado, la Sociedad Civil, la empresa privada, y de cada individuo del país interesado y comprometido con la construcción de un ambiente sano y ecológicamente equilibrado”.

BIOMARCC

BIOMARCC-SINAC-GIZ, es un proyecto de apoyo al Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC-MINAET) ejecutado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, por encargo del Ministerio Alemán de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) en el marco de su Iniciativa Protección del Clima (IKI).

El objetivo principal del proyecto es *“Incrementar las capacidades de adaptación de los ecosistemas marino-costeros de Costa Rica ante las consecuencias del Cambio Climático”* y tiene como objetivos específicos:

1. Contribuir a establecer un Sistema de Áreas Protegidas Marino – Costeros ecológicamente representativo adaptado al cambio climático.
2. Fortalecer las capacidades de gestión de las instituciones responsables del manejo de áreas de conservación marino - costeras y de otros actores locales relevantes, especialmente referentes a los desafíos del cambio climático.
3. Elaborar e implementar conceptos y mecanismos financieros para la adaptación de las Áreas Protegidas Marino – Costeras al Cambio Climático con la participación activa de los actores relevantes.
4. Establecer una plataforma de información, comunicación y cooperación (Mecanismo de Facilitación Nacional) que permita el intercambio y la transferencia de conocimientos y experiencias sobre manejo de los ecosistemas marino - costeros y su adaptación al Cambio Climático entre los actores relevantes (SINAC; MINAET; Instituciones Científicas; grupos y población locales).
5. Validar y transferir conceptos, instrumentos y estrategias desarrollados en el marco del proyecto hacia otros países de la región centroamericana.

577.7

C8374c

Costa Rica. Biodiversidad Marina y Costera de Costa Rica

Clasificación sistemas marino costeros costa pacífica de Costa Rica / Biodiversidad Marina y Costera de Costa Rica. -- 1ª ed. -- San José, C.R.: Biodiversidad Marina y Costera de Costa Rica, creación de Capacidades y Adaptación al cambio climático, 2013.

20.2 mb ; digital, archivo PDF – (Serie Técnica ; nº 2)

ISBN 978-9930-9485-1-4

1. ECOLOGÍA MARINA 2. COSTAS 3. ECOSISTEMAS-
INVESTIGACIONES 4. PACÍFICO (COSTA RICA)

I. Título

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS	I
ÍNDICE DE TABLAS	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
I. PRESENTACIÓN	1
II. INTRODUCCIÓN	2
<i>Antecedentes.....</i>	<i>2</i>
III. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	2
<i>Objetivo General.....</i>	<i>2</i>
<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>3</i>
IV. MÉTODO.....	4
<i>Ubicación del área de estudio</i>	<i>4</i>
<i>Recopilación de información</i>	<i>4</i>
<i>Criterios de clasificación de sistemas marino costeros y cobertura de la tierra.....</i>	<i>4</i>
Criterios de decisión	4
Definición de categorías.....	5
<i>Definición de la leyenda y códigos de color.....</i>	<i>10</i>
V. LIMITANTES.....	12
<i>Limitantes propias de las imágenes.....</i>	<i>12</i>
<i>WorldView-2</i>	<i>12</i>
<i>RapidEye.....</i>	<i>12</i>
<i>Solución</i>	<i>13</i>
<i>Limitantes en la clasificación imágenes RapidEYE y Worldview-2.....</i>	<i>13</i>
<i>Soluciones.....</i>	<i>15</i>
VI. RESULTADOS	17
<i>Clasificación e identificación de sistemas marino-costeros por zona de estudio</i>	<i>18</i>
Zona 1; Frontera con Nicaragua hasta Reserva Natural Cabo Blanco.....	18
Zona2; Refugio de Vida Silvestre Playa Hermosa hasta Punta Mata Palo, Península de Osa.....	31
<i>Clasificación de fondos marinos para imágenes worldview-2 en cinco áreas de estudio de la costa pacífica de Costa Rica.....</i>	<i>44</i>
Bahía Santa Elena e Islas Murciélagos.....	44
Reserva Natural Cabo Blanco	47
Pacífico Central Parque Nacional Manuel Antonio (PNMA) y Parque Nacional Marino Ballena (PNMB)....	49

VII.	CLASIFICACIÓN DE BATIMETRÍA PARA IMÁGENES WORLDVIEW-2 EN CINCO ÁREAS DE ESTUDIO DE LA COSTA PACÍFICA DE COSTA RICA.	55
	<i>Creación Geodatabase</i>	60
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CRITERIOS UTILIZADOS EN LA CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS DE LA TIERRA	5
TABLA 2. CLASES DE COBERTURA DE LA TIERRA POLIGONALES, PARA LAS ZONAS COSTERAS	6
TABLA 3. CLASES DE COBERTURA DE LA TIERRA LINEALES, PARA LAS ZONAS COSTERAS	8
TABLA 4. CLASES DE SUSTRATOS EN LOS ECOSISTEMAS BÉNTICOS DE LA COSTA PACÍFICA DE COSTA RICA	9
TABLA 5. LEYENDA DE ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS (IMÁGENES RAPIDEYE)	10
TABLA 6. LEYENDA DE BATIMETRÍA (IMÁGENES WORLDVIEW-2)	11
TABLA 7. LEYENDA DE FONDOS MARINOS (IMÁGENES WORLDVIEW-2)	11
TABLA 8. ZONA 1, FRONTERA CON NICARAGUA HASTA RESERVA NATURAL CABO BLANCO	21
TABLA 9. ZONA 2, REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PLAYA HERMOSA HASTA PUNTA MATA PALO	32

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. COMPARACIÓN MANGLAR, GUANACASTE Y PACÍFICO SUR	14
FIGURA 2. MAR 21_2009_3104041_SUBSET1A_CML8_FM3_ARBOL	22
FIGURA 3. MAR21_2009_3104041_SUBSET1B_CML10_FM3_ARBOL.....	23
FIGURA 4. MAR21_2009_3104041_SUBSET1C_CML6_FML3_ARBOL	24
FIGURA 5. MAR21_2009_3104041_SUBSET1D_CML5_FM3_ARBOL.....	25
FIGURA 6. MAR21_2009_3104041_SUBSET1E_CML4_ARBOL	26
FIGURA 7. MAR_2011_7409708_SUBSETA_CML6_F3_ARBOL.....	27
FIGURA 8. MAR_2011_7409708_SUBSETB_CML5_F3_ARBOL.....	28
FIGURA 9. NOV15_2010_4797496_SUBSET1_CML8_F3_ARBOL	29
FIGURA 10. NOV15_2010_4797496_SUBSET2_CML6_F3_ARBOL	30
FIGURA 11. ENE09_2010_5961573_SUBSET1_CML6_F5_ARBOL16	34
FIGURA 12. ENE09_2010_5961573_SUBSET2_CML_F5_ARBOL10	35
FIGURA 13. ENE21_2010_59688798_CML_FM5_ARBOL.....	36
FIGURA 14. ENE21_2010_59688798_SUBSET2_CML8_FM5_ARBOL.....	37
FIGURA 15. MAR03_2011_9399635_CML11_F5_ARBOL	38
FIGURA 16. MAR03_2011_9399635_SUBSET2_CML3_F3_ARBOL.....	39
FIGURA 17. OSA_MARINOCOSTERO_CML_FM5_ARBOL	40
FIGURA 18. SIERPE_2011_MARINOCOSTERO_CML_FM5	41
FIGURA 19. SIERPE_2011_MARINOCOSTERO_CML_FM5_SUBSET2	42
FIGURA 20. FEB17_2011_740891_CML5_F5_ARBOL.....	43
FIGURA 21. FONDOS MARINOS, BAHÍA SANTA ELENA.....	46
FIGURA 22. FONDOS MARINOS, RESERVA NATURAL CABO BLANCO.....	48
FIGURA 23. FONDOS MARINOS, PARQUE NACIONAL MANUEL ANTONIO	51
FIGURA 24. FONDOS MARINOS, PARQUE NACIONAL MARINO BALLENA	54
FIGURA 25. BATIMETRÍA, ISLAS MURCIÉLAGO	55
FIGURA 26. BATIMETRÍA, BAHÍA SANTA ELENA.....	56
FIGURA 27. BATIMETRÍA, RESERVA NATURAL CABO BLANCO	57
FIGURA 28. BATIMETRÍA, PARQUE NACIONAL MANUEL ANTONIO	58
FIGURA 29. BATIMETRÍA, PARQUE NACIONAL MARINO BALLENA.....	59
FIGURA 30. ESTRUCTURA DE GEODATABASE Y METADATO	60

I. PRESENTACIÓN

El presente documento es el informe final del procesamiento de imágenes y clasificación del proyecto de identificación y clasificación marino – costero en la costa pacífica de Costa Rica, a partir del procesamiento de imágenes de los sensores remotos RapidEye y Worldview – 2, contratado al Programa de Investigaciones Aerotransportadas y Sensores Remotos (PRIAS) del Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT), con vinculación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y enmarcado en el proyecto “Biodiversidad Marino Costera en Costa Rica, Desarrollo de Capacidades y Adaptación al Cambio Climático” (BIOMARCC).

II. INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Tal como se explicó en los informes anteriores (a la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit –GIZ-), en función del proyecto BIOMARCC, se contrató al PRIAS, con vinculación del CATIE como consultores para desarrollar la identificación y clasificación de sistemas marino-costeros en la Costa Pacífica de Costa Rica a partir sensores de remotos (RapidEye y WorldView-2).

Primer informe, presentado el 15 de diciembre del 2011, se presentaron de forma expositiva los resultados del proceso para la georeferenciación de las imágenes RapidEye.

Además, se explicó cómo debía ser el muestreo de campo, y los instrumentos que iban a emplearse, como por ejemplo Global Position System (GPS) Archer y mira laser, en calidad de préstamo por el CATIE, debido a sus características técnicas.

Segundo informe, presentado el 27 de abril, 2012, de forma oral y escrita, se detalló la información que se tomó durante las giras de campo realizadas en la costa del Pacífico costarricense en los meses de enero a abril del presente año.

Tercer informe, presentado el 5 de julio, 2012, se dio el primer estado de avance del procesamiento de imágenes y se detalló la capacitación recibida por expertos de la Universidad de McGill en el procesamiento de imágenes WordView y RapidEye.

Cuarto informe, presentado el 28 de setiembre, 2012, se presentaron los productos generados a la fecha y se hizo un recuento de modificaciones en la metodología y programación.

III. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Objetivo General

Identificar y clasificar sistemas marino-costeros en la costa pacífica de Costa Rica a partir del procesamiento de imágenes de los sensores remotos RapidEye y WorldView-2 y elaborar un set de datos en formato SIG que describan los sistemas encontrados.

Objetivos Específicos

- A partir de la clasificación e interpretación de imágenes RapidEye, definir y mapear los sistemas marino-costeros con base en la geomorfología de la línea costera, el tipo y composición del sustrato presente.
- Como mínimo se deben incluir tipo de sistemas costeros los estuarios (manglares, playas fangosas), costas abiertas (Zonas rocosas expuestas, zonas rocosas protegidas y playas arenosas).
- A partir de la clasificación e interpretación de imágenes WorldView-2, definir y mapear los hábitat bénticos (corales, pastos marinos, lechos de conchas, sedimentos no consolidados, sustratos consolidados, lechos de macroalgas) y la batimetría.
- Documentar el proceso de elaboración para cada uno de los set de datos (preliminares y finales) utilizando el formato ArcCatalog de ArcGIS.

IV. MÉTODO

Ubicación del área de estudio

Las zonas definidas para el estudio fueron las siguientes: la primera (Pacífico Norte), comprende desde la Reserva Natural Cabo Blanco hasta la línea Fronteriza con Nicaragua; y la segunda zona correspondiente al Pacífico Sur, inicia en el Refugio de Vida Silvestre Playa Hermosa-Punta Mala hasta llegar a Cabo Matapalo en la Península de Osa, utilizando las imágenes del RapidEye.

Por otro lado, se establecieron cinco sitios como zonas de estudio para las imágenes del sensor WorldView-2 las cuales fueron: Bahía Santa Elena, Archipiélago del Sector marino Parque Nacional Santa Rosa, Reserva Natural Cabo Blanco, Parque Nacional Manuel Antonio y Parque Nacional Marino Ballena.

Recopilación de información

La selección y adquisición de las imágenes la realizó la Agencia de Cooperación Alemana GIZ con fondos de la iniciativa IKI del Ministerio del Ambiente Alemán, en el año 2010 y se obtuvo material con un nivel de procesamiento 1B con excepción de una imagen en 3A.

Criterios de clasificación de sistemas marino costeros y cobertura de la tierra

Criterios de decisión

La clasificación de las coberturas fue apoyada en diferentes medios de información muchos de ellos complementarios entre sí. Las fuentes de información fueron tanto de orden primario (Datos de campo) como secundario (Auxiliares como fotografías aéreas, hojas cartográficas, etc.).

Tabla 1. Criterios utilizados en la clasificación de coberturas de la tierra

Fuente	Descripción
Datos de campo	Datos colectados por verificación en campo con localización de GPS y fotografías digitales.
Firma espectral	Los datos al estar a nivel de reflectancia muestran la firma espectral de los objetos en una relación longitud de onda-reflectancia en porcentaje, lo cual permite identificar las diferentes coberturas por su rasgo espectral el cual es específico para cada cobertura.
Altitud (msnm)	Elevación del terreno mediante modelos de elevación generado por Imbach (2005).
Índices de Vegetación	Estos fueron generados mediante matemática de bandas en ENVI, lo que genera bandas auxiliares como: Índice de Antocianinas, Índice Normalizado de Vegetación (NDVI).
Hojas cartográficas	Datos secundarios, de coberturas ya clasificadas.
Otras imágenes	Datos secundarios foto interpretados y verificados con otras imágenes como fotografías aéreas CARTA (2005) y datos UAVSAR (2010).
Criterio experto	Fotointerpretación de las coberturas apoyándose en textura, color y distribución.

Definición de categorías

La identificación de ecosistemas (Costeros y bénticos) fue abordada mediante dos sensores: RapidEYE (Costeros) y World View 2 (Bénticos), que contienen categorías específicas para cada uno. La cobertura de la zona costera incluye además categorías poligonales y lineales.

Durante el procesamiento fue necesario recopilar información de coberturas de zonas específicas de Guanacaste. Se contó con el apoyo de las Áreas de Conservación Tempisque y Guanacaste.

Las definiciones de las categorías se tomaron principalmente de los trabajos de Chavarría & Noches (2010), Graham *et al* (2009), IDEAM (2010), IMN (1996), Lizano (s.f) y TNC (2008).

Coberturas costeras

Tabla 2. Clases de cobertura de la tierra poligonales, para las zonas costeras

Categoría	Descripción
<i>Acuicultura</i>	Esta cobertura comprende los cuerpos de agua de carácter artificial, que fueron creados por el hombre para la producción de camarones o tilapias.
<i>Arena playa</i>	Formaciones litorales de arena, parcialmente emergidas, con sedimentos gruesos y finos; con oleaje, energía y pendiente variable.
<i>Arena río</i>	Partículas producto de la erosión de las rocas y suelo, que van de 0.63 a 2 mm presentes en los márgenes de los ríos, o bien formando islas dentro del cauce de los ríos
<i>Arroz</i>	Cobertura terrestre compuesta por plantas herbáceas de la familia de las gramíneas de hojas largas y flores blanquecinas en espiga, que se cultiva, por lo general, en terrenos muy húmedos.
<i>Bosque</i>	Cobertura vegetal conformada por especies con tallo y tronco leñoso; que se encuentran tanto en el bosque tropical lluvioso como el tropical seco. El bosque lluvioso es muy denso, en el que se pueden distinguir tres estratos principales. El dosel o estrato superior, compuesto de unos pocos árboles relativamente grandes y normalmente aislados, con grandes copas. El estrato medio se caracteriza por presentar árboles con copas presionadas unas contra otras. El estrato menor compuesto de árboles y arbustos cuyas copas llenan todo el espacio remanente.
<i>Caña de azúcar</i>	Cobertura predominantemente compuesta por cultivo de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.), planta gramínea tropical de la familia Poaceae con forma de pasto gigante, que presenta un tallo macizo de 2 a 5 m de altura y 5 ó 6 cm de diámetro. Es un cultivo predominantemente industrial para la producción de azúcar, que se corta cada 12 meses, y una duración de la plantación de aproximadamente cinco años.
<i>Humedal</i>	Ecosistemas con dependencia de regímenes acuáticos, naturales o artificiales, permanentes o temporales, lenticos o loticos, dulces, salobres o salados, incluyendo las extensiones marinas hasta el límite posterior de fanerógamas marinas o arrecifes de coral, o en su ausencia hasta el límite de 6 metros en marea baja
<i>Infraestructura</i>	Todo tipo de construcciones, como casas, hoteles, edificios en general, calles de asfalto, u otro material incluyendo caminos de lastre o tierra.
<i>Lago y laguna</i>	Los embalses son cuerpos de agua; artificiales y estáticos, destinados principalmente a la producción de energía; tales como Arenal, Angostura y Cachí en, los cuales son áreas fácilmente cartografiables. Las lagunas son depósitos de agua naturales; algunas de estas son dinámicas porque están conectadas con un río, como por ejemplo: la laguna de Corcovado y la laguna de Caño Negro. Otras como las lagunas cratéricas son relativamente estáticas.
<i>Manglar</i>	Asociaciones vegetales que se ubican en la zona costera o en las orillas de ríos y son influenciadas por el mar y el agua dulce. Son reconocidos por presentar especies de árboles y plantas con adaptaciones especiales que les permiten tolerar la falta de oxígeno, altos niveles de salinidad y distintos patrones de inundación.

Categoría	Descripción
No data	Áreas sin clasificar.
Nubes	Áreas cubiertas por nubes que hace imposible clasificarlas con la categoría de cobertura que realmente poseen.
Otros cultivos	Coberturas no especificadas debido a la poca representatividad en el área de estudio.
Palma aceitera	Cobertura compuesta por cultivo de palma de aceite (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.), planta perenne de tronco solitario y hojas pinnadas perteneciente a la familia Arecaceae, que puede alcanzar alturas de hasta 12 m. Su cultivo se desarrolla preferencialmente en terrenos planos a ligeramente ondulados, en tierras situadas por debajo de los 500 msnm, bajo climas cálidos.
Papaya	Cobertura compuesta por cultivo de papaya (<i>Carica papaya</i>), con áreas superiores a 1 hectárea.
Pasto	Formaciones vegetales compuestas por gramíneas que se consideran dominantes de hierbas y en ocasiones acompañadas con árboles y arbustos esparcidos; frecuentemente son dedicadas a la ganadería extensiva pero en algunos casos no presentan ningún uso.
Piña	Cobertura compuesta por cultivo de piña (<i>Ananas cosmosus</i>), que se extiende en las zonas bajas del país.
Plantaciones forestales	Son coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal. En este proceso se constituyen rodales forestales, establecidos mediante la plantación y/o la siembra durante el proceso de forestación o reforestación, para la producción de madera (plantaciones comerciales) o de bienes y servicios ambientales (plantaciones protectoras).
Río	Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad, posee un caudal considerable y desemboca en el mar, en un lago o en otro río.
Roca	Son áreas expuestas que no presentan condiciones aptas para ser cultivadas o pastoreadas, debido a que el suelo está cubierto por grandes coladas de lava, caracterizadas por ignimbritas, tobas y basaltos; o rocas expuestas, con un tipo de vegetación herbácea y arbustiva pobremente desarrollada. Estas unidades se ubican principalmente en la zona norte de Liberia, Bagaces y Tilarán; así como en los principales focos volcánicos del país. Existen otros elementos que pueden ser contemplados en esta categoría, pero por el tamaño de la escala, no fueron considerados.
Sombra de nubes	Áreas cubiertas por que hace imposible clasificarlas con la categoría de cobertura que realmente poseen.
Suelo desnudo	Área descubierta de vegetación o en algunos casos con escasas gramíneas; se incluyen terrenos agrícolas en preparación y zonas de suelos minerales.
Yolillal	Comunidad de palmas que forman una asociación edafotopográfica, presentes en zonas con un alto nivel freático o zonas inundadas.

Tabla 3. Clases de cobertura de la tierra lineales, para las zonas costeras

<i>Acantilados</i>	Formaciones litorales, parcialmente emergidas, formadas por rocas masivas de consistencia dura (Basaltos, granito, etc.), de pendiente fuerte a escarpada.
<i>Islas e islotes</i>	Formaciones rocosas remanentes del proceso de erosión, originados por el retroceso de un acantilado, estas sobresalen de la superficie del mar; algunas formaciones pueden ser por origen volcánico; ejemplo la isla del coco.
<i>Playa arenosa</i>	Formaciones litorales de arena, parcialmente emergidas, con sedimentos gruesos y finos; con oleaje, energía y pendiente variable.
<i>Playa rocosa</i>	Formaciones litorales, parcialmente emergidas, compuestas por fragmentos líticos de dimensiones y origen variable que van desde cantos rodados y gravas gruesas hasta bloques.
<i>Roca expuesta</i>	Formación expuesta directamente al efecto de las corrientes marinas, en algunos casos éstas pueden quedar sumergidas por efecto de las mareas.
<i>Roca protegida</i>	Formación protegida principalmente por una bahía, donde el efecto del oleaje no influye directamente en ella, próximos a sitios como acantilados.

Coberturas bénticas

Tabla 4. Clases de sustratos en los ecosistemas bénticos de la Costa Pacífica de Costa Rica

Categoría	Descripción
Algas	Grupo de organismos autótrofos de organización sencilla que hacen fotosíntesis a través de distintos pigmentos, y que viven en el agua.
Arena	Fondos permanentemente sumergidos cubiertos sobre todo por sedimentos de grano fino a muy fino.
Arena somera	Fondos permanentemente sumergidos cubiertos sobre todo por sedimentos de grano fino a muy fino, en zonas de profundidad inferior a 5 metros.
Fondo marino	Lecho marino permanentemente sumergido hasta una profundidad máxima de 60 metros; conformado por sustratos rocosos y arenosos, con diferentes relieves.
Marea Roja	Florecimiento anormal de dinoflagelados de color café-rojizo, lo que le da a la superficie del agua una coloración característica.
Roca coralina	Lecho marino permanentemente sumergido, constituido en gran parte por colonias de corales hermatípico ramificadas a veces masivas.
Roca somera	Plataforma de abrasión que queda expuesta en marea baja.
Roca sumergida	Plataforma de abrasión cubierta con agua en marea alta incluye el inicio de la plataforma continental.
Rompiente	Es el producto de la ola cuando se acerca a la costa y al elevarse por las corrientes de fondo esta rompe sobre las rocas o arena.
Sedimento	Fondos permanentemente sumergidos cubiertos sobre todo por sedimentos de grano fino a muy fino originado por la fragmentación de las rocas.
Sedimento en suspensión	Es el material producto del transporte de las aguas de escorrentía superficiales, este se encuentra en la desembocadura de ríos.

Definición de la leyenda y códigos de color

Para la nomenclatura de coberturas se utilizó como base la leyenda de clases y colores de la metodología europea Corine Land Cover, sin embargo, dado el detalle requerido por el proyecto se amplió el código de color para ajustarse a la leyenda actual.

Tabla 5. Leyenda de ecosistemas marino costeros (Imágenes RapidEYE)

Clase	Subclase	Color (R-G-B)	
Agua	Río	006-011-236	
	Lago y laguna	214-232-255	
	Acuicultura	077-077-255	
Bosque	Bosque	077-255-000	
Arena	Arena playa	230-230-230	
	Arena rio	150-150-150	
Roca	Roca	090-090-090	
Infraestructura	Infraestructura	255-000-000	
Suelo desnudo	Suelo desnudo	132-000-168	
Cultivo	Arroz	230-190-000	
	Palma aceitera	255-145-0	
	Piña	200-100-0	
	Papaya	200-100-50	
	Caña de azúcar	200-100-100	
	Otros cultivos	255-122-100	
	Plantación forestal	139-071-038	
Humedal	Yolillal	204-255-204	
	Humedal	166-166-255	
Manglar	Manglar	008-096-044	
Pasto	Pasto	255-255-0	
No data	Nubes	255 255 255	
	Sombra de nubes	255 255 255	
	Mar	203-223-247	

Tabla 6. Leyenda de batimetría (Imágenes WorldView-2)

Clase	Profundidad (metros)*	Color (RGB)	
Sedimento en suspensión		177-233-232	
Somero	1 - 3	127-255-212	
Medianamente profundo	4 -25	000-205-205	
Profundo ≥	≥ 25	000-139-139	
Sin dato		000-000-000	

*Valores de profundidad son relativos y de acuerdo con atenuación de luz en el espectro de las bandas 2, 3,4 de la imagen.

Tabla 7. Leyenda de fondos marinos (Imágenes WorldView-2)

Clase	Color (RGB)	
Arena (arena fina)	255-255-153	
Arena somera (arrastre)	255-209-153	
Macroalgas	016-172-020	
Marea roja	204-033-004	
Roca coralina	255-153-102	
Algas	105-213-051	
Roca sumergida	78-78-78	
Roca somera	095-095-095	
Fondo marino	115-255-223	
Sedimento en suspensión	255-233-161	
Rompiente	235-255-190	
Sedimento	168-112-000	
Sin dato	255-255-255	

V. LIMITANTES

Limitantes propias de las imágenes

WorldView-2

- Debido a la hora de captura de las imágenes adquiridas para los sectores de islas Murciélagos y Bahía Santa Elena presentaron un alto brillo solar en la superficie del agua generando un efecto espejo que no permite la penetración de las ondas electromagnéticas al fondo marino.
- La época de colecta de las imágenes, diciembre a febrero, es donde se presentan fuertes vientos principalmente en el Pacífico Norte produciendo una superficie irregular en el agua, que a su vez; combinado con la posición del sol se creó un efecto de espejo y por lo tanto poca penetración de las ondas del sensor.
- Otra dificultad es que algunas de las imágenes mostraron sedimento en suspensión, que provocó la carencia de penetración de las ondas electromagnéticas y con esto la adquisición de datos. Tal es el caso de Marino Ballena y PN Manuel Antonio.
- En general por el efecto de las mareas altas en la playa, las imágenes presentaron la dificultad de no mostrar la plataforma de abrasión por lo que se perdió visibilidad para la determinación de clasificación marino costeras. Otro inconveniente se presentó con las Mareas Rojas; ya que no permitió la penetración del sensor al fondo marino por lo que la colecta de información se vio afectada al perder cobertura del fondo marino.

RapidEye

- Al igual que en las imágenes de WorldView-2 las mareas altas, produjeron una menor exposición de la playa afectando el resultado final, por lo tanto, al unir

las imágenes la variación en las mareas generó problemas para delimitar los sistemas marino costeros.

Solución

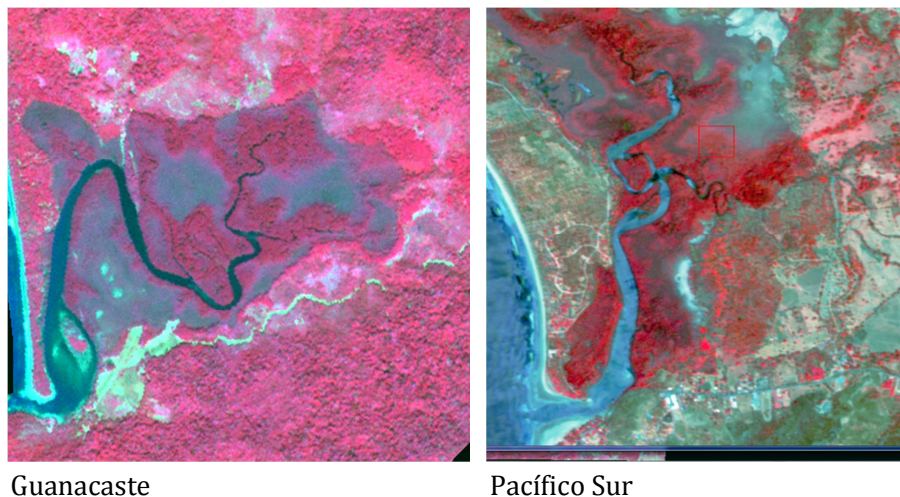
- En general se recomienda que en el futuro se pueda coordinar las capturas del sensor tomando en cuenta la zona del país, la época del año, las mareas y la hora de la toma; usando diferentes sensores que permitan tal flexibilidad.

Limitantes en la clasificación imágenes RapidEYE y Worldview-2

- En la clasificación espectral hay problemas entre las carreteras y el suelo desnudo ya que algunas de las vías en el sector de Guanacaste son hechas con el mismo material de la zona por tanto; la firma espectral es igual a las áreas de suelo desnudo.
- La infraestructura espectralmente se confunde con otras coberturas como pasto o suelo desnudo; principalmente la infraestructura cuyos techos están pintados o presenten otro material.
- Espectralmente la arena seca se confunde con suelo desnudo y con sedimentos y arena a orillas de ríos, por lo que en la clasificación la arena queda distribuida por varios sectores de la imagen.
- No hay mayor diferencia espectral entre el Manglar, los humedales y los bosques aledaños a los ríos en Guanacaste, por lo que en la clasificación el manglar tiende a quedar como bosque y el manglar repartido en otros sectores de la imagen donde hay cobertura forestal, así mismo algunos pastos, o arroz quedan clasificados como humedal.
- El pasto en Guanacaste tiene una reflectancia mezclada con la del suelo desnudo ya que por la fecha en que fueron tomadas algunas de las imágenes, el pasto está seco y hay reflectancia combinada entre el pasto y el suelo.

- Para el sector de Guanacaste la cobertura de bosque se debió tratar diferente ya que es un bosque deciduo y las imágenes fueron tomadas en época seca; para este periodo la mayoría de los árboles han perdido las hojas por lo que la firma espectral es diferente al resto del bosque perennifolio.
- Comparando las imágenes RapidEye de la zona de Guanacaste y el Pacífico Sur, es importante mencionar que los manglares en la zona de Guanacaste no se observan tan claros como en el Pacífico Sur.
- Un aspecto a resaltar en la zona de Guanacaste es que se diferencia muy bien el manglar, una vez identificado, del humedal; mientras que en el Pacífico Sur la clasificación espectral entre manglar y humedal presento problemas (ver figura 1).

Figura 1. Comparación Manglar, Guanacaste y Pacífico Sur



- En algunos sectores como la península de Osa la cantidad de nubes es superior a al 20% dificultando la clasificación de las mismas. El procedimiento que se utilizó para resolver esta dificultad fue extraer porciones o segmentos para completar el faltante de cobertura.

- Al igual que en el bosque y el manglar en Guanacaste, se encontraron limitantes con respecto a la separabilidad espectral del humedal; relacionadas con el pasto y el arroz en el Pacífico Sur.
- En las imágenes WorldView-2, con la aplicación de la máscara elaborada de forma espectral, se provocó la pérdida de información en la zona intermareal.
- Para las imágenes RapidEye en los sectores con nubosidad presente, la principal dificultad se encontró con las imágenes de recambio en las áreas de cultivo estacionales, ya que al ser de fechas diferentes muchas veces se obtuvieron cultivos de estaciones diferentes en la misma imagen.
- Finalmente, en las WorldView-2, el índice, Deep Invariant Index (DII), presentó pérdida en la clasificación de fondos.

Soluciones

- Los problemas de la diferenciación para la clasificación de coberturas se originan por la poca resolución espectral de las imágenes RapidEye. Sin embargo a mayor resolución espectral el programa facilitará la diferenciación de coberturas. La solución a este problema se resolvió realizando un proceso de clasificación mixta, entre clasificación espectral, segmentación e interpretación de las imágenes.
- Para el caso de la infraestructura, el producto se obtiene utilizando la segmentación de la imagen. En el caso de las coberturas de manglar y humedal se obtuvieron a partir de la segmentación o digitalización usando el método de fotointerpretación.

- Para las imágenes de Guanacaste, las coberturas se extrajeron espectralmente, ejemplo: bosque seco, bosque perenne, que sí son diferenciables espectralmente, también se clasificó espectralmente el pasto, el suelo desnudo, y la arena. Las otras coberturas como arena de ríos, humedales, manglares, infraestructura, ríos, lagos, y cultivos, asimismo arroz, humedal y pasto se tomaron de la segmentación o se digitalizaron.
- Luego de tener la clasificación principal de forma espectral y de tener las otras coberturas se aplica la herramienta del árbol de decisión para unir todas las coberturas en una sola imagen ya clasificada. En este paso es importante tener presente que la arena de playa debe dejarse de último en el árbol de decisión por tener problemas en la clasificación espectral; para que las otras coberturas que si están correctas se superpongan a los sectores de arena mal clasificados. Este procedimiento se aplica para las otras coberturas de ser necesario.
- En los sectores como península de Osa debido a la alta nubosidad se utilizó imágenes producto de la misión UAVSAR-NASA del 2010 para cubrir parte del faltante de información ya que las imágenes de recambio dejaron un faltante importante en la zona de cobertura.
- Finalmente en el caso del índice (DII) que se perdió parte de la información de la imagen, se procedió a realizar una interpretación adicional en las áreas con pérdida de información, a partir de la imagen original.

VI. RESULTADOS

Costa Rica es un país pequeño, sin embargo, su topografía variada con montañas y valles lo convierten en un país de gran diversidad; hecho que afirma el formar parte del grupo de los países megadiversos afines, mediante el Programa Panamericano de Defensa y Desarrollo de la Diversidad biológica, cultural y social en la declaratoria de Cancún.

Según Solano y Villalobos la Cordillera Volcánica del Norte y la Cordillera de Talamanca ubicada al Sur del país, dividen a Costa Rica en tres regiones fisiográficas, norte, central y sur. Si se agrega a esta condición topográfica un elemento meteorológico como los vientos del noreste (alisios) que tienen un importante impacto en el clima del país se pueden diferenciar tres regiones climáticas, la Región Tropical Húmeda del Atlántico, la Región Central Intermontana y la Región Tropical del Pacífico.

Para efectos de este estudio interesa la región denominada por los autores como Tropical del Pacífico, a la cual pertenecen las regiones Pacífico Norte, Sur y Central y que tienen dos estaciones bien definidas, la húmeda y seca, estas condiciones definen el paisaje de toda la costa y son determinantes para el desarrollo de los sistemas marino costeros a lo largo de la costa. Costa Rica alberga en su costa pacífica el 99% de los manglares del país; el restante 1% se encuentra en la costa atlántica. Siendo uno de los ecosistemas más amenazados en el mundo (Zamora-Trejos y Cortes 2009).

Costa Rica no es la excepción y podemos identificar en los resultados de este estudio la forma como los cultivos estacionales, perennes y acuacultura están rodeando los manglares; deteriorándolos y si se comparan con algunos datos históricos, es posible identificar áreas importantes donde el manglar ha sido desplazado para dedicar esas tierras a otros usos.

Se debe considerar además, el desarrollo de infraestructura para turismo que se ha acelerado en los últimos años a lo largo de la costa pacífica, siendo muy evidente en

las giras de campo realizadas; esta situación genera gran presión sobre los recursos; en especial en ecosistemas como manglares y humedales.

Costa Rica bajo el manejo del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) que pertenece al Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET); tiene un porcentaje importante del país protegido en el sistema de Áreas Silvestres Protegidas (ASP). Por tanto; este estudio va a ser una herramienta para que las autoridades del SINAC puedan tomar decisiones sobre el manejo de los sistemas marino-costeros que están protegidos por algún sistema del ASP en la costa pacífica del país. Igualmente será un insumo importante para desarrollar políticas a nivel de ministerio para proteger las ASP ya establecidas.

Dentro de los productos a desarrollar en este proyecto está la obtención para zonas específicas de la información batimétrica y de fondos marinos. Para estas cinco zonas se adquirieron imágenes WorldView-2 que pueden penetrar el agua y tener información del fondo marino. Las áreas de estudio pertenecen a Parques Nacionales y según el enlace del proyecto Mtro. Lenin Corrales; sugiere que los sistemas presentes en estas áreas sean empleadas por las autoridades encargadas de manejo para toma decisiones.

Clasificación e identificación de sistemas marino-costeros por zona de estudio

Con la finalidad de brindar datos para las zonas de estudio se presenta a continuación los resultados de la clasificación de los sistemas marino-costeros y cobertura vegetal asociada para cada zona de estudio. Para facilitar el uso de la información generada se presenta, además, un mapa por cada imagen RapidEye procesada.

Zona 1; Frontera con Nicaragua hasta Reserva Natural Cabo Blanco

Solano y Villalobos clasifican esta zona como la más extensa del pacífico con la particularidad de un periodo seco y lluvioso bien definidos. Dependiendo de la subregión el periodo seco puede durar de tres a seis meses, predominando para la planicie de Guanacaste un clima tipo sequía donde se presentan los menores valores

de precipitación. En esta zona de estudio existe presencia de Bosque seco tropical principalmente y en algunas subregiones con transición a bosque húmedo tropical.

Los resultados obtenidos para la zona 1 del estudio “Identificación y caracterización de sistemas marino-costeros de la costa pacífica de Costa Rica”, donde se identificó además cobertura vegetal como mínimo 1.8 kilómetros tierra adentro, muestran que la cobertura vegetal más representada es el bosque, que cubre 69.833 hectáreas, lo que representa un 57.34 % de la superficie del estudio (ver tabla 8).

Los pastos, segunda categoría en importancia, ocupan un 31.21 % del total de la superficie de estudio lo cual es esperable ya que por las condiciones de déficit de agua de la zona, y baja fertilidad de los suelos; la actividad más común que se presenta en la zona, es la cría de ganado para carne.

Aun así se desarrollan actividades agrícolas generalmente de cultivos estacionales lo cual representa 119 hectáreas (0.09%) principalmente se identificó arroz y caña de azúcar; representadas para un área total de la zona de 121.792 hectáreas.

De la superficie de estudio actualmente cubierta por ecosistemas naturales se encuentran registrados a nivel estatal 24 ASP clasificadas dentro de las siguientes categorías de manejo; Espejos de agua, Islas, Parques Nacionales, Refugio de Vida Silvestre y una Zona protectora. En el caso de ASP privadas, 4 lugares clasificados como Refugio de Vida Silvestre y ASP mixtas, 5 áreas consideradas como Refugio de Vida Silvestre (ver anexo 2).

En este contexto, los esfuerzos de conservación realizados por el gobierno, municipios, comunidades, ONGs y propietarios privados, son fundamentales para la protección de los remanentes de vegetación natural, de la biodiversidad y de los servicios ambientales como la provisión de agua, belleza escénica y fijación de carbono.

La categoría de manglar asciende a 1.29% para un total de 1 567.13 hectáreas y representa la cobertura de los sistemas marino costeros que está siendo deteriorada

por el crecimiento de la infraestructura turística y el avance de la frontera pecuaria y agrícola.

Tabla 8. Zona 1, Frontera con Nicaragua hasta Reserva Natural Cabo Blanco

Categoría	Hectárea*	Porcentaje
Arena playa	1786,07	1,47
Arena rio	168,90	0,14
Arroz	77,49	0,06
Bosque	69832,99	57,34
Caña de azúcar	42,34	0,03
Humedal	651,82	0,54
Infraestructura	2276,26	1,87
Lago y laguna	40,61	0,03
Manglar	1567,13	1,29
Nubes	1353,63	1,11
Otros cultivos	840,85	0,69
Pasto	38011,39	31,21
Plantación forestal	369,03	0,30
Rio	449,26	0,37
Roca	404,63	0,33
Suelo desnudo	3920,01	3,22
Total	121792,41	100,00

**son aproximadas no reales, debido a la sobre posición que existe en algunas de las imágenes clasificadas, lo que puede sobre estimar la superficie real de la zona de estudio.*

A continuación se presentan los mapas de las clasificaciones realizadas a partir de imágenes RapidEYE para la zona de estudio desde la frontera de Nicaragua hasta la Reserva Natural Cabo Blanco.

Resultados Rapid Eye, Zona 1

Figura 2. Mar 21_2009_3104041_subset1A_cml8_fm3_arbol

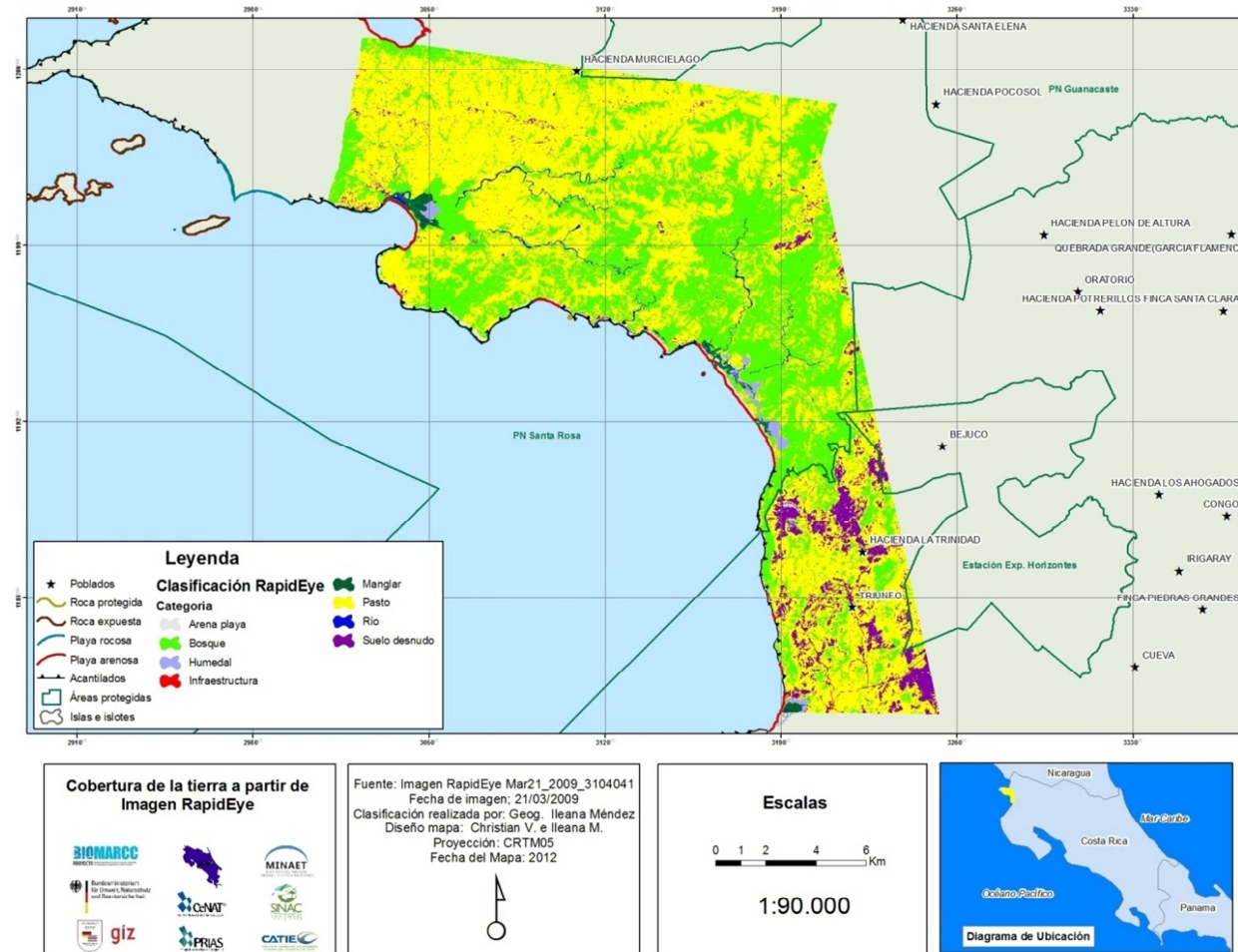


Figura 3. Mar21_2009_3104041_subset1B_cml10_fm3_arbol

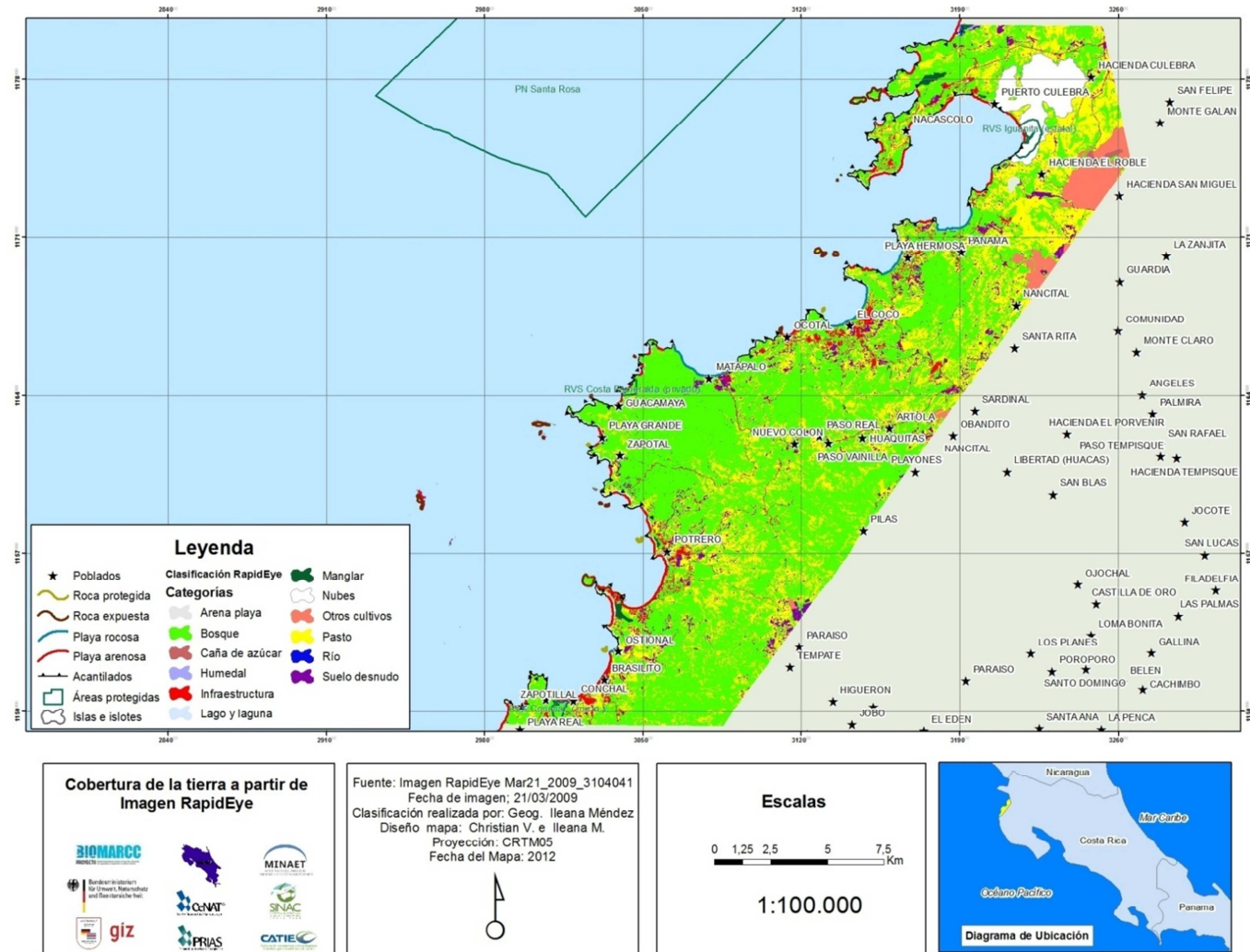


Figura 4. Mar21_2009_3104041_subset1C_cml6_fml3_arbol

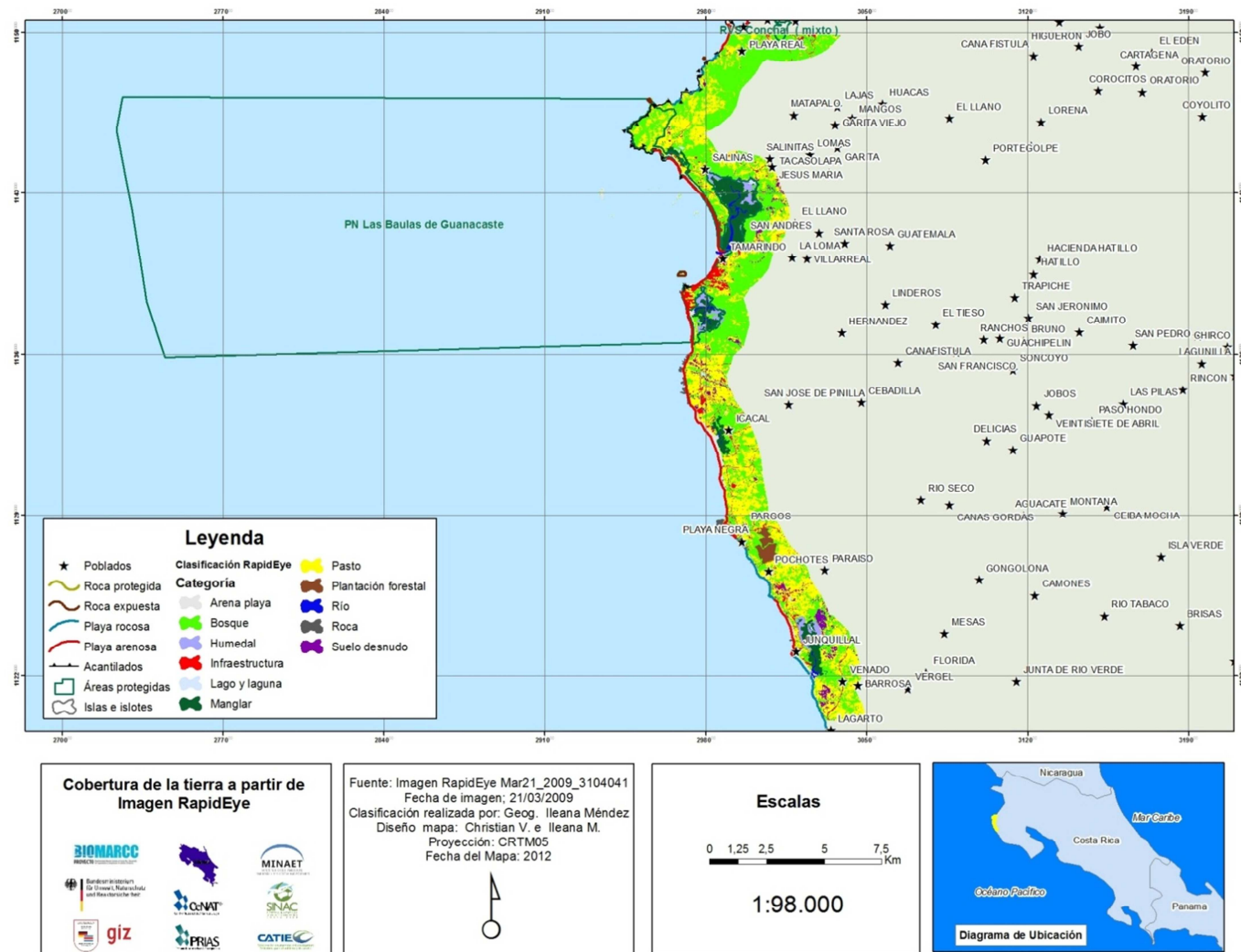


Figura 5. Mar21_2009_3104041_subset1D_cml5_fm3_arbol

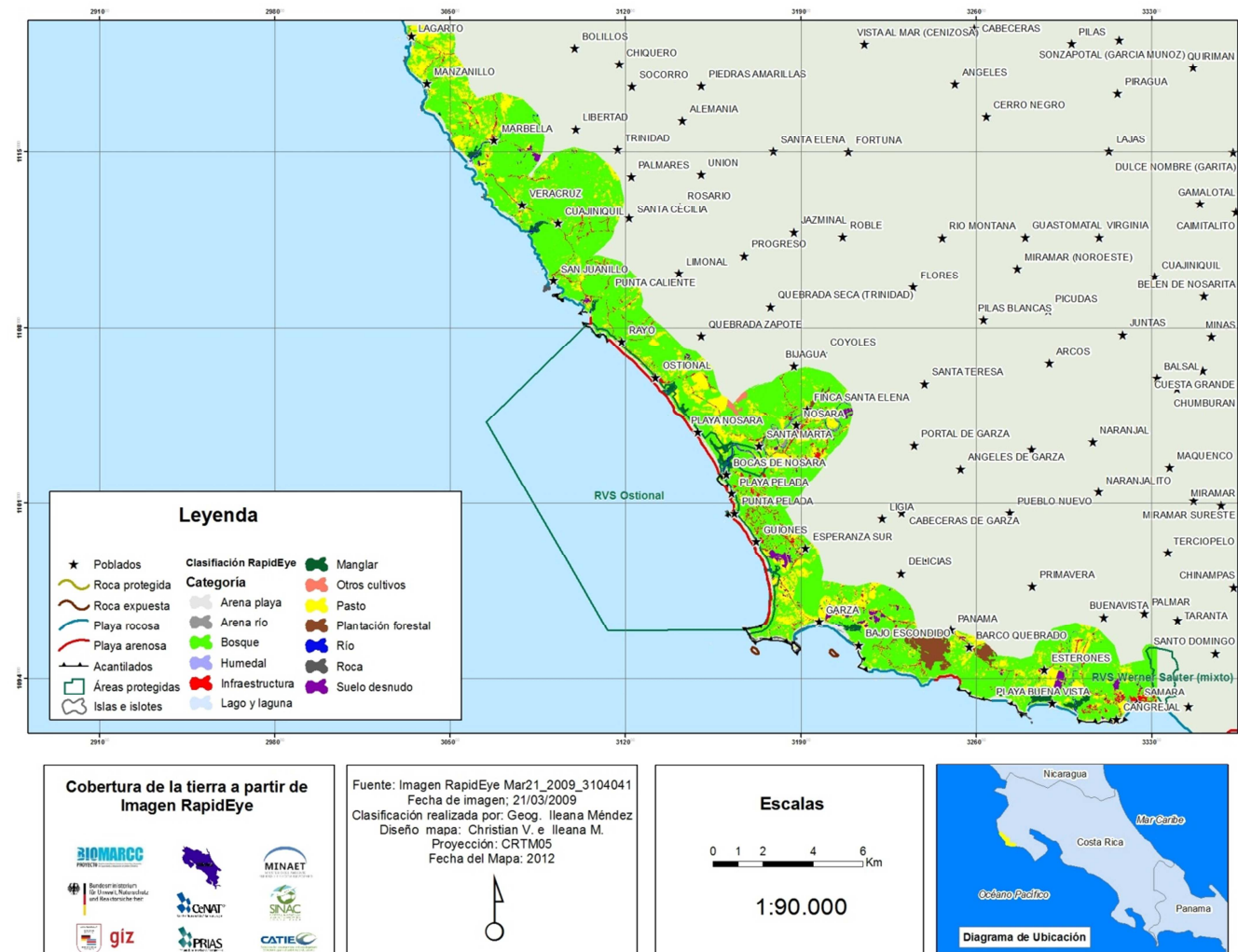


Figura 6. Mar21_2009_3104041_subset1E_cml4_arbol

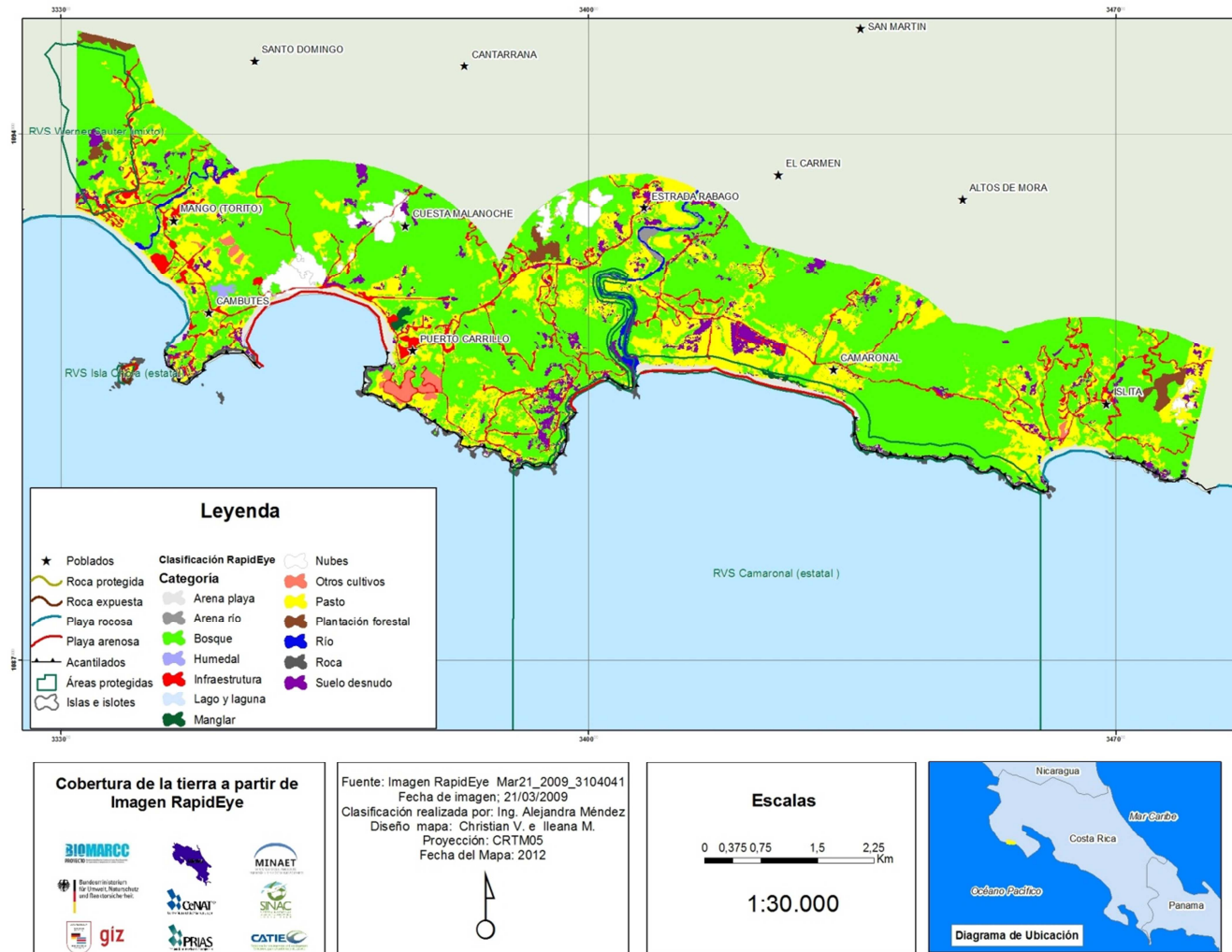


Figura 7. Mar_2011_7409708_subsetA_cml6_f3_arbol

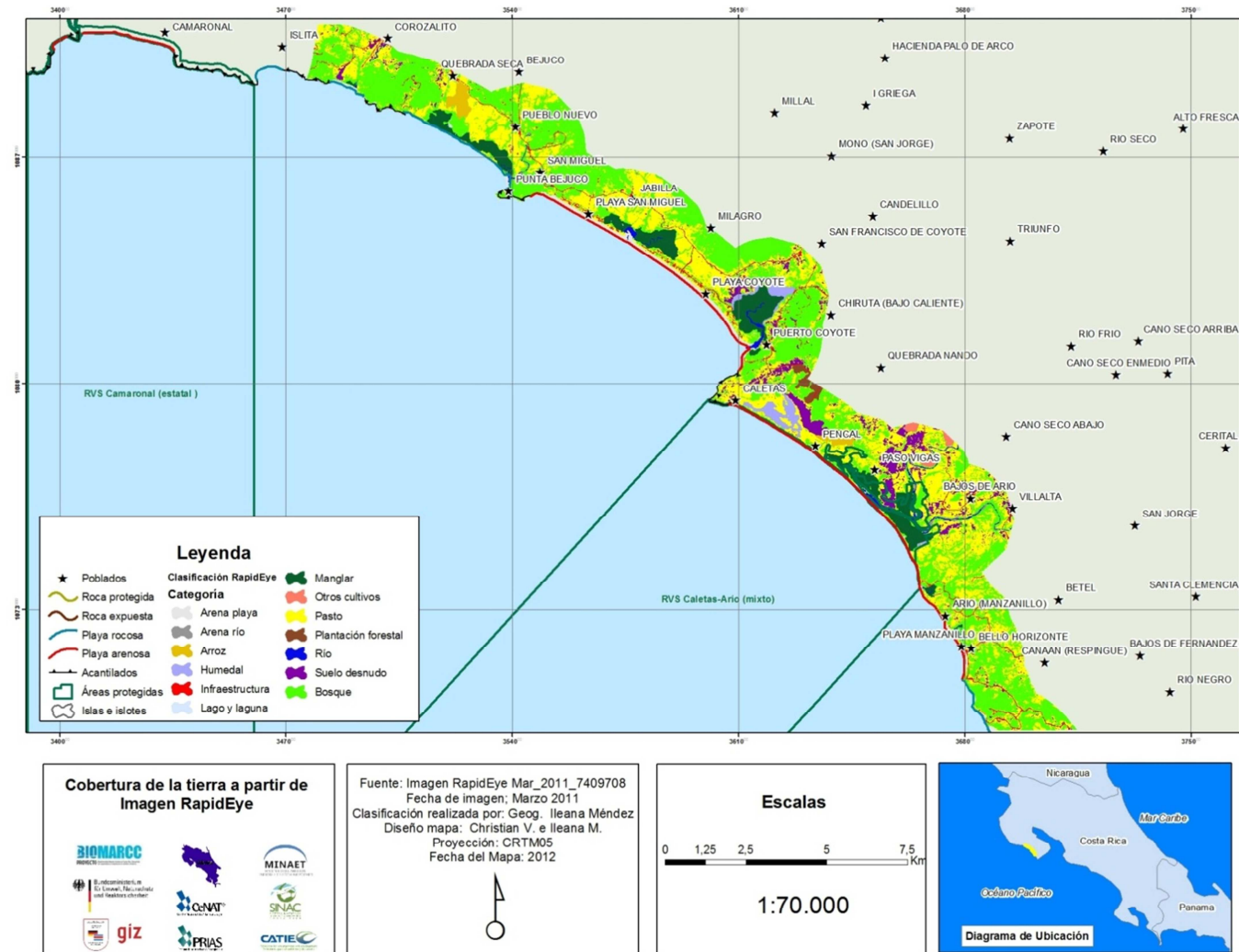


Figura 8. Mar_2011_7409708_subsetB_cml5_f3_arbol

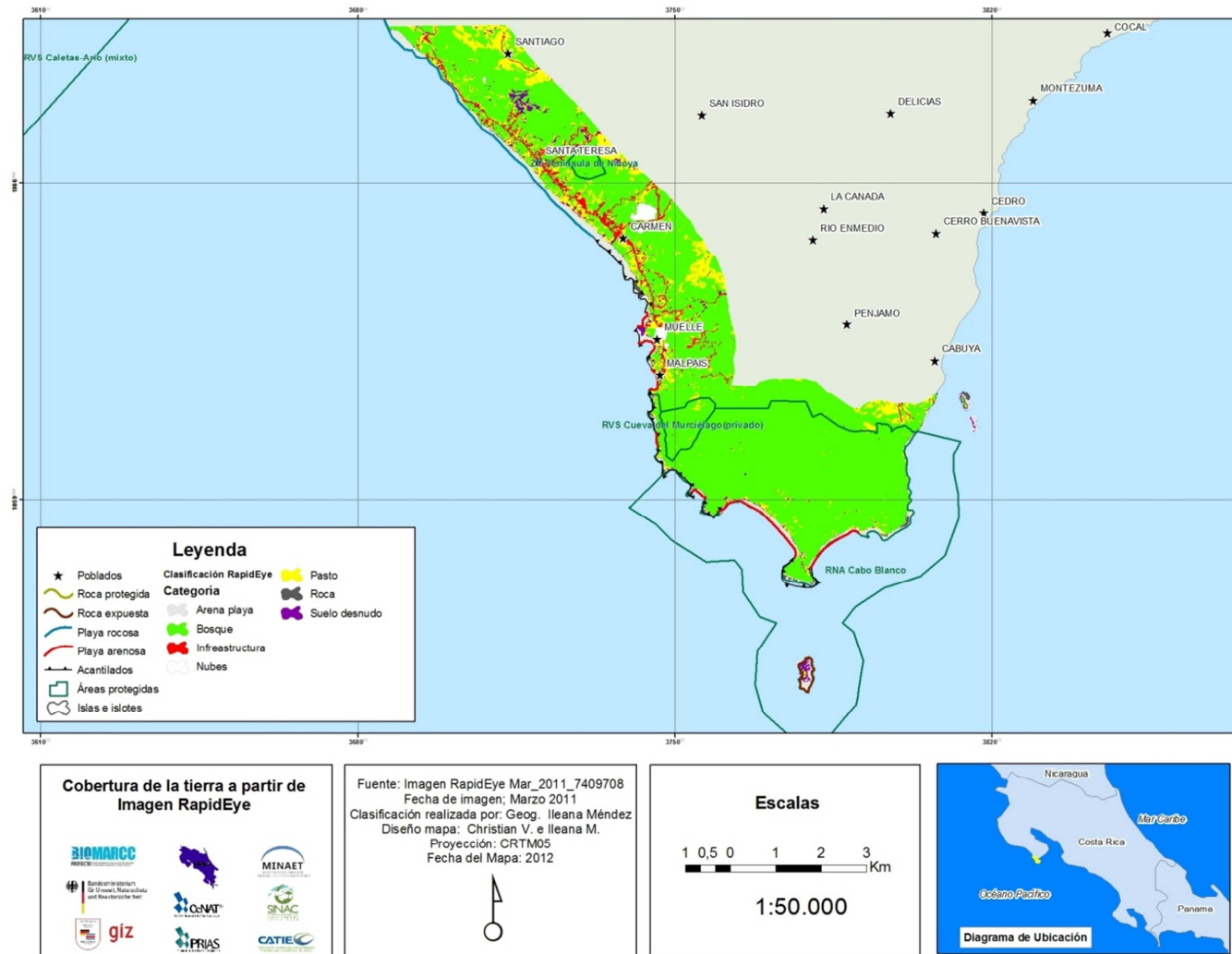


Figura 9. Nov15_2010_4797496_subset1_cml8_f3_arbol

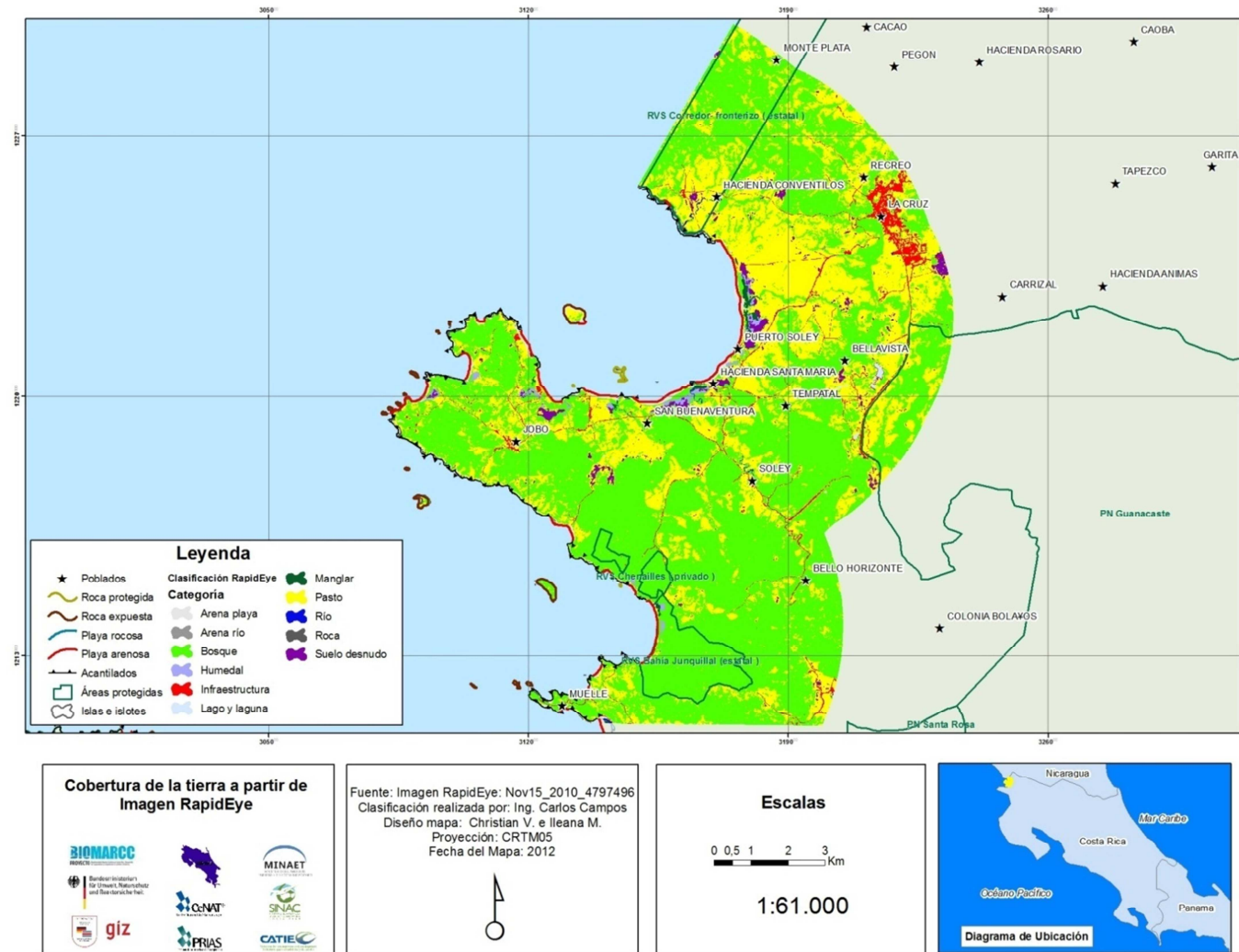
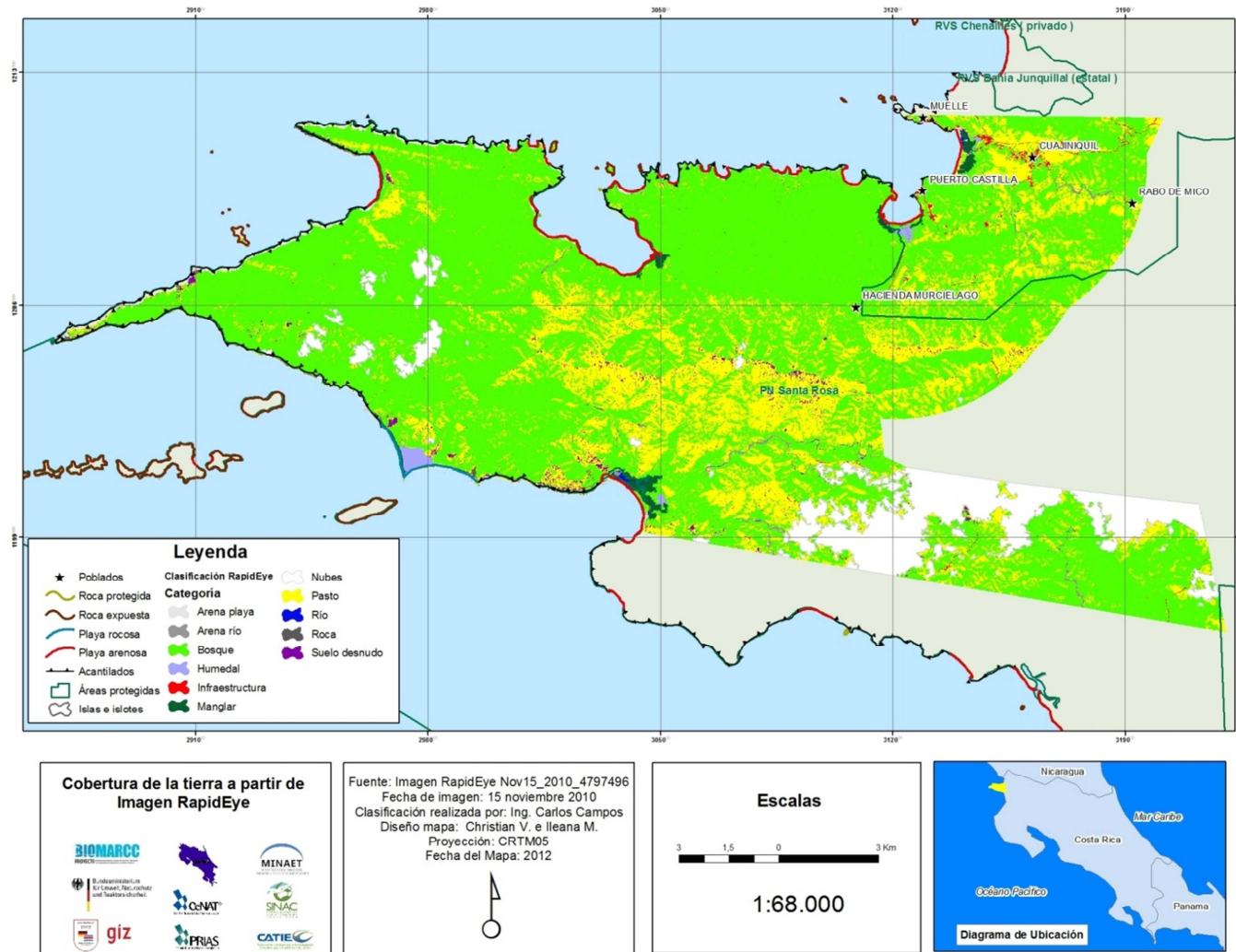


Figura 10. Nov15_2010_4797496_subset2_cml6_f3_arbol



Zona2; Refugio de Vida Silvestre Playa Hermosa hasta Punta Mata Palo, Península de Osa

Solano y Villalobos caracterizan al pacífico central con un período lluvioso muy severo y largo contrapuesto con un período seco corto y moderado ya que geográficamente esta zona está protegida para la cadena montañosa de la Fila Costera o Brunqueña que impiden el ingreso de los vientos alisios. Con estas condiciones se tiene un mayor desarrollo agrícola en la zona Bosque húmedo tropical.

En el caso del pacífico sur, Solano y Villalobos encuentran el clima de la región muy diferente en relación al resto del pacífico ya que por la presencia de la Cordillera de Talamanca y la variabilidad geográfica de la zona el período seco es favorable y corto mientras que el lluvioso tiende a ser intenso, algunos sectores presentan lluvias todo el año. El tipo de zona de vida predominante es el bosque húmedo tropical y en algunas subregiones hay presencia de bosque muy húmedo tropical.

Los resultados obtenidos para la zona 2 del estudio “Identificación y caracterización de sistemas marino-costeros de la costa pacífica de Costa Rica”, donde se identificó además cobertura vegetal como mínimo 1.8 kilómetros tierra adentro, muestran que la cobertura vegetal más representada es el bosque, que cubre 60. 092 hectáreas, lo que representa un 37.87 % de la superficie del estudio (ver tabla 9).

Los pastos, como segunda categoría en importancia, ocupan un 15.15% del total de la superficie de estudio es menor al caso de la zona 1 y en ellos se cría ganado extensivo para producción de carne. En algunos casos una porción de este porcentaje responde al abandono de parcelas agrícolas que eventualmente se activan dependiendo del intercambio de la cobertura vegetal, tales como los cultivos estacionales de arroz, papaya a pastos.

Al tener más disponibilidad de agua se pueden desarrollar otro tipo de actividades en el campo agrícola destacándose para la zona el cultivo de la palma aceitera con 10. 044,43 hectáreas (6.33%), el total de área destinada para cultivos es de 11. 864,72

hectáreas. Finalmente los sitios destinados para el sembradío de arroz corresponde al (7.47%).

De la superficie de estudio actualmente cubierta por ecosistemas naturales se encuentran registrados a nivel estatal 8 sitios considerados como; Espejo de agua, Reserva Forestal, Humedal, rio Sierpe, Parques Nacionales, Refugio de Vida Silvestre. En el caso de ASP privadas, 3 lugares clasificados como Refugio de Vida Silvestre y en el caso de ASP mixtas, 9 áreas consideradas como Refugio de Vida Silvestre (ver anexo 2). Por consiguiente, dichos esfuerzos de conservación realizados por el gobierno, municipios, comunidades, ONGs y propietarios privados, son fundamentales para la protección de los remanentes de vegetación natural, la biodiversidad y de los servicios ambientales como la provisión de agua, belleza escénica y fijación de carbono.

La categoría de manglar equivale a 10.57% un total de 16776.98 hectáreas (ver tabla 9) y representa la principal cobertura de los sistemas marino costeros la cual está siendo deteriorada por el crecimiento de la infraestructura turística y el avance de la frontera y agrícola. Es importante aclarar que en esta zona se encuentra el Humedal Nacional Terraba Sierpe, Área Silvestre Protegida por el estado, por ser el humedal más grande de toda la costa pacífica y considerarse como sitio RAMSAR que presenta una importante presión por la destrucción de este ecosistema; es explotado por el sector turismo por lo que se recomienda evaluar el impacto que se está ejerciendo en el ASP.

Tabla 9. Zona 2, Refugio de Vida Silvestre Playa Hermosa hasta Punta Mata Palo

Categoría	Hectárea*	Porcentaje
Acuicultura	602,53	0,38
Arena playa	3426,93	2,16
Arena rio	1213,38	0,76
Arroz	1238,21	0,78
Bosque	60092,51	37,87

Humedal	7094,89	4,47
Infraestructura	803,79	0,51
Lago y laguna	175,03	0,11
Manglar	16776,98	10,57
Nubes	17517,16	11,04
Otros cultivos	55,06	0,03
Palma aceitera	10043,44	6,33
Papaya	528,01	0,33
Pasto	24038,70	15,15
Plantación forestal	200,17	0,13
Rio	5713,15	3,60
Roca	255,91	0,16
Suelo desnudo	4443,29	2,80
Yolillal	4472,04	2,82
Total	158691,18	100,00

*Son aproximadas no reales, debido a la sobre posición que existe en algunas de las imágenes clasificadas, lo que puede sobre estimar la superficie real de la zona de estudio.

Posteriormente se demuestran los mapas de las clasificaciones realizadas a partir de imágenes RapidEYE para la zona de estudio, Refugio de Vida Silvestre, Playa Hermosa-Punta Mala hasta cabo Mata Palo Península de Osa.

Resultados Rapid Eye, Zona 2

Figura 11. Ene09_2010_5961573_subset1_cml6_f5_arbol16

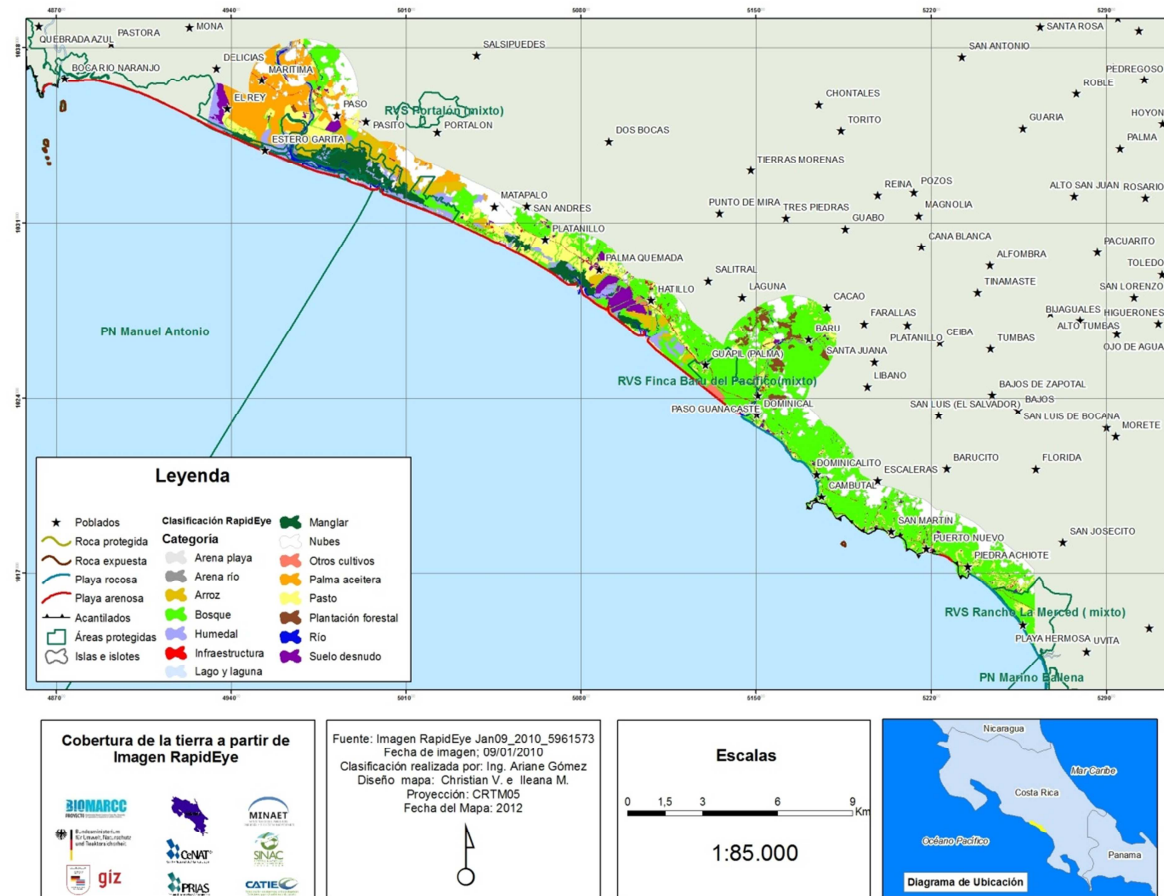


Figura 12. Ene09_2010_5961573_subset2_cml_f5_arbol10

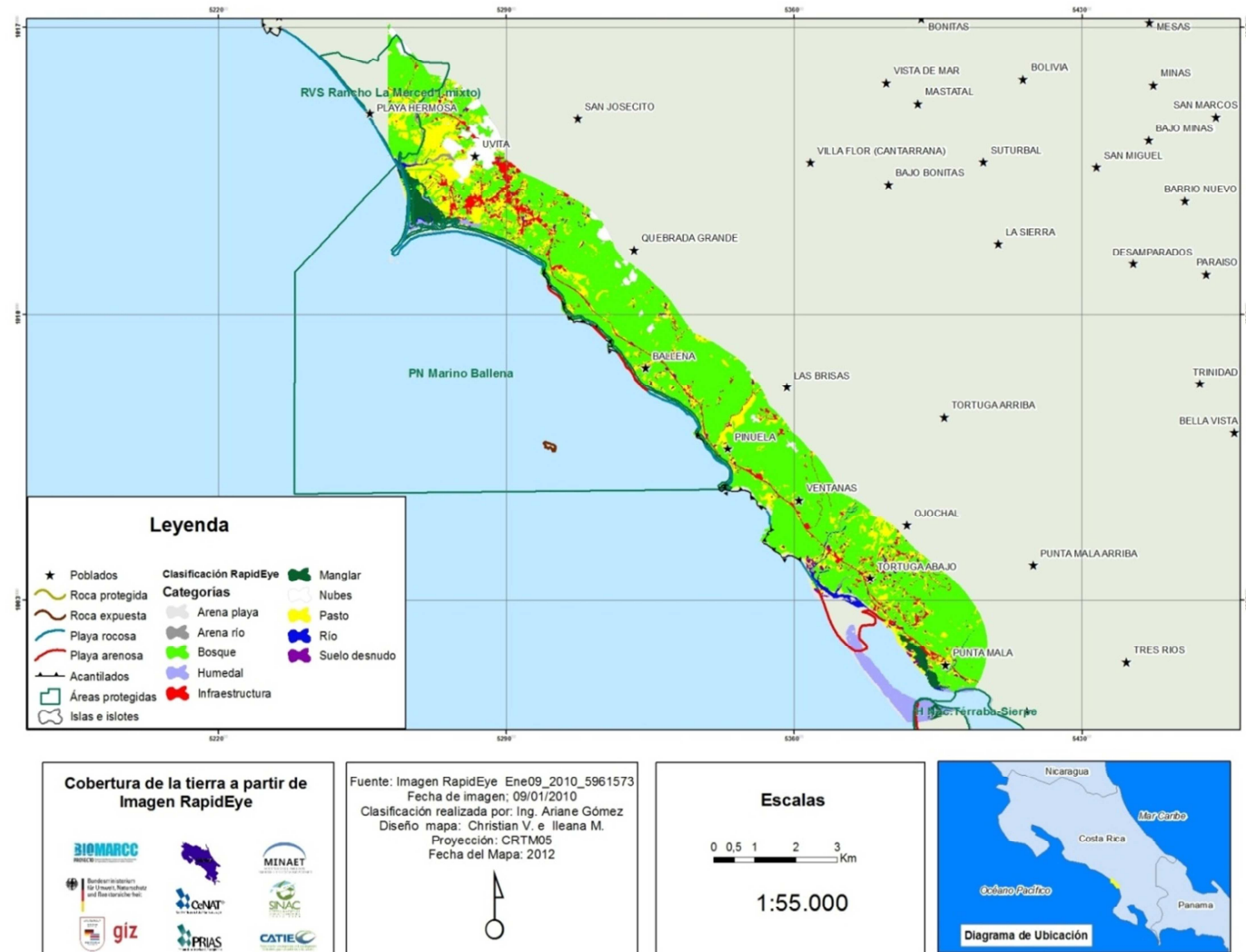


Figura 13. Ene21_2010_59688798_cml_fm5_arbol

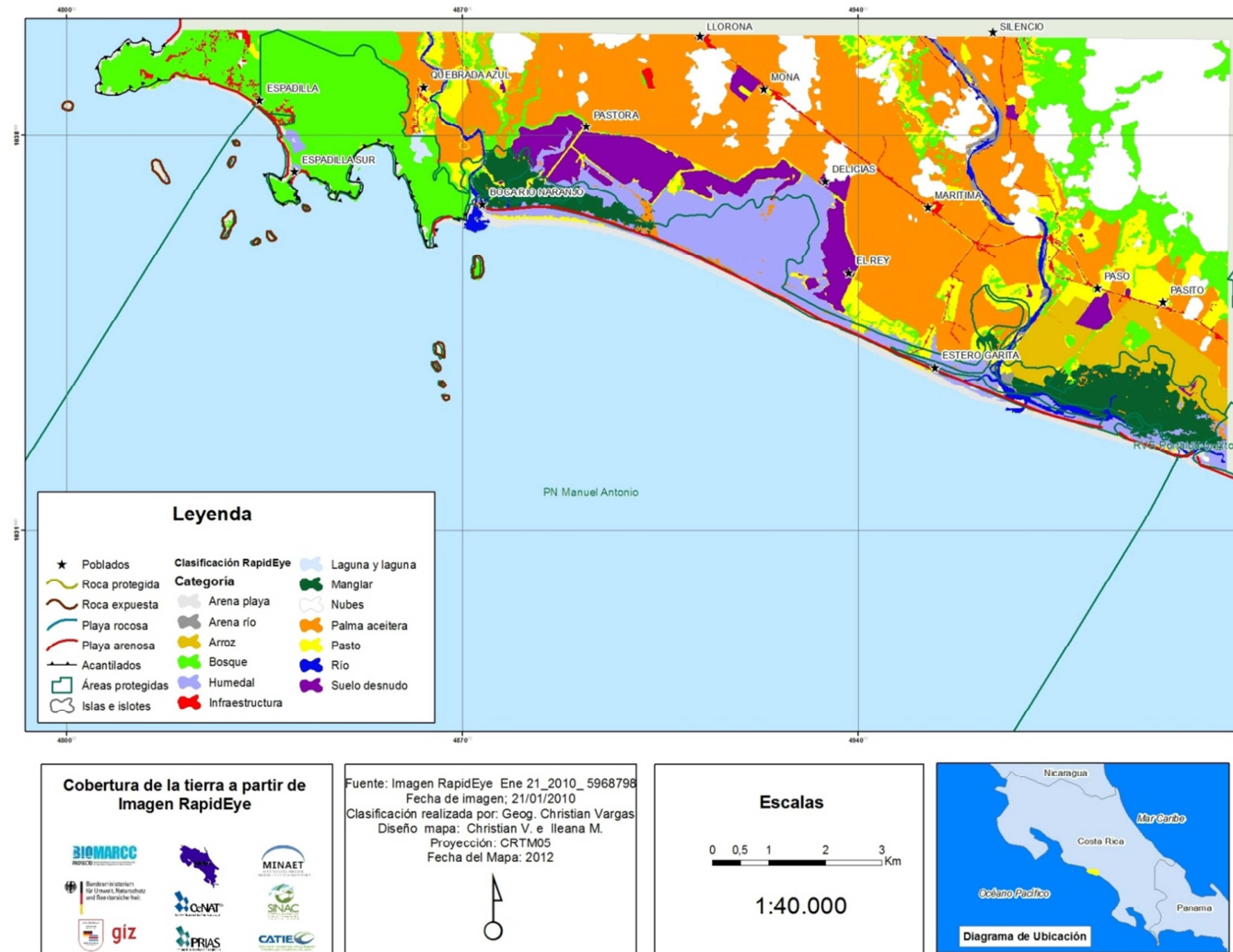


Figura 14. Ene21_2010_59688798_subset2_cml8_fm5_arbol

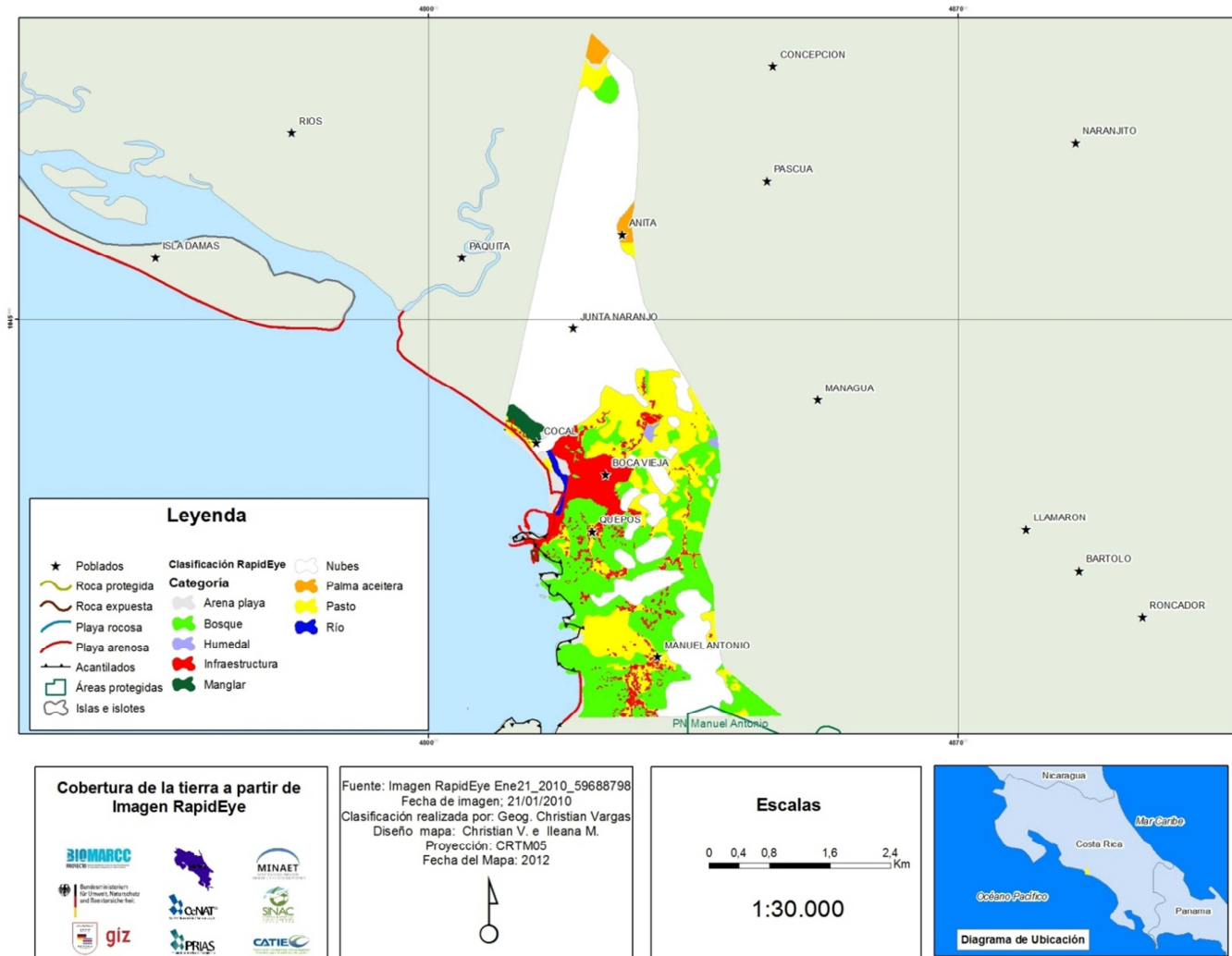


Figura 15. Mar03_2011_9399635_cml11_f5_arbol

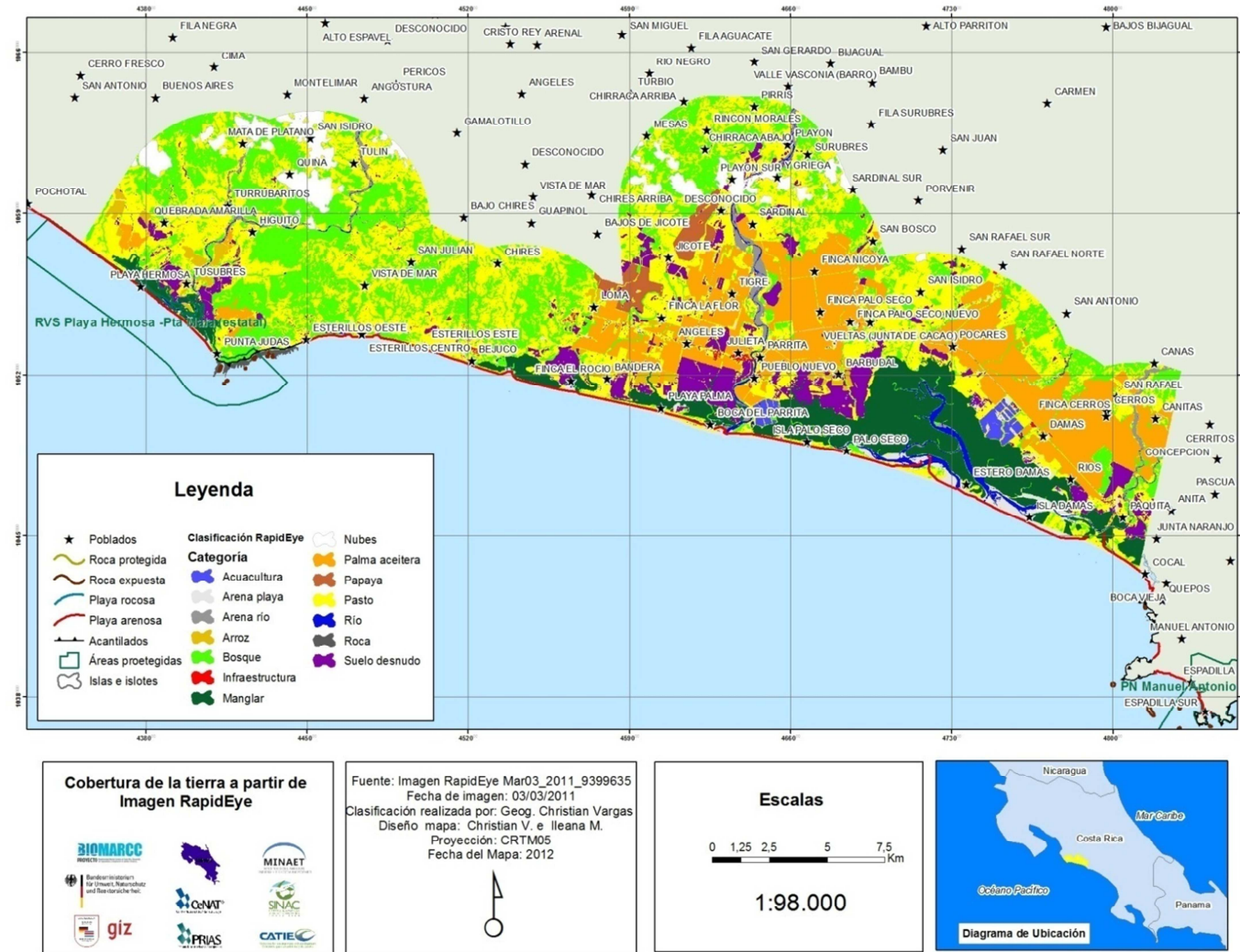


Figura 16. Mar03_2011_9399635_subset2_cml3_f3_arbol

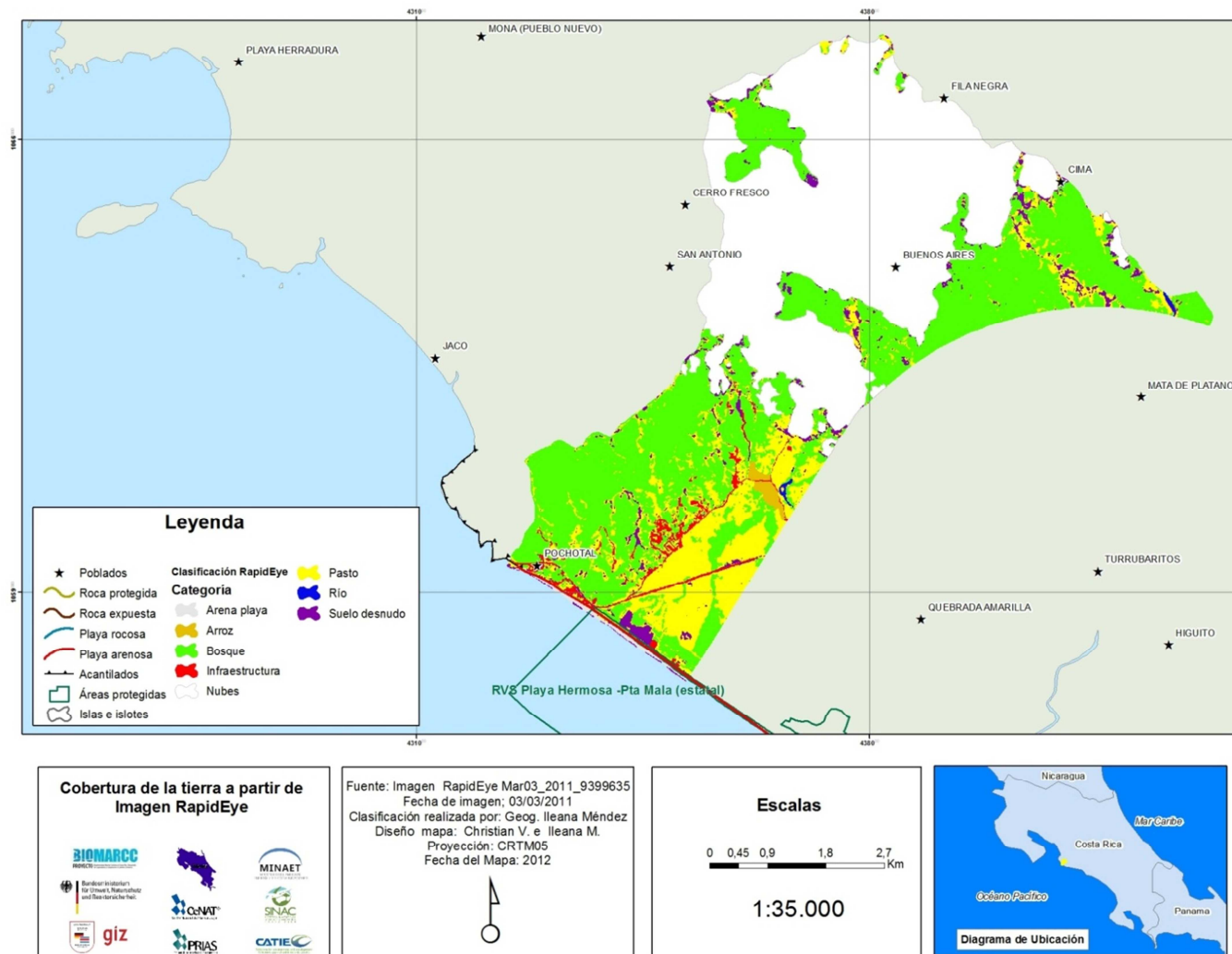


Figura 17. Osa_MarinoCostero_cml_fm5_arbol

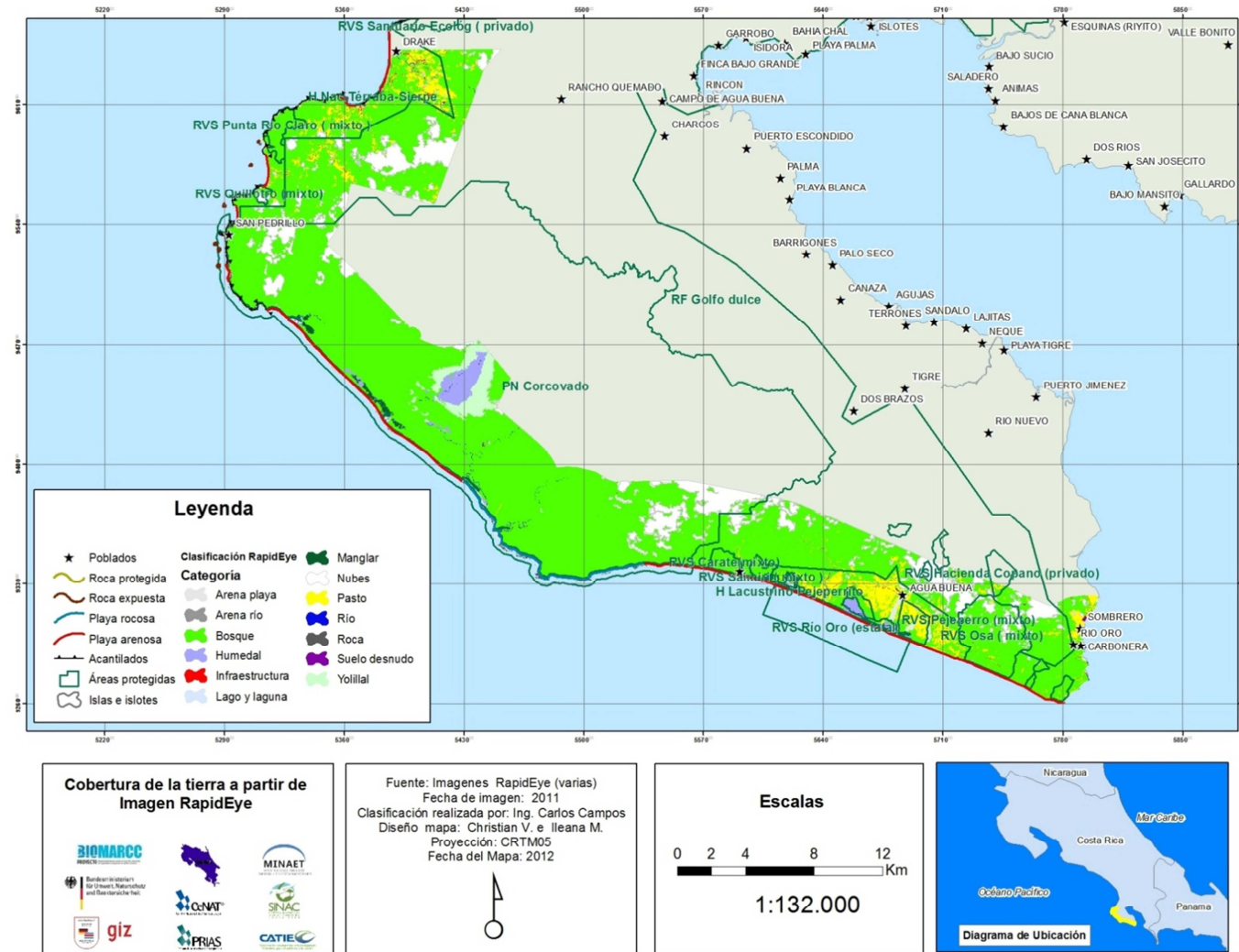


Figura 18. Sierpe_2011_MarinoCostero_cml_fm5

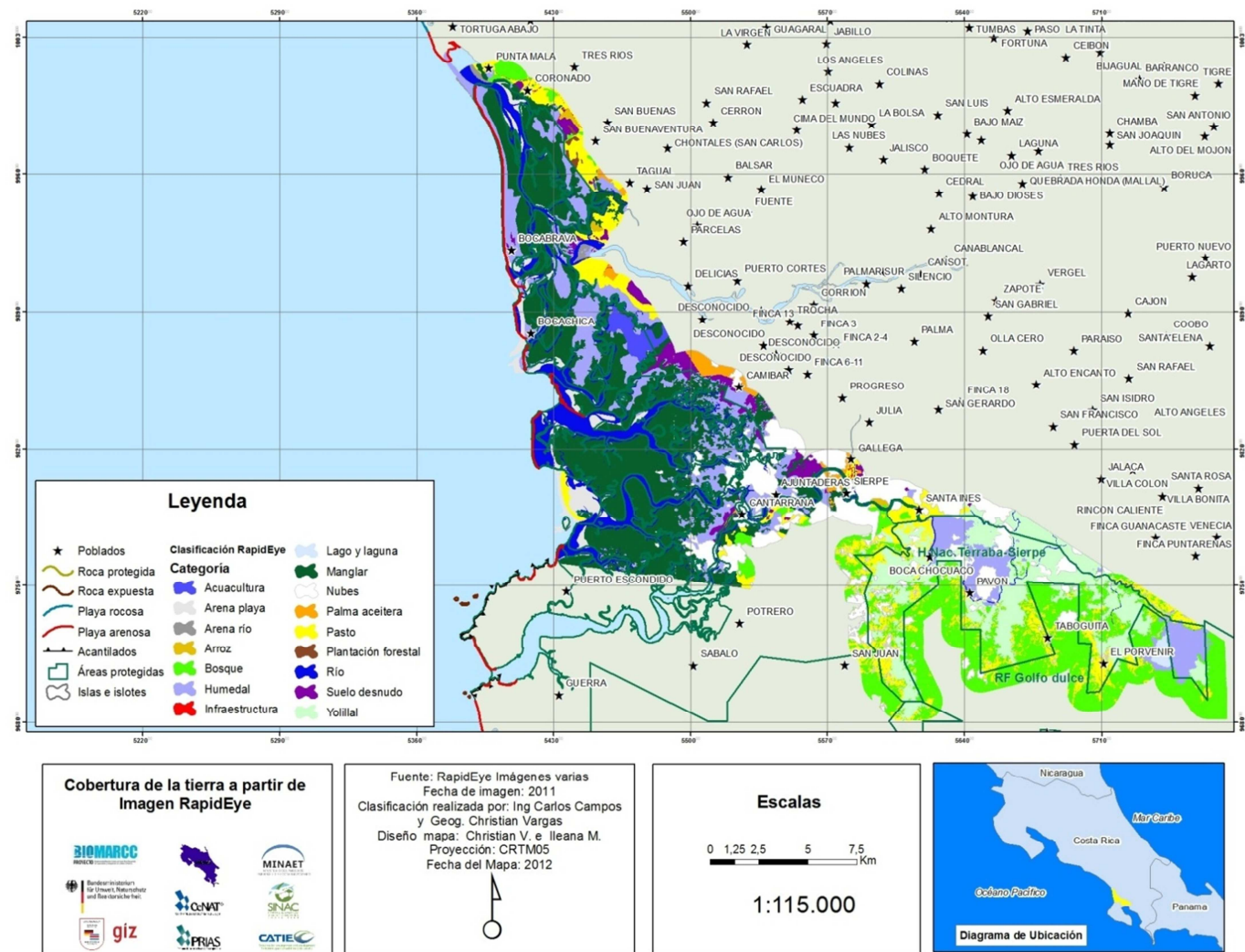


Figura 19. Sierpe_2011_MarinoCostero_cml_fm5_subset2

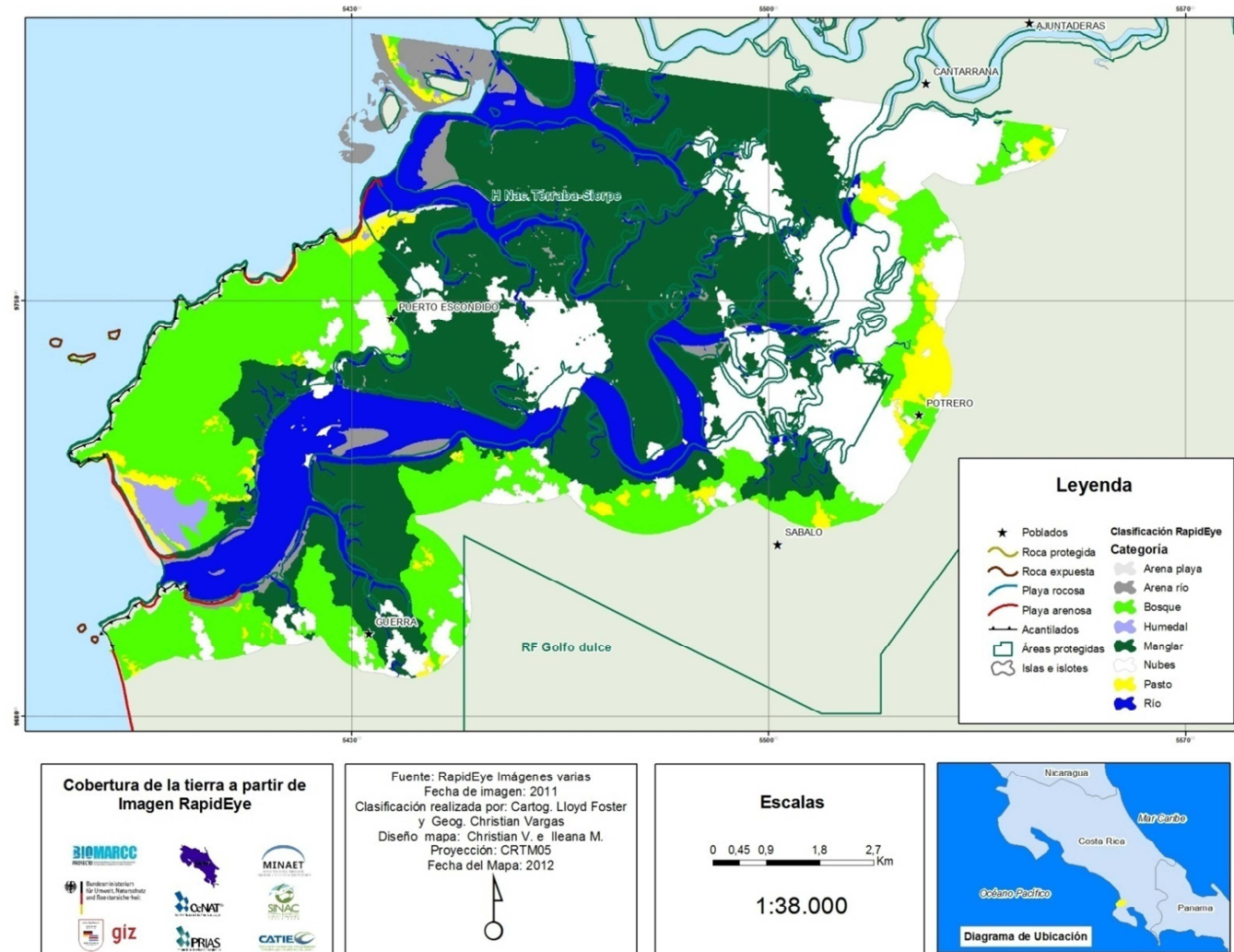
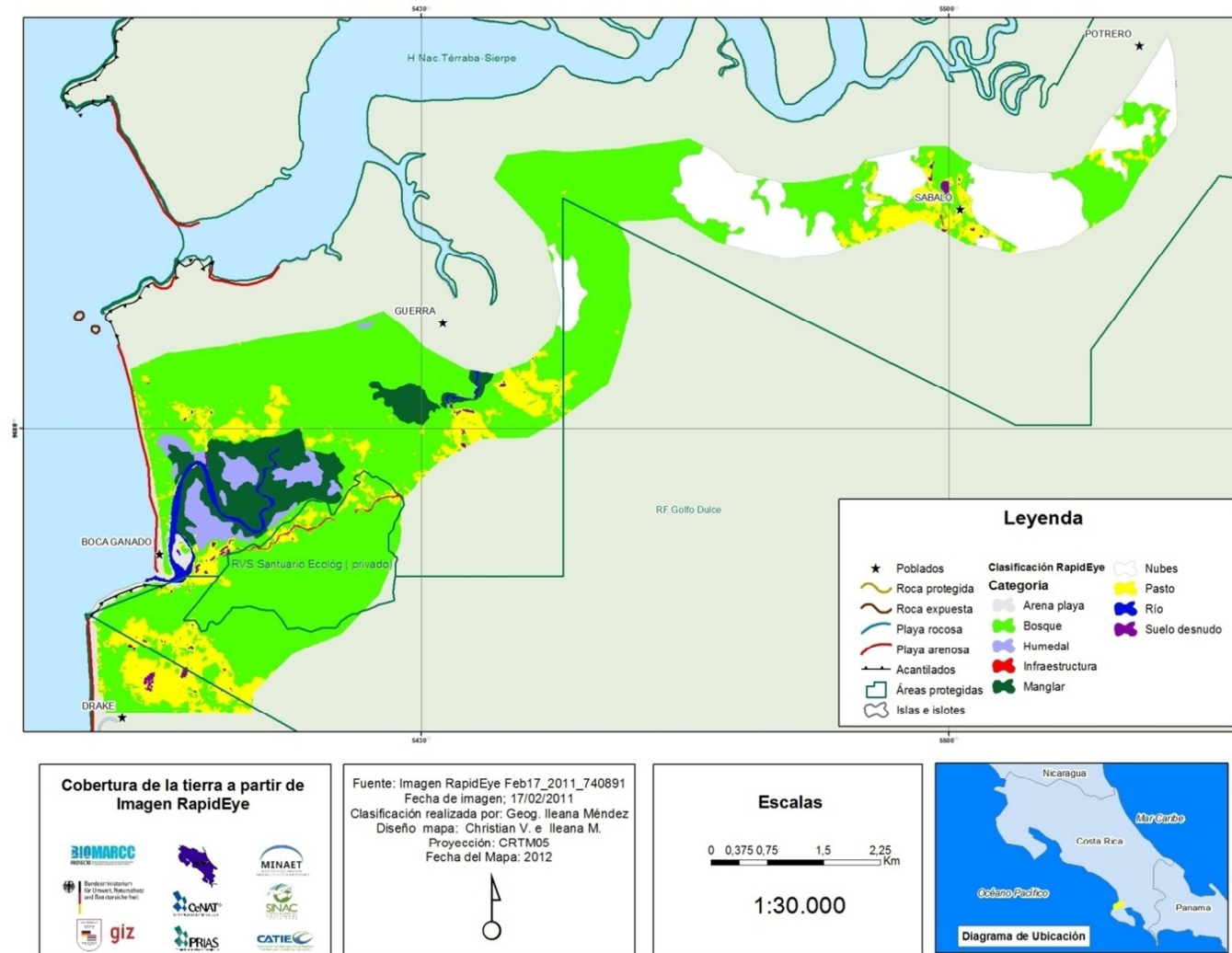


Figura 20. Feb17_2011_740891_cml5_f5_arbol



Clasificación de fondos marinos para imágenes worldview-2 en cinco áreas de estudio de la costa pacífica de Costa Rica

Bahía Santa Elena e Islas Murciélagos

En el extremo occidental de la península de Santa Elena y separadas 5 km de tierra firme se encuentran las islas Murciélagos, que constituyen un archipiélago de cinco islas principales y por lo menos 10 islotes. La isla principal es conocida como San José y tiene 1,5 km² de área y una altura máxima de unos 140 m. Las otras tienen un área menor que 1 km² y alturas máximas de 83 m en la isla Catalina, 69 m en la isla Cocinero, 60 m de la isla Las Golondrinas y 42 en la isla San Pedrito. La morfología del fondo oceánico entre las islas y tierra firme es relativamente regular y plana, entre 60 y 80 m de profundidad, mostrando una pequeña plataforma sumergida a 20 m. (Denyer et al 2005).

La península de Santa Elena y la región aledaña es actualmente afectada por intensos vientos alisios, que llegan a esta región a causa de la depresión natural que corresponde con los lagos de Nicaragua y Managua. El viento pasa libremente a través de Centroamérica (Banichevich & Castro, 1999), con una dirección de NE a SW. Esto causa que durante los meses de la estación seca, diciembre-mayo, haya un intenso oleaje y disminución de la temperatura del agua marina hasta unos 14°C, por la alteración de la termoclina (Fiedler, 2002). Así los alisios desplazan las aguas superficiales, sustituyéndolas por aguas frías y ricas en nutrientes (Cortes 1996). Debido a este afloramiento, en la zona se pueden observar organismos que no se encuentran en otras partes del país (Cortés 1996).

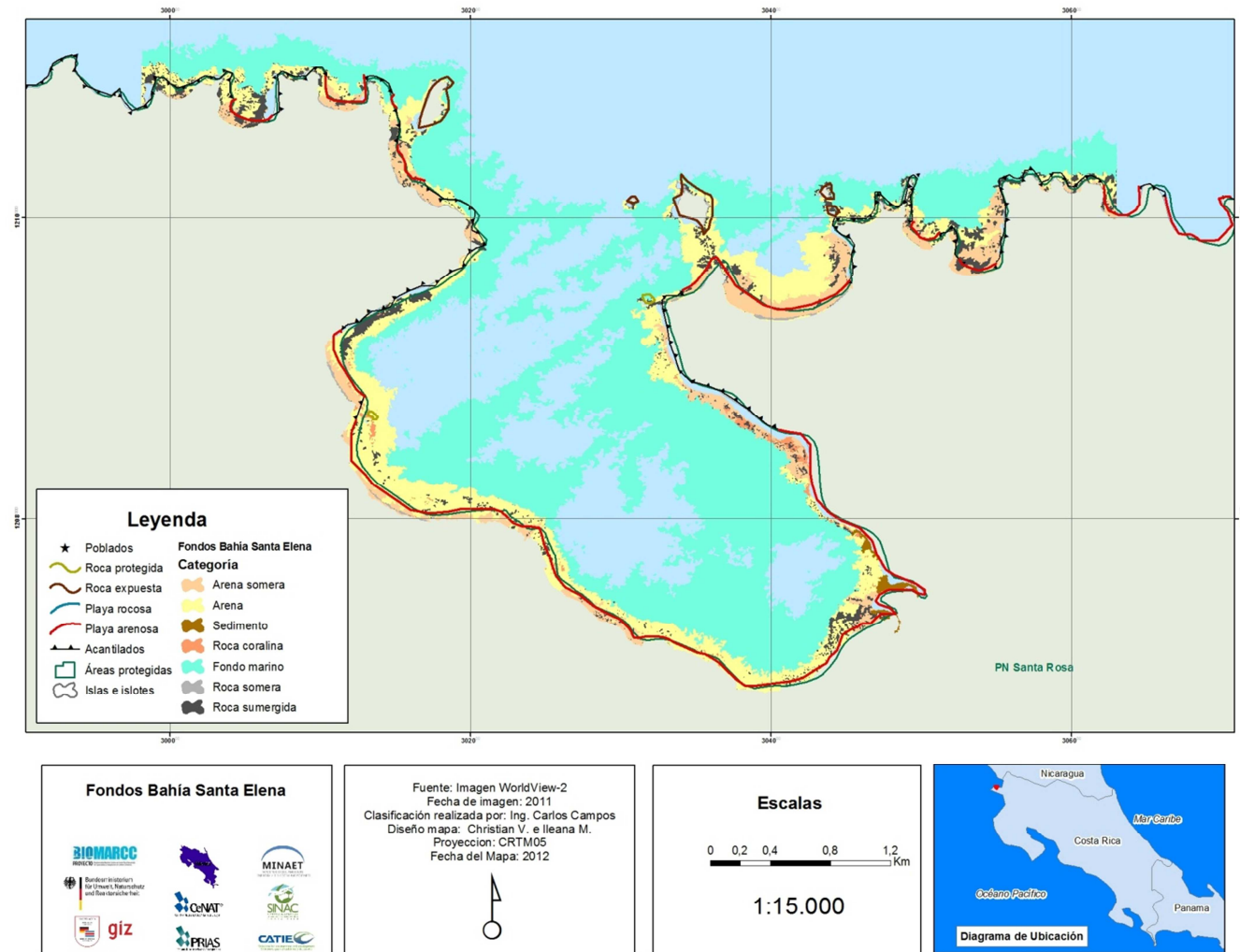
Aunque existe literatura de las zonas de estudio que revelan información valiosa, el mapeo de los sustratos marinos vino a apoyar los esfuerzos de investigación de estas áreas marinas.

Durante el mapeo se realizaron inmersiones para verificar los sustratos presentes; el fondo arenoso en ocasiones mostró la presencia de rocas aisladas mientras que en

varias regiones se localizaron sustratos rocosos los cuales fueron enmascarados por otros sustratos como limos o arenas.

En la bahía Santa Elena se observó una importante cobertura de coral en este sentido Cortés (1996) indicó la presencia de arrecifes en el Área de Conservación Guanacaste, donde además identificó once especies de corales, destacando *Pavona gigantea* como las colonias de mayores dimensiones. En el Sector de las Islas Murciélagos, se observó una cobertura de sustrato coralino (Fragmentos de coral quebrado, esparcidos), de colores rojizos y tamaños variables, localizados en las cercanías de las Islas Golondrinas.

Figura 21. Fondos Marinos, Bahía Santa Elena



Reserva Natural Cabo Blanco

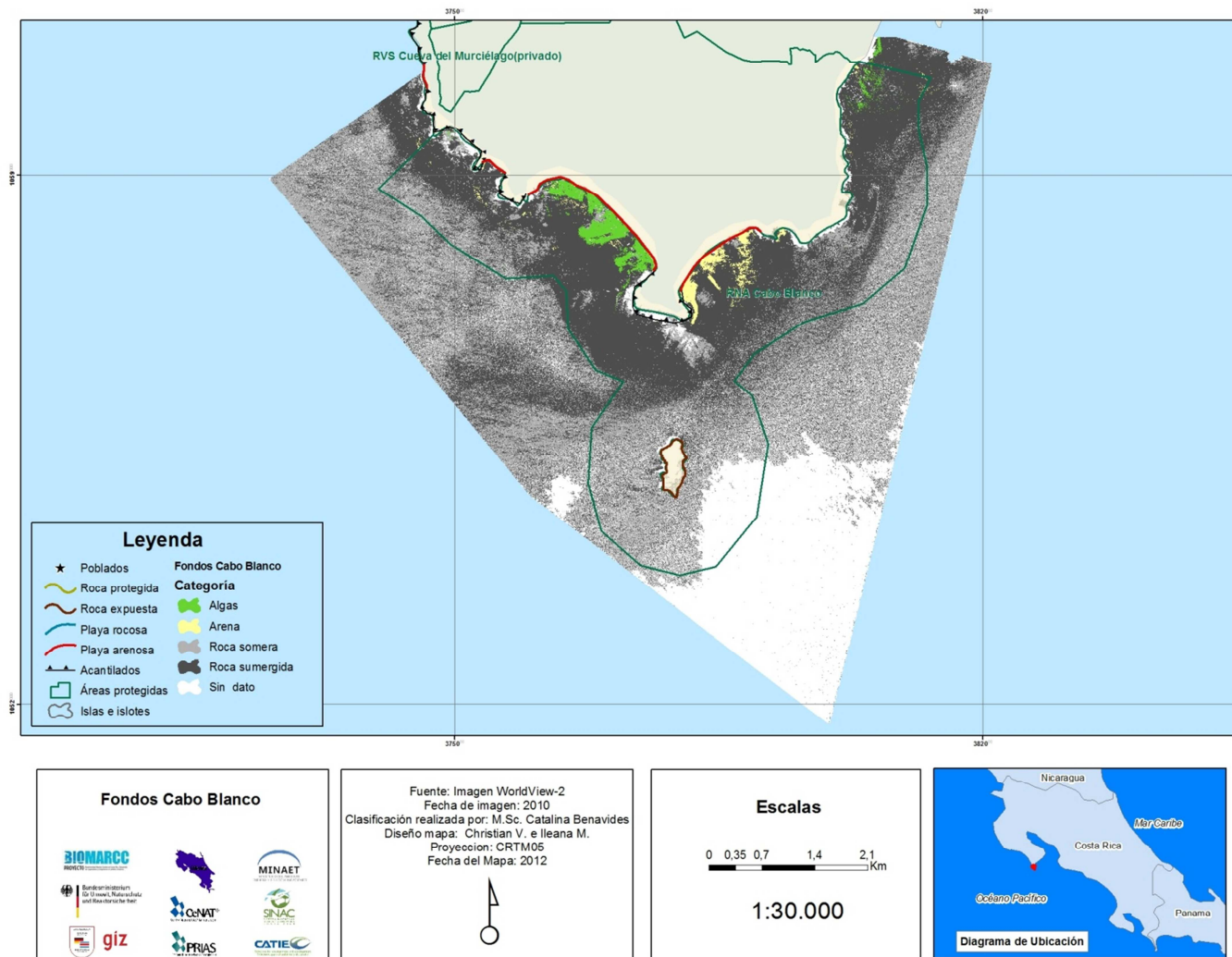
Cabo Blanco se caracteriza geomorfológicamente porque su costa incluye acantilados, promontorios bajos desprotegidos, ensenadas con playas arenosas a las que llegan olas de baja energía (Acuna, Cortés & Murillo 1996). En la región externa dominan las costas de erosión con material rocoso y playas arenosas. Las islas e islotes de la parte interna presentan costas rocosas erosionadas (Denyer y Kussmaul 2001).

La zona es influenciada por los vientos alisios entre diciembre a abril, lo que produce un afloramiento estacional de las aguas (Glynn et al. 1983).

El número de especies y la abundancia de corales es menor que la observada en la costa de Guanacaste; sin embargo, aumentan las áreas de manglares y los bancos de ostras (Acuña, Cortés & Murillo 1996). La mayoría de arrecifes y comunidades coralinas están contruidos por especies de coral ramosas del género *Pocillopora* sp. (Cortés & Jiménez 2003).

Como parte de los sustratos mapeados se encuentra el fondo arenoso, con una amplia extensión en el sector noreste de cabo Blanco.

Figura 22. Fondos Marinos, Reserva Natural Cabo Blanco



Pacífico Central Parque Nacional Manuel Antonio (PNMA) y Parque Nacional Marino Ballena (PNMB)

Según Cortes y Murillo (1985) en el pacífico de Costa Rica hay presencia de comunidades coralinas que se caracterizan por ser aisladas y rara vez se encuentran formaciones arrecifales, en general la costa es pobre en especies coralinas. Es importante notar como lo hacen los autores que entre los años 1982 y 1983 el fenómeno del Niño causó un recalentamiento en las aguas del pacífico, lo que produjo una muerte masiva de los corales.

Según un estudio de Jiménez y Cortez (2001) nuevamente en los años 1991-1992 durante otro recalentamiento efecto del Niño, las comunidades coralinas de tres lugares que incluyen el PNMA y PNMB presentaron blanqueamiento del más del 50% de la comunidad coralina. Aproximadamente el 66% de los corales muertos eran *Psammocora* spp., el resto eran especies masivas (*Porites lobata*, *Pavona* spp.) y ramificadas (*Pocillopora* spp.). El efecto de este calentamiento tan cercano al evento de 1985 se considera serio ya que la recuperación de las comunidades coralinas es lenta y hay un aumento de disturbios causados por el hombre que van a afectar la recuperación de estos sistemas.

Parque Nacional Manuel Antonio (PNMA)

Según ACOPAC-INBio (2005) el área del Parque Nacional Manuel Antonio (PNMA) en la porción terrestre se estimó en 1. 612 hectáreas mientras que en la porción marina se estimaron 42. 016 hectáreas y es el mejor ejemplo del servicio ambiental belleza escénica que tiene el sistema de las áreas protegidas de Costa Rica.

La belleza escénica del PNMA se debe a su topografía que incluye costas rocosas, playas arenosas, planicies y colinas siendo el punto máximo de elevación los 160 m.s.n.m. En el sector marino del parque, específicamente frente a la costa se encuentran 12 islotes con alturas no mayores a 50 m. ACOPAC-INBio (2005).

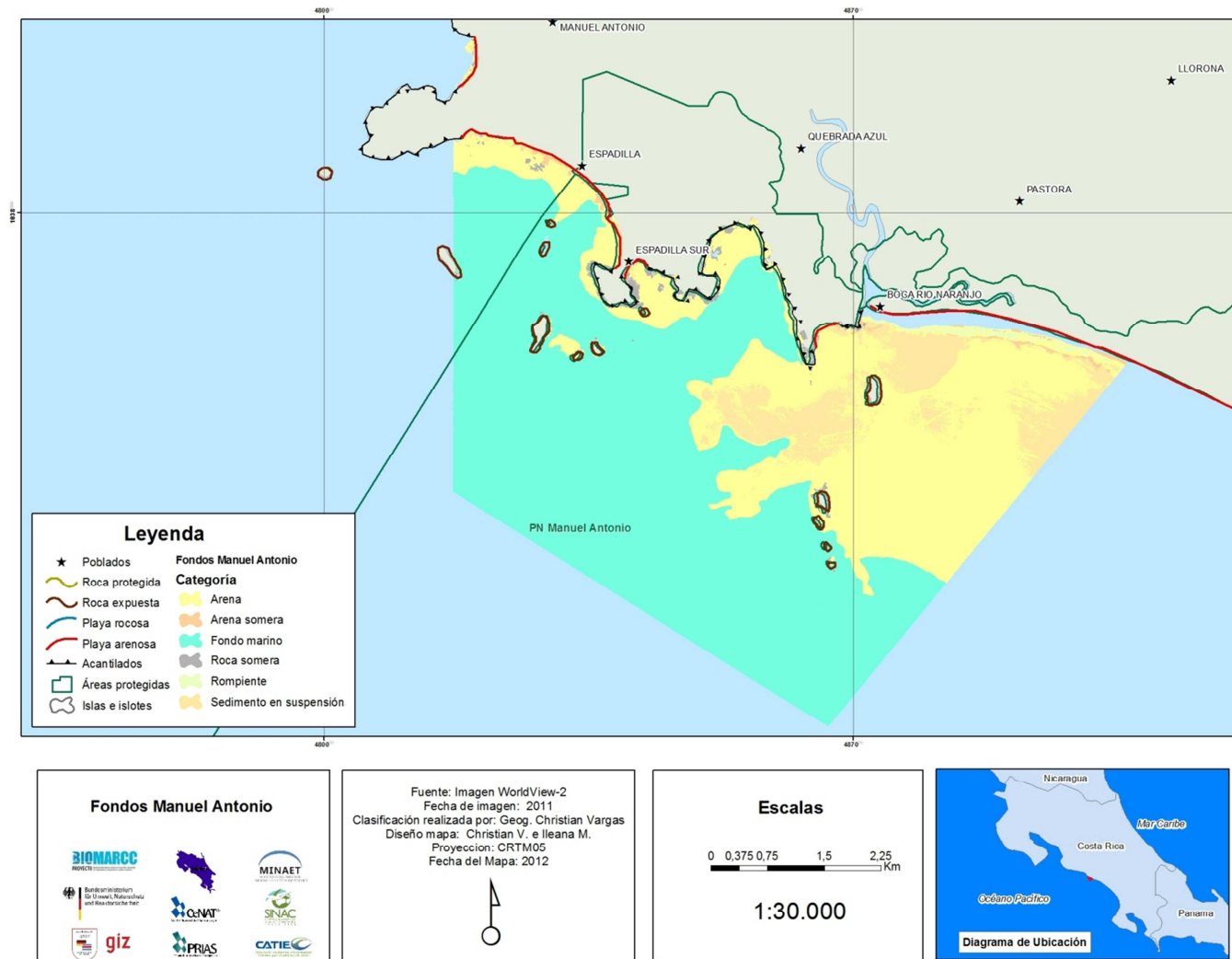
Solano y Villalobos describen el tipo de clima de la región como lluvioso con influencia monzónica, con una periodo lluvioso severo y largo, a partir de mayo y hasta finales de año, y un periodo seco y moderado de enero a abril, la temperatura promedio es de 26.7 °C.

Cortes y Murillo (1985) en su estudio encontraron en el PNMA algunos individuos aislados de *Pocillopora capitata* Verrill, *Pocillopora damicornis* (Linnaeus), *Porites lobata* Dana y *Psammocora stellata* Verrill. En este estudio se reporta la pérdida de cuatro especies de coral reportadas anteriormente por lo que se habla de la pérdida del 50% de la diversidad del área. Aparte de la muerte de los corales por el calentamiento durante el evento del Nino, se reporta un aumento en los sedimentos provenientes de las áreas aledañas al parque que se deforestaron para establecer cultivos.

En las inmersiones realizadas para comprobar los tipos de fondo presentes en ésta zona se encontró presencia de corales gorgonia y pavona, fondos arenosos y algunos sectores con roca. En el mapa final se refleja la arena presente cerca de la desembocadura del rio Naranjo y las rocas encontradas cerca de puerto escondido.

Es importante tomar en cuenta el gran desarrollo de infraestructura turística que existe actualmente en los alrededores del parque además, del desarrollo agrícola en otras colindancias del parque con cultivos extensivos como palma aceitera, y estacionales como el arroz, que aíslan al PNMA y evitan que tenga conectividad con otras áreas naturales. Toda esta actividad antropogénica va a afectar los recursos naturales que posee el parque si no se establece un cuidadoso plan de manejo de los recursos.

Figura 23. Fondos Marinos, Parque Nacional Manuel Antonio



Parque Nacional Marino Ballena

Este parque nacional tiene una extensión de 110 hectáreas terrestres y 5.375 hectáreas marinas. Fue creado por Decreto Ejecutivo No. 19441-MIRENEM (Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas), del 14 de diciembre de 1989.

De acuerdo con Claudine et al. 2003 el parque es creado para proteger y conservar el ecosistema marino de Punta Uvita y el área sur con el fin que el hábitat presente no se afecte ya que es un sitio importante de reproducción y desove de las ballenas jorobadas que vienen del hemisferio norte (diciembre a abril) y hemisferio sur (julio a noviembre) principalmente.

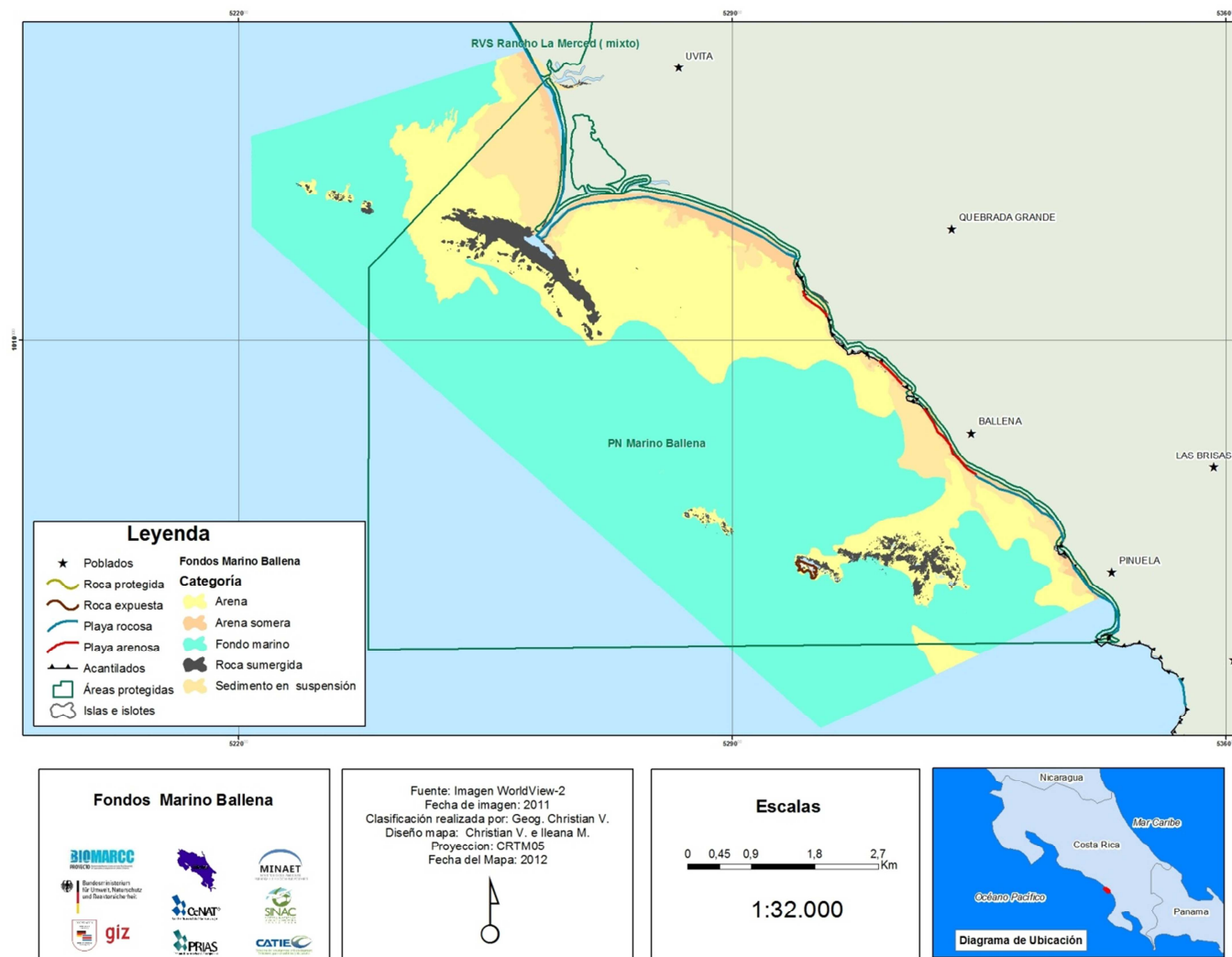
El estudio desarrollado para el (PNMB) ubica al parque entre la desembocadura del Río Moquetes y Punta Piñuelas en el distrito de Bahía Ballena del cantón de Osa. El parque está compuesto principalmente por área marítima, tiene un área terrestre compuesta por humedales, manglares y una serie de playas de especial belleza. El límite marítimo es una línea imaginaria que encierra el cordón de arrecifes rocosos formado por el tómbolo de Punta Uvita, Isla Ballena, Tres Hermanas y sus alrededores (Claudine et al. 2003).

Al igual que en el PNMA, el PNMB pertenece a la misma región climática establecidas por Solano y Villalobos que describen el tipo de clima de la región como lluvioso con influencia monzónica, con una periodo lluvioso severo y largo, a partir de mayo y hasta finales de año, y un periodo seco y moderado de enero a abril y la temperatura promedio es de 26.7 °C.

Según Claudine et al. 2003 en el PNMB se identifican cinco especies de coral *Dendrophyllia gracilis*, *Pocillopora damicornis*, *Porites lobata*, *Psammocora sp.* y *Tubastrea coccínea*, sin embargo, en el trabajo de campo realizado cerca del tómbolo y las rocas situadas hacia la sur-este del mismo, se encontraron corales como *Porites sp.*, *Posilopora sp.*, únicamente en la clasificación del mapa no se logra diferenciar estos corales de la roca marina.

Este parque está poco desarrollado para recibir turismo, que en su mayoría es nacional, por lo que se considera que está semi-explotado; sin embargo el desarrollo de infraestructura y el avance de la frontera agrícola son evidentes por lo que es necesario tomar acciones en el corto plazo para proteger adecuadamente el recurso presente en el parque.

Figura 24. Fondos Marinos, Parque Nacional Marino Ballena



VII. Clasificación de batimetría para imágenes worldview-2 en cinco áreas de estudio de la costa pacífica de Costa Rica.

Figura 25. Batimetría, Islas Murciélagos

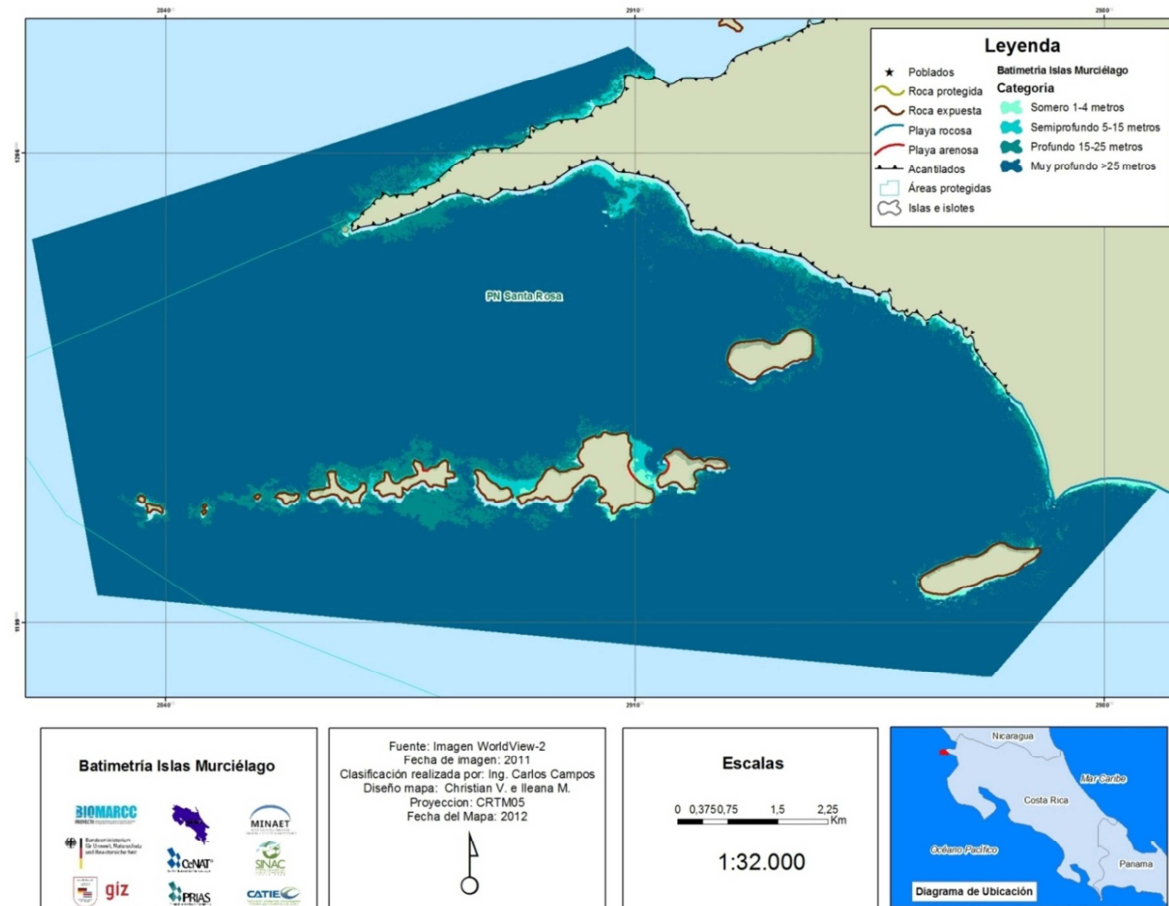


Figura 26. Batimetría, Bahía Santa Elena

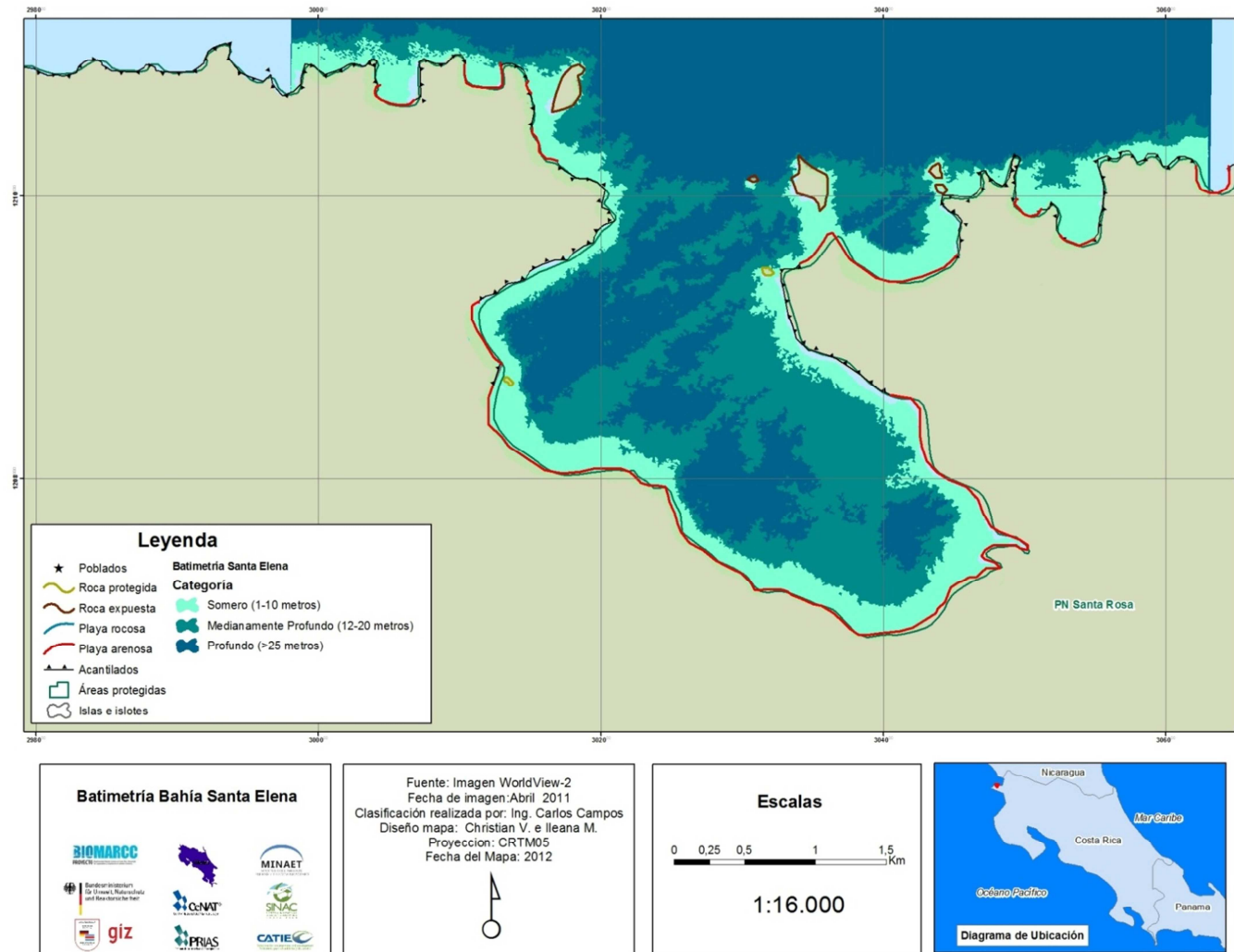


Figura 27. Batimetría, Reserva Natural Cabo Blanco

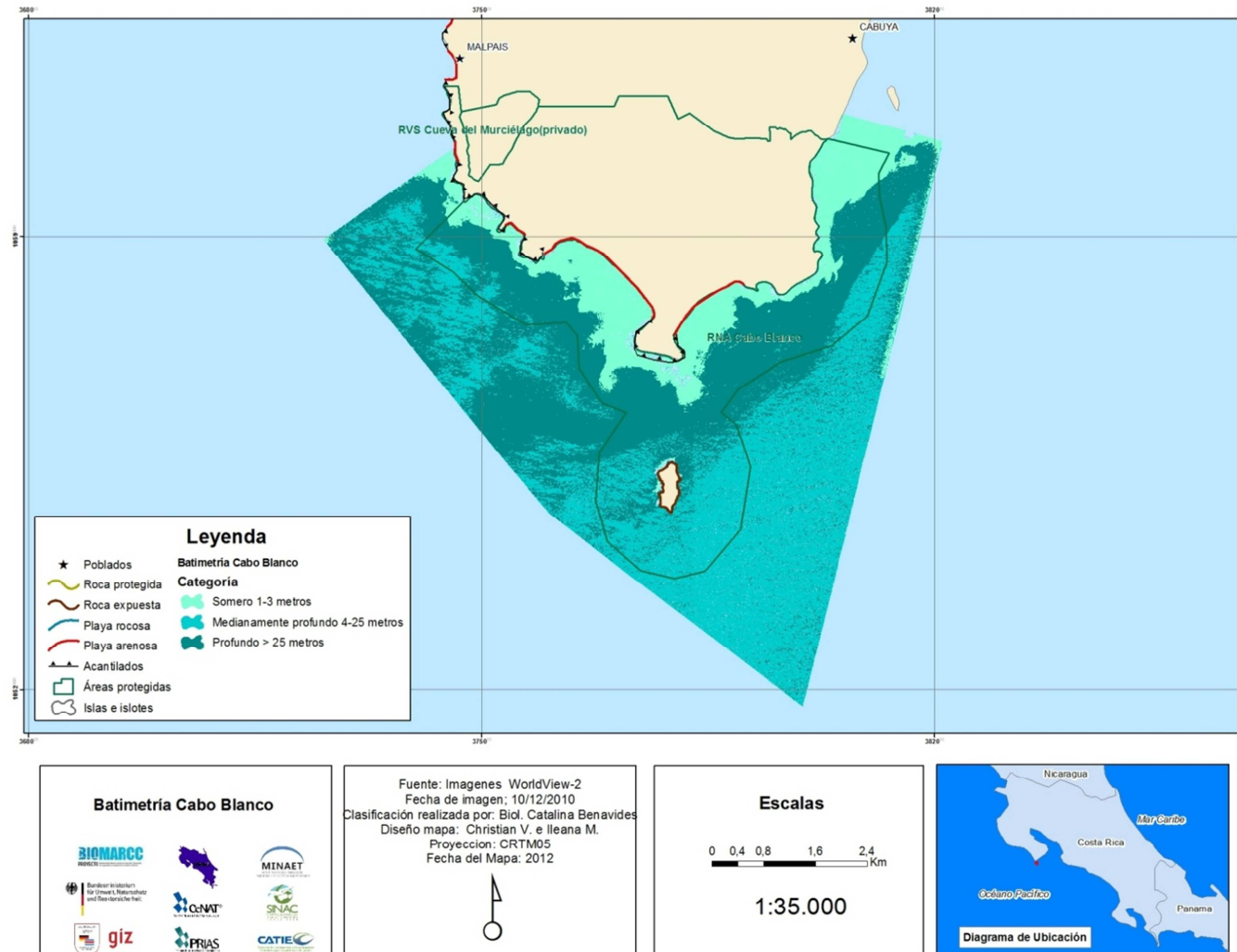


Figura 28. Batimetría, Parque Nacional Manuel Antonio

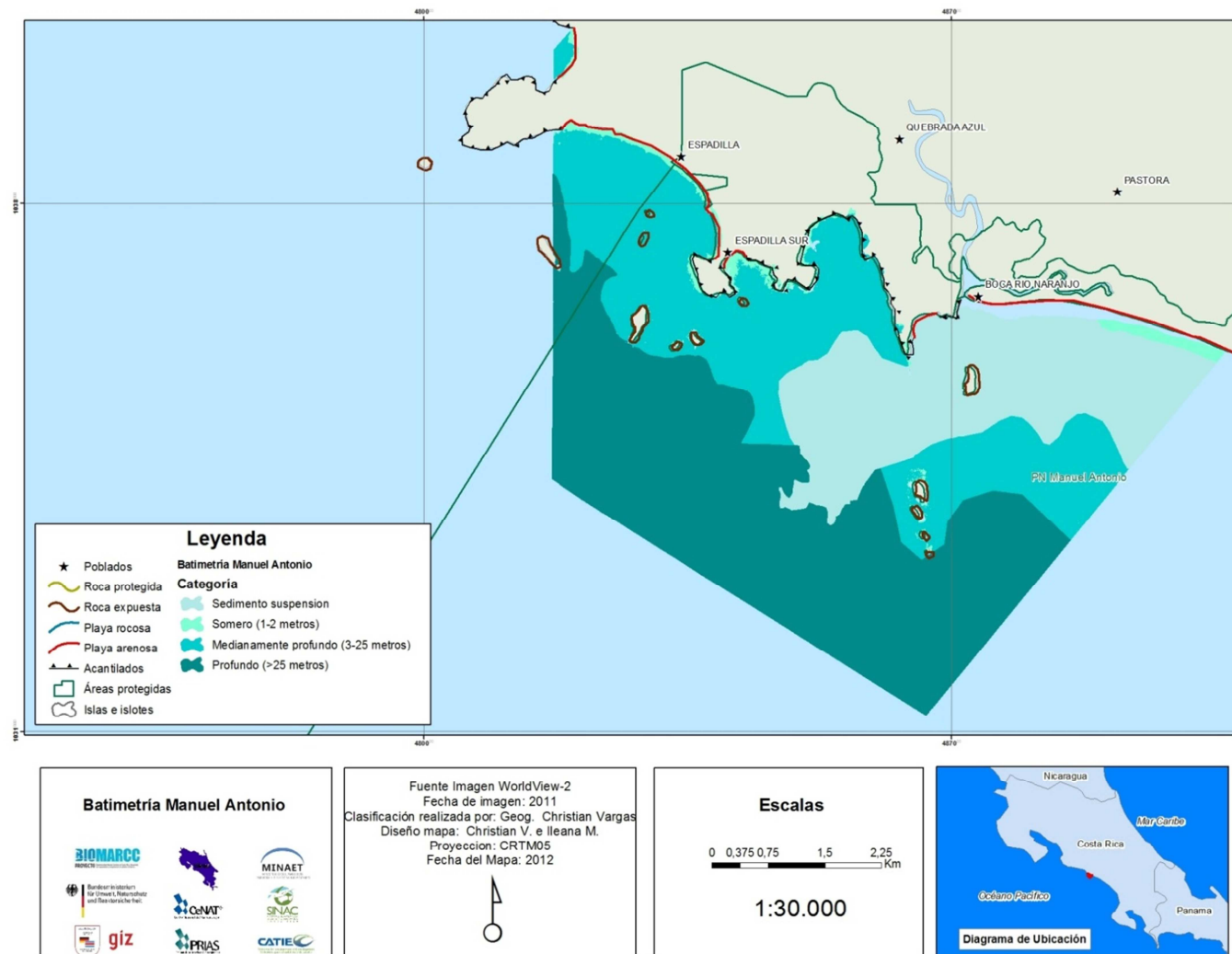
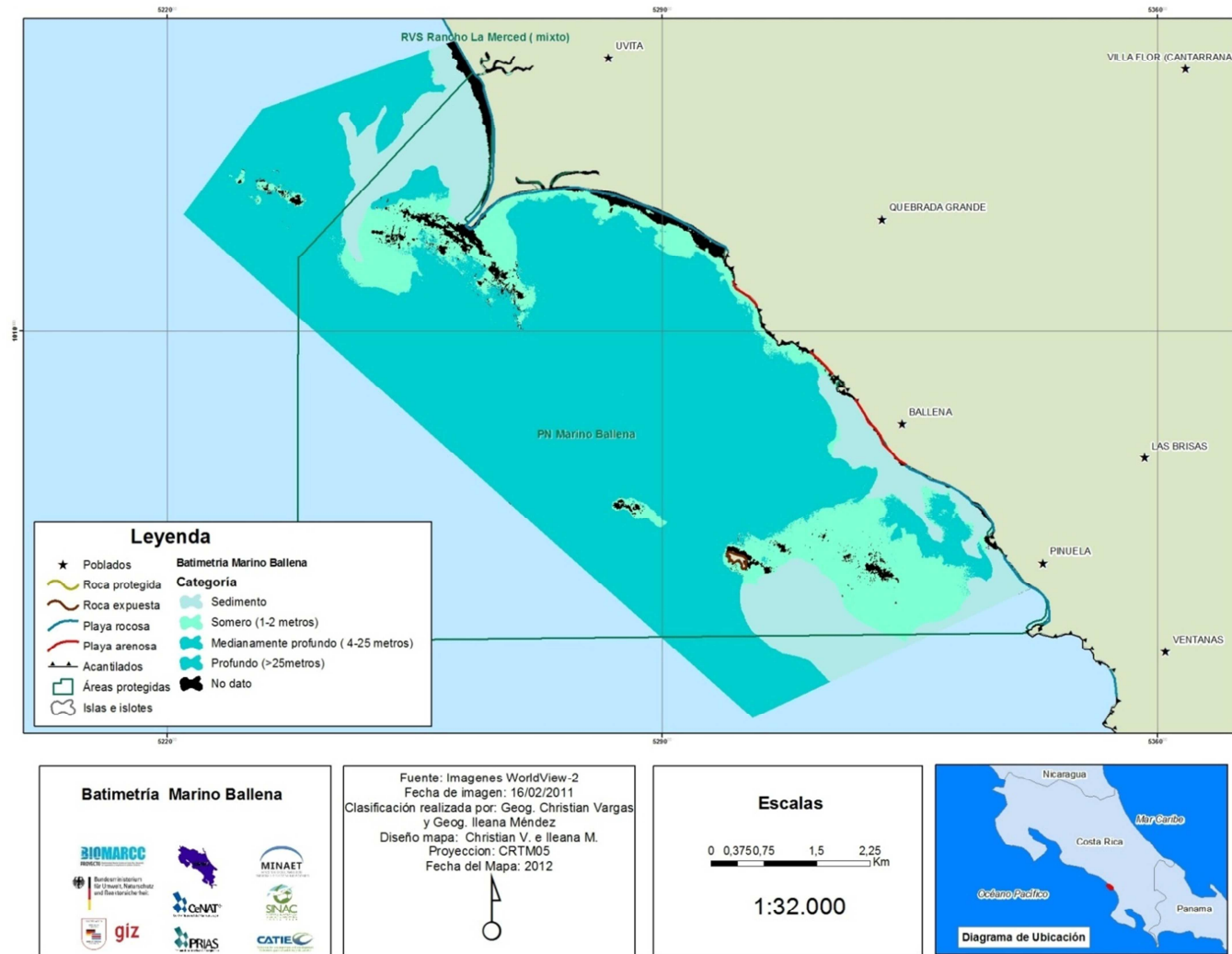


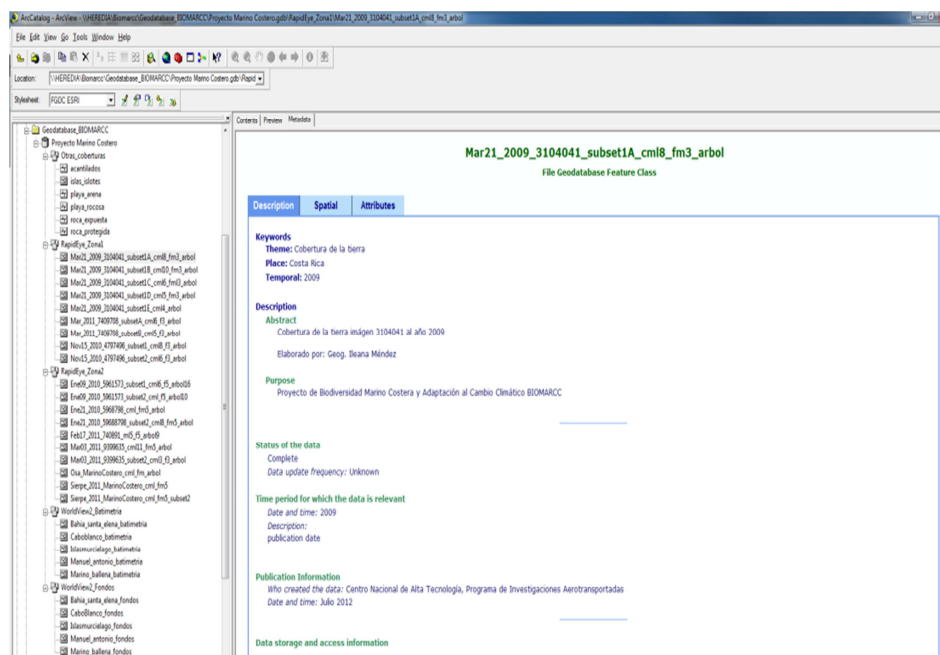
Figura 29. Batimetría, Parque Nacional Marino Ballena



Creación Geodatabase

A continuación se muestra en la figura 30 la estructura diseñada para el geodatabase del proyecto marino costero BIOMARCC; cada una de las coberturas incluidas en este posee su metadato.

Figura 30. Estructura de geodatabase y metadato



VIII. BIBLIOGRAFÍA

Acuña, J.; Cortés, J; & Murillo, M.. Mapa de sensibilidad ambiental para derrames de petróleo en las costas de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 44(3)/45(1): 463-470, 1996-1997.

American Psychological Association. (2009). Publication manual of the American Psychological Association. (6th ed.) Washington, DC: American Psychological Association. Recuperado de: <http://www.cibem.org/paginas/img/apa6.pdf>

Banichevich, A.; Castro, V. 1999. Imágenes satelitales en la predicción de eventos esporádicos de escala sinóptica: Antecedentes del huracán César como un evento sinóptico. *Top. Meteor. Oceanog.* 6(2):1-6.

Chavarria, Maria; Noches, Lidia. 2010. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010. Informe Nacional: Costa Rica. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) - FAO. San Jose, CR. 80 p.

Chuvieco, E. (2010). Teledetección ambiental. Ariel, primera edition.

Claudine Sierra, D. Vartanián y J. Polimeni 2003. Caracterización social, económica y ambiental del Área de Conservación Osa. Ministerio del Ambiente. San José.

Cortés, J. & C. Jiménez. 2003. Coral and coral Reefs of the Pacific of Costa Rica: history, research and status, p. 361-385. In J. Cortés (ed.). In *Latinamerican Coral reefs*. Elsevier Science, Amsterdam, Holanda.

Cortés, J. 1996. Comunidades coralinas y arrecifes del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 44 (3)/45(1); 623-625, 1996-1997.

Cortés, J. y Murillo, M. 1985. Comunidades coralinas y arrecifes del Pacífico de Costa Rica. *Biología Tropical* 33(2): 197-202.

Denyer, P. & S. Kussmaul. 2001. Geología de Costa Rica. Tecnológica de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 520 p.

Denyer, P.; Cortés, J.; Cárdenes, G. 2005. Hallazgo de dunas fósiles de final del Pleistoceno en las Islas Murciélagos, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 33: 29-44.

Fiedler, P.C., 2002. The annual cycle and biological effects of the Costa Rica Dome.- *Deep-Sea Res.* 49: 321-338

Glynn, P.W., E.M. Druffel & R.B. Dunbar. 1983. A dead Central America coral reef tract: possible link with the Little Ice Age. *J. Mar. Res.* 41: 605-637.

Graham, L.; Graham J., Lee, W. 2009. *Algae*. Graham, L.E. & Wilcox, L.W. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 616 p.

Hofmann, E.; Busalacchi, A.J. & O'Brien, J.J., 1981. Wind generation of the Costa Rica Dome.- *Science*, 214: 552-554.

IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.

Imbach, Pablo. 2005. Fuente de datos usados para generar el modelo de elevación de Costa Rica. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. Turrialba, CR.

IMN (Instituto Meteorológico Nacional, CR); PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente); MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR); IGN (Instituto Geográfico Nacional, CR); DGF (Dirección General Forestal, CR), 1996: Atlas del Cambio de Cobertura de la Tierra en Costa Rica 1979-1992. San José, CR. 7 p.

Jiménez, C. y Cortés, J. 2001. Effects of the 1991-1992 El Niño on scleractinian corals of the Costa Rican central Pacific coast. *Biología Tropical*. 49. Supl. 2:239-250.

Lizano, O. s.f. Propiedades físicas del Agua de Mar. Tópicos de Oceanografía. Escuela de Física, Universidad de Costa Rica. San José, CR. 15 p.

Programa Panamericano de Defensa y Desarrollo de la Diversidad biológica, cultural y social, declaratoria de Cancún, 2002. Recuperado de: <http://www.prodiversitas.bioetica.org/doc80.htm>.

Solano, J. y Villalobos, R. Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. 32 p. Recuperado de: http://www.imn.ac.cr/publicaciones/estudios/Reg_climaCR.pdf

TNC. 2008. Evaluación de ecorregiones marinas en Mesoamérica. Sitios prioritarios para la conservación en las ecorregiones Bahía de Panamá, Isla del Coco y Nicoya del Pacífico Tropical Oriental, y en el caribe de Costa Rica y Panamá. Programa de Ciencias Regional, Región de Mesoamérica y el caribe. The Nature Conservancy, San José, CR. 165 p.

Zamora-Trejos, P. y Cortés, J. 2009. Los manglares de Costa Rica: El Pacífico norte. *Biología Tropical* 57 (3): 473-488. Epub 2009