

Cambios en la cobertura de la tierra en los puntos calientes de erosión costera en el caribe sur de Costa Rica, durante el periodo 2005 – 2017

Changes in land cover in coastal erosion hotspots in the southern Caribbean of Costa Rica during the period 2005-2017

Mudanças na cobertura terrestre nos pontos quentes de erosão costeira no Sul do caribe da Costa Rica, no período entre 2005 e 2017


Luis Sandoval-Murillo¹ • Gustavo Barrantes-Castillo¹

Received: Jan/27/2020 • Accepted: Sep/6/2020 • Published: Jul/31/2021

Resumen

Investigaciones realizadas en los últimos años han advertido sobre los efectos que generan los cambios en línea de costa sobre el espacio costero en el caribe sur de Costa Rica. El objetivo de la presente investigación es evaluar este efecto sobre las coberturas de la tierra en la costa del caribe sur de Costa Rica. La metodología empleada consiste en el levantamiento y comparación de las coberturas de la tierra en los años 2005 y 2016 (con verificación en campo para el año 2017) en una franja costera de 200 m de ancho a partir de fotografías aéreas de gran escala por medio de álgebra de mapas en ArcGis. Adicionalmente se establecen las coberturas afectadas por erosión costera determinada para los años 2005-2010 y 2010-2016, por medio de superposición de estas con las coberturas de la tierra del año 2005, permitiendo identificar qué áreas pasaron de ser playa a otro tipo de uso en los sectores de Cieneguita -Aeropuerto, Westfalia, Bananito, Cahuita- Puerto Vargas, Manzanillo y Sixaola. Los resultados obtenidos indican que en los segmentos Cieneguita-Aeropuerto, Westfalia, Bananito, Manzanillo y Sixaola- el principal cambio en las coberturas fue de playa por mar, con reajustes en otros tipos de coberturas, mientras que en Cahuita - Puerto Vargas el principal cambio fue de bosque a mar. En el segmento Cieneguita-Aeropuerto se presenta un aumento en la cobertura urbana, que eleva el riesgo por erosión costera, además de un aumento en la exposición de bienes de índole público. Se concluye que los efectos de la erosión costera ocurrida en puntos críticos en el Caribe Sur han inducido a cambios en las coberturas de la tierra, en su mayoría las playas, pasto y vegetación costera son los más afectados al ser cambiados por superficies ocupadas por el mar, con excepción del Parque Nacional Cahuita donde de bosque de alta y baja densidad está retrocediendo frente al mar.

Palabras clave: Cobertura de la tierra; Erosión costera; Línea de costa; Caribe sur; Costa Rica

Luis Sandoval-Murillo, ✉ lsandoval@una.cr,  <https://orcid.org/0000-0002-8325-1117>

Gustavo Barrantes-Castillo, ✉ gustavo.barrantes.castillo@una.cr,  <https://orcid.org/0000-0003-2130-8883>

¹ Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.



Abstract

Studies conducted in recent years have warned us about the effects generated by changes in the coastline along the Southern Costa Rican Caribbean coast. The objective of this research is to evaluate this effect on land cover along the southern Costa Rican Caribbean coast. The methodology used consisted of surveying and comparing land cover from 2005 and 2016 (with field verification for 2017) along a 200 m wide coastal strip based on large-scale aerial photographs using ArcGis Map Algebra. In addition, covers affected by coastal erosion during the 2005-2010 and 2010-2016 periods are established by overlapping them with 2005 land covers, which helped identify the areas that changed from a beach to another type of use in the Cieneguita-Airport, Westfalia, Bananito, Cahuita-Puerto Vargas, Manzanillo, and Sixaola sectors. Results obtained indicate that, in the Cieneguita-Airport, Westfalia, Bananito, Manzanillo, and Sixaola segments, the main cover change was from beach to sea, with readjustments in other types of cover, while in Cahuita-Puerto Vargas the main change was from forest to ocean. In the Cieneguita-Airport segment, urban cover increased, which raises the risk of coastal erosion and public goods exposure. It is concluded that the effects of coastal erosion that occurred in critical points along the southern Caribbean have changed land cover. Beaches, grass, and coastal vegetation are the most affected since they are changed by sea surfaces, except for Cahuita National Park, where the ocean is eroding high- and low-density forests.

Keywords: Land cover; coastal erosion; coastline; Southern Caribbean; Costa Rica

Resumo

Pesquisas realizadas nos últimos anos advertiram sobre os efeitos geradores de mudanças na linha costeira sobre o espaço costeiro no Sul do caribe da Costa Rica. A presente pesquisa tem como objetivo avaliar este efeito sobre as coberturas terrestres na costa Sul do caribe deste país. A metodologia empregada consiste no levantamento e na comparação da cobertura terrestre em 2005 e 2016 (com verificação no terreno para o ano de 2017) em uma faixa costeira de 200 m de largura a partir de fotografias aéreas de grande escala mediante a álgebra de mapas em ArcGis. Adicionalmente, são estabelecidas as coberturas afetadas pela erosão costeira determinada para os anos 2005-2010 e 2010-2016, por meio de sua sobreposição com as coberturas terrestre de 2005, permitindo identificar quais áreas passaram de ser praia a outro tipo de uso nos setores de Cieneguita-Aeroporto, Westfalia, Bananito, Cahuita- Puerto Vargas, Manzanillo e Sixaola. Os resultados obtidos indicam que nos segmentos Cieneguita-Aeroporto, Westfalia, Bananito, Manzanillo e Sixaola- a principal mudança na cobertura terrestre foi de praia a mar, com reajustes em outros tipos de coberturas, enquanto em Cahuita - Puerto Vargas, a principal mudança foi de floresta a mar. No segmento Cieneguita-Aeroporto apresenta um aumento na cobertura urbana, que eleva o risco por erosão costeira, além de um aumento na exposição de bens de índole público. Conclui-se que os efeitos da erosão costeira verificada em pontos críticos no Sul do caribe levaram a mudanças nas coberturas terrestres e, em maior parte, as praias, o pasto e a vegetação costeira são os mais afetados, sendo modificadas por superfícies ocupadas pelo mar, exceto o Parque Nacional Cahuita onde o bosque de alta e baixa densidade está retrocedendo em frente ao mar.

Palavras-chave: cobertura terrestre; erosão costeira; linha costeira; Sul do caribe; Costa Rica



INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras se constituyen en áreas con una amplia dinámica socio-natural, donde la caracterización de la cobertura de la tierra y sus transformaciones a través del tiempo informa sobre las actividades socioeconómicas que se desarrollan en estos espacios (Rujoiu-Mare & Mihai, 2016), así también sobre las problemáticas ambientales que presentan. Es importante diferenciar entre cobertura de la tierra y uso de la tierra porque, de acuerdo con Mather (1986) y Pineda & Principi (2019), es frecuente confundir ambos términos. La cobertura de la tierra se refiere a la descripción física de la capa superficial de la tierra, lo que incluye vegetación, áreas sin vegetación y zonas humanas; el uso de la tierra, por su parte, se refiere a la caracterización de las actividades humanas presentes, centrándose en factores socioeconómicos que modifican, manejan, conservan y usan los tipos o estados de coberturas de la tierra (Ramírez, 2001; Richters, 1995).

Lo anterior permite establecer relaciones espaciales en diferentes ámbitos, como el uso y aprovechamiento de los espacios costeros y las transformaciones naturales del entorno, como es el tema de la presente investigación, donde se aborda la cobertura de la tierra y sus cambios en puntos calientes de erosión costera en el Caribe sur de Costa Rica. Esta relación entre cobertura de la tierra y los procesos erosivos costeros permite establecer el grado de afectación hacia las actividades humanas, en asocio con las dinámicas de los cambios en las coberturas de la tierra, procesos que presentan una interacción tanto natural como social, donde esta última genera modificaciones más aceleradas en el tiempo, al pasar de entornos poco transformados a espacios más artificiales.

Las zonas costeras o áreas litorales corresponden a la franja resultante de la interacción de la naturaleza y las actividades humanas con la influencia del mar (Barragan, 2003). Estas áreas se pueden descomponer en una serie de subsistemas como lo son el biofísico, socioeconómico y el jurídico-administrativo, y presentan una serie de problemas particulares. Desde el punto de vista biofísico, los cambios en la línea de costa provocan problemas como la pérdida de sedimentos de las playas, la salinización de humedales costeros, la muerte de la vegetación costera, la sedimentación de pastos marinos y arrecifes, entre otros. En el subsistema socioeconómico, el cambio de la línea de costa puede afectar el uso residencial, aumentar la sedimentación en puertos, modificar la pesca y las actividades turísticas y transformar el paisaje costero, entre otros. En cuanto al subsistema jurídico-administrativo hay que tomar en cuenta lo establecido en la Ley de Zona Marítimo Terrestre, que establece límites estáticos a una zona que está experimentando fuertes transformaciones, como, por ejemplo, el retroceso de la playa, lo cual puede poner en inseguridad jurídica el otorgamiento de concesiones de la zona restringida. La zona costera del Caribe sur de Costa Rica posee una gran riqueza natural con la presencia de lagunas, esteros, manglares y arrecifes coralinos, entre otros; así mismo, la ocupación de la tierra ha estado ligada a la costa, con la presencia de puertos, atracaderos, comunidades costeras, la pesca y los servicios turísticos asociados, recursos naturales y culturales; no obstante, se presentan importantes rezagos en materia de desarrollo y pobreza. Por esta combinación particular se ha seleccionado esta zona costera para su estudio.

Conjuntamente, situaciones como el aumento relativo del nivel medio del mar



relacionado al cambio climático, la geodinámica local (levantamiento o subsidencia del terreno), así como otras causas más directamente relacionadas con las acciones humanas, como lo son el relleno de litorales, la construcción de infraestructura sobre la costa, los cambios que han sufrido las cuencas de drenaje y la construcción de represas, pueden alterar el balance de sedimentos necesario para mantener las playas (Posada & Henao, 2008). Lo que se expresa con erosión de playas arenosas.

Los cambios en las coberturas de la tierra son derivados de la sinérgica de múltiples factores endógenos y exógenos que interactúan desde diferentes niveles y se encuentran relacionados con cambios ambientales, económicos, poblacionales y de las políticas públicas, (Nene Preciado, González Sansón, Mendoza Cantú, & Silva Bátiz, 2017). En el caso específico de las zonas costeras, la interacción de los componentes naturales y sociales hacen de este uno de los ambientes más frágiles del hábitat terrestre, donde se producen importantes transformaciones, asociadas al avance de infraestructura vial y la residencial y los sistemas productivos. Actividades que propician procesos erosivos costeros y sufren las consecuencias de estos. De acuerdo con Silva *et al.*, (2014), en América Latina, la erosión costera no es un problema generalizado, sin embargo, se encuentra extendida y resulta ser un inconveniente grave en determinados sitios, pues afecta la infraestructura que se localiza en áreas donde antes predominaban usos naturales.

Estas condiciones que se reflejan en las áreas costeras, al ser sometidas a un crecimiento continuo de actividades humanas, acciones que generan una mayor presión y necesidad de espacios para la localización de infraestructura, que en algunos casos se

asienta en sitios no aptos. De acuerdo con Merlotto y Bértola (2008), a medida que los cambios y alteración del medio natural se van produciendo, se reduce la capacidad de absorción del medio natural y se altera el equilibrio preexistente. La identificación de los procesos de cambio en la cobertura de la tierra, a lo largo del tiempo, puede vincularse con los procesos de erosión costera. Estos procesos se afectan mutuamente, por un lado, impulsando cambios en la cobertura de la tierra y, por otro, desequilibrando el balance de sedimentos que mantiene la arena en las playas.

En el caso del caribe costarricense, Lizano (2013) reporta procesos de erosión en playas que se encuentran en áreas protegidas y sitios turísticos de la costa, lo cual afecta, con gran intensidad, el Parque Nacional Cahuita, al pasar de cobertura boscosa o áreas ocupadas por playa o el mar (La Nación, 2010). Esta investigación se basa en el trabajo realizado por Barrantes, Arozarena, Sandoval y Valverde (2020), por medio del cual se reporta la existencia de 11 puntos calientes de erosión costera (sitios costeros donde se registran tasas aceleradas de erosión) en el caribe sur. A partir de estos sitios, en la presente investigación se pretenden caracterizar las coberturas y sus cambios en la costa, para comprender la vinculación entre estos dos procesos, en el periodo 2005 – 2017.

METODOLOGÍA

Área de estudio

En un contexto general Costa Rica se ubica en América Central, cuenta con costas en el Océano Pacífico y en el Mar Caribe. La costa caribe tiene una extensión aproximada de 220 km, casi cinco veces

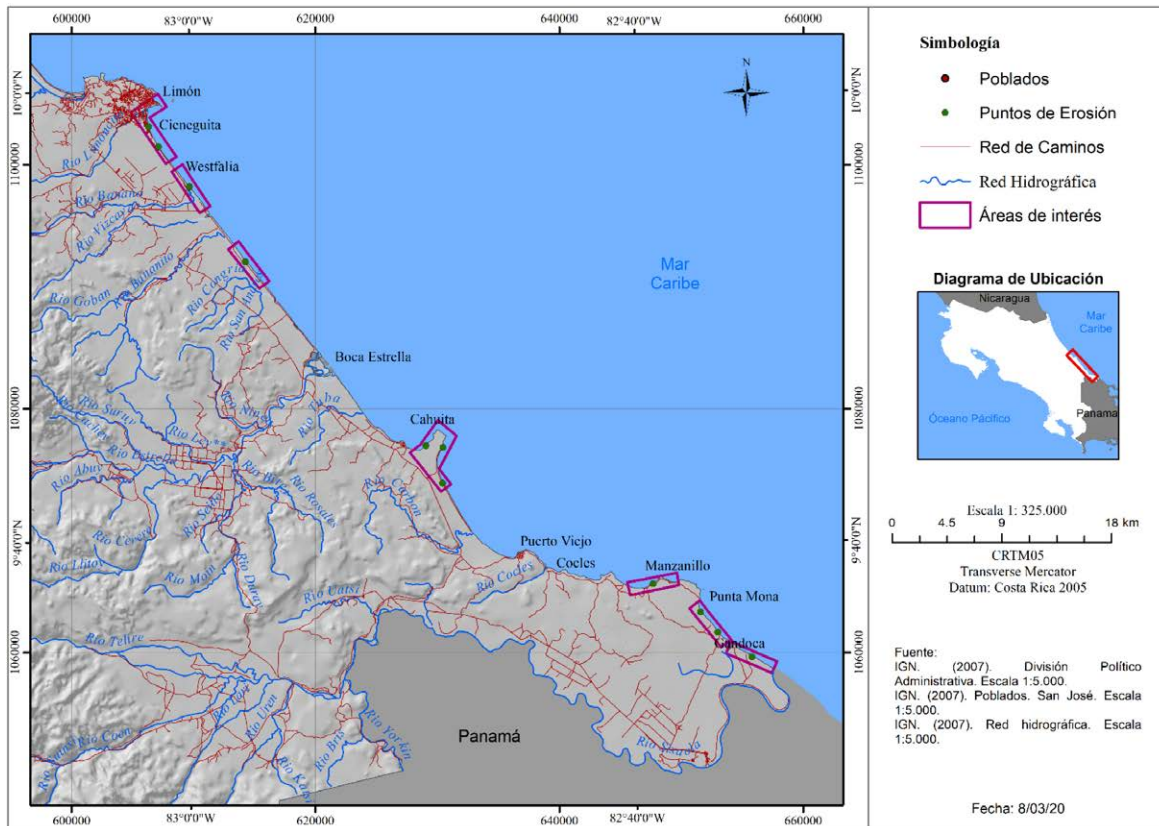


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Elaboración propia de la investigación.

menor que la costa pacífica (Vargas, 2006), debido, por un lado, a las fronteras establecidas con Nicaragua al norte y con Panamá al sur, así como a una configuración más rectilínea de la costa caribe. El área de estudio se localiza en la provincia de Limón, se extiende desde la ciudad de Limón (al sur del centro urbano) hasta la desembocadura del río Sixaola (frontera con Panamá). Se ubica entre las siguientes coordenadas geográficas -83.034864 W, -82.564229 W, 9.993417 N y 9.570096 N (Figura 1), abarca la línea de costa de los distritos de Limón, Matina, Valle de la Estrella, Cahuita y Sixaola. Es importante destacar la presencia de áreas protegidas en esta área, como lo son el Parque Nacional Cahuita, el Refugio de Vida Silvestre Gandoca – Manzanillo,

la Reserva Indígena Keköldi, además de la presencia de desembocaduras de importantes sistemas fluviales como el río Banano, Estrella y Sixaola.

El área de estudio abarca una franja costera de 200 m de ancho a partir de la línea de costa, para coincidir, grosso modo, con la zona restringida establecida en la Ley de zona marítima terrestre definida como: “una franja de doscientos metros de ancho a todo lo largo de los litorales Atlántico y Pacífico de la República, cualquiera que sea su naturaleza, medidos horizontalmente a partir de la línea de la pleamar”, establecidos en Ley n.o 6043.

Con respecto al clima el Caribe, se caracteriza por no presentar una estación seca definida, mostrar dos periodos en que



disminuyen las precipitaciones, el primero de febrero a marzo y el segundo entre septiembre y octubre (IMN, 2017). Herrera (1986) clasifica el clima del caribe sur como húmedo caliente con estación seca corta.

Proceso metodológico

Para la definición del área a representar, se utilizaron como referencia los puntos críticos por erosión costera, identificados en el caribe sur de Costa Rica, durante el periodo 2005-2016 (Barrantes *et al.*, 2020). De acuerdo con estos autores, los sitios críticos son: a) Cieneguita, b) Aeropuerto, c) Westfalia, d) Cahuita, e) Puerto Vargas, f) Manzanillo y g) Sixaola (Figura 1). Para la generación de las

capas en formato shapefile de coberturas de la tierra se utilizaron dos fuentes de información: La primera correspondiente al mosaico de ortofotos del año 2005 a escala 1:5 000, con una resolución espacial de 0.5 m (del proyecto BID-Catastro), la segunda las ortofotos del año 2016 a escala 1:1 000, con resolución espacial de 0.1 m propiedad de la CNE. La información suministrada presentaba los procesos previos de ortorrectificación, por lo que se enfocó únicamente en las etapas de fotointerpretación, digitalización por medio del software ArcGis y verificación en campo en diciembre del 2017. Las categorías de coberturas de la tierra definidas a partir de las ortofotos se representan y definen en la Tabla 1.

Tabla 1. Definición de las categorías de la cobertura de la tierra

| Categorías generales | Caracterización |
|---|---|
| Bosque alta densidad (Natural) | Ecosistemas boscosos caracterizados por un dosel abundante que limita la luminosidad en el estrato herbáceo y arbustivo, que presenta una limitada presencia de actividad antrópica, se identifican en las imágenes como áreas con alta densidad del dosel. |
| Bosque baja densidad (Natural) | Bosques que presentan una contundente intervención humana, generados por procesos de regeneración natural, después de eliminarse total o de forma selectiva el bosque primario, debido a actividades antrópicas o por eventos naturales. |
| Bosque en regeneración (Natural) | Áreas en procesos de regeneración natural, después de eliminarse total o de forma selectiva el bosque primario, debido a actividades antrópicas o por eventos naturales. |
| Vegetación costera (Natural) | Vegetación propia de la zona de transición entre un medio acuático y un medio terrestre. |
| Vegetación anegada (Natural) | Se presenta en lugares planos, donde los suelos pasan saturados varios meses del año debido a las altas precipitaciones. |
| Cuerpo de agua (Natural) | Superficie cubierta por agua tanto de forma natural como artificial. |
| Pasto (No Natural) | Eliminación parcial (menos del 50 %) de los árboles y reemplazo por vegetación de gramíneas debido a razones antrópicas, especialmente ganadería extensiva. |
| Cultivos (No natural) | Son áreas con ocupación agrícola que puede ser permanente o estacional. |
| Urbano – infraestructura dispersa (No natural) | Está representados por la ocupación urbano- residencial, acompañado de servicios públicos institucionales, industrial, comercial y de recreación como plazas, así como la presencia de residencia dispersas espacialmente. |
| Playa (Natural) | Zona de acumulación de arenas y otros sedimentos, en mares, ríos y lagos, con superficie plana o con ligera pendiente. |
| Mar (Natural) | Masa de agua salada que cubre parte de la superficie terrestre |

Nota: Adaptado de Morera y Sandoval (2013).



Tabla 2. Matriz de cambios de la cobertura de la tierra

| Categorías | Año 2016 | C 1 | C 2 | C 3 | C 4 | C 5 | C 6 | C 7 | C 8 |
|------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Año 2005 | Peso | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
| C 1 | 1 | 101 | 201 | 301 | 401 | 501 | 601 | 701 | 801 |
| C 2 | 2 | 102 | 202 | 302 | 402 | 502 | 602 | 702 | 802 |
| C 3 | 3 | 103 | 203 | 303 | 403 | 503 | 603 | 703 | 803 |
| C 4 | 4 | 104 | 204 | 304 | 404 | 504 | 604 | 704 | 804 |
| C 5 | 5 | 105 | 205 | 305 | 405 | 505 | 605 | 705 | 805 |
| C 6 | 6 | 106 | 206 | 306 | 406 | 506 | 606 | 706 | 806 |
| C 7 | 7 | 107 | 207 | 307 | 407 | 507 | 607 | 707 | 807 |
| C 8 | 8 | 108 | 208 | 308 | 408 | 508 | 608 | 708 | 808 |

Sin cambio

Abreviaturas

- C 1 = Vegetación anegada
- C 2 = Vegetación costera
- C 3 = Bosque baja densidad
- C 4 = Playa

Nota: Fuente propia de la investigación.

Con cambio

- C5 = Cuerpo de agua
- C 6 = Pasto
- C 7= Cultivos
- C 8 = Infraestructura residencial

Como el propósito de esta investigación es caracterizar los cambios en la cobertura de la tierra en relación con los procesos erosivos registrados, se definió un área de trabajo de 200 m desde la línea de costa hacia tierra, para hacer la comparación temporal. Para su generalización las clases de cobertura se reclasificaron en dos categorías: Natural (N) y No natural (NN).

La fotointerpretación y digitalización de las categorías de la cobertura de la tierra se realizaron utilizando el software ArcGIS, a partir del cual se estructuró la tabla de atributos con los campos de uso y hectáreas para el año 2005 y año 2017. Estos datos facilitaron la creación de gráficos para calcular numéricamente la superficie en cada año. Con respecto a los cambios en la cobertura de la tierra entre el año 2005 y el año 2017, se establecieron a partir de la asignación de pesos o códigos (Tabla 2), que permiten su diferenciación, y a su vez facilitan registrar los cambios ocurridos en el tiempo. Por

ejemplo: a una categoría de uso de vegetación anegada, para el año 2005, se le asigna en valor de 1 y a la categoría de uso de pasto para el año 2017, se asigna un valor de 600. Cuando ocurre un cambio de uso, que involucra estos últimos dos, por medio de la suma algebraica de mapas (sumando las tablas de ambas capas), se obtiene como resultado 601 (Tabla 2), lo que indica que anteriormente correspondía a vegetación anegada paso a ser pasto.

RESULTADOS

Cobertura de la tierra caribe sur de Costa Rica año 2005 – 2017

Sector Cieneguita – Aeropuerto

En el sector Cieneguita – Aeropuerto, la cobertura natural en el año 2005 estaba constituida por: bosque de baja densidad (21 ha), vegetación costera (2.41 ha), cuerpo de agua (1.45 ha), mar (0.18 ha) y playa (16.25

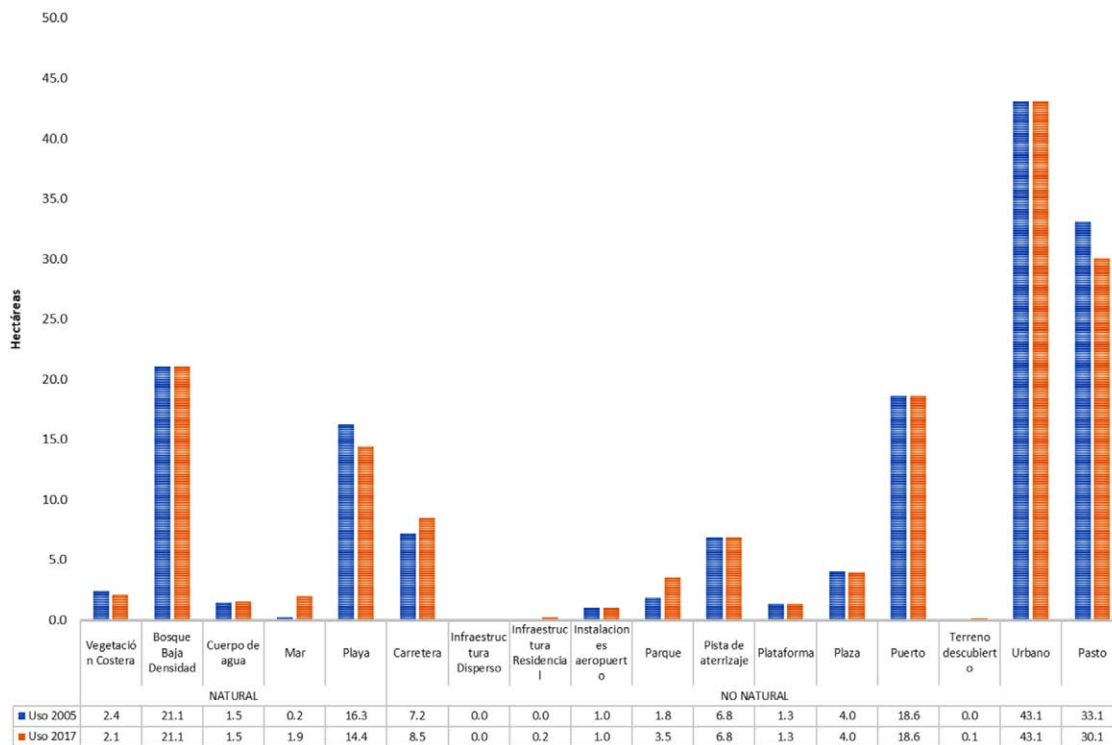


ha). Presentó cambios significativos en la superficie de las categorías playa y mar. La primera evidenció una disminución en su superficie en 1.84 ha y la segunda un incremento de 1.76 ha. A partir de estos datos es posible asumir que la mayor parte de la pérdida de playa se relaciona con un avance del mar hacia tierra (Figura 3 y Gráfica 1).

La clasificación en condición no natural, donde se engloban las actividades humanas, representó 117 ha (74 %) para el año 2005, con un incremento de 0.29 ha para el año 2017, aumento relacionado con espacios recreativos como parques y canchas (1.72 ha), residencias (0.17 ha) y carreteras (1.3 ha), sobre terrenos ocupados anteriormente por playa. Este cambio de la cobertura de la tierra se presenta en procura de reactivar económicamente la zona, con una inversión

de alrededor de 2 millones de dólares para la construcción de un bulevar, plazoletas, una ciclovía, canchas y juegos infantiles, por parte del gobierno central (Mora, 2015). No obstante, tanto las obras como las casas frente al mar se ven afectadas por oleaje severo, apenas un año después de su inauguración (Bosque, 2016a).

A partir de los datos brindados por Barrantes *et al.* (2020) se estima que la tasa de erosión en este sector para el periodo 2005 – 2016 fue de 0.39 ha/año, lo que se refleja en los datos aquí presentados y que llevó a la construcción de medidas de mitigación para proteger las obras expuestas (Figura 2), así como a la colocación de un dique de piedras para proteger la ciclovía en cienegueta.



Gráfica 1. Sector Cienegueta–Aeropuerto: Cobertura de la tierra periodo 2005 – 2017

Nota: Elaboración propia a partir de la cobertura de la tierra año 2005 – 2017, generado en la investigación.



Sector Westfalia

El sector delimitado en Westfalia corresponde con 96 ha, superficie que correspondía a 69 ha (70 %) de cobertura natural para el año 2005 y 74 ha (77 %) para el año 2017. En este último año las categorías naturales que presentaron una disminución en superficie fueron: bosque baja densidad (1.3 ha), vegetación anegada (0.5ha) y en especial la playa (7 ha) (gráfica 2); por el contrario, ganaron superficie la vegetación costera (en 0.1 ha), el bosque en regeneración (en 2.6 ha), cuerpos de agua (en 3.2 ha) y mar (en 7.7 ha). Nuevamente, en este caso, la playa



Figura 2. Sector Aeropuerto: Instalación de gaviones. Tomada en campo 6 diciembre 2017.

parece retroceder principalmente en favor del mar (5.7 ha), pero también se recupera un sector con bosque en regeneración (2.6 ha),

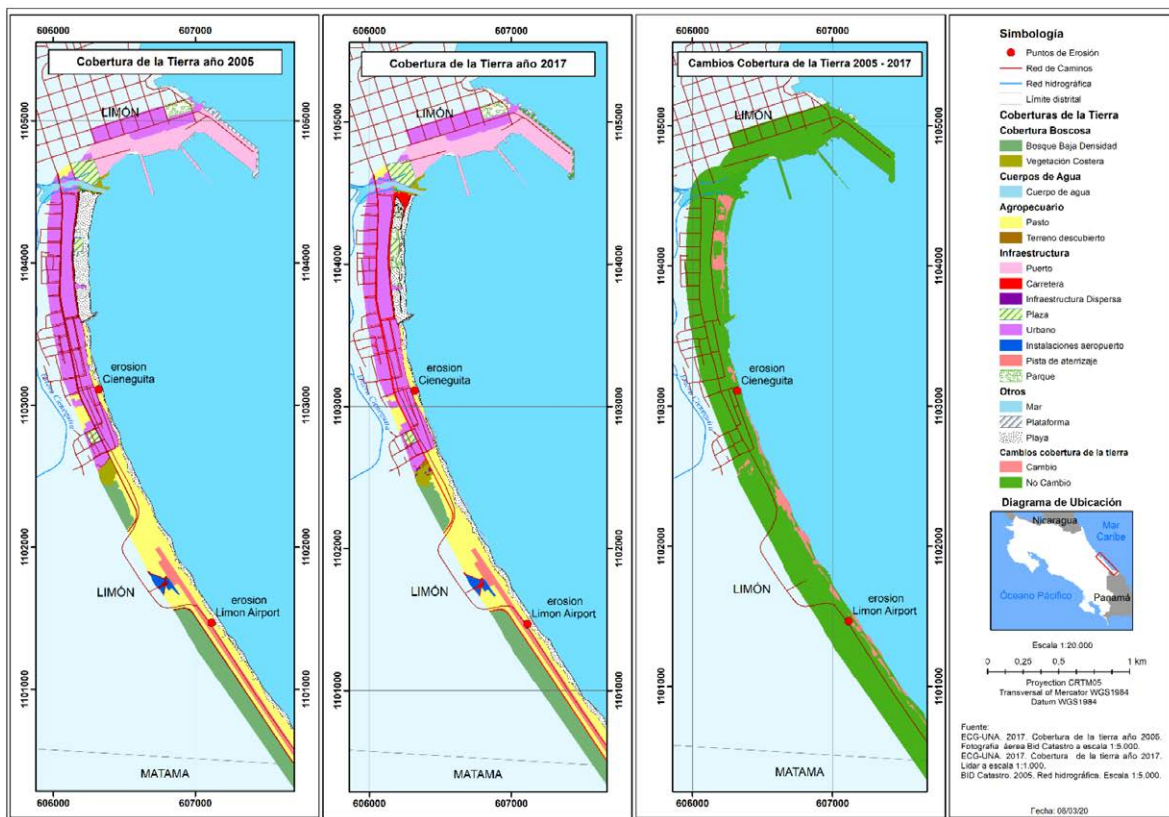
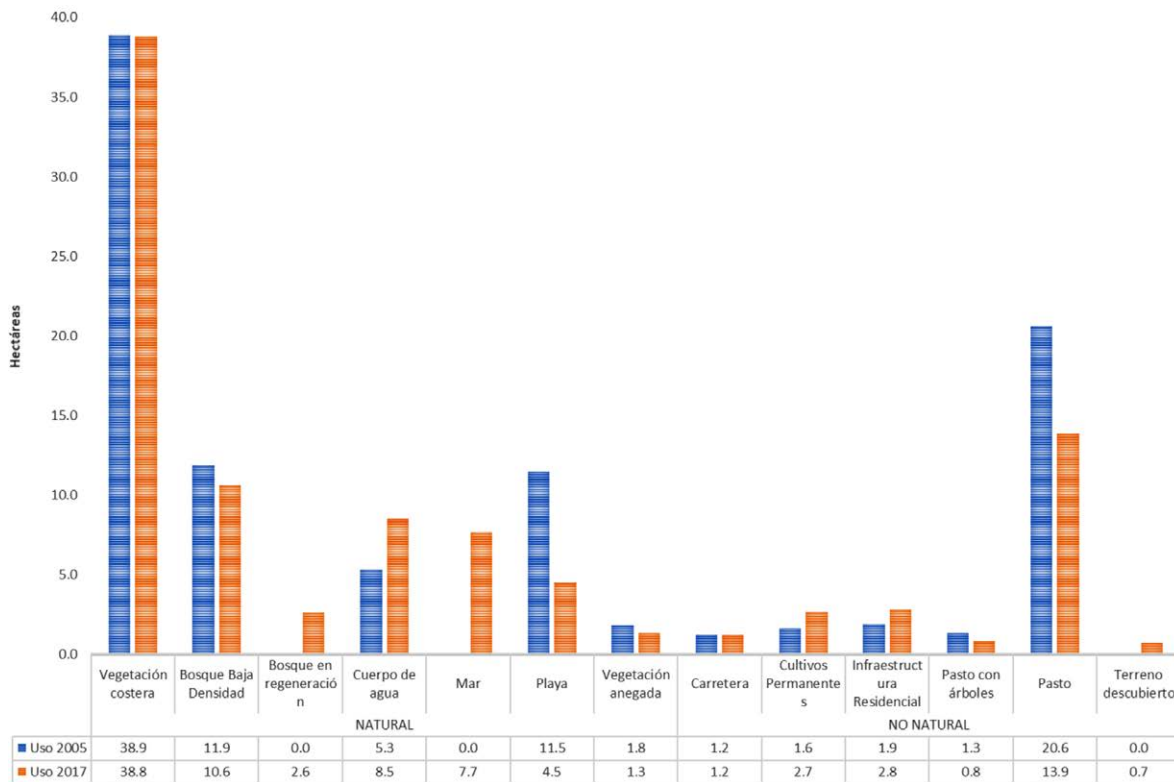


Figura 3. Sector Cieneguita – Aeropuerto: Cobertura de la tierra y cambios periodo 2005 – 2017. Generado en la investigación.



Gráfica 2. Sector Westfalia: Cobertura de la tierra periodo 2005 – 2017

Nota: Elaboración propia a partir de la cobertura de la tierra año 2005 - 2017, generado en la investigación.

vegetación costera (0.04 ha), terreno descubierto 0.07 (ha) y pasto (0.04 ha).

Al abordar las categorías no naturales se registra un incremento de los cultivos permanentes al pasar de 1.6 ha (2005) a 2.7 ha para el año 2017, en la infraestructura residencial, la cual registraba para el año 2005 una superficie de 1.9 ha y para el año 2017 de 2.8 ha. Contrariamente, es importante resaltar la reducción la categoría de pastos en 6.7 ha, para este periodo, la cual cambia fundamentalmente a mar (figura 4). Este retroceso de los pastos y la playa están en concordancia con lo reportado por [Barrantes et al. \(2018\)](#); a partir de sus datos se estima la tasa de erosión en 0.56 ha/año, mayor que en el caso de Cieneguita-Aeropuerto, lo cual, según estos mismos autores, se debe a la migración de la desembocadura del río Banano durante el periodo.

Sector Bananito

En cuanto a la cobertura de la tierra en la categoría de natural, para el año 2005, predominaban coberturas de vegetación costera con 49.8 ha, bosque de baja densidad 16.3 ha, y playa con 13 ha (gráfica 3). Todas las superficies naturales presentaron una reducción con excepción del bosque de baja densidad que pasó de 16.3 ha en el año 2005 a 22.5 para el año 2017, este aumento se presenta principalmente detrás de la carretera (hacia tierra) (Figura 6). En el caso de la categoría de playa se presentó una reducción en su superficie de 5 % (5 ha) disminución asociada a la dinámica de la desembocadura del río Bananito. Con respecto a las actividades antrópicas se registra un leve incremento de la infraestructura residencial al pasar de 0.3 ha para el año 2005 a 0.6 ha

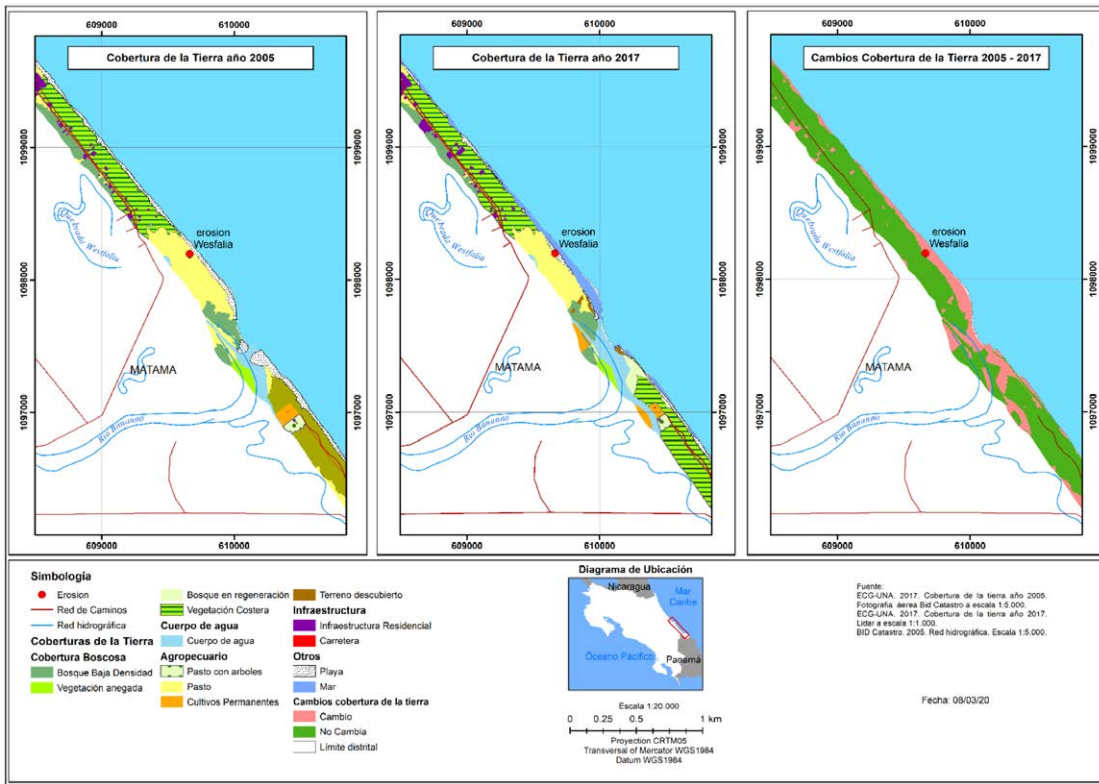
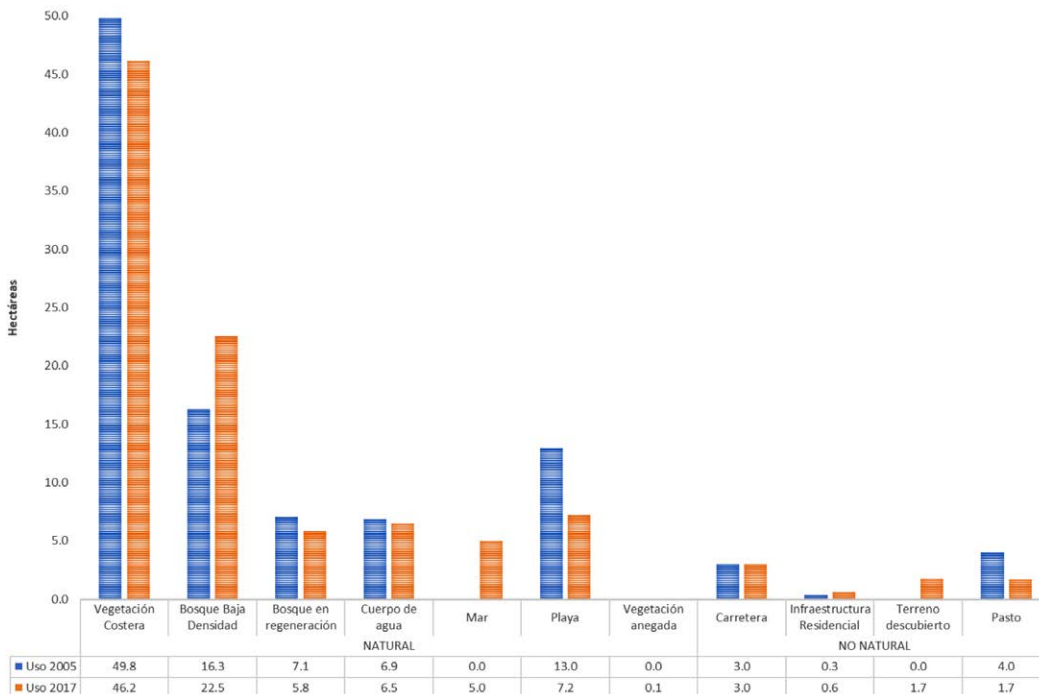


Figura 4. Sector Westfalia: Cobertura de la tierra y cambios periodo 2005 – 2017
 Generado en la investigación.



Gráfica 3. Sector Bananito: Cobertura de la tierra periodo 2005 – 2017

Nota: Elaboración propia a partir de la cobertura de la tierra año 2005 – 2017, generado en la investigación



en el 2017, mientras que la infraestructura vial mantuvo su superficie (Gráfica 3).

De acuerdo con [Barrantes et al. \(2020\)](#), en este sector sobresalen los cambios en la desembocadura del río Banano, en consecuencia con la dirección de las corrientes costeras en el caribe de Costa Rica ([Lizano, 2018](#)), lo que originó erosión de la margen izquierda de la desembocadura y la acumulación de sedimentos en la margen derecha;

situación que llevó, inclusive, a reforzar la carretera para evitar su destrucción. Como resultado de estos cambios, la vegetación costera, el terreno descubierto y la playa cedieron espacio al mar (Figura 6). No obstante, la categoría de la playa también se redujo a consecuencia del poblamiento de vegetación de costa sobre la barra arenosa que crece al norte de la desembocadura (Figura 5).



Figura 5. Cambios en la cobertura de la tierra según fotografía aérea 2005 – 2016.

Elaborado a partir del mosaico de ortofotos del 2005 a escala 1:5 000, con una resolución espacial de 0.5 metros (del Registro Nacional), 2) Ortofotos del 2016 a escala 1:1 000, con resolución espacial de 0.1 m (propiedad de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE)).

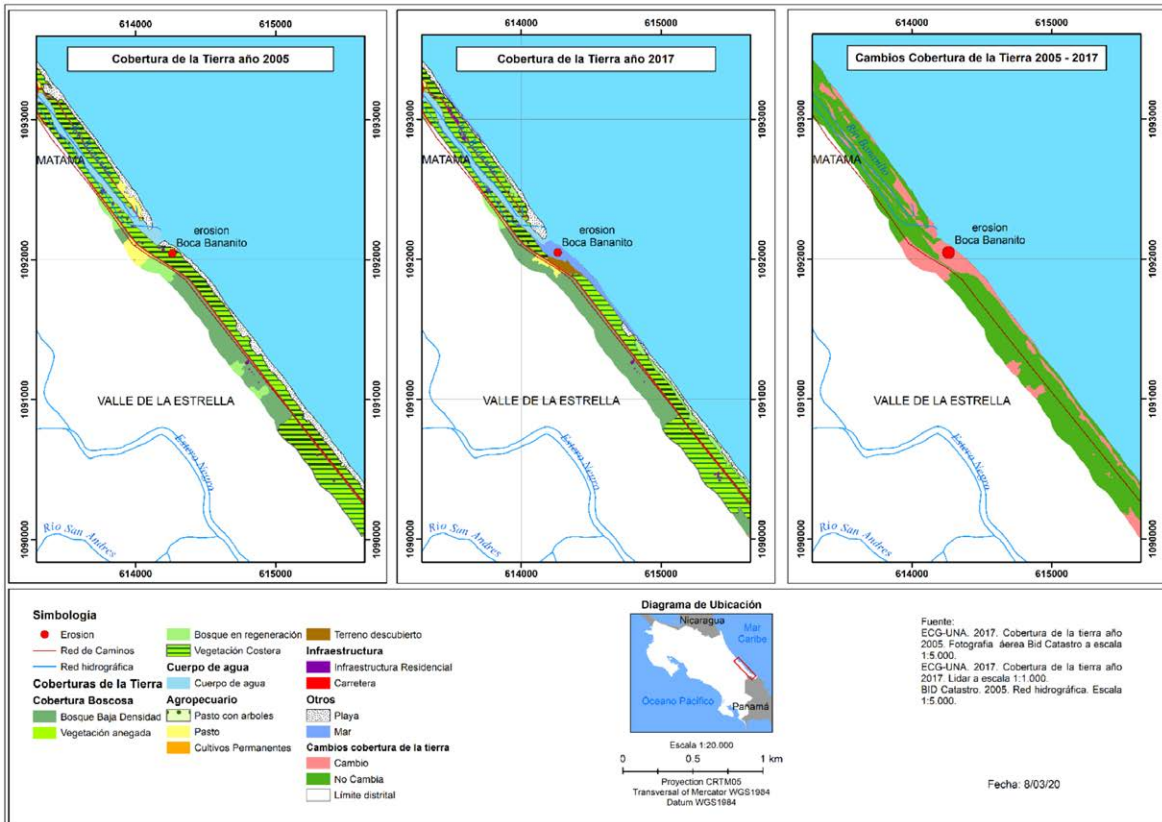


Figura 6. Sector Bananita: Cobertura de la tierra y cambios periodo 2005 – 2017. Generado en la investigación.

Sector Cahuita - Puerto Vargas

La cobertura de la tierra para el sector Cahuita - Puerto Vargas se caracteriza por el predominio de la cobertura natural a lo largo del área de estudio. Como se observa en la Gráfica 4, la categoría de bosque presentó una reducción de 1.4 ha durante el lapso estudiado, comportamiento similar para el bosque de baja densidad que se redujo en 0.5 ha. La mayor parte del bosque de alta densidad cambió por la ocupación de mar, lo que evidencia un retroceso acelerado de la línea de costa en este sector (Barrantes

et al., 2018) (Figura 7). Por otro parte, se registra un leve incremento en la superficie ocupada por la playa (en 0.1 ha) que, según



Figura 7. Sector Cahuita – Puerto Vargas: Cobertura boscosa afectada por la erosión costera. Tomada en campo 6 diciembre 2017.



Barrantes *et al.* (2018) es producto de la acreción (crecimiento de las playas y otras formas de acumulación costeras) de un pequeño segmento de playa que se ubica al noreste del punto de mayor erosión (figura 8).

Como se aprecia en la Gráfica 4, la infraestructura residencial presentó un leve incremento al pasar de 0.084 ha a 0.129 ha. Es importante resaltar la afectación generada a nivel de infraestructura por lo oleajes severos, que llevó a la administración del parque a reubicar su casa y oficina, acciones que se evidencian en los restos de donde se ubicaba el antiguo inmueble, así mismo desaparecieron tramos de sendero dentro del parque, lo que llevó a su reubicación (Soto, 2014). De acuerdo con los datos presentados por Barrantes *et al.* (2020), se logra estimar una tasa media de erosión para este

sector de 0.46 ha/año, cifra que se considerara como intensa.

Sector Manzanillo

La distribución de la cobertura de la tierra en Manzanillo presenta un predominio de coberturas naturales con 85.6 ha para el año 2005 y de 86.4 ha de superficie para el año 2017. Como se evidencia en la Gráfica 5 se presenta un incremento importante de la superficie de mar a expensas de uso de bosque de baja densidad (0.08 ha), áreas de regeneración natural (0.04 ha) y principalmente de playa (4.2 ha). La cobertura de playa muestra una reducción importante entre el año 2005 y el 2017 al pasar de 5.8 ha a 1.5 ha, como resultado de su retroceso frente al mar (4.1 ha) y de un leve incremento

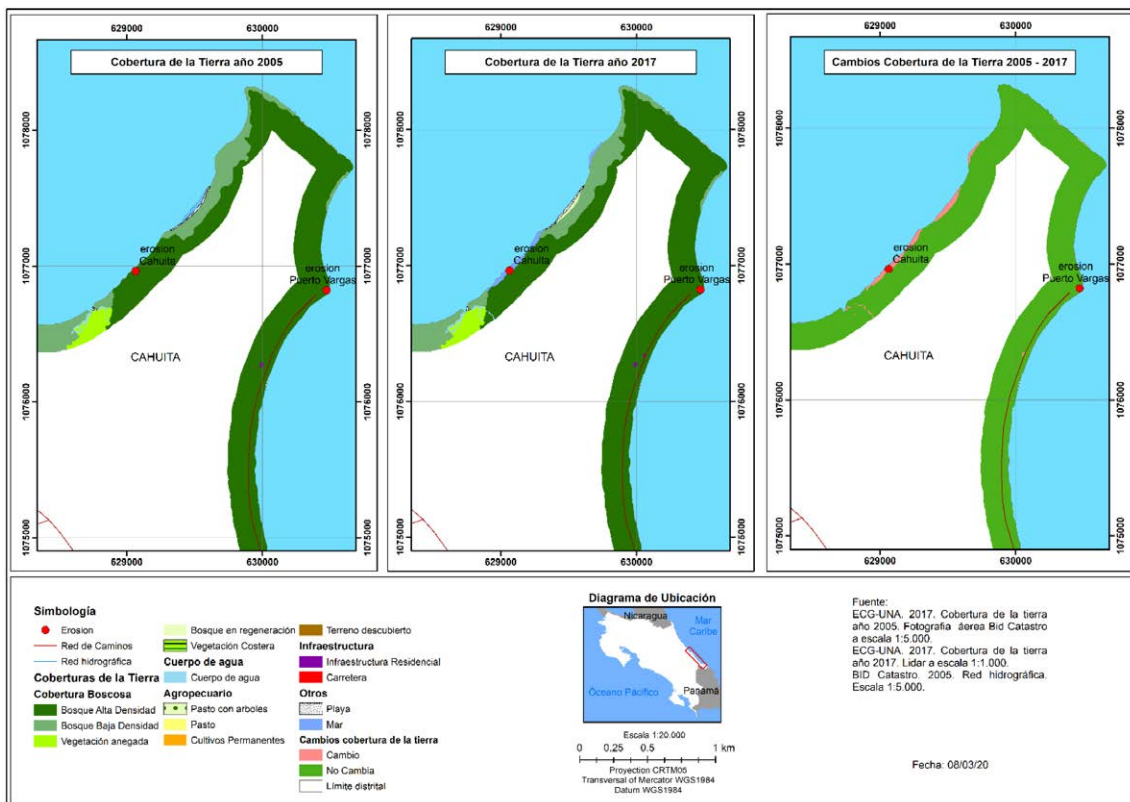
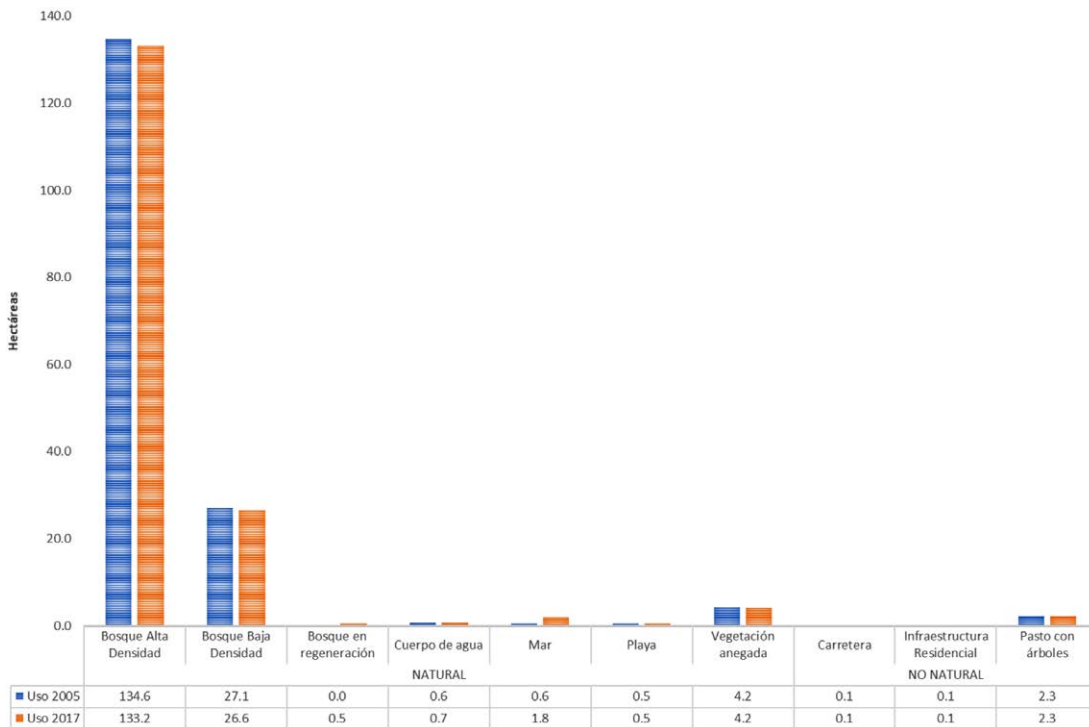
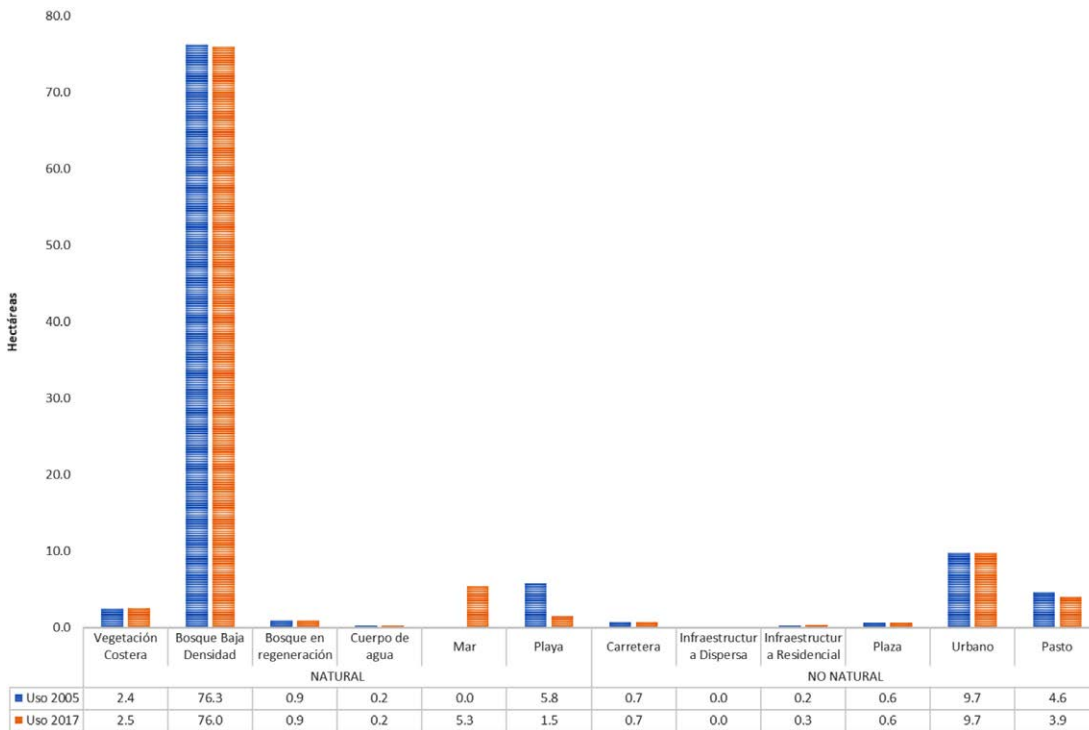


Figura 8. Sector Cahuita – Puerto Vargas: Cobertura de la tierra y cambios periodo 2005 – 2017 Generado en la investigación.



Gráfica 4. Sector Cahuita – Puerto Vargas: Cobertura de la tierra periodo 2005 – 2017
 Nota: Elaboración propia a partir de la cobertura de la tierra año 2005 – 2017, generado en la investigación.



Gráfica 5. Sector Manzanillo: Cobertura de la tierra periodo 2005 – 2017
 Nota: Elaboración propia a partir de la cobertura de la tierra año 2005 – 2017, generado en la investigación.



en las superficies como vegetación costera (0.29 ha) (Figura 9). De acuerdo con los datos presentados por [Barrantes et al. \(2020\)](#), se estima una tasa media de erosión para este sector de 0.12 ha/año considerada como leve, por las dimensiones del área.

A nivel de cobertura antrópica se observa un leve incremento de infraestructura residencial al pasar de 0.2 ha a 0.3 ha para el año 2017, así como una reducción en la superficie de pasto la cual fue de 4.6 ha en el año 2005 y de 3.9 ha en el año 2017 (Gráfica 6), reducción que contribuyó al incremento de la superficie de bosque de baja densidad e infraestructura residencial.

Sector Sixaola

De acuerdo con [Barrantes et al. \(2020\)](#), en Gandoca se ubican tres puntos calientes de erosión, uno de ellos próximo a la desembocadura del Sixaola. Al realizar la comparación de cambios en la cobertura de la tierra, para este último punto se evidencia una marcada disminución en la categoría de playa en 6.9 ha, entre 2005 y 2017 (Gráfica 6). Esta reducción en la superficie se asocia al incremento en el área de las coberturas como mar (5.2 ha) y bosque de baja densidad (3.8 ha) (Figura 10). El resto de las coberturas se mantienen con pocos cambios.

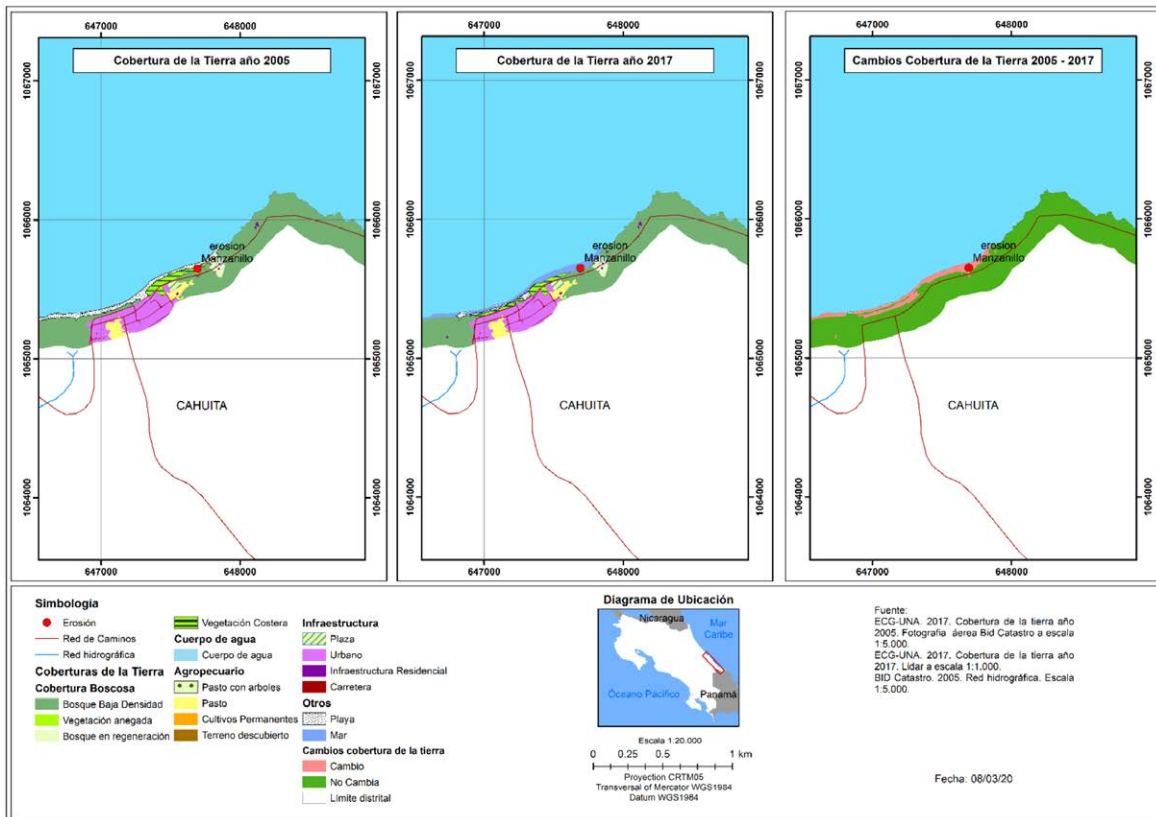
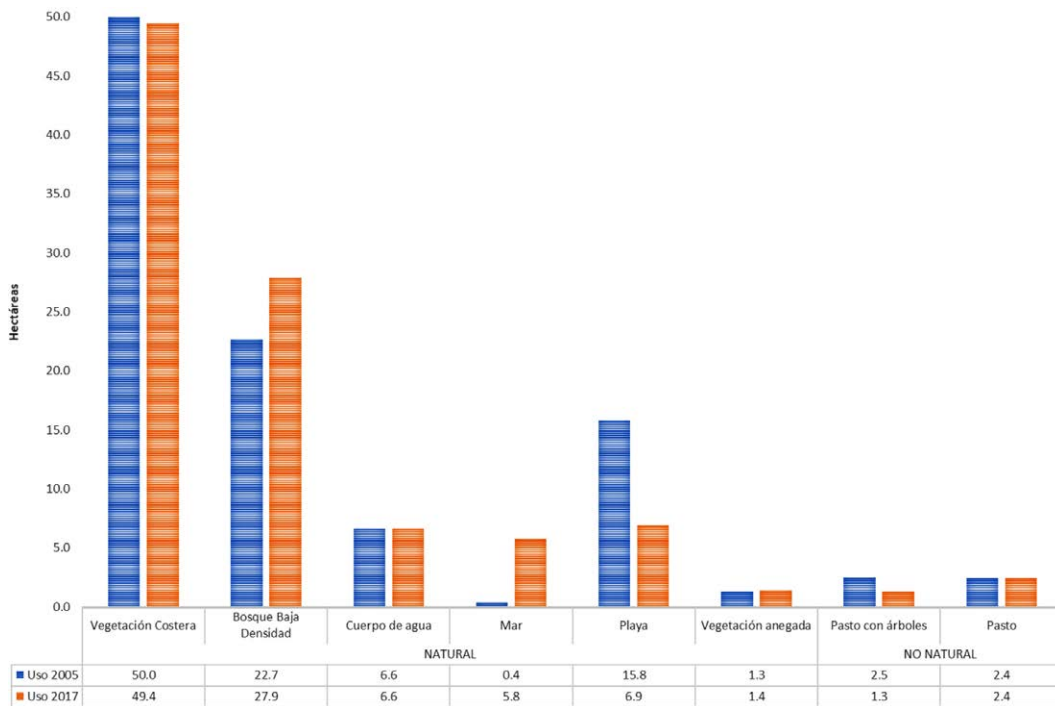


Figura 9. Sector Manzanillo: Cobertura de la tierra y cambios periodo 2005 – 2017
 Generado en la investigación.



Gráfica 6. Sector Sixaola: Coberturas de la tierra periodo 2005 – 2017

Nota: Elaboración propia a partir de la cobertura de la tierra año 2005 – 2017, generado en la investigación.

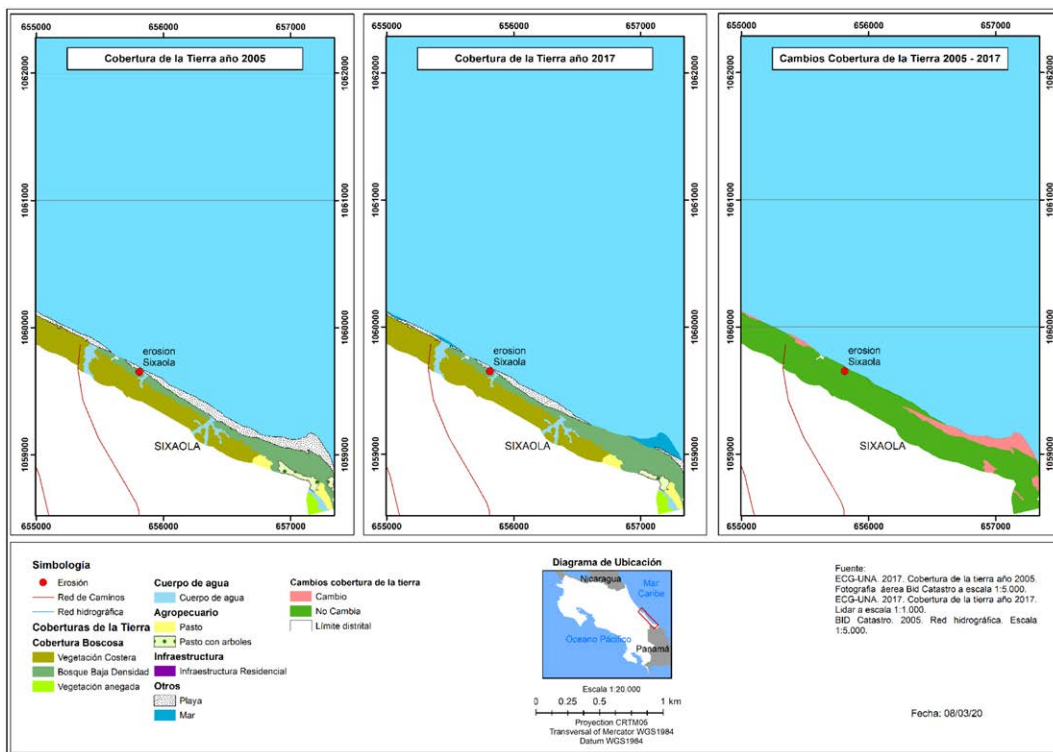


Figura 10. Sector Sixaola: Cobertura de la tierra y cambios periodo 2005 – 2017
 Generado en la investigación.



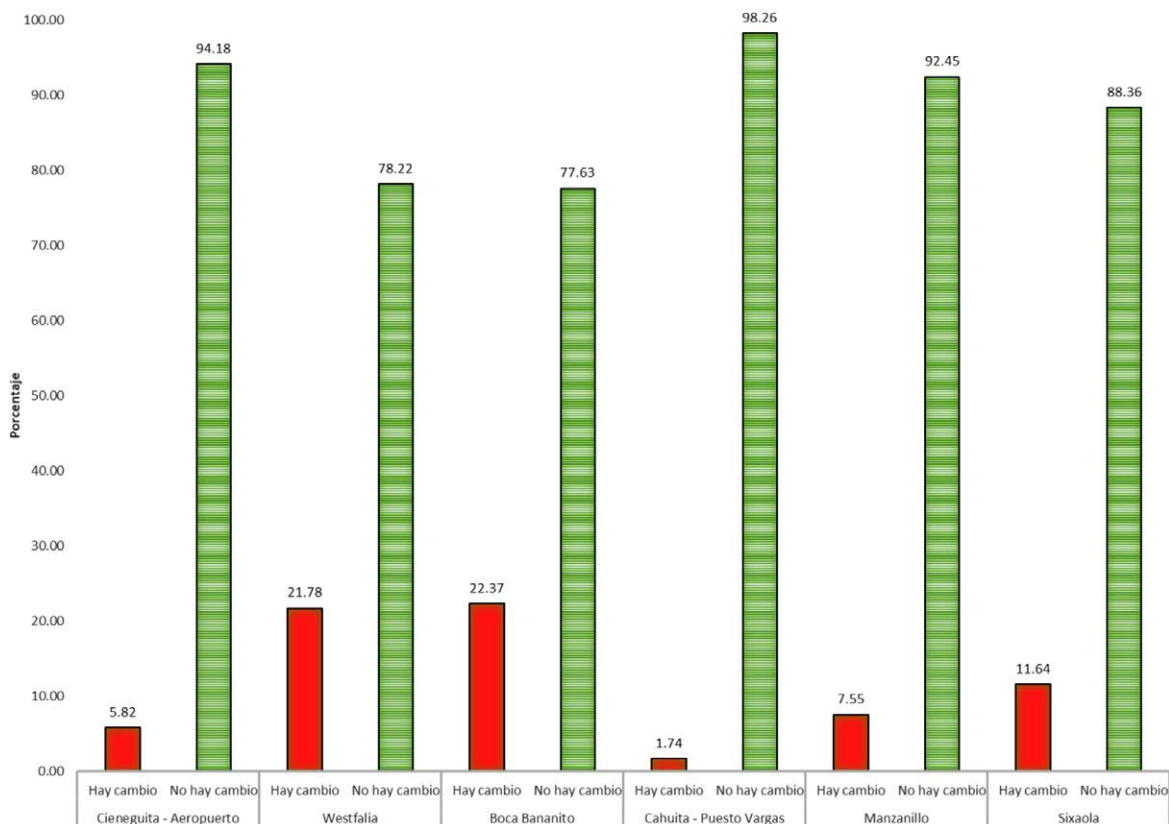
Resulta relevante resaltar que una importante parte de la playa perdida se relaciona con la desaparición de banco de arena acumulado en la margen costarricense del río Sixaola, posiblemente se trate de crestas de playa características de un anterior proceso de progradación (crecimiento hacia el mar de un delta o llanura costera) de este importante sistema fluvial.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En términos generales, con base en el análisis realizado en cada segmento (Gráfica 7), se evidencia que los mayores cambios en la cobertura de la tierra se producen en la

desembocadura del río Bananito y Westfalia. Al comparar el mapa de la cobertura de la tierra de 2005 con las áreas erosionadas entre 2005-2016, reportado por [Barrantes et al. \(2020\)](#), se encuentra que en el sector de Bananito se perdieron superficies principalmente asociadas a vegetación costera (3.49 ha), playa (0.99 ha) (que formaban parte de las barras de arena) y pasto (0.01 ha) e infraestructura residencial (0.03 ha) (Gráfico 8), mientras que en Westfalia se perdió principalmente vegetación costera (2.65 ha), pasto (2.97 ha), bosque (0.95 ha) y playa (0.26 ha).

En segundo lugar, en cambios aparece el segmento de Sixaola, donde las imágenes sugieren un cambio en los comportamientos



Gráfica 7. Cambios en la cobertura de la tierra por sectores de erosión caribe sur, periodo 2005-2017

Nota: Elaboración propia a partir de la cobertura de la tierra año 2005 – 2017, generado en la investigación.

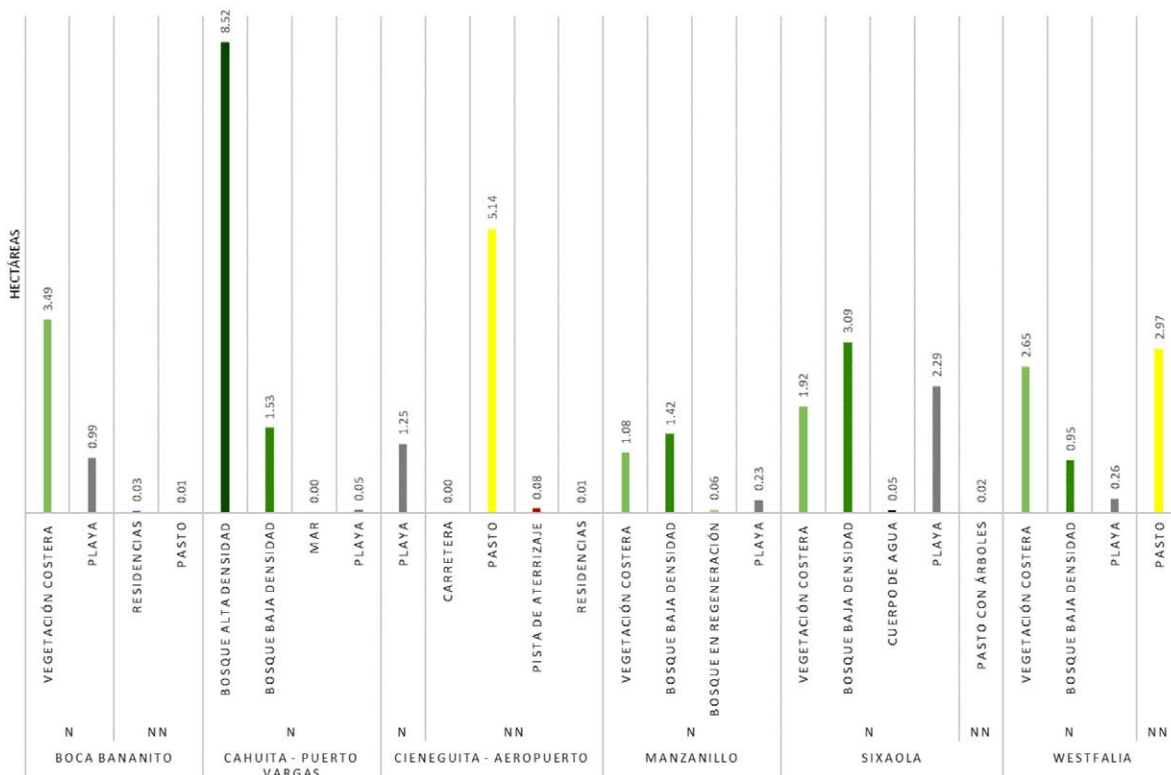


morfodinámicos que pasan de progradación a erosión de los bancos de arena que se localizan en los costados de la desembocadura, y muestran modificaciones en superficies a mar entre el 2005 - 2017, cambios que evidencian la reducción de la playa con 2.29 ha, vegetación costera 1.92 ha y bosque de baja densidad con 3.09 ha (Gráfico 8); al compararla con las áreas que presentaron procesos de erosión entre 2005 y 2016, se evidencia una mayor afectación de las coberturas naturales que forman parte de la vegetación pionera que puebla estos ambientes.

Posteriormente, se presenta Manzanillo, el cual se encuentra protegido del embate directo del oleaje, por la presencia de un arrecife, pero donde se registra una

importante pérdida de playa en un sector pequeño. Como se evidencia en la Gráfica 8, 0.23 ha de playa se perdieron por procesos erosivos generados entre 2005 y 2016, además de afectar 1.08 ha de vegetación costera y 1.42 ha de bosque de baja densidad.

En la penúltima posición se encuentra el sector Cieneguita – Aeropuerto, de cuyos cambios, según Barrantes *et al.* (2018), la causa más probable sea la existencia de un espigón colocado en playa Cieneguita que retiene los sedimentos provenientes del río Limoncito. En este sector se afectan coberturas naturales como playa (0.05 ha). Además, al realizar la comparación de la cobertura de la tierra año 2005 con la erosión costera ocurrida entre 2005 y 2016, se identifica una



Gráfica 8. Cobertura de la tierra año 2005 afectada por las áreas erosionadas entre 2005 y 2016

Nota: N: Natural; NN: No natural. Elaboración propia a partir de otros mosaicos de 2005 y 2016, actualización con trabajo de campo en el año 2017.



afectación directa hacia actividades como residencias 0.01 ha, pista de aterrizaje 0.08 ha y pastos con 5.14 ha. De acuerdo con [Bosque \(2016b\)](#), la comunidad reporta un avance del mar hacia tierra de entre 30 y 60 metros sobre la playa entre 2014 y 2015. Estos hechos ponen en evidencia el nivel de riesgo de infraestructura desarrollada en este sector ante la erosión costera que retira la arena de sus cimientos y, en ocasiones, inunda el nuevo bulevar ([Arguedas, 2017](#)) a causa de oleaje severo o mareas extraordinarias.

Finalmente, Cahuita presenta el menor cambio, no obstante, es pronunciado en pequeñas áreas con uso de bosque, que retrocede frente al mar, transformaciones que se demuestran al cotejar la cobertura de la tierra del año 2005 con el estudio de [Barrantes et al \(2020\)](#) sobre las playas críticas por erosión costera, en los años 2005 y 2016, donde la principal cobertura afectada por estos procesos es el bosque con 8.52 ha.

En Manzanillo, las áreas de mayor retroceso también se encuentran protegidas del oleaje directo por un arrecife ([Barrantes, et al., 2018](#)). No obstante, según el reportaje periódico de [Soto \(2014\)](#), en los últimos 15 años, el Parque Nacional Cahuita perdió 20 metros de playa debido a la erosión costera, situación que afecta directamente a especies como las tortugas (Baula, Verde y Carey), las cuales ven limitado el espacio para el desove, así mismo reporta la pérdida del espacio de acampar para turistas, debido al retroceso y disminución de la anchura de las playas.

Las condiciones anteriores concuerdan con el trabajo de [Luijendijk et al. \(2018\)](#) quienes establecen, luego de analizar la erosión en playas arenosas en todo el planeta, que la mayoría de las líneas de costa arenosas en áreas protegidas están siendo erosionadas. Esta situación se evidenció también en el caribe sur de Costa Rica, donde sus

dos áreas marinas protegidas presentan procesos importantes de retroceso de la línea de costa, los cuales afectan los recursos y servicios que estas áreas protegidas ofrecen para el sustento de las comunidades locales.

CONCLUSIONES

En el caribe sur de Costa Rica se localizan áreas con erosión costera acelerada, denominadas puntos calientes de erosión, sitios en los cuales se han producido transformaciones paisajísticas que pueden ser evaluadas por medio de los cambios en el uso de la tierra. En cuanto a la cobertura natural, en estos sitios los procesos de erosión reportados han ocasionado pérdidas de playa, pastizales y vegetación costera e incluso de bosque, en favor del mar, así mismo se ha reportado afectación sobre usos urbanos en Cieneguita y Manzanillo.

Los cambios de la cobertura de la tierra para el sector de Cieneguita-Aeropuerto indican un aumento de coberturas urbanas relacionadas con la construcción de un bulevar e infraestructura recreativa; estos usos han aumentado el riesgo por erosión costera, lo que implica un aumentado en la exposición de bienes, en este caso públicos. En cuanto a las coberturas naturales, se nota una pérdida de playa y pastos (en su mayoría zonas verdes) y vegetación costera en favor del mar.

En Westfalia, los pastos (que se encuentran próximos a la playa) y la playa experimentaron los mayores cambios en favor del mar y, en menor medida, el bosque de baja densidad. No obstante, hay una recuperación de coberturas como bosque en regeneración, vegetación costera y terreno descubierto, como resultado de la colmatación de partes de la antigua desembocadura.



En Bananito, los mayores cambios en la cobertura se producen en playa y vegetación costera en favor del mar, y terreno descubierto por la acción del oleaje sobre la costa. Así mismo parte de la vegetación en regeneración se consolida como vegetación costera en la barra que está en crecimiento sobre la desembocadura.

En el sector de Cahuita se experimenta una pérdida de bosque de alta densidad (que no corresponde a vegetación costera) y en menor medida de bosque de baja densidad (en un área pequeña) por mar, así como aumento del bosque en regeneración y playa (esta última en un área pequeña) en la cual se presenta un avance de la línea de costa hacia el mar (acreción). En cuanto al uso humano, se nota un leve incremento en la infraestructura residencial afectada por los procesos erosivos que llevaron al traslado de senderos y otras infraestructuras para la actividad turística, y dejaron la huella de la ubicación anterior.

En el sector de Manzanillo, el principal cambio en las coberturas se da con la pérdida de playa por mar, que llevó a un esfuerzo por incrementar la cobertura de vegetación costera en la línea de costa para proteger al pueblo de los oleajes severos. Así mismo, se registra un leve incremento de la infraestructura residencial, proceso que incrementa el riesgo en este sector.

El sector de la desembocadura del río Sixaola experimentó una fuerte disminución de playa, y en menor grado de pasto con árboles. En el primer caso se debió a la merma de bancos de arena en la margen derecha del río y en la segunda por el cambio a una vegetación de bosque de baja densidad.

Los efectos de la erosión costera ocurrida entre 2005 y 2016, reportados en puntos críticos de erosión costera en el caribe sur de Costa Rica, han inducido a cambios en las coberturas de la tierra. En su mayoría, las playas,

pasto y vegetación costera son los elementos más afectados al ser ocupados por el mar. Caso particular es el de Punta Cahuita, donde la vegetación de bosque de alta y baja densidad está retrocediendo frente al mar, a pesar de encontrarse resguardada por un arrecife de coral y dentro de un área protegida.

RECONOCIMIENTOS

Trabajo elaborado en el marco del proyecto de investigación: Proyecto SIA 0096-15: Erosión costera en el Caribe Sur de Costa Rica: Impacto ecosistémico y vulnerabilidad social, vigencia del proyecto año 2016 al año 2019.

DECLARACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

El porcentaje total de contribución para la conceptualización, preparación y corrección de este artículo fue el siguiente: L.S.M. 50 %, y G.B.C. 50 %.

DECLARACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE LOS DATOS

Los datos que respaldan los resultados de este estudio serán puestos a disposición por el autor correspondiente [L.S.M. y G.B.C.], previa solicitud razonable.

BIBLIOGRAFÍA

Arguedas, D. (March 20, 2017). Cieneguita teme que el mar le robe su nuevo rostro [*Cieneguita fears that the sea will steal its new face*]. Agencia de Noticias Inter Press Service (IPS). <http://www.ipsnoticias.net/2017/03/comunidad-en-costa-rica-teme-que-el-mar-le-robe-su-nuevo-rostro/>



- Barragán, J. (2003). *Medio ambiente y desarrollo en las áreas litorales [Environment and development in coastal areas]*. Universidad de Cádiz, Servicio de publicaciones.
- Barrantes, G., Valverde, J. F., Piedra, L., Quesada, A., Castillo, M. & Sandoval, L. (2018). Cambios en la línea de costa en playa Cieneguita [*Changes in the coastline at Cieneguita beach, Limón*]. In F. Diehl (Presidencia), *17° Congreso Latino-Americano de Ciências do Mar* (pp. 1212-1214). Balneário Camboriú, Brasil: Associação Latino-Americana de Pesquisadores em Ciências do Mar.
- Barrantes-Castillo, G., Arozarena-Llopis, I., Sandoval-Murillo, L. F., & Valverde-Calderón, J. F. (2020). Critical beaches due to coastal erosion in the Caribbean south of Costa Rica, during the period 2005-2016. *Revista Geográfica de América Central*, 1(64), 123-150. <https://doi.org/10.15359/rgac.64-1.5>
- Bosque, D. (February 14, 2016a). Ministerio de Vivienda construyó millonario parque en zona de riesgo [*The Ministry of Housing built a millionaire park in a risk area*]. *La Nación*. <https://www.nacion.com/el-pais/infraestructura/ministerio-de-vivienda-construyo-millonario-parque-en-zona-de-riesgo/RSWSVN3X3FBABMEYALS7NJ4SOM/story/>
- Bosque, D. (February 14, 2016b). Mar se come poco a poco el barrio Cieneguita en Limón [*The sea slowly devours the Cieneguita neighborhood in Limón*]. *La Nación*. <https://www.nacion.com/el-pais/mar-se-come-poco-a-poco-el-barrio-cieneguita-en-limon/4QQBEPJUDVH6DDPKXSE3HSE6UI/story/>
- Herrera, W. (1986). *Clima de Costa Rica: Vegetación y clima de Costa Rica [Climate of Costa Rica: Vegetation and climate of Costa Rica]*. EUNED.
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2017). *Clima de Costa Rica: El clima y las regiones climáticas de Costa Rica [Climate of Costa Rica: The climate and climatic regions of Costa Rica]*. Instituto Meteorológico Nacional. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/31165/clima-regiones-climat.pdf/cb3b55c3-f358-495a-b66c-90e677e35f57>
- La Nación. (November 10, 2010). *Erosión en las playas de Costa Rica: Urge tomar medidas en la zona marítimo-terrestre debido al cambio climático [Erosion on the beaches of Costa Rica: It is urgent to take measures in the maritime-terrestrial zone due to climate change]*. [https://www.nacion.com/archivo/erosion-en-las-playas-de-costa-rica/OGE2TL4PL5GD5LSTGORQ5I37J4/story/Ley N° 6043. Sistema Costarricense de Información Jurídica, San José, Costa Rica \[Law 6043. Costa Rican Legal Information System\], March 2nd, 1977.](https://www.nacion.com/archivo/erosion-en-las-playas-de-costa-rica/OGE2TL4PL5GD5LSTGORQ5I37J4/story/Ley%20N%C2%BA6043.Sistema%20Costarricense%20de%20Informaci%C3%B3n%20Jur%C3%ADdica,%20San%20Jos%C3%A9,%20Costa%20Rica%20%5B%20Law%206043.%20Costa%20Rican%20Legal%20Information%20System%5D,%20March%202nd%2C%201977.)
- Lizano, O. (2018). La dinámica de las corrientes marinas frente al Caribe de Costa Rica [*The dynamics of ocean currents off the Caribbean coast of Costa Rica*]. *Ambientico*, 265, 6-12. <http://www.ambientico.una.ac.cr/pdfs/art/ambientico/265-6-12.pdf>
- Lizano, O. G. (2013). Erosión en las playas de Costa Rica, incluyendo la Isla del Coco [*Erosion on the beaches of Costa Rica, including Cocos Island*]. *InterSedes*, 14(27). <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/interseeds/article/view/10405>
- Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G., & Aarninkhof, S. (2018). The State of the World's Beaches. *Scientific Reports*, 8(1), 6641. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6>
- Mather, A. S. (1986). *Land use*. Longman.
- Merlotto, A., & Bértola, G. R. (2008). Evolución urbana y su influencia en la erosión costera en el balneario Parque Mar Chiquita, Argentina [*Urban evolution and its influence on coastal erosion in the Parque Mar Chiquita resort, Argentina*]. *Papeles De Geografía*, 47-48, 143-158. <https://revistas.um.es/geografia/article/view/41271>
- Mora, C. (March 7, 2015). Cieneguita, barrio limonense, estrena nuevas canchas deportivas, parques y una ciclovía [*Cieneguita, a neighborhood in Limon, opens new sports fields, parks and a bike path*]. *crhoy.com*. <https://archivo.crhoy.com/cieneguita-barrío-limonense-estrena-nuevas-canchas-deportivas-parques-y-una-ciclovía/nacionales/>
- Morera, C. & Sandoval, L. (2013). Los procesos de fragmentación y la conectividad forestal en Costa Rica: Dos casos de estudios [*Fragmentation processes and forest connectivity in Costa Rica: Two case studies*]. In *Geografía, Paisaje y Conservación*. ECG - UNA.



- Nene Preciado, A., González Sansón, G., Mendoza Cantú, M., & Silva Bátiz, F. (2017). Cambio de cobertura y uso de suelo en cuencas tropicales costeras del Pacífico Central Mexicano [Cover change and land use in tropical coastal basins of the Central Mexican Pacific]. *Investigaciones Geográficas*, 94. <http://dx.doi.org/10.14350/rig.56770>
- Pineda, N. & Principi, N. (2019). *Análisis espacial de cambios de usos del suelo con sistemas de información geográfica [Spatial analysis of changes in land use with geographic information systems]*. In G. Buzai et al. (comp.), *Teoría y métodos de la geografía cuantitativa. Libro 2: Por una geografía empírica* (pp. 75-95). Instituto de Investigaciones Geográficas Universidad Nacional de Luján. <http://www.inigeo.unlu.edu.ar/?q=node/24>
- Posada, B. O. & Henao, W. (2008). *Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano [Diagnosis of erosion in the coastal zone of the Colombian Caribbean]*. Editorial Ediprint. http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/605220080501_AErosionCaribeContinentalColombia.pdf
- Ramírez, Isabel. (2001). Cambios en las cubiertas del suelo en la Sierra de Angangueo, Michoacán y Estado de México, 1971-1994-2000 [Changes in land cover in the Sierra de Angangueo, Michoacán and the State of Mexico, 1971-1994-2000]. *Investigaciones geográficas*, 45, 39-55. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112001000200004&lng=es&tlng=es
- Richters, E. (1995). *Manejo del uso de la tierra en América Central: Hacia el aprovechamiento sostenible del recurso tierra [Land use management in Central America: Towards sustainable use of land resources]*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <http://books.google.co.cr/books?id=jP8zb7CICMUC>
- Rujoiu-Mare, M.-R., & Mihai, B.-A. (2016). Mapping Land Cover Using Remote Sensing Data and GIS Techniques: A Case Study of Prahova Subcarpathians. *ECOSMART - Environment at Crossroads: Smart Approaches for a Sustainable Development*, 32, 244-255. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.029>
- Silva, R., Martínez, L., Hesp, P. A., Catalan, P., Osorio, A., Martell, R., Fossati, M., Miot da Silva, G., Mariño-Tapia, I., Pereira, P., Cienguegos, R., Klein, A., & Govaere, G. (2014). Present and Future Challenges of Coastal Erosion in Latin America. *Journal of Coastal Research*, 71(sp1), 1-16. <https://doi.org/10.2112/SI71-001.1>
- Soto, M. (June 5, 2014). Mar arrebató 20 metros al Parque Nacional Cahuita en últimos 15 años [The sea stole 20 meters from Cahuita National Park in the last 15 years]. *La Nación*. <https://www.nacion.com/ciencia/medio-ambiente/mar-arrebato-20-metros-al-parque-nacional-cahuita-en-ultimos-15-anos/EHROZKTYYZHT5KK2LQ6UANREVV/story/>
- Vargas, G. (2006). *Geografía de Costa Rica [Geography of Costa Rica]*. EUNED. <https://editorial.uned.ac.cr/book/U01589>



Cambios en la cobertura de la tierra en los puntos calientes de erosión costera en el Caribe sur de Costa Rica, durante el periodo 2005 – 2017 (Luis Sandoval-Murillo • Gustavo Barrantes-Castillo) *Uniciencia* is protected by [Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported \(CC BY-NC-ND 3.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/)