



**ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA PÉRDIDA DE  
COBERTURA CORALINA EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL CORALES DEL ROSARIO  
Y SAN BERNARDO**

**POR:**

**VALENTINA FONSECA GONZÁLEZ  
DAVID ALEJANDRO GARCÍA BONILLA**

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES E INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y AMBIENTAL  
BOGOTÁ, D.C.  
2019**

**Análisis geográfico de la pérdida de cobertura coralina en el Parque Nacional  
Natural Corales del Rosario y San Bernardo**

**Por:**

**Valentina Fonseca González  
David Alejandro García Bonilla**

**Trabajo de investigación presentado para optar al título de:  
Ingeniero geógrafo y ambiental**

**Director:**

**Hernán Javier Díaz Perdomo**

**Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A  
Facultad de ciencias ambientales e ingenierías Programa  
de Ingeniería Geográfica y Ambiental Bogotá, D.C.**

**2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis papás, por su gran ejemplo de esfuerzo y perseverancia, por su apoyo y dedicación que fueron parte fundamental durante este proceso; por su confianza, paciencia y palabras de aliento que siempre me inspiran a seguir adelante. Por creen en mí y mostrarme que de la mano de Dios y de ellos, todo es posible.

*Valentina Fonseca González*

A mi familia por su apoyo incondicional, a los profesores que nos brindaron apoyo en el proceso investigativo, y técnico del proyecto y a mi amigo Juan Andrés Moreno por su colaboración en la elaboración de la herramienta.

*David Alejandro García  
Bonilla*



## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>CAPITULO 1</b> .....	3
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	5
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	5
<b>2.1 Problema de investigación</b> .....	5
<b>2.2 Hipótesis</b> .....	6
<b>2.3 Objetivos</b> .....	6
<b>2.3.1 General</b> .....	6
<b>2.3.2 Específicos</b> .....	6
<b>2.4 Justificación</b> .....	8
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	9
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	9
<b>3.1. Antecedentes de la Investigación</b> .....	9
<b>3.1.1. Antecedentes Internacionales</b> .....	10
<b>3.1.2. Antecedentes Nacionales</b> .....	13
<b>3.2. Marco Conceptual</b> .....	16
<b>3.2.1. Cambio de Cobertura de Coral</b> .....	16
<b>3.2.2. Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo</b> .....	19
<b>3.2.3. Aspectos jurídicos relacionados</b> .....	23
<b>3.3. Estado del Arte</b> .....	23
- Influencia del Fenómeno El Niño .....	23
• <i>Cambios de la presión demográfica dentro del parque.</i> .....	26
• <i>Procesos de unión del Parque Nacional Natural corales del Rosario y de San Bernardo</i> .....	28
• <i>Transición de la economía: cambios de la pesca al turismo</i> .....	29

• Impacto de la aparición del pez León.....	30
<b>4. METODOLOGÍA.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1.1 Obtención de imágenes satelitales .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1.3 Generación de cartografía de temperatura superficial .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.4 Corrección de la columna de agua: ArcGis.....</b>	<b>44</b>
<b>4.1.5 Clasificación no supervisada .....</b>	<b>45</b>
<b>4.1.6 Creación de cartografía .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2 Analizar el grado de influencia antrópica en el cambio de los ecosistemas de coral presentes en el área de estudio. ....</b>	<b>46</b>
<b>4.2.1 Revisión de información secundaria .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2.2 Entrevistas: Perspectiva de la población sobre la transformación del ecosistema .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3 Estudiar la pertinencia de las estrategias de manejo actual que rigen en el área marina protegida.....</b>	<b>48</b>
<b>4.3.1 Revisión del plan de manejo.....</b>	<b>48</b>
<b>4.3.2 Comparación de resultados y análisis .....</b>	<b>48</b>
<b>4.4 Automatización de procesos técnicos.....</b>	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>49</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>49</b>
<b>5.1 Anomalías climáticas: Análisis de temperatura .....</b>	<b>49</b>
<b>5.2 Transformación de la cobertura de coral .....</b>	<b>57</b>
<b>5.3 Factores socioambientales que inciden en la transformación de la cobertura de coral.....</b>	<b>64</b>
<b>5.3.1 Perspectiva social de los factores que influyen en la transformación de la cobertura de coral .....</b>	<b>64</b>
<b>5.3.2 Factores socioambientales y demográficos que inciden en la transformación de la cobertura de coral .....</b>	<b>67</b>
<b>5.3.3 Factores ambientales que inciden en la transformación de la cobertura de coral .....</b>	<b>72</b>
<b>5.4 Análisis de la pertinencia de las propuestas de manejo y recuperación de la zona marina protegida .....</b>	<b>76</b>
<b>5.4.1 Plan de manejo del área marina protegida de los archipiélagos de Rosario y San Bernardo 2013-2023 .....</b>	<b>76</b>
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>83</b>

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	83
<b>Conclusiones</b> .....	83
<b>Recomendaciones</b> .....	84
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	86
<b>ANEXOS</b> .....	95
<i>Código para automatización de procesos técnicos.</i> .....	95

## **RESUMEN**

Los arrecifes de coral, asemejados con las selvas tropicales por su diversidad e importancia ecológica; pero también conocidos por su fragilidad y dificultad de recuperación, de allí la importancia de su cuidado y su correcto manejo.

En las costas colombianas, existen un gran número de zonas con ecosistemas de arrecife de coral, que proveen de alimento, medicina y una gran cantidad de recursos, tanto a las comunidades costeras del país, como al centro de este. El parque Nacional Natural Corales Del Rosario y San Bernardo cuenta con una extensa red de corales, de los cuales las comunidades pesqueras de Cartagena, Tolú, Coveñas y las islas del lugar obtienen su sustento, además de convertirse en un atractivo turístico que atrae viajeros nacionales e internacionales a esta parte del país.

Con el paso del tiempo, las malas prácticas, el calentamiento global y diversos factores ambientales han afectado el equilibrio de los arrecifes de coral en el parque, por esta razón el trabajo presentado a continuación pretende dar a conocer los factores más trascendentales en cuanto a las alteraciones de este ecosistema, así como las acciones que se han tomado para frenar esta situación, todo con un periodo de estudio de 30 años comprendidos desde 1981 hasta el 2010, utilizando diversas herramientas y metodologías, tanto cualitativas como cuantitativas que ayudarán a entender la gravedad del problema.

Así mismo se analizan las estrategias gubernamentales ante dicho problema, se evalúa su pertinencia y se brindan propuestas del mismo tema con el fin de que el proyecto permita contribuir al mejoramiento de la relación hombre-ecosistema y disminuir el conflicto que esto genera.



## ABSTRACT

Coral reefs, like tropical forests for their diversity and ecological importance; but also known for their fragility and difficulty of recovery, hence the importance of its care and its correct handling.

On the Colombian coast, there are many areas with coral reef ecosystems, which provide food, medicine and many resources, both in the coastal communities of the country and in the center of the east. The National Natural Park Corales del Rosario and San Bernardo has an extensive network of corals, the fishing communities of Cartagena, Tolú, Coveñas and the islands of the place that have their state, in addition to becoming a tourist attraction that attracts national travellers and international to this part of the country.

With the passage of time, bad practices, global warming and various environmental factors have affected the balance of coral reefs in the park, for this reason the work presented below aims to raise awareness of the most transcendental factors in terms of Alterations of this ecosystem, as well as the actions that have been taken to curb this situation, all with a study period of 30 years included from 1981 to 2010, using various tools and methodologies, both qualitative and quantitative that help to understand the severity of the problem.

Likewise, government strategies are analysed in the face of this problem, their relevance is evaluated, and proposals on the same subject are offered to allow the project to contribute to the improvement of the human-ecosystem relationship and reduce the conflict that this generates.

# CAPITULO 1

## INTRODUCCIÓN

Desde hace 100 años, los sistemas planetarios (Montoya, 2018) se han visto intervenidos por factores antrópicos que han alterado los procesos naturales internos de la tierra; entre estos, se encuentra el cambio del uso del suelo y la concentración de gases de efecto invernadero, los cuales provocan modificaciones en las condiciones de los diferentes ecosistemas (Padilla, et al. 2009).

Uno de estos ecosistemas afectados son los arrecifes coralinos, ambientes de alta fragilidad y una inmensa diversidad vegetal y animal, que se encuentran en zonas muy específicas de la superficie marina del planeta. Colombia cuenta actualmente con casi el 76% de los arrecifes existentes en el mundo, principalmente en el mar caribe; una de las zonas con mayor concentración de estos ecosistemas es el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, siendo considerada la plataforma coralina más extensa del Caribe colombiano (Zarza-González, 2011).

Las comunidades coralinas presentes en el PNN, así como la biodiversidad global, se encuentran altamente amenazadas por las presiones demográficas actuales, las cuales, han derivado en una serie de políticas e iniciativas legislativas que velan por la conservación de los ecosistemas. Dichas normativas, han causado una serie de descontentos entre las comunidades que habitan dentro de los límites de áreas protegidas, ya que, como afirma De Pourcq (2017), la exclusión social es el común denominador en este tipo de procesos.

Sin embargo, a pesar de que los ecosistemas marinos poseen una mayor capacidad amortiguadora y son menos propensos a procesos de extinción que los ecosistemas terrestres (Mancera-Pineda et al. 2013), los drásticos cambios a los que se ven sometidos, como el aumento de la temperatura global han provocado una pérdida significativa de biodiversidad. En los últimos 250 años, las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera han aumentado en un 40%, esto gracias a los casi 79 millones de toneladas de dicho gas que son liberadas diariamente a la atmósfera (Mancera-Pineda et al. 2013).

Así pues, dicho aumento en la producción de dióxido de carbono ha provocado cambios en la temperatura mundial, con proyecciones de un aumento de entre 1.4 y 5.8 °C para el 2100 (Peperzak, 2003). Cabe señalar, que los océanos son uno de los principales sumideros de carbono del mundo, absorbiendo, aproximadamente, una tercera parte del CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera; como consecuencia, el pH del agua disminuye, provocando

una reducción en la saturación de carbonato de calcio, componente principal de los corales; a este efecto se le conoce como acidificación del océano, y es uno de los elementos centrales responsables por la pérdida de biodiversidad marina (Arroyave, et al., 2014, Mancera-Pineda et al. 2013).

## CAPÍTULO 2

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Problema de investigación

*“Los océanos del mundo son la clave para la conservación de la vida en el planeta”* (Ki-Moon, 2012), representan una valiosa fuente de recursos y beneficios que han sido pilar en el desarrollo de la cultura actual; la producción de alimento, generación de empleo, regulación de la temperatura, hábitat y cuna de diversidad biológica. Sin embargo, en las últimas décadas se han visto sometidos a presiones que han alterado su funcionamiento y su capacidad de resiliencia, llegando al punto de un daño casi irreversible por obra de la sobreexplotación, pesca excesiva, acidificación de los océanos, crecimiento poblacional, entre otros (Ibíd, 2012).

Así mismo, la pérdida de biodiversidad ha llevado a alteraciones en uno de los ecosistemas con mayor diversidad y producción biológica del planeta: los arrecifes de coral. Los corales, en condiciones óptimas, pueden llegar a crecer un centímetro por año, razón por la cual, la más pequeña perturbación puede truncar en proceso normal de calcificación (Arambucu, 2008). Hay una amplia gama de servicios ecosistémicos que brindan los arrecifes de coral, uno de los más importantes es su papel de barrera frente a huracanes y fuerte oleaje, protegiendo así a la zona costera; sin embargo, estos eventos hacen parte de la cotidianidad del ecosistema, por lo tanto, no representan una amenaza para su salud, a diferencia de los altos niveles de pH, consecuencia de la captación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); la contaminación, fruto de los vertimientos directos de las industrias a los cuerpos de agua; métodos de pesca no convencionales, como la dinamita, que desaparecen grandes extensiones de cobertura de coral (Ibíd, 2008).

De igual modo, los ecosistemas de coral presentes en el caribe colombiano se han visto sometidos a diferentes presiones que amenazan su salud; el Parque Nacional Natural Corales del Rosario posee una de las extensiones de coral más grandes del Caribe, con más de 60 especies diferentes, sin embargo, las transformaciones naturales y antrópicas del entorno han provocado alteraciones en el funcionamiento normal del ecosistema (Rangel, 2011), motivo por el cual, la presente investigación busca responder a la siguiente pregunta: *¿Cuáles han sido los factores que han tenido mayor influencia en la pérdida de*

*cobertura de coral en el PNN Corales del Rosario y San Bernardo entre los años de 1981 a 2010?*

## **2.2 Hipótesis**

Las actividades antrópicas y ambientales que se desarrollan en el PNN corales del Rosario y San Bernardo han influido negativamente sobre los ecosistemas de arrecife de coral, tanto en su crecimiento regular como en su diversidad y volumen; generando fuertes transformaciones en los paisajes submarinos.

## **2.3 Objetivos**

### **2.3.1 General**

Identificar los factores que han tenido una mayor influencia en el cambio de cobertura de coral en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo desde 1981 a 2010.

### **2.3.2 Específicos**

- Determinar el papel de los diferentes factores naturales (meteorológicos y fisicoquímicos) sobre el cambio en la cobertura de coral en el periodo de 1981 a 2010.
- Analizar el grado de influencia antrópica en el cambio de los ecosistemas de coral presentes en el área de estudio.
- Estudiar la pertinencia de las estrategias de manejo actual que rigen en el área marina protegida.

## 2.4 Justificación

Los arrecifes de coral poseen una gran susceptibilidad a alteraciones generadas por cambios ambientales, los cuales actualmente han aumentado gracias a la influencia de la actividad humana; uno de estos cambios es el aumento de la temperatura superficial del mar, que rompe la relación simbiótica entre el coral y las zooxantelas dejando descubierto su esqueleto, deteriorándolo incluso hasta llegar a su muerte. A este fenómeno se le conoce como “*Blanqueamiento*” (Romero, 2013).

Los distintos eventos de blanqueamiento coralino en los últimos años han afectado significativamente el área de cobertura de los arrecifes de coral; en el 2005 se presentó uno de los blanqueamientos más grandes registrados, superando en 1,5 y 2,5°C el umbral de tolerancia de los arrecifes (29,4°C); durante este evento, se registraron importantes pérdidas de cobertura coralina en el P.N.N. Corales del Rosario y San Bernardo, las especies que se vieron principalmente afectadas fueron *Acropora palmata*, *Acropora cervicornis* y *Diploria labyrinthiformis*, esto favoreció la desaparición de casi el 80% de la cobertura de un gran número de arrecifes de coral presentes en el Caribe colombiano (Gómez-Campo et al., 2015).

Partiendo de tal evento, resulta indispensable generar estudios como el que se propone a continuación, que logren mostrar y determinar la gravedad que tiene el constante aumento de la temperatura sobre estos frágiles ecosistemas (Padilla, Alafita-Vázquez, Andreu-Montalvo, 2009).

Los arrecifes de coral agregan un gran valor a la diversidad biológica de los océanos, permiten el sustento de numerosas poblaciones aledañas a estos y brindan cualidades de arraigo hacia el territorio generando dinámicas culturales e históricas propias de estas comunidades (Ramsar, 2015).

Otro punto para resaltar con respecto a la importancia de los arrecifes de coral para un determinado territorio es su papel como barrera ante posibles eventos naturales que afecten a las comunidades costeras, como lo son los tsunamis<sup>1</sup> y la erosión generada por la marea, esto repercute en un aumento en los costos de recuperación de las actividades cotidianas sobre las áreas afectadas y disminuye la resiliencia de las comunidades (Ortíz, 2005).

---

<sup>1</sup> Tsunami: Ola gigantesca producida por un maremoto o una erupción volcánica en el fondo del mar (RAE).

## CAPÍTULO 3

### REVISIÓN DE LITERATURA

El marco teórico viene a constituir la recopilación de tipo documental, con la finalidad de delinear la investigación, es decir, es la etapa en que se establece cómo y qué información será recolectada y cuál será la forma que se empleará para la constatación y el análisis respectivo, por lo tanto el marco teórico en palabras de (Arias, 2012, pág. 106): “Es el producto de la revisión documental–bibliográfica, y consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones, que sirven de base a la investigación por realizar”. Aquí se despliegan una serie de citas referenciales producto de otros estudios teórico y práctico adecuadamente detallado que cumpla con los parámetros necesarios que se persigue en este trabajo.

Desde el discurso de (Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P, 2006, pág. 12): “El marco teórico es un elemento que ayuda a justificar la necesidad de investigar un problema planteado (...)”. Por tanto, es un apartado que muestra un conjunto de teorías o referentes conceptuales asociadas a una o diferentes variables para que el investigador efectúe las interpretaciones y análisis correspondientes a los resultados que se logren, dando sustento al problema planteado.

#### **3.1. Antecedentes de la Investigación**

Para Arias (2012): “*Los antecedentes reflejan los avances y el estado actual del conocimiento en un área determinada y sirven de modelo o ejemplo para futuras investigaciones*”. Estos, se relacionan con todos aquellos estudios asociados con las variables propias del trabajo en proceso, donde se despliegan un sinnúmero de investigaciones que se llevaron a cabo con anterioridad, de acuerdo al contenido presentan relevancia para el abordaje de los aspectos teóricos, procedimentales, métodos e instrumentos necesarios para obtener información primordial que genere conocimientos; así como las conclusiones, recomendaciones, hallazgos y cuáles serán las contribuciones para superar el foco de la problemática planteada.

### 3.1.1. Antecedentes Internacionales

En el contexto internacional, Olan (2018) elaboró una investigación titulada: *Geomorfología arrecifal y su efecto sobre la función de los ensamblajes ícticos*; a nivel de maestría, presentado en la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Los cambios en la estructura física del hábitat han reducido la integridad funcional y estructural de los arrecifes, observándose que los peces asociados se ven afectados en estas condiciones ya que realizan procesos esenciales del ecosistema; por este motivo, el estudio de la diversidad funcional es relevante en este ámbito. El objetivo fue evaluar el efecto de las características geomorfológicas en cuatro zonas arrecifales del Pacífico y Atlántico mexicano (Huatulco-Pacífico Oriental Tropical; Isla Espíritu Santo-Golfo de California; Veracruz-Golfo de México; y Puerto Morelos-Mar Caribe) sobre la estructura comunitaria y diversidad funcional de ensamblajes de peces asociados.

La metodología utilizada fue una investigación de campo con un muestreo espacial. Se consideró la profundidad y el tipo de protección de las áreas como factores de análisis, y se estimaron descriptores físicos del sustrato como porcentaje de cobertura de coral vivo, número y tamaño de colonias de coral, y rugosidad del arrecife. Con base en ellos se analizó la respuesta de la estructura comunitaria de peces representados por índices de riqueza (S), diversidad de Shannon-Wiener (H), y equidad de Pielou (J), sobre la diversidad funcional calculada a partir del índice de Rao. Los resultados indicaron que en el Pacífico no hay relación entre los factores rugosidad, cobertura de coral vivo, profundidad y protección, ni entre S, H, y J de la ictiofauna. Sin embargo, la cobertura de coral vivo se relacionó positivamente con esos índices en arrecifes del Atlántico. No hubo relación entre Rao y la rugosidad en las cuatro regiones, pero sí una tendencia negativa entre tal índice y la profundidad en el Golfo de México.

Con lo anterior, se concluyó que no existe un patrón generalizado que relacione las características geomorfológicas de arrecifes en ambas costas con la función de las comunidades ícticas, sino que depende de las condiciones particulares que se presentan en cada zona, así como de las preferencias que las comunidades ícticas le otorguen al hábitat en cada región.

El aporte de ésta investigación con respecto a la que se está desarrollando, se sitúa fundamentalmente en que ambas abordan los cambios abruptos en la estructura física en los ecosistemas marinos, generados principalmente por la rugosidad, así como también, el tamaño, cantidad de rocas y el porcentaje que pudiera existir en los niveles de sustrato de



una superficie marina, naturalmente estos factores influyen de manera significativa en el comportamiento de los corales que interactúan en esa hábitat.

Por su parte, una investigación desarrollada por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (2016) en Costa Rica, titulada como: *Protocolo para el monitoreo ecológico de las formaciones coralinas*; financiada por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF). Cuyo objetivo se centró en brindar información necesaria para la generación de datos y la interpretación, teniendo valores de salud del ecosistema y ámbitos de variación permisible una vez se comience a implementar el monitoreo.

Dado que Costa Rica se encuentra en una zona tropical, y está rodeada por dos grandes masas de agua (Pacífico y Caribe), tiene la virtud de poseer una costa sumamente rica, donde se pueden localizar una gran variedad de ecosistemas arrecifales. Muchos de estos ecosistemas ya se encuentran protegidos bajo alguna categoría de manejo, sin embargo, esta protección no asegura la permanencia debido a que están expuestos a una serie de eventos ajenos y propios a las áreas silvestres protegidas que desfavorecen el desarrollo. Por lo tanto, tener indicadores medibles, eficientes y confiables, va a permitir analizar las acciones de manejo, identificar fuentes de presión y mitigar daños, todo con el fin de poder conservar estos ambientes.

Este estudio financiado por organismos multilaterales, focalizado esencialmente en la conservación de la biodiversidad marino-costera nacional, mediante el protocolo de monitoreo, ecológico y socioeconómico, a fin de suministrar información a los manejadores de recursos naturales. Proporcionó esta herramienta para optimizar la toma de decisiones en temas de manejo y resguardo de los arrecifes coralinos, a los fines de implementar, acciones que determinen y precisen los factores que inciden en el estado de salud de los ecosistemas y de la seguridad a largo plazo, así como los resultados que se generen en cada indicador, funcionando como un sistema de alerta, que ayude a reducir las amenazas y el impacto inminente a las coberturas coralinas, preservando los ecosistemas arrecifales.

Así mismo, Calle (2014) realizó un trabajo de grado titulado: *Implementación de un protocolo de monitoreo en sitios permanentes en el arrecife de Tuxpan, Veracruz, México*; a nivel de maestría presentado ante la Universidad Veracruzana. Los objetivos específicos fueron: diseñar un protocolo de monitoreo para determinar el estado de salud del arrecife Tuxpan, aplicar el protocolo diseñado en el arrecife y elaborar material y realizar actividades de difusión para la aplicación práctica del trabajo. El estudio se ubicó en un tipo de investigación bibliográfica.

La conservación de la biodiversidad arrecifal depende de lograr mantener los parámetros y procesos ecosistémicos, y promover o incrementar la resiliencia del ecosistema frente a disturbios y fluctuaciones, por lo cual desarrollar o implementar planes o proyectos de monitoreo ecológico, proporcionan herramientas útiles para evaluar la salud y biodiversidad del arrecife. Se ha realizado el diseño de un programa de monitoreo en sitios permanentes en el arrecife Tuxpan, Veracruz, México. Se instalaron dos sitios de monitoreo permanente en el arrecife, una parcela profunda (9 -12 m) y una somera (5 -7 m). Han sido evaluados según el protocolo propuesto y establecido en este estudio para la zona.

Los resultados indicaron que la cobertura de coral duro es de 64% y la de algas es de 13%. Dentro de los transectos muestreados no se encontraron colonias enfermas o con blanqueamiento. Los invertebrados móviles de importancia comercial y/o ecológica fueron muestreados en un área de 150 m<sup>2</sup>; la mayor densidad de individuos la presentó la familia Echinometridae, seguida por la familia Diadematidae.

Además, un total de 20 familias, 36 géneros y 63 especies de peces se han censado hasta el momento, destacando la mayor densidad de individuos por la familia Pomacentridae, con un promedio de 271 individuos / 60 m<sup>2</sup>, el género de herbívoros más representativo fue *Acanthurus* sp con 217 individuos / 60 m<sup>2</sup>. Dos especies representan nuevos registros para el arrecife Tuxpan. De manera complementaria se realizaron reuniones informativas, elaborando material didáctico, disponible para todo aquel que se encuentre interesado en él.

La contribución de esta investigación consiste en la importancia que reviste implementar planes o proyectos que apunten a evaluar y controlar elementos de carácter físicos ambientales, exógenos y endógenos que pudieran impactar y alterar de forma negativa la cobertura de corales en el Parque Nacional Natural Marino Corales del Rosario y San Bernardo, ubicado en la región Caribe, específicamente en el Departamento de Bolívar y de Sucre, Colombia; en atención a que este plan de monitoreo que sugiere efectuar un seguimiento sistemático, donde se recopile información que conlleve a promover soluciones a problemáticas coyunturales o estructurales en el ecosistema.

### 3.1.2. Antecedentes Nacionales

En el marco de las investigaciones en el ámbito nacional, Castro (2016) elaboró un trabajo titulado: *Impacto de la actividad turística sobre los arrecifes coralinos del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, Colombia*; a nivel de maestría, presentado en la Universidad Nacional Heredia, Costa Rica. El Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, es un lugar que protege arrecifes de coral y manglares, de importancia ecológica, el desarrollo del turismo ha generado impactos positivos y negativos. Entre abril de 2011 y enero de 2013, se entrevistaron a los usuarios de las 16 rutas submarinas principales, con el fin de determinar la dinámica turística en el parque.

El objetivo fundamental fue determinar la dinámica turística en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, tomando en cuenta el nivel de afectación a los arrecifes coralinos, permitiendo constituir un fuerte soporte para el planteamiento de directrices, estrategias y acciones de manejo necesarios dado el crecimiento del turismo en áreas marinas de Colombia y en particular de este parque nacional.

El sendero más frecuentado fue Ministerio / Acuario mío ( $23,7 \pm 5,7$  %); en el sendero Aguas abiertas predominó el buceo certificado y con equipo autónomo ( $63,5 \pm 4,5$  %); el 58,6% de los buzos carecía de experiencia básica en esta actividad, y el 74 % tuvieron algún tipo de contacto con los corales (principalmente en corales duros:  $0,9 \pm 0,05$ ). En promedio se obtuvo 5,39 contactos por buzo en buceo autónomo. En el buceo básico hubo un promedio de 0,18 contactos / min / buzo. El buceo causa afectaciones directas e indirectas en estos ecosistemas. La mayoría de los contactos pueden darse por la falta de experiencia de la persona. Es fundamental la capacitación de los turistas.

Finalmente se concluyó que, a profundidades menores a 15 metros, las condiciones son adecuadas considerando que la profundidad, la luz y el grado de exposición al oleaje, inciden en la estructura de los arrecifes y en los esquemas de abundancia y distribución de las especies de coral que lo forman. Sin embargo, no se pudo perder de vista la resiliencia del arrecife coralino, pues los arrecifes de coral son hoy en día el ecosistema marino más emblemático en todo el globo terrestre. Por la importancia tanto económica como ecológica, debe asegurarse la conservación y protección, al igual que el monitoreo constante de las condiciones de salud.

El aporte de este estudio a la investigación en cuestión, muestra el nivel de afectación impactante en forma negativa, a los arrecifes coralinos en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, debido al rol de los factores antrópicos, tal como lo son las actividades turísticas de buceo, ya que los buzos realizan esta actividad

con la intención de tener una experiencia interesante, y en la mayoría de las veces prevalece la imprudencia, falta de conocimiento, experiencia y precaución, ocasionando daños como: fractura del esqueleto y abrasión del tejido; además de la deposición de sedimento, lo cual va en detrimento de la resiliencia y capacidad de repuesta de los ecosistemas.

No obstante, esta actividad turística podría ser controlada por las autoridades encargadas del manejo y preservación de los arrecifes coralinos, estableciendo normas e instruyendo a los buzos recreativos, a fin de incentivar un comportamiento adecuado en la actividad de buceo, que promueva la conciencia para la conservación de estos ecosistemas.

Un artículo desarrollado por Zapata (2017), en Colombia titulado como: *Dinámica temporal de la cobertura de corales y algas y sus impulsores en un arrecife coralino de Isla Gorgona, Colombia (Pacífico Tropical Oriental)*, publicado en la Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. El cual expone que los arrecifes coralinos son ecosistemas altamente dinámicos, a menudo afectados por diversas perturbaciones naturales. El objetivo principal se centró en analizar y evaluar la dinámica de la cobertura de coral y algas, impulsadas por modificaciones ambientales asociadas a la naturaleza, tal como lo es la exposición subaérea de los corales, así como también, agentes físicos y biológicos que pudieran afectar positivamente, manteniendo la resiliencia del ecosistema. La metodología abordada fue una investigación de carácter bibliográfica con datos históricos del periodo 1998-2014.

La variación temporal fue diferente entre profundidades con las áreas someras exhibiendo los mayores descensos en la cobertura coralina hasta 2008, pero una recuperación significativa desde entonces. En contraste, la cobertura coralina en áreas profundas disminuyó sólo ligeramente. La exposición subaérea prolongada de los corales durante mareas bajas extremas parece impulsar un ciclo de perturbación y recuperación de los corales. El crecimiento de los corales hace que el arrecife sea más propenso a la exposición subaérea, después de lo cual los corales se blanquean, mueren y son colonizados por algas filamentosas y carnosas.

Se concluyó que el dinamismo de los arrecifes coralinos de la Isla Gorgona es originado por diversos factores naturales del ambiente, que estimulan ciclos de perturbación y recuperación de los corales, generado en este caso en particular, por la exposición subaérea del arrecife, siendo éste resiliente a esta manifestación, lo cual se debe a que

está protegido de perturbaciones antropogénicas, donde se debe tomar en cuenta que los constantes cambios climáticos pueden afectar esta resiliencia.

El aporte se destaca, en virtud que los arrecifes de coral, son particularmente vulnerables a los efectos de las actividades humanas, en esta investigación se observa que los mencionados ecosistemas están protegidos de estas acciones (antropogénicas), lo cual influye positivamente; haciéndolos resilientes a las exposiciones subaéreas; y a pesar de las afectaciones de los factores físicos, biológicos, ambientales y las constantes amenazas por el cambio climático, que van alterando y deteriorando la vida de los corales, los mecanismos de respuesta naturales, ante ésta dinámica, actúan para adecuarse a estos cambios, fortaleciendo la resiliencia, y así entrar en la fase de recuperación significativa.

En ese mismo orden de ideas, Vega (2016) elaboró una investigación titulada: *Efectos de perturbaciones naturales en ecosistemas marinos: eventos oceánicos extremos en formaciones coralinas del Caribe Colombiano*, a nivel de maestría, presentado en Universidad Nacional de Colombia Instituto de Estudios en Ciencias del Mar –CECIMAR Convenio Universidad Nacional de Colombia –INVEMAR Santa Marta, D.T.C.H., Colombia. El objetivo principal fue entender el papel de las perturbaciones naturales, en este caso, eventos oceánicos extremos, en la dinámica de los sistemas biológicos, tomando como modelo dos formaciones coralinas de las islas del Rosario (islas Tesoro y Pavitos), en los que se tienen estaciones permanentes por parte del SIMAC.

Esta investigación buscó mejorar este entendimiento usando como modelo los eventos oceánicos extremos en los arrecifes coralinos. Para ello se evaluaron dos formaciones coralinas de las islas del Rosario (islas Tesoro y Pavitos) en el Caribe colombiano, de donde se tienen series históricas de datos de cobertura y salud coralina generados por el Sistema Nacional de Monitoreo de Arrecifes Coralinos en Colombia (SIMAC). El trabajo se desarrolló en dos escalas temporales, una a largo plazo (decadal, 1998-2013), con los datos existentes e información ambiental de bases de datos y modelos numéricos asociados a eventos oceánicos extremos (e.g., oleaje, temperatura, caudal, entre otros), y otra a corto plazo (un año) desde noviembre de 2013 hasta noviembre de 2014, con nuevas mediciones, cada tres meses, de la estructura y salud coralina en las estaciones SIMAC, a una profundidad somera (3-6 m) y media (9-12 m).

Se evidenció que la pérdida de cobertura coralina entre 2004 y 2010 estuvo posiblemente asociada al blanqueamiento masivo de 2005, y la combinación de eventos extremos de la temperatura del mar, Kd490 y el caudal. Asimismo, la mayor frecuencia, intensidad y duración de estas dos últimas variables se asociaron con eventos moderados

del fenómeno de La Niña. En el corto plazo, durante el año de evaluación, a nivel general, no se registraron cambios significativos en las formaciones coralinas, aunque se demostró que los signos de deterioro coralino crónico pueden tener un rol importante en la degradación del ecosistema.

Este estudio aporta una estrategia para la conservación de los arrecifes coralinos, que incluye la integración de iniciativas a distintos niveles de acción, exponiendo la importancia de incrementar la frecuencia de las diversas formas de manejo, las cuales, a través de un proceso integrador, permitirán continuar con las actividades de los programas de monitoreo de los ecosistemas marinos a corto y largo plazo, ya que son una de las principales herramientas para generar información relevante y oportuna para la toma de decisiones y el cumplimiento de las metas de conservación.

## **3.2. Marco Conceptual**

### **3.2.1. Cambio de Cobertura de Coral**

Los arrecifes coralinos, al ser ecosistemas altamente especializados, resultan vulnerables a los cambios y alteraciones generados por diversos factores del medio en el que se desarrollan, no son plantas ni rocas, son animales coloniales, de los cuales depende un alto porcentaje de las especies marinas, incluyendo las tortugas. Es urgente considerar y evaluar todas las opciones necesarias para salvar a estos ecosistemas de las amenazas de su entorno, con el propósito de evitar que sean extinguidos.

De acuerdo con los planteamientos César y Chong citado en (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, 2016, pág. 10) “los arrecifes coralinos son los ecosistemas marinos que presentan la mayor biodiversidad del planeta, ya que alberga cerca del 25% de las especies marinas que se conocen”. Estos arrecifes, proveen alimentos y medios de vida a millones de personas en todo el planeta, siendo generadores de una considerable variedad de bienes y servicios, tanto ambientales como productivos, proporcionando refugio, alimentación y zonas de reproducción a las especies dentro de las que se encuentran recursos de alto valor comercial. Por otro lado, los arrecifes sirven de protección a las costas, de la acción del oleaje, tormentas y huracanes, además de que son formadores de las playas arenosas. Es por ello que se deben tomar medidas urgentes, a fin de salvaguardar estas especies, y no permitir que sean extinguidas.

La cobertura de coral constituye un grupo de organismos que se encuentran en una proximidad cercana uno del otro en un mismo tiempo, es una medida de la proporción de

la superficie del arrecife cubierta por corales pétreos vivos en lugar de esponjas, algas u otros organismos. Estos corales forman una comunidad de organismos y secuencia ecológica de especies o ecosistema que se formará dentro de un área o habitat contribuyendo a la construcción del marco tridimensional del arrecife.

Para (Grimsditch, 2019), Los corales son muy sensibles a los cambios de temperatura en el agua, en el mar, y viven en una simbiosis con unas algas microscópicas que viven dentro de ellos y les dan energía. Cuando la temperatura sube demasiado, esta simbiosis que da vida y energía al coral se rompe. Y cuando se rompe es como una fiebre en los humanos, el coral está muy estresado, está muy débil y pierde su color y se blanquea. En esta situación el coral puede morir muy fácilmente y vemos que hay muchos corales que cuando se blanquean sobreviven unos días, unas semanas, a lo mejor unos meses, pero en muchos casos pierden la vida.

Debido a la gran importancia que representan para el planeta, los arrecifes coralinos, a nivel económico, social, ambiental, turístico, recreacional entre otros; como fuente de bienes y servicios, es urgente desarrollar planes que conlleven a tomar acciones en pro de preservar la cobertura coralina, con la finalidad de disminuir en gran medida los factores de riesgo, cambios y alteraciones a los que están expuesto. Tomando en consideración los estudios e investigaciones que se han efectuado en las últimas décadas, donde se exponen las causas que originan los cambios en las coberturas coralinas.

- *Factores meteorológicos y fisicoquímicos*

Para (Gómez et all, 2011) En una escala local, otros tensores que incluyen incremento en la intensidad lumínica y mayor exposición a radiación UV, bajas temperaturas, enfermedades, sedimentación, contaminación, cambios en la salinidad y otros factores físicos o químicos en el agua marina pueden causar y/o intensificar el blanqueamiento en los corales. Sin embargo, los eventos de blanqueamiento masivo afectan los arrecifes a una escala regional-global y no pueden ser explicados sólo por tensores locales.

Vale destacar que, en las escalas locales, existes otros factores que aumentan la intensidad lumínica exponiéndola a una mayor radiación UV; que genera el proceso de blanqueamiento masivo, siendo este uno de los efectos más severos y extendidos que sufren los arrecifes coralinos, a una escala regional-global.

Es relevante analizar y evaluar en todos los cuerpos de agua, los datos que se puedan obtener a través del monitoreo constante de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que impactan tanto la salud como la calidad ambiental de los ecosistemas marinos, igualmente evaluar en las zonas de fondeo, los posibles impactos visuales mecánicos por hélices de las aeronaves acuáticas y aéreas, además de la presencia de residuos sólidos en el fondo, a fin de evitar el terrible blanqueamiento coralino y las amenazas por estos factores que atentan contra la preservación y salvaguarda de estas especies.

- *Factores Sociales y Políticos*

Sostiene además (Grimsditch, 2019) que, los arrecifes de coral también se ven afectados a nivel local por muchas actividades humanas (factores antrópicos), donde la pesca excesiva, pesca destructiva, contaminación por nutrientes, sedimentación y desarrollo o modificación costera están degradando, socavando y matando a estas especies coralinas en el globo terráqueo, minimizando la capacidad de resiliencia a fin de recuperarse de los eventos de blanqueamiento.

Entonces, los factores sociales como un elemento exógeno intervienen en el contexto de los ecosistemas marinos afectándolos mediante las acciones humanas, que incluyen las actividades turísticas, recreacionales y de buceo. Cabe destacar, que estas actividades se han incrementado considerablemente en las últimas décadas, ya que generan una fuente importante de recursos económicos que tales acciones proveen a la localidad, región y país.

Desde la perspectiva de (Aranguren, 2011), con escasa fortuna cabe anotar que día a día el Parque Corales se ve seriamente amenazado, no solamente por las actividades antrópicas que se desarrollan al interior y alrededor del mismo, sino además por todos los factores naturales que lo afectan tales como la erosión costera, aumento del nivel medio del mar (mar de leva rojo), cambio climático, calentamiento global, la sedimentación y el caudal de agua provenientes del Canal del Dique, estas razones son suficientes para conocer en detalle el statu quo de éstos recursos naturales e intentar protegerlos de las amenazas a lo que están sometidos por estos factores.



En vista del aporte de recursos económicos y financieros que se originan de la explotación por las actividades de comercialización pesqueras, de turismo y recreación, ha ido en detrimento de los ecosistemas marinos, específicamente en los arrecifes coralinos, alterando o modificando el medio físico y condiciones ambientales que lo rodean, trayendo como consecuencia el fatal blanqueamiento de estas coberturas y la dificultad para soportar y recuperarse de esta debacle.

- *Alteración de la cobertura coralina*

Para (Flórez, 2011), el incremento de las actividades turísticas y recreativas deriva de un mayor tránsito marítimo, representado en los recorridos realizados por los botes, yates, peñeros<sup>2</sup> de turismo y las motos marinas. Estas actividades ocasionan erosión del litoral por alteración del oleaje, remueven sedimentos, dejan residuos de gasolina, aceite, residuos orgánicos que alteran la calidad del agua.

Además de los factores antrópicos que menciona el autor, están los factores meteorológicos y fisicoquímicos propios de la naturaleza y del ambiente que los rodea, así como altos oleajes, huracanes, fuertes precipitaciones, vientos, cambios bruscos de temperaturas en las aguas, producidas por el calentamiento global y demás fenómenos como El Niño y La Niña, que están afectando significativamente estos arrecifes coralinos, que son parte integral de la extraordinaria perfección que ofrece el océano.

### **3.2.2. Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo**

En la costa del caribe colombiano, entre las entidades políticas territoriales, Departamento de Bolívar y de Sucre, se encuentran los majestuosos archipiélagos de Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo, donde está ubicada el parque nacional natural del mismo nombre de los archipiélagos. Que de acuerdo con el informe del (Ministerio de Ambiente, 2011, pág. 8), describe parte de la historia de este atractivo natural:

Este parque fue creado en 1977 con una superficie inicial de 17.800 hectáreas. En 1988 el área del parque fue ampliada, y se incorporaron dos islas del archipiélago del Rosario: Isla Tesoro, ubicada en la parte septentrional del Parque, e Isla Rosario, en la porción occidental del mismo; estas islas presentaban poca intervención por parte del hombre y comprendieron las primeras porciones de terreno emergido que se integraron al área

---

<sup>2</sup> Peñero: Bote pesquero de nueve metros, sin cabina y de forma más fina en la proa (RAE).

protegida. Posteriormente, se anexó el sector de San Bernardo al PNN con la Resolución Número 1425 del 20 de diciembre de 1996, incorporando la zona que separa los archipiélagos de Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo, gran parte del área submarina circundante a este último, y las islas Mangle y Maravilla, abarcando un área de 120.000 Has.

A partir de la información que muestra (Colparques, 2019), el Parque Nacional Natural Los Corales del Rosario y de San Bernardo, presenta en su zona de influencia, 12 asentamientos conformados por poblaciones que habitan y derivan su sustento principalmente de las actividades económicas que se desarrollan alrededor del mismo, las cuales tienen un contacto directo con los recursos marinos y costeros, éstas son: Bocachica, Caño de Oro, Punta Arena y Tierra Bomba (corregimientos insulares del Distrito de Cartagena de Indias, ubicados en la Isla de Tierra Bomba); Ararca, Santa Ana y Barú (en la Isla de Barú); Isla Grande (en el Archipiélago del Rosario); Santa Cruz del Islote, Isla Múcura e Isla Ceycén (en el Archipiélago de San Bernardo) y la población de Isla Fuerte.

Afirma en (Colparques, 2019), que en éstas 12 comunidades, las poblaciones de las islas de Múcura, Ceycén y el Islote Santa Cruz de los Pescadores en el sector sur del Parque, caracterizadas por su arraigo, convivencia tranquila y deseo de permanencia; la comunidad de Isla Grande, como epicentro de las actividades económicas para la población de las islas del archipiélago de Nuestra Señora del Rosario, y los pobladores de Barú, Santa Ana y Ararca, cuya importancia se deriva de la relación de éstos con el sector de Playa Blanca, por la gran afluencia de turistas, constituyen las principales comunidades del área de influencia del Parque por su cercanía y dependencia con el mismo.

En estos archipiélagos del caribe colombiano, se creó una simbiosis importante que está en pleno proceso de desarrollo, entre los elementos de la naturaleza con la población nativa de los departamentos de Bolívar y de Sucre, dando inicio a las actividades antrópicas que han afectado, tanto positivamente como negativamente a la salud, preservación y conservación de los ecosistemas marinos que allí convergen.



ecosistema esencial, son muy vulnerables por tratarse de comunidades muy específicas que demandan aguas transparentes, luz, sustratos estables, salinidades y temperaturas constantes que fluctúan entre los 25 y 30 grados centígrados. Las áreas coralinas del Parque Corales ocupan 191.68 km<sup>2</sup>, los cuales representan el 72% de las áreas coralinas del Caribe continental colombiano.



*Figura 2.* Plano aéreo del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo. Datos tomados del (Ministerio de Ambiente, 2011).

Las áreas protegidas del parque nacional natural, son zonas sumamente susceptibles a cambios físicos, químicos, biológicos, meteorológicos, climatológicos y antrópicos, es por ello, que se le debe dar un tratamiento de conservación y protección apropiada, de tal manera, que se reduzca la brecha de deterioro progresivo que se ha venido manifestando en las últimas décadas, reveladas mediante las investigaciones científicas llevadas a cabo por instituciones gubernamentales, universidades, asociaciones sin fines de lucro de carácter ambiental, entre muchas otras que se encuentra ocupadas y preocupadas por esta situación.

Por su parte, (Colparques, 2019), se refiere que el ecosistema de pastos marinos constituye un área de 3.035 has, en el Parque Corales. Sirven como hábitat, alimento y origen de cadenas alimenticias y refugio de innumerables especies marinas. Son plantas vasculares o plantas con flores, que han desarrollado la capacidad de realizar todo su ciclo

de vida sumergida en agua salobre o salina. Habitan aguas someras hasta 20-30 m de profundidad, alcanzando su máximo desarrollo a profundidades menores de 10 m y se desarrollan generalmente sobre sustratos de arena en aguas altamente iluminadas y preferiblemente calmadas. Contribuyen a la recirculación de nutrientes y estabilizan el sedimento de la línea de costa. Una de las especies de pastos marinos identificados en el Parque, es la *Thalassia testudinum*, la cual es la fanerógama más abundante, extensa e importante del Caribe; los rizomas de estos pastos compactan las arenas, guijarros y fragmentos calcáreos, dándole mayor firmeza al fondo.

### **3.2.3. Aspectos jurídicos relacionados**

Para el (Observatorio para el desarrollo sostenible, 2012), dada la relevancia que representa para el patrimonio natural de la nación, el conjunto submarino de ecosistemas que alberga peces, crustáceos, moluscos, anémonas, erizos, estrellas de mar, etc., el Inderena reservó un área de 17.800 hectáreas en el archipiélago de Nuestra Señora del Rosario que denominó Parque Nacional Natural los Corales del Rosario (submarino), ubicado dentro de la jurisdicción del Distrito de Cartagena en el departamento de Bolívar, mediante Acuerdo 026 de 1977 aprobado por Resolución 165 de ese mismo año, modificado por el Acuerdo 093 de 1987 aprobado por Resolución 0059 de 1988 según la cual se realinderó e incorporó un área adicional de 1706,25 hectáreas, quedando con una extensión de 19.506,25 hectáreas, que comprende el área territorial de la isla del Rosario, sus islotes adyacentes y la Isla Tesoro.

Posteriormente, para el (Observatorio para el desarrollo sostenible, 2012), el Ministerio del Medio Ambiente con Resolución N°1425 de 1996 realinderó el Parque Nacional Natural Los Corales del Rosario y modificó su denominación, en un área aproximada de 120.000 hectáreas, que en adelante se denominó ***Parque Nacional Natural Los Corales del Rosario y de San Bernardo***, quedando comprendidas dentro de su jurisdicción, el área territorial de la isla del Rosario, sus islotes adyacentes y el área territorial de la Isla Tesoro ubicadas en el archipiélago de Nuestra Señora del Rosario. Así mismo el área territorial de la Isla Maravilla e Isla Mangle en el archipiélago de San Bernardo.

### **3.2.4. Teledetección**

La teledetección es un método que permite recolectar información a través de la captación de radiación electromagnética procedente de la superficie terrestre. Entendiendo la radiación electromagnética como el proceso mediante el cual se emite energía bajo la forma de ondas que se propagan gracias al movimiento de los electrones (Rojas, 2009).

La radiación se puede clasificar partiendo de dos elementos:

1. Frecuencia: definida como el número de veces que un ciclo pasa un punto determinado.

2. Longitud de onda: Indica la distancia entre dos picos sucesivos de una onda.

La variación de estas se puede ver influenciada por la temperatura del cuerpo que radia la energía; a mayor temperatura, mayor frecuencia y menor longitud de onda, entendiendo así la relación inversa que existe entre estos dos factores. Las distintas longitudes de onda se agrupan en bandas donde la radiación tiene un comportamiento similar, esto con el fin de facilitar su estudio. A este conjunto de bandas se le denomina: espectro electromagnético (Basterra, s.f.).

Para aplicar la teledetección, no todos los grupos de ondas son funcionales; esto, debido a la absorción que ejerce la atmósfera, filtrando cierto tipo de radiaciones. Por esta razón, para realizar estudios de teledetección sobre la superficie terrestre, la información adquirida por los satélites se limita a las zonas donde la transmisividad de la atmósfera es alta, a estas zonas se les denominan “ventanas atmosféricas” y componen las regiones del espectro electromagnético (Basterra, s.f.):

1. Espectro visible: Se encuentra entre los 0,4 y 0,7 micrones, su nombre se debe a que es la única radiación que puede captar el ojo humano. En el espectro visible se pueden distinguir tres bandas espectrales: azul, verde y roja.

2. Infrarrojo próximo: Se extiende desde los 0.7 a 1.3 micrones. Su uso más común en teledetección es el estudio de vegetación y concentración de humedad.

3. Infrarrojo lejano o térmico: Se encuentra entre los 10 y 12.5 micrones. Principalmente utilizada para análisis térmicos; adicionalmente, posee la característica de trabajar con la energía que radian los objetos y no con la energía reflejada por el sol, convirtiéndose en una herramienta ideal para análisis nocturnos.

4. Microondas: Se encuentra en las longitudes superiores a 1mm. Esa banda no se ve afectada por las cubiertas de nubes, lo que la hace idónea para estudios en zonas tropicales

donde la nubosidad es constante, adicionalmente, también puede ser utilizada sin luz solar (Basterra, s.f.).

Así mismo, la señal recibida por el satélite puede variar dependiendo de la firma espectral de cada elemento a analizar; dicha firma, se obtiene al cruzar la cantidad de radiación reflejada por la superficie con la longitud la onda electromagnética (García, s.f., Rojas, 2009).

En el caso del agua, la mayor reflectividad se da en las longitudes de onda más cortas del espectro (azul y verde). Sin embargo, la reflectividad en el agua no suele ser muy alta, ya que esta absorbe la mayor parte de radiación que recibe; esta condición es característica de zonas donde el agua está estancada. Cuando esto no ocurre y a las variables se debe agregar oleaje, el comportamiento de la superficie cambia, y pasa de ser especular a ser difusa, debido a la rugosidad del cuerpo (Rojas, 2009; Basterra, s.f.). Como es el caso del PNN Corales del Rosario y San Bernardo, donde el análisis de la curva espectral será dado por, además del oleaje, la concentración de material en suspensión y la profundidad del agua.

1. Cuando se presentan aguas poco profundas, hay una mayor influencia de los sedimentos que se encuentran en el fondo, lo cual aumenta la reflectividad espectral en general.
2. Cuando hay alta concentración de materiales en suspensión y estos, a su vez, poseen un alto contenido de clorofila, la reflectividad en el azul baja y aumenta en el infrarrojo cercano y verde.
3. Al encontrarse alta concentración de arcilla, la reflectividad en el rojo será mayor.

De igual forma, para poder realizar análisis de este tipo, es necesario llevar a cabo una combinación de bandas que permita percibir la información de forma más completa. Dentro de las bandas que se manejan, existen 3 que pertenecen al espectro visible: 1, 2 y 3. O también conocidas como bandas RGB de color natural; el nombre de RGB lo reciben gracias a que se representan con los 3 colores primarios con los que el ojo humano percibe las diferentes superficies terrestres: Red (Rojo), Green (Verde) y Blue (Azul) (Fernández-Coppel, 2001; Herrero, s.f.).

Las bandas visibles son de gran utilidad en estudios que requieran discriminar la profundidad de un cuerpo hídrico, la turbidez, corrientes o zonas con sedimento; esto gracias a que dichas bandas responden a la profundidad con que penetra la luz en el objeto de análisis. Representa las aguas profundas en azul oscuro, el azul claro indica aguas de poca profundidad, presenta la vegetación en tonos verdes y los suelos y rocas se muestran en tonalidades marrones y amarillas (Ibíd. 2001)

Adicionalmente, para análisis como el que se desarrolla en este documento, las combinaciones en falso color RGB son de gran utilidad, para esto se utilizan las bandas 4, 3 y 2. La representación de la superficie, entonces, se podrá ver de la siguiente manera (Ibíd. 2001):

- Rojo/Magenta: Puede variar dependiendo de las estacione cuando presenta información en zonas de cultivos herbáceos o bosques de caducifolias, y para análisis agrícolas, representa cultivos regados y vegetación vigorosa.
- Rosa: Representa las zonas de pradera y con vegetación en temprano estado de crecimiento; pueden encontrarse también zonas suburbanas con pequeños jardines y zonas arbóreas.
- Blanco: Muestra zonas de escasa o nula vegetación pero que posee una alta capacidad reflectiva, como son las nubes, los suelos desnudos, depósitos salinos y canteras.
- Azul oscuro/negro: Representan zonas que están parcial o totalmente cubiertas por agua, como ríos, lagos, canales o embalses; también, en zonas volcánicas, el color negro podría indicar flujo de lava.
- Gris: Zonas urbanas o pobladas; roca desnuda.
- Marrón: Vegetación arbustiva, la tonalidad puede variar dependiendo de la densidad.



- Beige/dorado: Presenta zonas de transición, como prados secos (Castillo, s.f.; Romero, 1998).

Otra combinación de bandas en falso color RGB se da con las bandas 4, 5 y 3, en ese orden. Esta combinación permite resaltar con mucha claridad el límite entre el agua y la tierra. Donde los cuerpos de agua se mostrarán en tonos azules oscuro casi negro y las zonas con vegetación o costeras se verán representadas en tono marrones (Ibíd. 2001).

Sin embargo, en este estudio, la combinación de bandas utilizada fue: 3, 4, 5. Gracias a que en esta combinación hay dos bandas en la región del infrarrojo, presenta, al igual que la combinación anterior, una mayor definición entre los límites de lo cuerpo hídricos y el suelo. La vegetación, en este caso, se muestra en tonalidades verdes y rosa que varía dependiendo de las condiciones y la ubicación. Las áreas urbanas y los suelos desnudos se podrán identificar con tonos rosados y finalmente, el agua, independientemente de la cantidad de material en suspensión, se mostrará de color negro (Ibíd. 2001).

Para este análisis, se utilizaron imágenes Landsat 7 y Landsat 5.

## **Landsat**

En la década de los 60, los programas espaciales tripulados (Mercury, Gemini y Apolo) dieron el impulso final a la teledetección. Durante la órbita de Apolo; antes de alunizar, se realizó el primer intento de fotografía multiespectral para el análisis de los recursos naturales de la superficie terrestre. Las imágenes fueron captadas utilizando una película pancromática con filtros rojos y verdes, otra película en blanco y negro del infrarrojo próximo y una última en color. La calidad de los resultados obtenidos impulsó a la NASA (National Aeronautics and Space administration) y al ministerio de interior de los Estados Unidos, a desarrollar el programa ERTS (Earth Resources Technology Satellites), ahora conocido como LANDSAT (Labrador, 2012).

El primer satélite de esta familia fue puesto en órbita el 23 de junio de 1972 y operó hasta el 6 de enero de 1978. El programa Landsat es considerado el más productivo a la fecha, su último satélite se lanzó el 15 de abril de 1999, lo que significa que el programa, por más de 25 años, ha proporcionado datos multiespectrales de alta resolución; esto lo

convierte en el registro de información más largo, obtenido de forma global y repetitiva, de la superficie terrestre (Ibíd. 2012)

Para los años ochenta, la financiación y funcionamiento de los satélites LANDSAT pasaron a manos del sector privado; la EOSAT (Earth Observation Satellite Company) recibió en 1985, los derechos para vender los productos Landsat por un periodo de 10 años y se comprometió también a participar en el desarrollo de nuevos sensores; sin embargo, el control físico de la plataforma seguía siendo del gobierno, quien a su vez adquirió el compromiso de cooperar en el desarrollo de Landsat 6 y 7 (Ibíd. 212)

Pocos años después, recortes en el presupuesto de la EOSAT pusieron en riesgo la continuidad del proyecto Landsat; ante la presión de la comunidad científica, en 1992 se creó una nueva ley que devolvió el control al gobierno y se logró un financiamiento estable para la construcción de Landsat 6 y 7 (Ibíd. 2012).

Un año después, en 1993, se lanza Landsat 6, que por fallas en la comunicación no logró ubicarse en la órbita esperada y se perdió. El incidente con Landsat 6 puso en duda la capacidad para mantener vivo el programa, sin embargo, en 1999, con la unión de la NASA, (encargada de desarrollo y lanzamiento del satélite), la NOAA (responsable de la operación y mantenimiento durante todo el tiempo de vida del satélite) y el USGS (encargado de la recolección, procesamiento, distribución y almacenamiento de los datos), se inicia el proyecto Landsat 7 (Ibíd. 2012).

- **Landsat 7**

Este satélite hace parte de la segunda generación del programa Landsat, en la cual se introdujo un nuevo tipo de sensor llamado Thematic Mapper (TM), diseñado para facilitar la elaboración de cartografía temática. El objetivo de la implementación del sensor TM fue brindar información con mejor resolución espacial, espectral y radiométrica.

- Resolución espacial: Hace referencia al nivel de detalle con que podemos apreciar la información en una imagen; lo que permite distinguir objetos pequeños. La resolución espacial depende de la altura, velocidad de exploración y número de detectores (Caneleo, 2010).
- Resolución espectral: Considera el número de bandas y el ancho de estas, que el sensor es capaz de detectar; teniendo en cuenta también la separación entre las longitudes de onda que puede

percibir el sensor a lo largo del espectro electromagnético (Ibíd. 2010).

- Resolución radiométrica: Responde a la capacidad del sensor para detectar cambios en la radiancia espectral. Con la resolución radiométrica, es posible identificar el número máximo de niveles digitales (píxeles) que posee la imagen; estos están definidos por números enteros que son traducidos a escala de grises; así pues, la resolución radiométrica tiene una relación directamente proporcional con la facilidad de interpretación de una imagen (Ibíd. 2010).

Sin embargo, Landsat 7, aunque pertenece a la segunda generación de Landsat, posee un sensor más moderno: Enhanced Thematic Mapper. Posee casi las mismas características que el TM, pero con ciertos ajustes y en una versión más moderna, adicionando a las bandas multispectrales que manejaba el TM, una banda pancromática (véase tabla x), lo que permite que las imágenes obtenidas a través de esta banda puedan ser trabajadas en escalas de hasta 1: 25.000 (Basterra, 2007).

Sensor	Altitud (km)	Periodicidad (Días)	Intervalo espectral (µm)	Resolución espacial (m)
TM	705	16	(1) 0,45 0,52	30
			(2) 0,52 0,60	30
			(3) 0,63 0,69	30
			(4) 0,76 0,90	30
			(5) 1,55 1,75	30
			(6) 10,4 12,5	120
			(7) 2,08 2,35	30
ETM+	705	16	(1) 0,45 0,52	30
			(2) 0,53 0,61	30
			(3) 0,63 0,69	30
			(4) 0,78 0,90	30
			(5) 1,55 1,75	30
			(6) 10,4 12,5	120
			(7) 2,09 2,35	30
	PAN 0,5 0,90	15		

Tabla 2. Características Landsat 7. Fuente (García, s.f.)

- **Landsat 5**

El satélite Landsat 5 comenzó a orbitar el 1 de marzo de 1984, se convirtió en el satélite de observación de la tierra con más tiempo de operación; el 5 de junio de 2013 se dio por terminada su vida útil. Mientras estuvo en funcionamiento, sus aplicaciones se extendieron a campos como la detección de cambios globales, agricultura, calidad del agua y administración de recursos.

Este satélite posee dos sensores: Escaner Multi-Espectral (MSS) y el Mapeo Temático (TM); el primero con una resolución espacial de 60 m, y el sensor TM con una resolución espacial de 30 m.

<b>Parámetros</b>	<b>Landsat 5</b>		
<b>Altitud de Órbita</b>	705km		
<b>Bandas Espectrales</b>	Bandas	Longitud de Onda (nm)	GSD (m)
	<b>MSS</b>		
	4 - VERDE	500 - 600	57x79
	5 - ROJO	600 - 700	57x79
	6 - NEAR INFRARED	700 - 800	57x79
	7 - INFRAROJOS	800 - 1100	57x79
	<b>TM</b>		
	1-AZUL	450-520	30
	2-VERDE	520-600	30
	3-ROJO	630-690	30
	4-INFRAROJOS	760-900	30
	5-INFRAROJOS	1550-1750	30
	6-INFRAROJOS TÉRMICOS	10400-12500	120
	7-MID-INFRAROJOS	2080 - 1250	30
<b>Ancho pasada</b>	185 km		
<b>Distancia de Muestreo</b>	30-120		
<b>Tiempo revisita</b>	16 días		

### 3.3. Estado del Arte

- Influencia del Fenómeno El Niño

La influencia que ejercen los fenómenos climatológicos y meteorológicos en la biosfera, además de los sistemas humanos que comprende aspectos sociales y económicos, que se reflejan en los ecosistemas a través de cambios abruptos de

temperatura, sistemáticas precipitaciones (lluvias), vientos con altos niveles de intensidad; produciendo alteraciones sobre las condiciones delimitadas como normales, impactan en el medio ambiente de forma categórica y en los sistemas socioeconómicos, generando desajustes, ocasionando efectos desfavorables en el comportamiento de esos sistemas; cuyas causas se originan entre otros factores por los cambios de clima, temperatura, aire, viento, entre otros elementos. Para (Montealegre, 2007, pág. 9), “El Niño es el término originalmente usado para describir la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales relativamente más cálidas que lo normal en el Pacífico tropical central y oriental”.

En otras palabras, este fenómeno, representa ciclos de variabilidad climática de carácter irregular que se presentan por el intercambio entre las corrientes del océano y la atmósfera, originados fundamentalmente por alteraciones en los estándares normales del comportamiento sobre las fluctuaciones de las corrientes oceánicas, flujos de vientos, distribución de las precipitaciones y temperaturas. En función a los señalamientos de (Pabón & Montealegre, 2017, pág. 81):

Los fenómenos el niño y la niña producen cambios de gran escala en el campo de la temperatura superficial del mar efectos de los fenómenos de El Niño y de La Niña en el planeta su efecto climático e impactos socioeconómicos y la presión atmosférica (Oscilación del Sur) en el Pacífico tropical, lo cual altera los patrones de circulación general de la atmósfera.

A partir de estos argumentos, este fenómeno natural impacta de forma significativa en términos climáticos, produciendo alternaciones sobre las condiciones normales en la temperatura, que pudieran focalizarse en el calentamiento excesivo del clima, incrementando los flujos de vientos, que elevan la presión de las corrientes, además de la presión atmosférica, lo que ocasiona transformaciones repentinas que van detrimento en los diferentes en los ecosistemas, sistemas sociales y económicos en diversas regiones del mundo.

Conviene agregar, que el fenómeno de El Niño produce cambios repentinos en el clima, lo que conlleva a experimentar condiciones anómalas, con una intensidad extrema que influencia directamente en los ecosistemas marinos que rodean el océano pacífico y zonas adyacentes a la costa atlántica, además de las variaciones constantes de las temperaturas, la salinidad de las aguas del mar, los

vientos excesivos y las alteraciones inesperadas en el nivel del mar (oleajes extremos), constituyen algunos efectos adversos que afectan las regiones.

Con la influencia y presencia del fenómeno de El Niño, expresan (Pabón & Montealegre, 2017), que la volatilidad en las temperaturas del aire (calentamiento global), se sitúan relativamente altas (mayores que lo normal) durante las horas del día, acentuándose con una intensidad más fuerte en las zonas bajas del litoral Pacífico, el interior de los valles interandinos, la región Caribe y la parte oriental de la Orinoquia y la Amazonia. No obstante, esto produce modificaciones en la temperatura del aire en horas nocturna y en la madrugada desciende a valores por debajo de lo normal debido a las condiciones secas.

Con lo cual, en las partes bajas de las regiones andina y caribe Colombiana, las anomalías de temperaturas que se registran con una periodicidad mensual pueden ser cada vez mayores, pues el aumento de la temperatura superficial y subsuperficial del agua frente a la zona costera de Colombia, producen fluctuaciones específicas sobre las condiciones ambientales del océano, creando así un proceso grande de migración de las especies, afectando la resistencia de los ecosistemas coralinas, además del desplazamiento de otras poco comunes en esas áreas marítimas.

En términos generales, sostiene (Montealegre, 2007) que se ha podido establecer que el mayor impacto de carácter climático, derivado de la influencia que ejercen los fenómenos El Niño y La Niña, tiene lugar de ocurrencia en el transcurrir del primer trimestre del segundo año de aparición del evento, el cual es muchas veces coincidente con la fase madura de los fenómenos, es decir, cuando se presentan las mayores anomalías en las corrientes del océano y la atmósfera del Pacífico tropical. Estacionalmente, el efecto es más acentuado en las temporadas secas que en las lluviosas.

En los planteamientos de (Sergio, S; Soares, M,;, 2017), desde los años '80 del siglo pasado, los efectos del fenómeno de El Niño se han empezado a contabilizar de forma muy rigurosa desde un punto de vista ecosistémico y económico. Tras la debacle pesquera sufrida por países como Perú o Chile durante los años '80, o los fenómenos de blanqueo de coral detectados en diferentes partes del planeta debido a los intensos cambios de temperatura del agua y las condiciones oceanográficas, el efecto de este fenómeno se ha empezado a estudiar de forma más sistemática. Sin tener la certeza absoluta de si el cambio climático está

incrementando frecuencia o intensidad de sus impactos, lo que está claro es que hay repercusiones muy graves tanto en la composición y funcionamiento de los ecosistemas como en los beneficios económicos que éstos reportan.

En función de los fines que persigue esta investigación, el fenómeno de El Niño desde la década de los 80 del siglo pasado, se ha referenciado en diversos estudios calificados, como uno de los principales responsable de un conjunto de efectos negativos que ha producido tanto en el pacífico como en las costa del caribe colombiano, variados efectos en el sistema ambiental que influyen drásticamente en los ecosistemas marinos (blanqueamientos que conllevan a la disminución progresiva de las majestuosas especies coralinas).

Estos efectos, se pueden contabilizar desde un proceso masivo de blanqueamiento de corales, como un acontecimiento categorizado como fatal para todas aquellas comunidades de arrecifes coralinos; igualmente, las consecuencias originadas por el fenómeno El Niño, que trae consigo el incremento desmedido en la temperatura, además de los cambios en la salinidad provocados por el exceso de lluvias en el agua marina superficial, son factores neurálgicos determinantes que causan sucesos de muerte de corales en esas regiones del pacífico y costa caribeña.

Finalmente, a partir del impacto del fenómeno El Niño, en el escenario de eventos que se han producido sobre blanqueamientos coralino en Colombia, Williams y Bunkley citado en (Ministerio de Ambiente, 2011, pág. 321) declararon que en estos complejos: "(...) ha sido uno de los más severos, también relacionado con la ocurrencia de un fenómeno El Niño, con las más altas tasas de mortalidad asociada y arrecifes totalmente devastados (...). Su impacto fue más moderado en el Caribe".

Es decir, a partir de la disminución del nivel del mar, así como el fenómeno de marea roja, dejan una exposición abierta de las áreas (subáreas), que ocasionan la destrucción de las capas superiores de los arrecifes de coral que rodean muchas islas; lo que trae consecuencias álgidas para los ecosistemas marinos, al producir blanqueamiento de los corales.

- *Cambios de la presión demográfica dentro del parque.*

La volatilidad de los cambios que van sucediendo a nivel del crecimiento demográfico acelerado en las adyacencia del parque nacional naturales corales del rosario y san bernardo, se ha visto influenciado por la deficiente calidad de las aguas

en diferentes sectores como el islote, impactado por la sobrepoblación, la carencia de infraestructura sanitaria elemental para que se gestionen los residuos generados por las actividades de los habitantes, ocasionando que éstos, sean esparcidos directamente al océano, promoviendo así, el incremento de la concentración de microorganismos de origen fecal como agente contaminante para los ecosistemas de arrecifes.

En cuanto a la dinámica poblacional en el archipiélago de Nuestra Señora del Rosario para (Incoder UJTL, 2014), la zona insular de la jurisdicción de Cardique cuenta con una población de 2.241 habitantes de los cuales, el 29,7 % están en las islas del Rosario y el 24 % en las islas de San Bernardo. La población total en el área insular representa el 0,13 % del total del departamento, sólo el 0,27 % del municipio de Cartagena. El dato reportado por Durán (2006), a partir del censo interno realizado por el consejo comunitario es de 597 nativos en las islas del Rosario, y un total de 170 familias; 303 hombres y 295 mujeres. En el informe sobre el estudio socioeconómico en Isla Grande (SURTIGAS, 2009), la población registrada para el 2004 fue de 807 habitantes (Sisbén, 2004), para el 2007 fue de 718 habitantes, en el 2009 reportan 629 habitantes y en el 2012 la comunidad está conformada por 178 familias, que equivalen aproximadamente a 890 personas, con un promedio de 5 personas por hogar (Incoder, 2012).

Unos datos suministrados por (Betancourt, J; Narvaez, S.; Espinosa, L.; Vivas, J.; Parra, J.,, 2011, pág. 74): “En el Islote existe una fuerte presión demográfica de 8,3 personas por m<sup>2</sup>, siendo una de las islas de mayor densidad poblacional a nivel mundial ( $\approx 1200$  habitantes en 0,01 Km<sup>2</sup>)”. Adicionalmente, para INVEMAR citado en (Betancourt, J; Narvaez, S.; Espinosa, L.; Vivas, J.; Parra, J.,, 2011), sostiene que sólo el 19% de las viviendas cuenta con instalaciones sanitarias de pozo séptico como servicio sanitario familiar, las cuales una gran mayoría son compartidos por viarias casas y familias, y finalmente un 81% restante utiliza el mar como el principal sitio para la disposición final de excretas fecales, aspecto que produce altos niveles de contaminación originado por las actividades antropogénicas.

Para INVEMAR citado en (Ministerio de Ambiente, 2011), el área político-administrativa del AMP está compuesta por el distrito de Cartagena y el municipio de San Onofre. En el caso del primero, las áreas específicas son: Pasacaballos y Santa Ana (área urbana de Cartagena), el corregimiento islas del Rosario, el



corregimiento del archipiélago de San Bernardo, el corregimiento de isla Fuerte y el corregimiento de Barú. En el caso de San Onofre, se incluye la parte costera de los corregimientos Bocacerrada, La Barce, Libertad, Rincón y Berrugas.

- Procesos de unión del Parque Nacional Natural corales del Rosario y de San Bernardo

A finales del siglo pasado, el Ministerio del Medio Ambiente de la República de Colombia, con el propósito de salvaguardar los ecosistemas que rodean la costa caribeña colombiana en el marco del sistema de parques nacionales naturales, en aras de garantizar la preservación integral y los procesos ecológicos que se producen en los archipiélagos de Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo, se promovió por el (Ministerio del Ambiente, 1996), la Resolución N° 1425 del 20 de diciembre de 1996, donde se amplían los linderos del Parque Nacional Natural de Corales del Rosario que buscó: “Incluir áreas insulares y marinas que contienen ecosistemas de alta biodiversidad y productividad, relacionadas con el Complejo del Archipiélago Nuestra Señora del Rosario y así ofrecer condiciones que permitan una autorregulación ecológica”.

De tal manera, que este proceso de unificación de ambos archipiélagos se produjo en tanto y cuanto, la presencia relevante de un sinnúmero de ecosistemas marinos coralinos, manglares y demás especies ricas localizadas estratégicamente en San Bernardo, están orientadas a proporcionar un equilibrio marino sin precedente, donde la productividad de estas especies es clave para la supervivencia y coexistencia de otras especies, que contribuyan a mantener protegidos estas áreas bajo régimen de administración especial por el Estado Colombiano.

Este proceso de realineación de los linderos del parque nacional natural corales del rosario, se ejecutó luego de estudios minuciosos auspiciados por la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, que recomendó la incorporación de todas aquellas formaciones coralinas que rodean e integran el archipiélago de san Bernardo, con el objeto de salvaguardar, conservar los ecosistemas, que comprenden arrecifes que de acuerdo a la estructura tienen características resistentes, resilientes y autopoietico ante elementos exógenos y endógenos antropogénicas, el cambio climático abrupto, que pudieran influenciar negativamente.

- *Transición de la economía: cambios de la pesca al turismo*

A continuación, se describen cambios importantes en la dinámica de las relaciones humanas con las actividades económicas que el entorno proporciona, a través del proceso de evolución que se originó en la costa caribeña colombiana y que conlleva a transformar las potencialidades y recursos naturales de las zonas geográficas donde coexiste los arrecifes coralinos para el sostenimiento económico de las poblaciones que allí habitan.

Atendiendo a las investigaciones desarrolladas por él (Ministerio de Ambiente, 2011), anteriormente la actividad pesquera era una forma de buscar el sustento para las familias que vivían esas zonas naturales; cabe destacar, que en ocasiones se cambiaba el pescado por yuca, plátano u otros productos (forma de trueque), o simplemente era regalado; no era el negocio de quienes salían a una faena, era la forma de conseguir la “liga” o el pescado para acompañar la yuca o el ñame, ya que la actividad principal en su momento era la agricultura. Se refieren además que los pescadores tenían ingresar al mar por mucho tiempo, por la enorme cantidad de peces grandes que existían.

Se puede observar de lo anteriormente expuesto por el autor, que la actividad económica con características primitivas como el trueque en estas áreas, ha ido transformándose, evolucionando y progresando a otro nivel mucho más sofisticado en cuanto a la generación de riquezas en términos económico, para el sustento de la población que allí converge, y de la comercialización de grandes empresas relacionadas con el sector turismo.

En lo que respecta al turismo, para él (Ministerio de Ambiente, 2011), la comercialización de productos y servicios para el turismo, entre ellos la venta de platos típicos de la zona, comenzó de forma emergente en la década de los 80’s, mediante el auge de sitios que se convirtieron en turístico, debido a la presencia de embarcaciones con visitantes que buscaban playas donde pasar el día, y los pescadores de ese sector, observaron estas visitas y empezaron a ofrecer otros servicios vinculado con esa actividad económica (desayunos, almuerzos, meriendas y cenas, hospedaje, guías turísticos). Con el transcurrir de los días, los turistas demandaron más servicios y este sector se convirtió en una de las playas más visitadas en el parque.

- Impacto de la aparición del pez León

En función de los estudios llevados a cabo por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (INVEMAR), el pez león *pterois volitans*; fue declarado una especie exótica invasora mediante la Resolución 0207 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

Para (INVEMAR, 2012), en términos generales, el pez león como especie invasora, altera la estructura y composición de las comunidades biológicas de los ecosistemas arrecifales, al competir con las especies nativas por alimento y espacio, modificando la red trófica, desplazando las especies nativas de sus hábitats naturales e incluso extinguiéndolas, causando así disminución de la biodiversidad y alteraciones ecosistémicas irreversibles. Según Acero citado en (INVEMAR, 2012), Si no se controla con rapidez la invasión del pez león, este podría reducir o hasta extinguir varias de las especies locales, por ejemplo, al disminuir el número de peces que se alimentan de algas marinas éstas podrían proliferar de tal forma que pondrían en peligro los arrecifes de coral.

En consecuencia, conviene resaltar que el pez león como intruso que se expande rápidamente en los arrecifes coralino, perturba negativamente la convivencia marina y las actividades antrópicas en este ecosistema, así como lo señalan los expertos que han desarrollado investigaciones en este aspecto. Se observa que las actividades humanas se ven amenazadas por el riesgo que corren al sufrir accidentes cuando tropiezan con las nocivas púas venenosas del pez; igualmente, las especies nativas se ven afectadas ya que este depredador se nutre de peces jóvenes que sirven de alimento para la población y también consume las larvas de peces que son vitales para la ecología de los arrecifes coralinos.

Para Hixon citado en (INVEMAR, 2012), se desconoce la situación actual de la ecología de la especie en la región Caribe de Colombia (dirección y velocidad de propagación, interacción con los organismos propios del ecosistema invadido, edad de madurez reproductiva, fecundidad, frecuencia de las perturbaciones, y perturbación del hábitat, entre otros), que permita diseñar estrategias efectivas para el control de su abundancia y dispersión. Se afirma que después de la llegada del pez león desaparece

aproximadamente el 80% de los peces pequeños del área invadida, tal como sucedió en Bahamas.

## **4. METODOLOGÍA**

El presente proyecto cuenta con una metodología descriptiva mixta; se realizó un análisis cualitativo partiendo de información secundaria tomada de publicaciones y estudios previos, e información primaria, adquirida en el trabajo desarrollado en campo. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis cuantitativo de las áreas con cobertura de coral y a partir de allí se ejecutó un análisis multitemporal con el fin de identificar la influencia de los diferentes factores sobre el ecosistema de coral.

Así pues, se establecieron 3 etapas metodológicas, cada de una de ellas respondiendo a los objetivos específicos previamente establecidos.

### **4.1 Determinar el papel de los diferentes factores naturales (meteorológicos y fisicoquímicos) sobre el cambio en la cobertura de coral en el periodo de 1981 a 2010.**

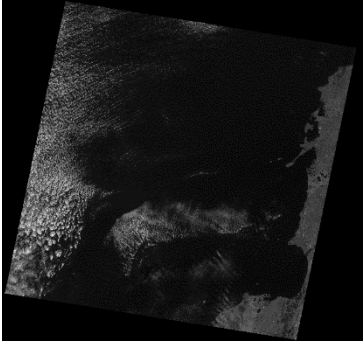
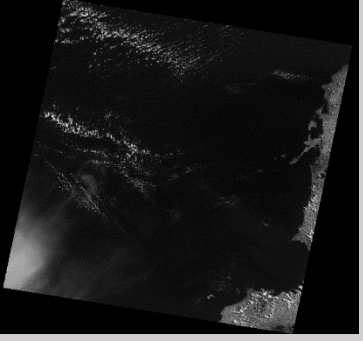
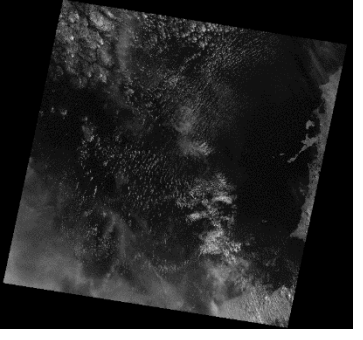
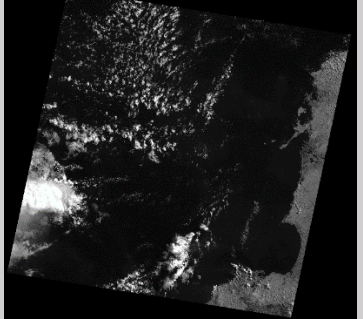
Las actividades desarrolladas en esta etapa fueron las siguientes:

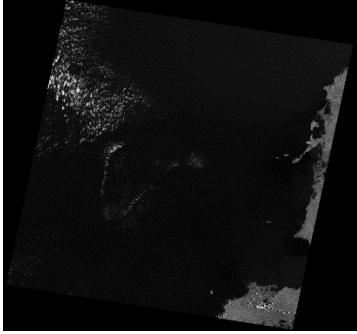
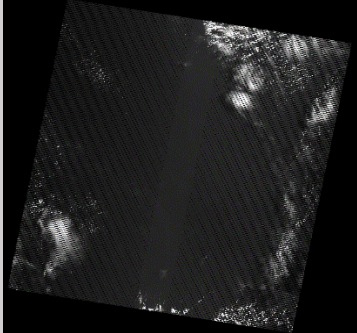
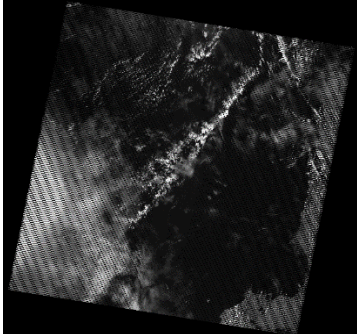
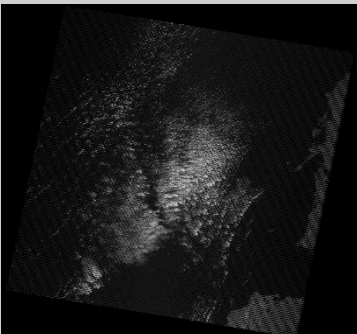
#### **4.1.1 Obtención de imágenes satelitales**

Adquisición de imágenes satelitales correspondientes al PNN Corales del Rosario y San Bernardo a través de la plataforma libre del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés); las imágenes obtenidas corresponden a los satélites Landsat 5 y 7. La selección de las imágenes se dio teniendo en cuenta la nubosidad (no superior al 20%) y las fechas en que las mismas fueron tomadas; se utilizaron 10 imágenes en total, distribuidas entre los años de 1981 a 2010 con lapsos de 3 a 5 años entre cada una para lograr mayor homogeneidad en la información (Galvis, 2017).

**Tabla 1. Imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 5.**

**Escala de grises.**

<b>Satélite</b>	<b>Fecha</b>	<b>Imagen</b>
<b>Landsat 5</b>	4-mar-85	
	23-may-88	
	9-jun-91	
	8-jun-96	

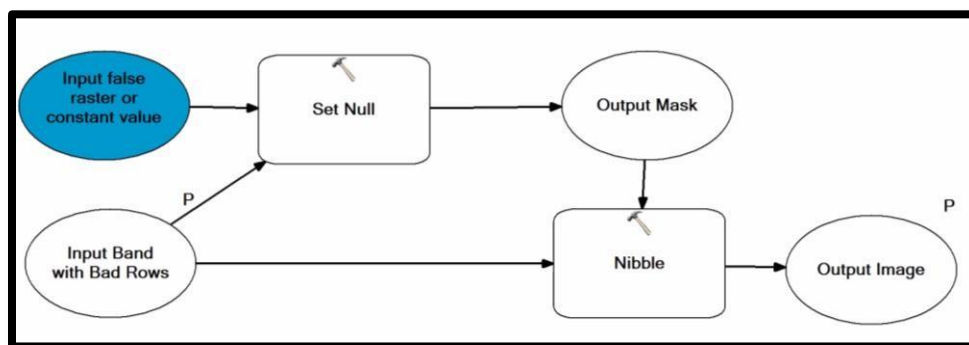
	20-ago-00	
<b>Landsat 7</b>	16-ago-04	
	16-ago-07	
	1-mar-10	

### 4.1.3 Generación de cartografía de temperatura superficial

Una vez obtenidas las imágenes satelitales, se inició el proceso para la obtención de la temperatura superficial a partir de las bandas 3, 4 y 6 (rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo térmico respectivamente) mediante la utilización del software ArcGis.

- Inicialmente, se realizaron recortes en las imágenes eliminando las áreas que no contenían información relevante para la investigación, las cuales correspondían a las zonas externas, mediante la herramienta clip.
- Posteriormente, se realizó una corrección de bandeado en las imágenes Landsat 7, debido a un error encontrado en una de las bandas que no contenía información; para ello se aplicó un algoritmo, proporcionado por el USGS, para llenar esos vacíos. Se dispuso del Toolbox habilitado para ArcGis y se aplicó la herramienta “Fix landsat 7 scanline errors”.

Ilustración 2. Scanline Model Builder



- Finalmente, se aplicó álgebra de mapas para lograr una estimación de la temperatura superficial de cada píxel (Ibíd, 2017). Se utilizó la herramienta “Map algebra”, ejecutando las siguientes ecuaciones brindadas por el USGS (Research Institute of Earth and Space Sciences, 2016):

**Tabla 4. Ecuaciones aplicadas con álgebra de mapas**

<b>Radianza<sup>3</sup></b>	$Radiance\_mult\_x * banda\_t\acute{e}rmica\_x + Radiance\_Add\_band\_x$
<b>Temperatura de brillo<sup>4</sup></b>	$T_{br} = \frac{K1 * Radiance\_mult\_x + K2}{K3 * Radiance\_mult\_x + K4} - 273,15$
<b>NDVI<sup>5</sup></b>	$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$
<b>Proporción de vegetación (Pv)</b>	$Pv = (NIR - \left( \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \right) + NIR_{min})^2$
<b>Nivel de emisividad superficial (Lse)</b>	$Lse = 0.004 * NDVI + 0.986$
<b>Temperatura superficial<sup>6</sup></b>	$T_{surf} = \left( \frac{Lse * T_{atm}^4 + \frac{R_{net}}{4 * \epsilon * \sigma}}{1} \right)^{1/4} + \left( \frac{R_{net}}{4 * \epsilon * \sigma} \right)^{1/4} * \left( \frac{1 - Lse}{143.80} \right)^{1/4}$

Las variables *Radiance Mult\_Band*, *Radiance\_Add\_Band*, *K1* y *K2* utilizadas en las ecuaciones, son extraídos del metadato de cada imagen satelital trabajada, el cual se encuentra en la carpeta de descarga de la imagen generalmente en formato *.txt*, los valores

<sup>3</sup> Radianza: Describe la cantidad de radiación electromagnética que es emitida por un área en particular (Lira, 2018).

<sup>4</sup> Temperatura de brillo: Medición de la intensidad del brillo en escalas de temperatura (LAEFF, 2013).

<sup>5</sup> NDVI: El índice normalizado diferencial de la vegetación es un indicador de salud vegetal (FAO, Meneses, 2011).

<sup>6</sup> Temperatura superficial: Corresponde a la temperatura de la capa superficial del agua, aproximadamente 40 centímetros.



se reemplazan en cada ecuación exactamente iguales. Este proceso fue aplicado a cada una de las imágenes presentadas anteriormente.

#### **4.1.4 Corrección de la columna de agua: ArcGis**

La profundidad a la que la luz puede penetrar depende de la longitud de la onda; cuando se tiene una longitud de entre 0,5 y 0,6  $\mu$ , la profundidad de penetración llega hasta 10 m, por otro lado, con una longitud de onda de 0,8 a 1,1 $\mu$ , la profundidad desciende hasta los 10cm.

Adicionalmente, cuando hay presencia de turbidez, los efectos sobre la reflectancia van a depender del tipo de turbidez, por ejemplo: Si es orgánico, como el fitoplancton, las alteraciones se darán en los colores verdes y azul, presentando un aumento en el verde y disminución en el azul, por el contrario, cuando se trabaja con turbidez inorgánica, la reflectividad aumenta, especialmente en el rojo (Aguirre, 2005).

- Utilizando la banda 4, se crea una máscara de trabajo para asignar valores específicos a las zonas marinas (1) y costeras (0); se realizó con la herramienta *reclass*.
- Usando *raster calculator*, se multiplicaron la banda 1, 2 y 3 por la máscara creada en el paso anterior.
- Con el resultado obtenido de la multiplicación de las bandas 1, 2 y 3, se calculó el logaritmo natural a través de *raster calculator*.

#### **4.1.5 Clasificación no supervisada<sup>7</sup>**

Con el proceso de clasificación se hallan píxeles con valores espectrales similares dentro de la misma imagen con el objetivo de dividirlos en clases; esto permite identificar aquellas zonas que cuentan con un valor promedio homogéneo, correspondiente a un mismo tipo de cobertura (Lorenzo-Sánchez, 2006). Este procedimiento se realiza con el resultado del cálculo de logaritmo natural descrito anteriormente.

#### **4.1.6 Creación de cartografía**

La información base para el desarrollo de las salidas gráficas fue obtenida de fuentes oficiales: Parques Nacionales Naturales a través de la plataforma SINAP (Sistema Nacional de áreas protegidas) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, de donde se recopiló la información político-administrativa (centros poblados e información catastral). Los mapas de temperatura cuentan con 2 escalas diferentes con el objetivo de poder identificar mejor los cambios, la primera escala va de 0 a 40, comenzando de 0 a 20 y continuando de uno en uno hasta 40. La segunda escala va de 0 a 32, comenzando de 0 a 15 y continuando de uno en uno hasta 32.

---

<sup>7</sup> Clasificación no supervisada: Esta clasificación no determina ningún tipo de prioridad, es decir, se realiza en base a probabilidades (Reuter, *s.f.*).

## **4.2 Analizar el grado de influencia antrópica en el cambio de los ecosistemas de coral presentes en el área de estudio.**

Lo socioambiental hace referencia a la evolución de la cuestión ambiental en dirección a la dimensión social, ubicando al ser humano como protagonista y espectador de los diferentes cambios en su entorno; estableciendo lo socioambiental como vía principal para el establecimiento de acciones a nivel local y de participación comunitaria (Iñiguez, 1996).

### **4.2.1 Revisión de información secundaria**

Se realizó una revisión de las investigaciones realizadas en la zona de estudio y casos similares en otras zonas marinas; de esta forma se identificaron factores comunes, metodologías y acciones implementadas para casos con problemáticas relacionadas a la presente investigación.

### **4.2.2 Entrevistas: Perspectiva de la población sobre la transformación del ecosistema**

Para la incorporación de las variables antrópicas, se realizó una visita a la zona para entrar en contacto con los líderes sociales y las comunidades a la que dichos líderes representan, adicionalmente, se tuvieron en cuenta los guardaparques y trabajadores de las entidades públicas con jurisdicción dentro de la zona; para la obtención de la información, se realizaron entrevistas no estructuradas<sup>8</sup> (Robles, 2011). La selección de los individuos entrevistados corresponde a su nivel de influencia sobre la población y conocimiento de la zona.

#### **4.2.2.1 Preparación de campo**

Se realizó una revisión de bibliografía con respecto a las principales actividades económicas desarrolladas en la zona, las costumbres y la historia de las comunidades que actualmente habitan en las islas que se encuentran sobre el PNN. Para obtener información primaria de la realidad de los habitantes de las islas del Rosario y San Bernardo se llevaron a cabo entrevistas:

---

<sup>8</sup> Entrevistas no estructuradas:

1. Las entrevistas se enfocaron principalmente a las actividades económicas desarrolladas en las islas y los métodos de pesca utilizados por los isleños. Adicionalmente, se realizó una reconstrucción de la evolución de las costumbres en las islas a través del tiempo con ayuda de los habitantes más antiguos de las islas. Finalmente, se realizaron entrevistas a los funcionarios de Parques Nacionales con respecto a las medidas de manejo y control que se desarrollan con la población.
2. La muestra poblacional fue escogida de forma no probabilística, quiere decir que la elección de los elementos no depende de la probabilidad; está atada a las necesidades específicas del investigador. Se ubicaron grupos poblacionales representativos:
  - Guías turísticos
  - Personas de la tercera edad
  - Comerciantes
  - Funcionarios de parques nacionales

Y de forma aleatoria se seleccionó a un miembro de cada grupo poblacional para aplicar las entrevistas.

#### **4.2.2.2 Trabajo de campo**

El trabajo de campo realizado en las Islas del Rosario y San Bernardo se clasificó en dos actividades principales:

1. Observación y análisis del entorno y la población.
2. Aplicación de entrevistas a los habitantes de las islas con mayor conocimiento de la zona y personas de la tercera edad, así como a funcionarios y contratistas de Parques Nacionales.

#### **4.2.2.3 Trabajo de oficina**

Se realizó un compilado de las entrevistas para identificar los puntos clave de la información provista por los informantes que participaron. A partir de allí se obtuvo la perspectiva de la población con respecto a los cambios que ha enfrentado el ecosistema a través del tiempo. Adicionalmente, se clasificaron las actividades desarrolladas en la isla que podrían tener una influencia directa sobre la salud de los ecosistemas, así como las acciones que las entidades gubernamentales y no gubernamentales llevan a cabo para manejar y controlar los cambios en el ecosistema de coral.

### **4.3 Estudiar la pertinencia de las estrategias de manejo actual que rigen en el área marina protegida.**

En el año 2012, con la intención de establecer un orden en las estrategias de protección y recuperación de ecosistemas marinos, el Instituto de investigaciones marinas y costeras- INVEMAR, en conjunto con el Ministerio de ambiente, crearon el *Plan de manejo del área marina protegida de los archipiélagos del rosario y san bernardo 2013-2023*.

#### **4.3.1 Revisión del plan de manejo**

Inicialmente se hizo una revisión de la información base que permitió la creación del plan de manejo, para continuar con un estudio de las conclusiones obtenidas por los investigadores y las respectivas propuestas planteadas.

#### **4.3.2 Comparación de resultados y análisis**

El siguiente paso fue en análisis de los resultados de los involucrados en el desarrollo del plan y los obtenidos en la presente investigación con el fin de calibrar y examinar la pertinencia de las propuestas en relación con la realidad de las comunidades y los ecosistemas presentes en el PNN.

### **4.4 Automatización de procesos técnicos**

El procesamiento de las imágenes satelitales se desarrolló de manera independiente; con el fin de hacer más eficientes los procesos técnicos, se creó un código empleando python como lenguaje de programación, el cual, al ingresar la imagen cruda, genera todos los resultados correspondientes a la temperatura superficial del agua, NDVI, corrección de la columna de agua y clasificación no supervisada. El código se encuentra libre en un repositorio online y el código se encuentra en los anexos del presente documento.

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 Anomalías climáticas: Análisis de temperatura

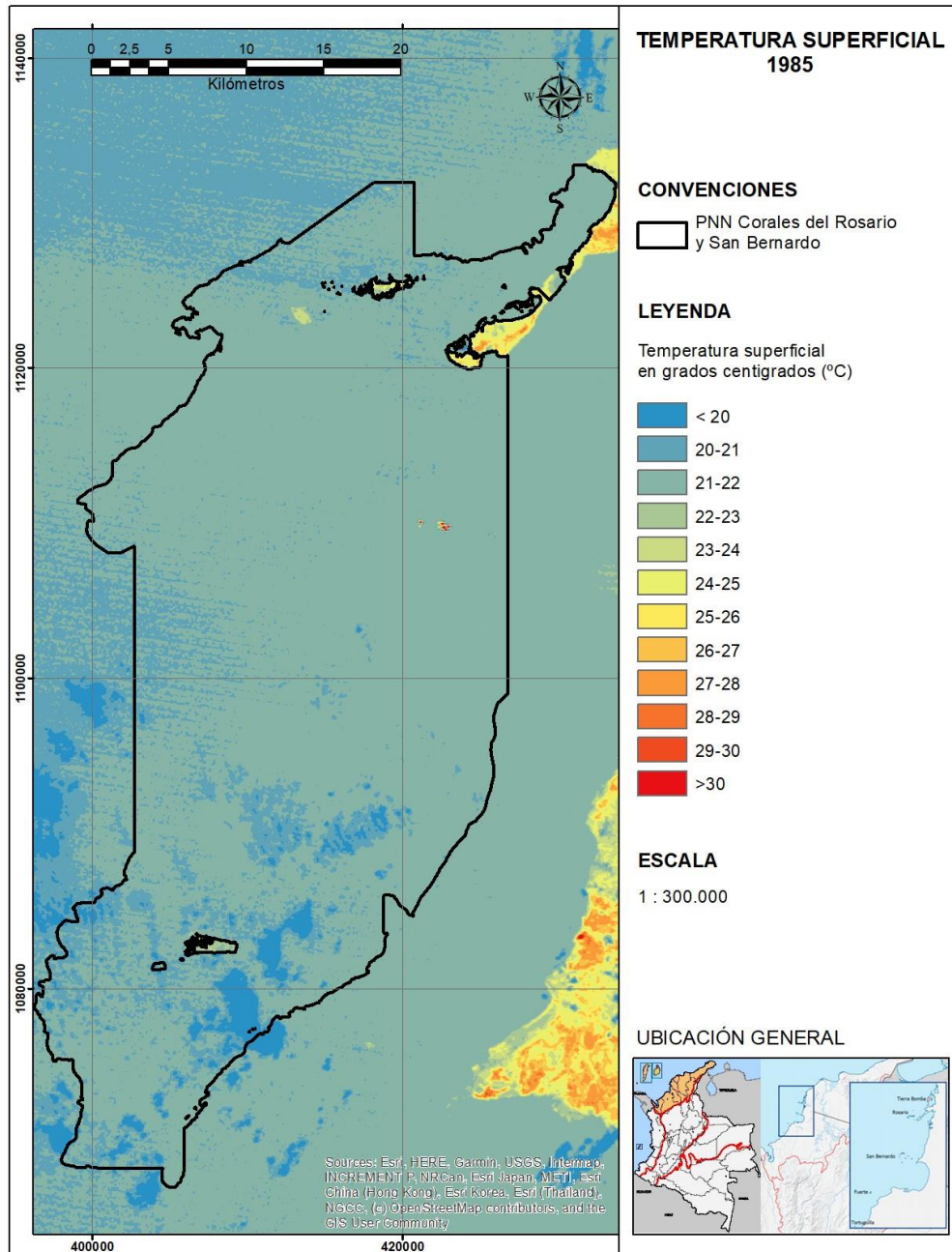
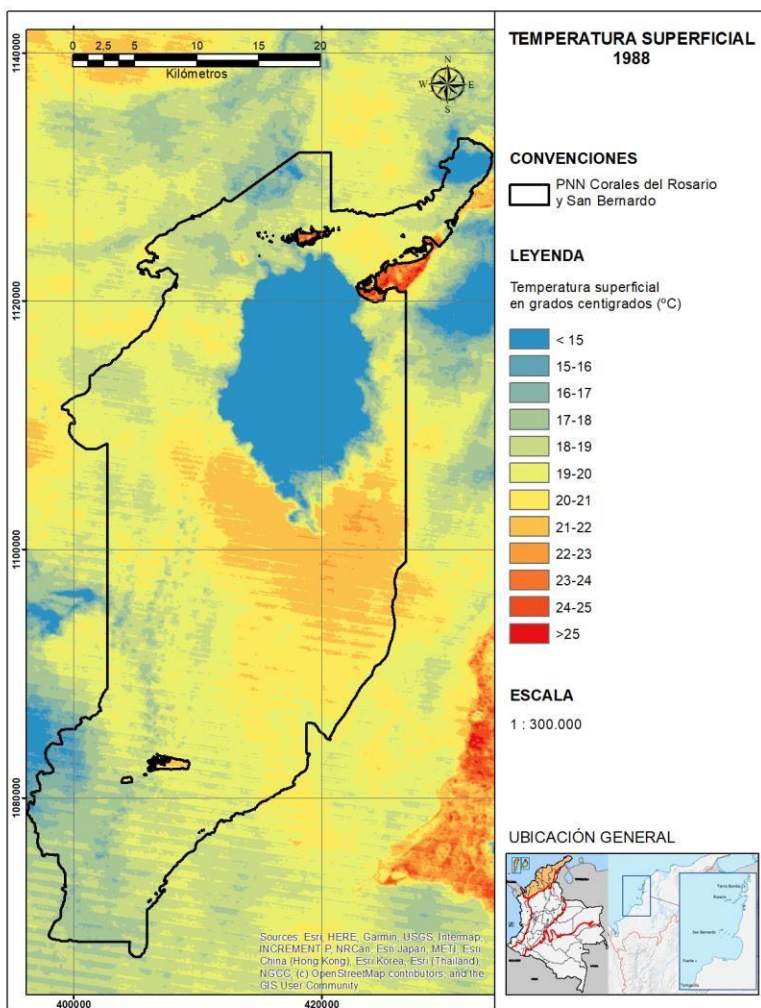


Ilustración 3. Mapa de temperatura 1985

Como se puede observar en la ilustración número 1, la temperatura para el año de 1985 superaba los 29 grados únicamente en las islas ubicadas al noreste del parque, esto se puede explicar gracias al fenómeno de la niña que enfrentó Colombia entre los años de 1981 a 1986 (Melo, 2016). Así mismo, para el año de 1988 (*Ilustración 2*), se puede ver que la temperatura se mantiene estable en toda la zona del parque, no se presentan picos de temperatura ni cambios drásticos que indiquen alguna alteración significativa, según el IDEAM, en el decenio de 1981- 1990, no se presentaron tantos eventos de aumento de temperatura como en otras fechas, considerando también los escenarios de cambio climático establecidos. Como se puede observar en el mapa correspondiente a 1988, la temperatura oscila entre los 21 y 22 grados Celsius, considerando el cambio en el rango, como se explicó anteriormente en el apartado 4.1.5 de la metodología.

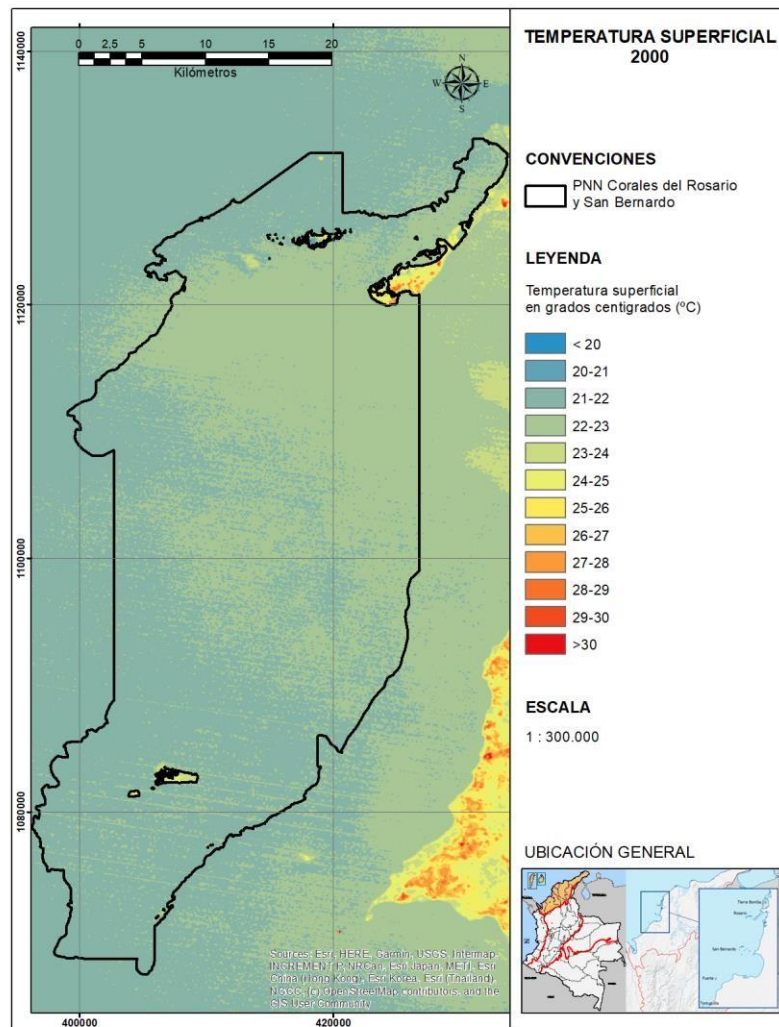








Por otro lado, posterior al fenómeno del niño vivido en 1997, se puede observar que para el 2000 (*Ilustración 5*) las temperaturas están de 1°- 1.5° sobre las presentadas en el 96, este fue uno de los años más fríos, contrario a lo ocurrido entre el 97 y el 98, los vientos alisios se intensificaron frente a las costas suramericanas provocando un mayor afloramiento de aguas frías, este fenómeno de la Niña tomó lugar a finales de 1998 y terminó en el año 2000.



*Ilustración 7. Mapa de temperatura 2000*

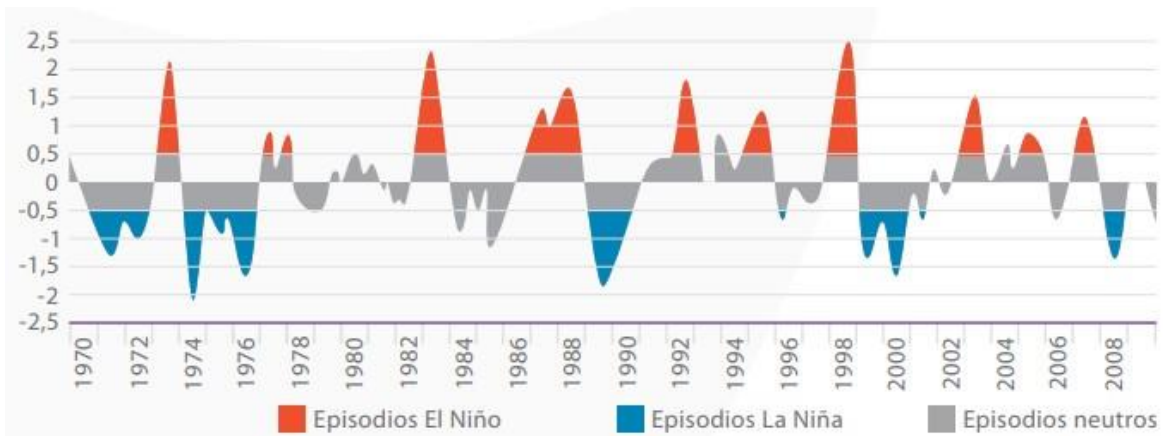


Ilustración 8. Episodios El Niño y la Niña. Fuente IDEAM. Elaborado a partir de NOAA (2009)

Para los años siguientes (2004, *Ilustración 7*), se evidencia un aumento de la temperatura causado por dos fenómenos del niño que se dieron en 2003 y 2005, de igual forma, en el 2007 se presentó nuevamente el fenómeno pero con menos intensidad que en 2003, sin embargo, la constancia de este fenómeno en Colombia ha traído graves consecuencias económicas y ambientales; así pues, se puede ver un aumento de la temperatura, como se muestra en los mapas, en los años de 2004 y 2007 (*Ilustración 8*), sin embargo, para 2010 (*Ilustración 9*), la temperatura se estabiliza y desciende aproximadamente 1° en comparación con 2007, esto se dio gracias al fenómeno de la niña que llegó en el 2008, sucedidos por periodos de eventos neutros (Melo, 2016).

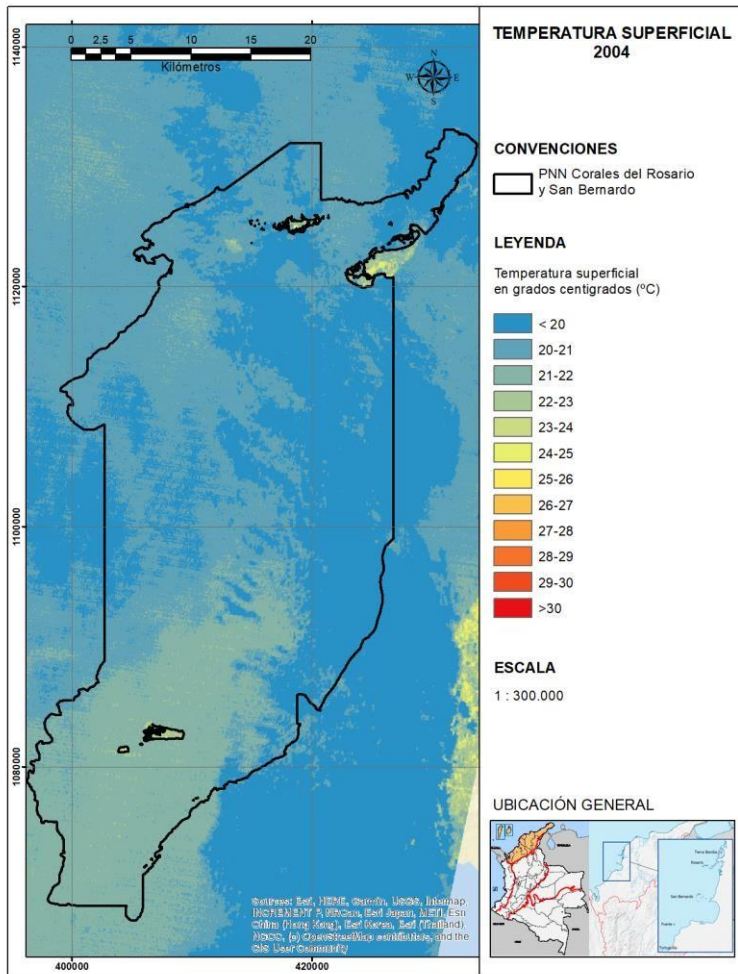


Ilustración 9. Mapa de temperatura 2004

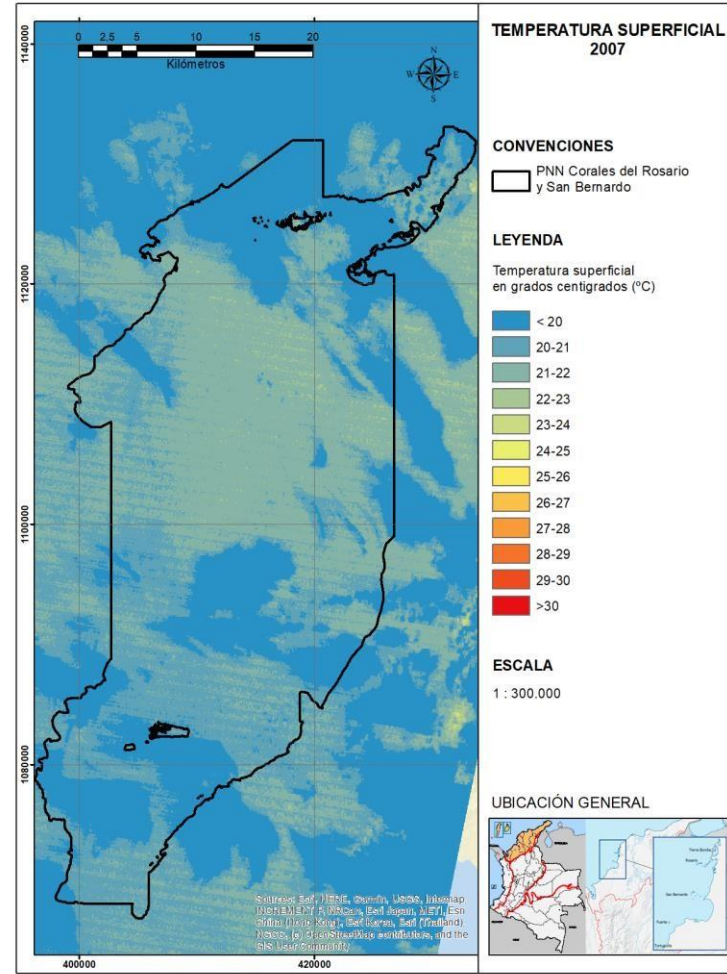


Ilustración 10. Mapa de temperatura 2007



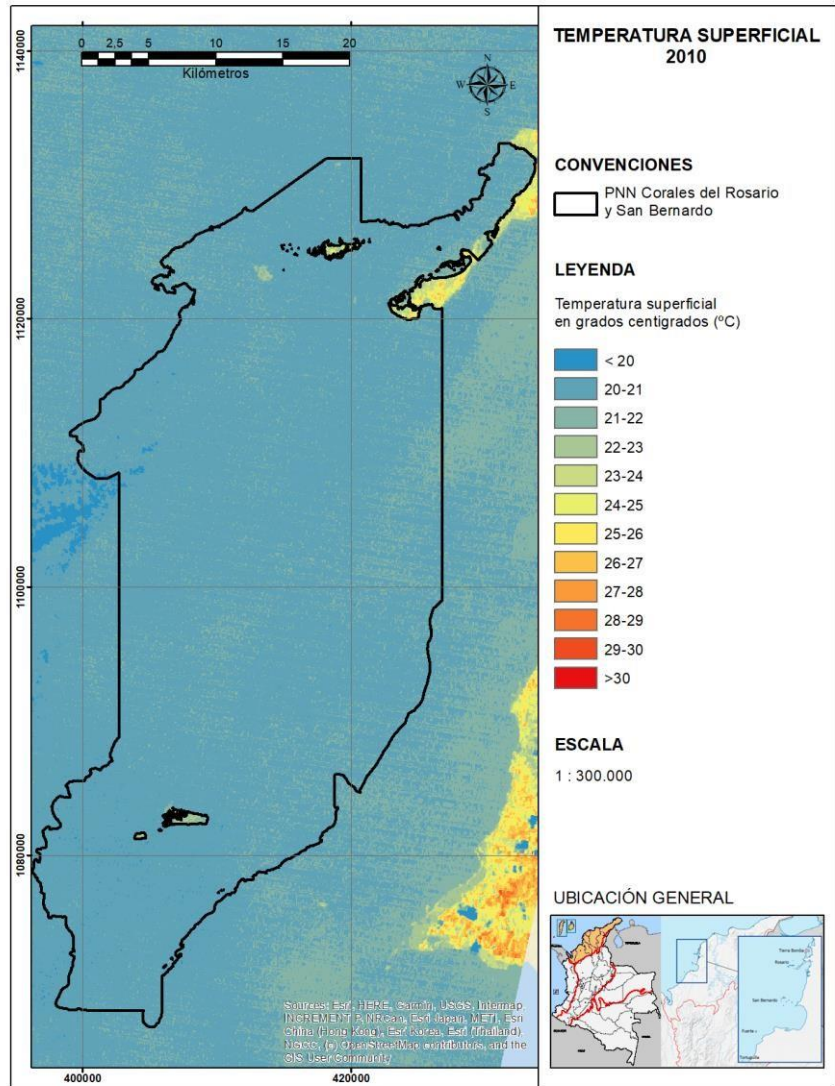


Ilustración 11. Mapa de temperatura 2010

## **5.2 Transformación de la cobertura de coral**

En este apartado hay varios aspectos interesantes a analizar; en primera instancia se evidencia que los cambios de cobertura en el transcurso del periodo de estudio son bastante dinámicos, tanto en área como en ubicación, sin embargo es importante tener en cuenta que este dinamismo puede deberse también al nivel de imprecisión que se maneja al implementar herramientas de teledetección que no son directas y tienen múltiples propósitos (Díaz, 2018), claro está que resultan de igual forma herramientas bastante útiles y prácticas para este tipo de estudios. Como segundo aspecto, se puede evidenciar que los comportamientos generales de cambio en las coberturas submarinas, se relaciona fuertemente con los comportamientos climáticos analizados en el apartado anterior, lo cual sustenta y da razones de peso a los resultados obtenidos, así como se verá a continuación.



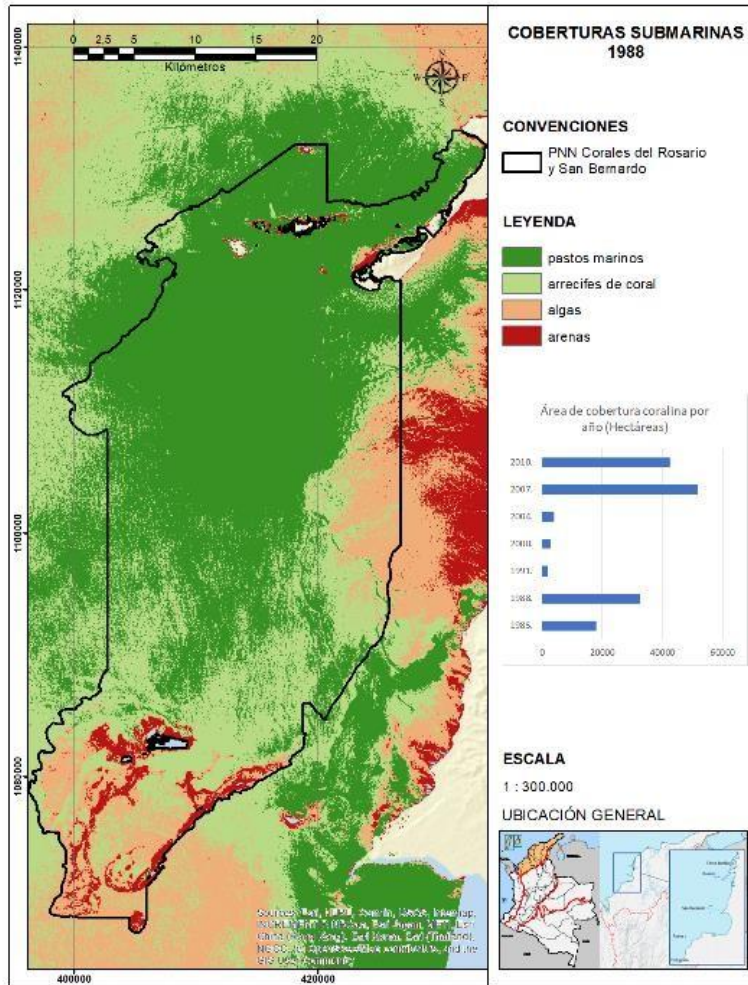


Ilustración 13. Coberturas submarinas año 1988

Ahora bien, ya en la ilustración 11 correspondiente al año de 1988 se puede observar que el hueco de información desaparece, lo cual se refleja en un aumento de cobertura tanto de pastos marinos como de arrecife, llegando este último a las 32.600 hectáreas para este periodo; de igual forma, como se explicó en el apartado de temperatura, durante estos años no se presentaron alteraciones drásticas, lo que permitió una estabilidad del ecosistema y permite inferir que la cobertura arrecifal de 1985 pudo ser mayor o igual a la de 1988. Caso contrario a lo que ocurre para el periodo de 1991 (ilustración 12), donde se presenta una drástica reducción en la cobertura coralina del parque (1.900 hectáreas, perdiendo el 94% de la cobertura en comparación al periodo anterior), esta pérdida tan inmensa da fé a la idea de la alta fragilidad de estos ecosistemas, y se debe a dos factores, el primero es el evento climático que tuvo lugar en 1991; un periodo de fenómeno del niño,



donde la temperatura superficial del agua aumentó en cerca de dos grados centígrados, alterando el equilibrio ecosistémico del arrecife, y en segundo lugar están los factores sociales y eventos de carácter antrópico que tuvieron lugar en esta época, como la ampliación del canal del Dique, que sobre estos años redujo las curvas naturales del río Magdalena, arrojando con mayor fuerza la carga de sedimentos que este carga sobre las aguas del mar caribe. Este abanico fluvial dificulta la entrada de luz solar al agua y aumenta los niveles de nutrientes, permitiendo la proliferación de otras especies como las algas, y afectando de igual forma las comunidades de coral.

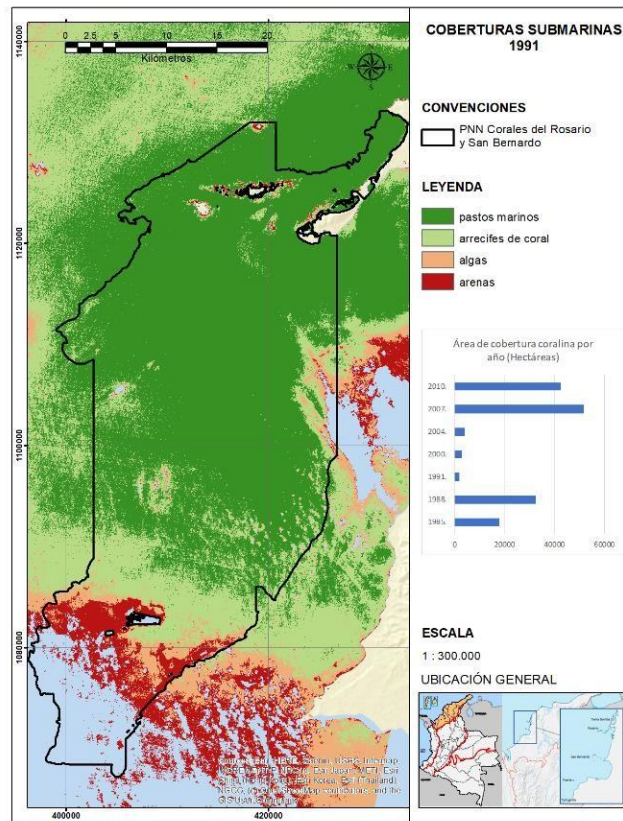


Ilustración 14. Coberturas submarinas año 1991

Después de esta disminución, viene un periodo de recuperación en la cobertura, que no se presenta al mismo ritmo que en el que se perdió, pues para el año 2000, la cobertura aumento a cerca de las 3.000 hectáreas, pues una vez pasado el periodo de niño mencionado anteriormente, se presenta otro similar para 1997, lo cual dificulta la recuperación, sin dejar de lado la presión ejercida por el crecimiento poblacional de las islas y las comunidades costeras cercanas al parque, pues la necesidad de alimentación y



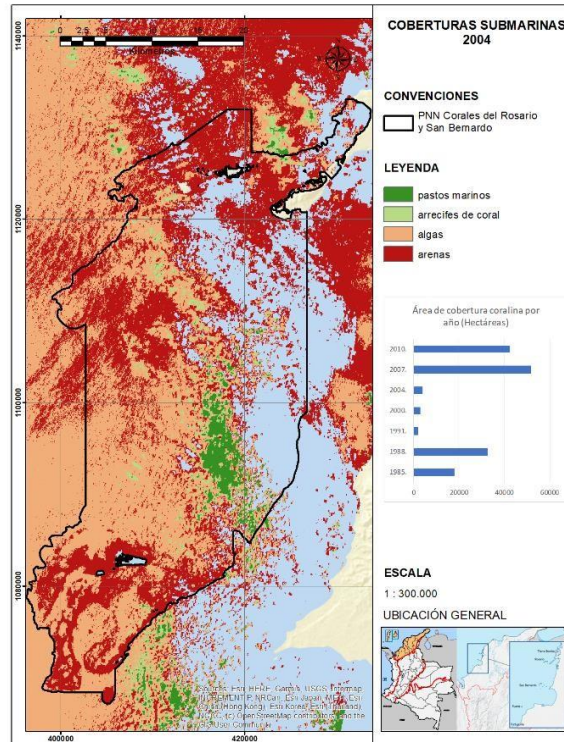


Ilustración 16. Coberturas submarinas año 2004

De la ilustración 14, referente al año 2004, resulta complicado analizar profundamente a simple vista, sin embargo hay algo importante a mencionar y es que del 2004 en adelante se usaron imágenes de Landsat 7, un satélite distinto al que se usó antes de esta fecha, y aunque si bien este cuenta con mejoras en sus aditamentos y sus sensores, lastimosamente cuenta con una falla, que al ser corregida sin embargo se corre el riesgo de que la información final pueda tener cierto nivel de error, además de esto, la nubosidad sobre el costado oriental del parque afectó la toma de información sobre esta zona, distorsionando los resultados.

Aun así, los números resultantes muestran un aumento en la cobertura de coral desde el 2000 al 2004 llegando ese año a las 4000 hectáreas aproximadamente, sin embargo, este número puede llegar a ser mayor si se tuviera la información de todo el costado oriental del parque.

Otro aspecto por recalcar es la distribución de ese arrecife sobre el parque, que también cambia drásticamente, y se va del costado más sur hacia el centro del parque, y se aleja de las costas y las islas, que se corrobora en campo, cuando en las entrevistas,

ciertos habitantes y pescadores comentan que con el pasar del tiempo han debido trasladarse distancias más largas para conseguir peces.

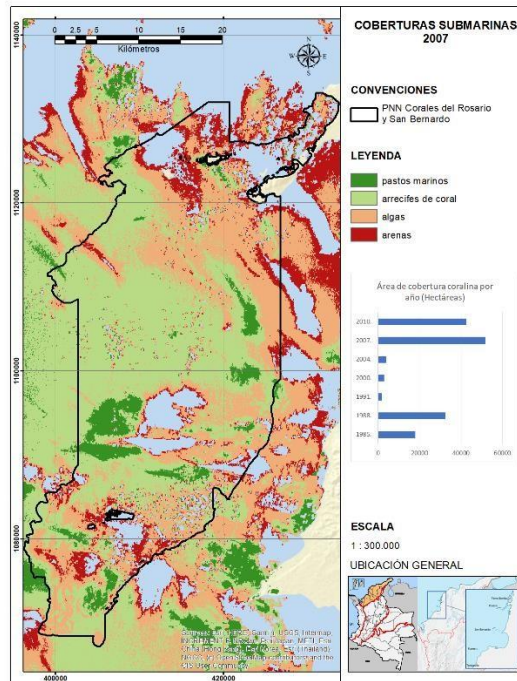


Ilustración 17. Coberturas submarinas año 2007

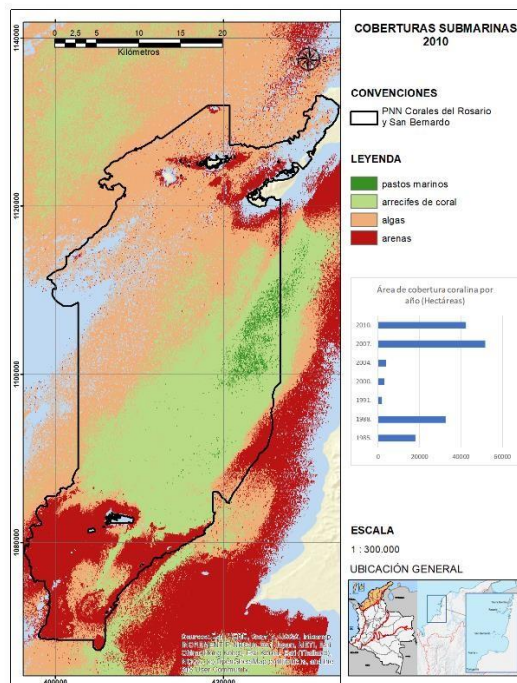


Ilustración 18. Coberturas submarinas año 2010

Ya para finalizar este segmento; resulta interesante pensar en un aumento tan drástico en las coberturas de coral para los años de 2007 y 2010, sin embargo la situación no es como se ve en las dos ilustraciones anteriores (ilustraciones 15 y 16) puesto que las investigaciones en campo, las entrevistas y lo visto en el territorio, continúan demostrando que la dinámica de los arrecifes va en descenso, además de ello, los periodos de niño que sacudieron el territorio en esa época, tuvieron que impedir un crecimiento tan acelerado de la cobertura coralina en el lugar, por eso las cifras arrojadas por estos dos últimos mapas puede no ser del todo cierta.

Ahora bien, tampoco se puede decir que el panorama sea del todo desalentador, puesto que entidades como Parques Nacionales Naturales, INVEMAR y demás entidades de carácter tanto público como privado, se han encargado de generar propuestas de recuperación del ecosistema de coral en la zona, lo cual puede disminuir el impacto ambiental y antrópico que recae en la zona, más sin embargo, tampoco lograría una recuperación tan acelerada del ecosistema, por eso se infiere que esos resultados se pueden deber a anomalías en las imágenes causadas por las correcciones de capas o la composición de bandas que pudo alterar los valores de pixel y así mismo la clasificación no se dio de la mejor manera.

### **5.3 Factores socioambientales que inciden en la transformación de la cobertura de coral**

La influencia antrópica sobre la salud de los objetos de conservación dentro del área marina protegida constituye una de las principales preocupaciones en cuando al manejo y creación de estrategias dentro del PNN.

#### **5.3.1 Perspectiva social de los factores que influyen en la transformación de la cobertura de coral**

- *¿Cómo se evidencia la presencia institucional en las islas?*

Los habitantes de Santa Cruz del Islote e Isla Múcura tachan de nula la presencia institucional, el único contacto que tienen con un funcionario es con los encargados de la oficina de parque que se encuentra en isla Múcura. Allí, el atractivo turístico de las playas atrajo la inversión privada, lo que se convirtió en una de las principales fuentes de empleo no solo para esta isla, sino para los habitantes de Santa Cruz del Islote, la isla artificial más densamente poblada del mundo, donde el abandono que siente la comunidad es total, no

poseen sistema de alcantarillado, lo que los obliga a depositar las aguas negras directamente en el mar, no cuentan con servicios básicos de agua y energía eléctrica.

El agua potable que logran almacenar en época de lluvias la almacenan en un tanque comunitario, cuando se agota, los isleños llaman a Cartagena y solicitan asistencia de la Armada Nacional para que les provea del recurso; sin embargo, Cartagena no se encuentra dentro del departamento más cercano al Islote, Santiago de Tolú, en el departamento de Sucre, por su cercanía, sería el encargado de velar por la seguridad de los isleños y de brindarles asistencia en caso de necesidad, sin embargo, esa no es la realidad que los isleños manifiestan vivir.

La energía, es producida por una planta eléctrica de combustible que se enciende en las noches, durante el día, se apoyan en dos estructuras de paneles solares que fueron donados por el gobierno japonés gracias a la colaboración de los isleños con un proyecto documental que se desarrolló en el islote; la mayoría de las ayudas que recibe la isla se dan gracias al consejo comunitario, este grupo de personas se encarga de hacer un inventario de las necesidades de la comunidad, lleva la cuenta del gasto de luz y agua, con el fin de optimizar el consumo y necesitar menor intervención estatal.

- *¿Cómo es la relación con los funcionarios de Parques Nacionales?*

En la zona de San Bernardo, la más cercana al departamento de Sucre, los isleños no perciben de forma positiva a los funcionarios de Parques Nacionales; en Santa Cruz del Islote casi no se siente su presencia por esa misma razón, la gente manifiesta que parques les impide realizar sus actividades con normalidad, indican que les prohíben ciertas prácticas que hace algunos años eran naturales en la zona.

Un punto decisivo en la relación de parques con Santa Cruz fue el conflicto producido por un regalo de parte del grupo Bancolombia a los Isleño; hace un tiempo, Bancolombia prometió a los isleños que les regalaría una cancha de fútbol inflable, el objetivo era ubicarla al lado del islote para disfrute de la comunidad, sin embargo, esta promesa se hizo sin análisis ni estudios previos, el impacto que dicha cancha produciría, según manifiestan los funcionarios de parques, sería muy alto, se impediría la entrada de luz a los ecosistemas marinos y el proceso de ubicación llevaría a la pérdida de biodiversidad en la zona; sin embargo, ante los ojos de la comunidad, parques pone estas limitaciones sin razones válidas.

Por otro lado, en Isla Múcura, el nivel de aceptación hacia Parques es mucho mayor, al llegar la isla, la oficina de parques da la bienvenida a los visitantes, los cuales pagan un



pequeño monto por el derecho a entrar, ese aporte se utiliza para las campañas de concientización que se llevan a cabo a lo largo de todo el archipiélago de las islas de San Bernardo.

- *¿Cómo se evidencia el trabajo de Parques en las islas?*

Dentro de San Cruz del islote se ha dificultado mucho el trabajo de parques, las iniciativas de los funcionarios y contratistas no son bien recibidas, incluso, las personas propias de la isla que trabajan con parques no son bien vistas dentro de la comunidad; Juan Carlos, guía turístico de Santa Cruz, manifiesta que los intereses de parques no van enfocados al bienestar de las comunidades. Por otro lado, los habitantes de isla Múcura tienen una participación muy activa en las propuestas y actividades desarrolladas por parques; funcionarios del interior del país viajan a la isla a realizar talleres de concientización y capacitaciones para las personas que se dedican al turismo, de esa manera no solo se educa a los habitantes sino también a las personas que visitan las islas.

Los contratistas de Parques presentes en la Isla resaltaron la importancia de un proyecto de intercambio que se está llevando a cabo con los pescadores locales, considerando que muchos de ellos pescan para llevar comida a sus hogares y no con fines comerciales; la iniciativa consiste en intercambiar tortugas, cuando estas son pescadas por accidente, por pollo, de esta manera, los pescadores ven una alternativa alimenticia al tiempo que protegen el ecosistema que les rodea. Se planteó la posibilidad de un aumento en la pesca de tortugas con el fin de hacer parte del programa de intercambio, pero en el tiempo que se lleva implementando, no se ha visto evidencia de que esto pudiese ocurrir, por el contrario, de la mano con las charlas que se realizan, la protección de la biodiversidad se ha ido convirtiendo en un tema de valor para los isleños.

- *¿Cuál ha sido el cambio más grande que han notado con el paso de los años?*

Antiguamente la vida diaria giraba en torno a la pesca, la Tía Elida, la persona con más edad en la isla (96 años), recuerda que era posible sentarse en el solar al frente de su casa, sacar una caña y pescar el almuerzo; los cambios han sido grandes, la sobrepoblación que hay en la isla es un factor importante en esta nueva etapa que vive la comunidad, para ella, todo comenzó con el incendio del 56, la isla entera fue consumida, la base de Coveñas fue a brindarles auxilio y les ayudó con comida e implementos de primera necesidad; la gente tuvo que saltar y nadar hasta Islas Múcura para resguardarse de las llamas, después del incendio, la población volvió y comenzaron a construir, sin embargo, el

material ya no era el mismo, las edificaciones las hicieron de ladrillo, y se vieron en la necesidad de poner más relleno alrededor de la isla para poder seguir construyendo.

Esta expansión en la isla llevó a una gran pérdida de biodiversidad en lo alrededores, ya que los materiales de relleno que utilizaron los isleños fueron, principalmente, escombros y corales.

Con el paso de los años el impacto se hizo más evidente, Juan Carlos, de 39 años, comenta que ya no es posible pescar cerca de la isla, se tienen que navegar mar adentro para poder encontrar peces de buen tamaño; comentaba que esta situación tiene una estrecha relación con la pérdida de coral que presenta la zona, los peces no tienen donde poner sus huevos, razón por la cual se adentran cada vez más en el mar. Otro cambio significativo que perciben los isleños es el desarrollo de las actividades económicas, desde hace algunos años, la principal actividad económica de las islas es el turismo; los jóvenes trabajan como guías turísticos y hay desde pequeños hostales hasta grandes cadenas de hoteles que mueven la economía del sector. “El piola”, comerciante de isla Múcura, resalta el beneficio del turismo no solo a nivel económico, sino a nivel de conservación; muchas de las personas que viajan a las islas lo hacen con la intención de ver la gran biodiversidad que hace famosa a Colombia, motivo por el cual, las personas que se dedican al turismo trabajan de la mano con Parques para mantener seguras las zonas de arrecife de coral, participando de forma activa en las campañas de protección y manteniendo seguras las áreas “prohibidas” donde el coral se encuentra en recuperación.

### **5.3.2 Factores socioambientales y demográficos que inciden en la transformación de la cobertura de coral**

Las actividades y condiciones de las comunidades que se encuentran al interior del parque han causado una serie de problemáticas que dificultan la conservación de los ecosistemas.

- ***La ausencia de prestación de servicios públicos:*** los habitantes de las islas sufren de escasez de agua potable, recurso básico para cualquier comunidad; así como la correcta disposición de los residuos con la que no cuentan los isleños, condiciones que favorecen la aparición de enfermedades, tanto dentro de la población como en los ecosistemas que hacen las veces de vertedero para los desechos sanitarios.



- **Bajo nivel de educación ambiental:** Las comunidades no están al tanto de la importancia ecológica de los ecosistemas presentes en el área marina protegida, lo que desemboca en bajo interés por la protección y manejo adecuado de los mismos.
- **Malas prácticas turísticas:** El turismo es una de las prácticas más comunes en el área, así como una de las que ejerce mayor presión sobre los recursos de la región. La gran concentración de turistas y el mal manejo de esta actividad llevan a un detrimento a mediano y largo plazo de los objetos de conservación; el bajo o nulo control sobre la cantidad de turistas en un área con alta fragilidad, provoca una disminución en los tamaños de las colonias y efectos negativos para el desarrollo de las capas de carbonato necesarias para el desarrollo del coral como consecuencia del constante contacto con los turistas, lo que obliga a los corales a redireccionar su energía hacia la reparación del tejido dañado y no a la producción de nuevas capas de carbonato. Adicionalmente, la extracción de coral, arenas y concha para su comercialización afecta directamente la salud de las poblaciones del área marina protegida.
- **Sobrepesca:** El turismo de masas en busca de actividades como la pesca genera altos niveles de presión sobre el ecosistema, puede llevar consigo a la disminución de las comunidades de peces y otros organismos presentes; esto no solo trae consecuencias para el ecosistema por la alteración en la cadena alimenticia, sino que afecta directamente la seguridad alimentaria de las comunidades, ya que cada vez se dificulta más esta actividad por la misma pérdida de biodiversidad.

### ***Crecimiento poblacional***

El aumento poblacional que se ha presentado en el área trae consigo fuertes consecuencias a la salud de los ecosistemas; inicialmente, como se pudo comprobar en campo, en comunidades como Santa Cruz del islote, la concentración poblacional ha llevado a esta comunidad a vivir en un estado casi de hacinamiento, sin embargo, a pesar de que son conscientes de los problemas que esto acarrea, a medida que aumenta el número de habitantes, la solución dada por los isleños es la utilización de escombros y material coralino para rellenar y poder seguir construyendo y ampliando la isla. Esta práctica genera consecuencias significativas en las comunidades de coral, ya que la capacidad de recuperación es muy baja y su velocidad de reproducción depende de las condiciones a las que se vean sometidos que, en condiciones óptimas, pueden llegar a crecer hasta un cm por año.



Gráfica 1. Proyección poblacional 2005-2012. Fuente. INVEMAR (2013)

Como se puede observar en la gráfica, el aumento que se da, dependiendo de la isla, corresponde a aproximadamente 500 personas cada 7 años; este es un incremento significativo en comunidades que no poseen la capacidad para albergar esa concentración de habitantes.

Adicionalmente, la ausencia del servicio gas para la cocción de los alimentos obliga a los isleños a talar los bosques y manglares para utilizarlos como lena en los fogones que se ubican a las afueras de las casas; son muy pocas las comunidades, como en Barú, que poseen un servicio de gas, en otras islas, se realiza la compra de cilindros de gas, sin embargo, el costo es elevado y no todos pueden permitirse el gasto.

Sumado a esto, tampoco cuentan con un servicio de recolección de basuras, esta situación los lleva a la quema, entierro o disposición de los residuos directamente en el mar; algunas islas cuentan con grupos de voluntarios que se organizaron para realizar la recolección y evitar la contaminación de las aguas, sin embargo esto no aplica para todas las comunidades, que muchas veces tienen que esperar hasta dos meses para poder disponer de sus basuras, que en ocasiones también son utilizadas para relleno y ampliación de las islas. Así pues, en la medida en que la población dentro del parque crece, la

problemática por la falta de organización y servicios básicos se convierte en una problemática que va en un aumento, ya que la contaminación por residuos orgánicos o inorgánicos no es la misma que en el año 85, así como la disposición de los combustibles y aceites que son utilizados en las plantas de producción eléctrica.

### **Actividades económicas**

Dentro del área protegida se desarrollan diferentes actividades económicas que influyen en el uso del suelo de la zona, a continuación, se describen los principales usos de suelo y sus respectivas actividades económicas.

<b>Uso actual del suelo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Conservación-pesca artesanal	1703	40
Pesca artesanal y turismo	319	7,5
Forestal de subsistencia	290	6,8
Forestal de subsistencia y recreativo	279	6,6
Agroforestal	269	6,3
Agrícola	209	4,9
Sin uso aparente	206	4,8
Conservación y recreación	193	4,5
Vivienda y recreación	146	3,4
Pesca artesanal	135	3,2
Pesca artesanal y transporte	100	2,3
Turismo	94	2,2
Recreativo	87	2,0
Conservación-pesca artesanal-recreación	59	1,4
Forestal extractivo	54	1,3
Residencial	50	1,2
Acuícola	26	0,6
Forestal extractivo y ganadero	12	0,3
Ganadero	12	0,3
Conservación- forestal extractivo	3	0,1
Industrial	4	0,1
Transporte	5	0,1
Institucional	2	0,0
<b>TOTAL</b>	<b>4.257</b>	<b>100</b>

*Tabla 5. Uso del suelo y principales actividades económicas. Adaptado del plan de manejo del Área Marina protegida (2013)*

Como se puede evidenciar en la tabla número 3, las principales actividades económicas de la zona son la pesca y el turismo, seguidas por la producción de agricultura y artesanías.

**Pesca**

Representa una de las principales actividades económicas, no solo a nivel local del área marina protegida, sino a nivel nacional; se ubica como uno de los principales generadores de empleo en el país. Los principales métodos que se utilizan para pescar son: nylon, arpón o rifle, atarraya y trasmayo. Sin embargo, el uso de algunos de dichos métodos puede llegar a causar afectaciones en los ecosistemas marinos, así como la atarraya, que en ocasiones se atora en los corales y por la fuerza de arrastre para sacar los peces a la superficie, se quiebran (Ibíd, 2013).

Con el fin de mantener un control sobre el desarrollo de esta actividad, se encuentran en proceso de consolidación legal la Asociación de pescadores de islas del Rosario y la Asociación de pescadores de San Bernardo. En el archipiélago del Rosario, se han identificado aproximadamente 40 pescadores, mientras que, para el archipiélago de San Bernardo, el número asciende hasta 160 pescadores con más de 495 personas como beneficiarios directos; cabe resaltar que el grupo de pescadores conformado en San Bernardo no cuenta solamente con personas propias de las islas, sino también se suman a ellos pescadores provenientes de Cartagena, Berrugas, Rincón, Tolú, entre otros (Ibíd, 2013).

<b>Archipiélago del Rosario</b>	<b>Archipiélago de San Bernardo</b>
Las actividades relacionadas con la pesca en las islas del rosario corresponden principalmente a pesca artesanal, la comercialización de lo obtenido suele ofrecerse a los visitantes del archipiélago o a las cadenas hoteleras ubicadas en Isla Grande.	La pesca en este archipiélago se desarrolla como actividad económica y con objetivo de subsistencia, principalmente en Santa Cruz del Islote, Isla Múcura y Ceycen. Las especies obtenidas son comercializadas con los hoteles del archipiélago y los ubicados en Tolú, Coveñas, Rincón, Berrugas, y en ocasiones, Cartagena.

Tabla 6. Distribución de la actividad pesquera en los archipiélagos del Rosario y San Bernardo. Fuente: Autores

## ***Turismo***

El turismo es una actividad que va en aumento a nivel nacional, evidenciando la importancia de estrategias que permitan desarrollar dicha actividad sin afectar la salud de los ecosistemas o bienes que permiten la prestación del servicio.

En el archipiélago del Rosario, los turistas suelen estar en la zona por una noche en los hoteles o casas de recreo que se encuentran en Isla Grande; se desarrollan actividades de ecoturismo por lagunas y senderos ecológicos. Esta es la actividad económica que mejores ingresos genera; cada hotel de la zona genera aproximadamente 12 empleos, de los cuales, el 40% son para los nativos (Ibíd, 2007).

En el archipiélago de San Bernardo, se desarrollan dos tipos de turismo, en masa, que se da en Isla Múcura, poniendo a disposición sus playas para el disfrute de un alto número de visitantes, y privado, que tiene lugar en islas como Tintipán y Ceycen, allí los turistas se alojan en casas de recreo con un poco más de privacidad y ejerciendo una presión menor sobre los ecosistemas presentes en el área; a diferencia del turismo que se da en Isla Múcura, ya que al ser de masas, es difícil controlar las actividades que llevan a cabo los turistas, exponiendo a los ecosistemas marinos a un mayor riesgo de daño por parte de los visitantes del parque, ya que en temporada alta, entre Isla Múcura e Isla Palma, han llegado a recibir hasta 45.600 turistas (Ibíd, 2007).

### **5.3.3 Factores ambientales que inciden en la transformación de la cobertura de coral**

Los cambios en la cobertura de coral han sido evidentes a lo largo de los años, sumado a las presiones antrópicas, existen diversas influencias naturales que han alterado el desarrollo normal del ecosistema.

En las últimas décadas, las formaciones arrecifales del PNN han presentado altos niveles de deterioro, esto como consecuencia de la alta mortalidad de los corales, la baja cobertura de coral vivo y la predominancia de algas. Los corales son ecosistemas de alta fragilidad y con un alto grado de susceptibilidad a las alteraciones; para poderse desarrollar requiere de condiciones específicas que les permitan llevar a cabo sus procesos naturales.

Elvira Alvarado Chacón, bióloga de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, manifiesta cómo cada población está limitada en su crecimiento por la reproducción, si no hay

reproducción, no hay forma en que las poblaciones puedan tener descendencia; los corales se reproducen sexual y asexualmente, cuando hay reproducción asexual, los corales se fragmentan, la parte que se desprende se desplaza gracias a las corrientes para luego asentarse y crecer, formando una nueva colonia. Durante la reproducción sexual, se forman gametos masculinos y femeninos que en el agua se unen y forman larvas; sin embargo, el esfuerzo reproductivo se pierde cuando la temperatura superficial del agua supera los 29°C, a esta temperatura, el esperma pierde movilidad, dificultando la formación de larvas, adicionalmente, les toma a dichas larvas entre 6 y 11 días para bajar, buscar el sustrato y asentarse para comenzar el ciclo de vida del coral.

Sumado a las condiciones de temperatura, la concentración de materia orgánica es uno de los principales problemas a los que se enfrentan los corales; en un ambiente donde la relación simbiótica entre corales y zooxantelas permite la supervivencia del ecosistema, se hace necesario un ambiente oligotrófico, es decir, muy bajo en nutrientes; por motivos de escorrentía, principalmente por el canal del Dique, los niveles de iones fosfato y nitrato aumentan, incrementando los niveles de concentración de nutrientes, ambiente propicio para el crecimiento de las algas. Considerando que se está generando una alta pérdida de cobertura de coral, el espacio ha quedado libre para el desarrollo de las algas, las cuales poseen ciclos de vida mucho más cortos, permitiendo que predominen en la parte somera de los arrecifes; de esta manera, si las larvas logran completar el ciclo y bajan en busca del sustrato, el ambiente ya ha sido dominado por las algas, provocando la muerte de las larvas y una pérdida del esfuerzo reproductivo, ya que al poseer ciclos de vida más largos, la cantidad de gametos liberados por los corales no muy numerosos.

Así mismo, los sedimentos que provienen de las fuentes continentales representan también una amenaza para la supervivencia de las larvas. En 1535 la bahía de Cartagena poseía grandes coberturas de coral que posteriormente se vieron afectados por la canalización de los cuerpos de agua; en 1984 se hizo la rectificación del canal del Dique, provocando que las aguas que anteriormente llegaban a las ciénagas, se digieran directamente al mar cargadas de fertilizantes y herbicidas, así como de materia orgánica y sedimentos que, al mezclarse y depositarse sobre los corales por efecto de la gravedad, sobrepasan el límite de resiliencia de los corales al convertirse en un disturbio crónico, privándolos de su capacidad de limpieza.

El depósito de agua dulce proveniente del contienen afecta directamente otro aspecto importante para la salud de los arrecifes, como es la salinidad del agua, es

fundamental para un adecuado desarrollo de las comunidades de coral, que en los primeros 40 centímetros de la capa de agua, los niveles de salinidad se mantengan por encima de 32 unidades de salinidad o partes por mil; de no ser así, se limitará la movilidad del esperma y se inhibirá el desarrollo de las larvas.

Por otra parte, el tipo de sedimento cumple un papel muy importante en la salud de las larvas y los nuevos corales, en ocasiones, ciertos tipos de sedimentos como el lodo, se flocculan y causan abrasión en las larvas, lo que a futuro genera malformaciones en los corales por efecto de la fricción; adicionalmente, por la simbiosis que permite la vida del coral, es necesario que la turbidez del agua sea mínima, aunque en muchas comunidades de coral esto no es un impedimento para su desarrollo y compensan la ausencia de luz con un mayor porcentaje de zooxantelas, en un ambiente ideal, los corales no requerirían de un esfuerzo extra para poder crecer.

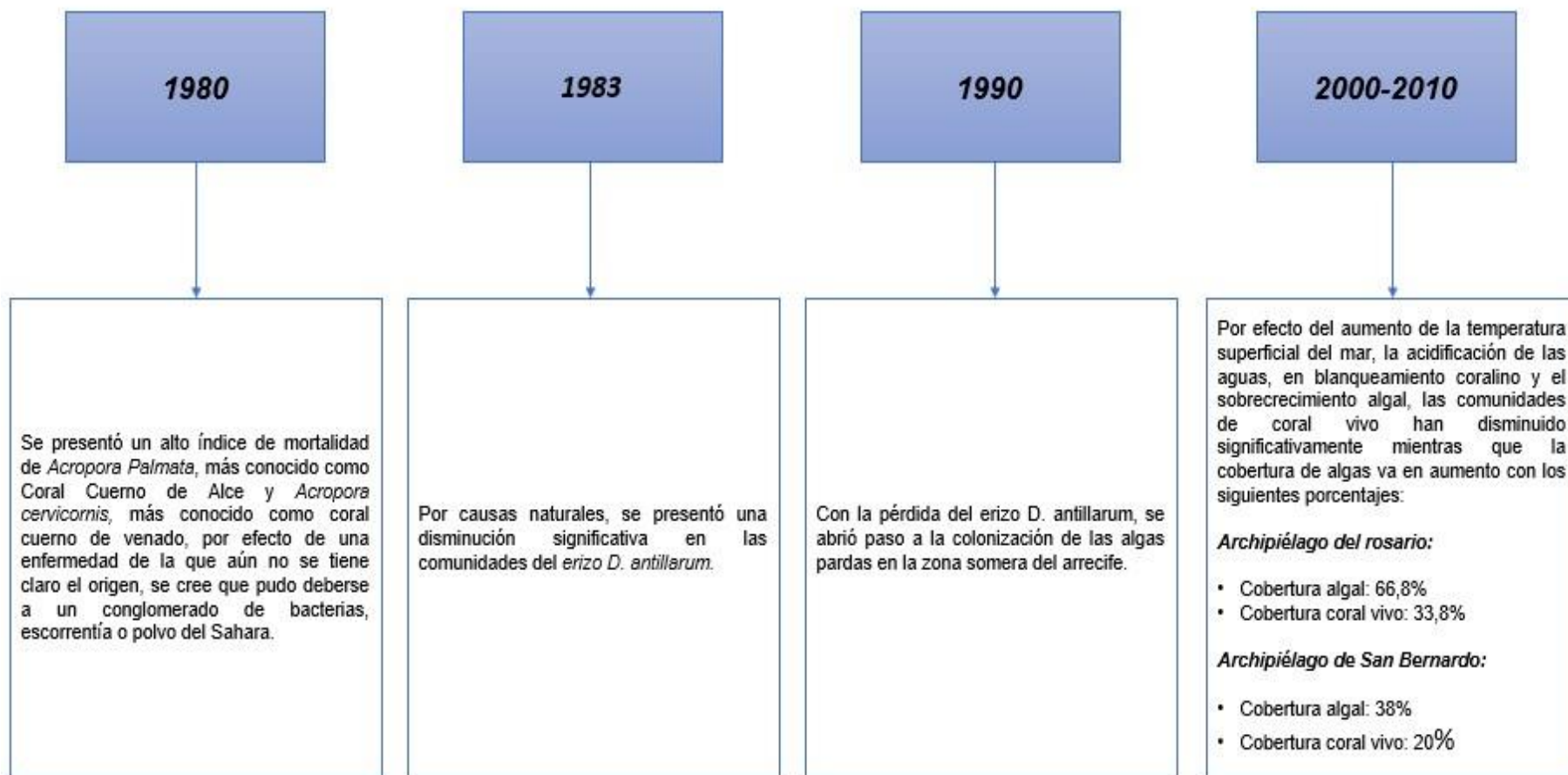


Ilustración 19. Eventos y fechas representativas en el PNN.



## **5.4 Análisis de la pertinencia de las propuestas de manejo y recuperación de la zona marina protegida**

Para el manejo y protección de los ecosistemas presentes en el PNN, se requieren medidas administrativas con un alto grado de cohesión y voluntad política por parte de todos los involucrados en el desarrollo de las actividades al interior del área protegida.

### **5.4.1 Plan de manejo del área marina protegida de los archipiélagos de Rosario y San Bernardo 2013-2023**

Considerando las problemáticas expuestas en los capítulos anteriores, en cabeza del INVEMAR se propuso el Plan de Manejo del área marina protegida de los archipiélagos del rosario y san Bernardo, el cual plantea diferentes iniciativas con el fin de recuperar, proteger y conservar la biodiversidad del PNN; de igual manera es importante tener en cuenta que la escala de acción de este plan abarca un nivel más alto de generalidad, es decir que no solo tiene en cuenta ecosistemas de coral, sino unos cuantos más, como el caso del manglar y la selva tropical, por ende, su acción sobre los corales puede llegar a quedar corta en cierto punto. Por esto, se muestra las principales estrategias planteadas:

Inicialmente, se plantea una zonificación y reglamentación del uso de los bienes y servicios que se pueden encontrar dentro del parque: para la selección de los criterios se tuvieron en cuenta los ya establecidos en la resolución 0456 para la formulación de un Modelo de Desarrollo Sostenible para los archipiélagos del Rosario y San Bernardo, con base en estos, se realizó una actualización de los criterios para la zonificación:

- *Variedad de ecosistemas*: Importancia de un área considerando la variedad de ecosistemas que posea.
- *Funciones del ecosistema*: Importancia del área de acuerdo a los servicios ecosistémicos que presta.
- *Estado de conservación del ecosistema*: Estado actual en que se encuentran los recursos de un hábitat en específico.
- *Presencia de hábitats esenciales*: Hábitats necesarios en etapas críticas bien sea de reproducción, alimentación o protección.

- *Nivel de amenaza de los ecosistemas:* Se determina de acuerdo al grado de impacto por acción de las potenciales amenazas sobre un ecosistema.
- *Densidad:* Presión antrópica sobre las unidades ecológicas teniendo en cuenta la densidad poblacional en los centros poblados.
- *Organización comunitaria:* Determina la viabilidad de desarrollar procesos que generen un beneficio común.
- *Beneficio económico:* Evalúa el grado en que se verá afectada la economía local a largo plazo si se aplican medidas de protección.

Examinando lo planteado anteriormente, se puede afirmar que la inversión en recursos y esfuerzos será directamente proporcional a la cantidad de criterios deseados, por este motivo, la priorización de unos criterios específicos reduciría la dificultad de desarrollo de la propuesta. Rescatando lo estudiado a lo largo de esta investigación, los criterios que deberían ser priorizados serían los siguientes:

- *Funciones del ecosistema:* Los servicios eco sistémicos como pilar fundamental del funcionamiento adecuado del hábitat.
- *Estado de conservación:* Estado actual en el que se encuentran los recursos y planes o programas encaminados al beneficio de dicho ecosistema.
- *Presencia de hábitats esenciales:* Áreas importantes en las etapas críticas para el desarrollo normal de la biodiversidad.
- *Nivel de amenaza socio ambiental:* Considerando las presiones naturales (temperatura, salinidad, pH, entre otras) y antrópicas, teniendo en cuenta que las naturales se ven potenciadas o alteradas por la acción del hombre.

En segunda instancia, se plantearon 5 categorías de zonificación ajustando las ya planteadas en la versión anterior del Plan de Manejo de AMP, como se manifiesta en el documento, se hizo necesario el ajuste por lo dictado en el decreto 2372 de 2010.

- *Zona de preservación:* Incluyendo en esta categoría las zonas que no han sido intervenidas o donde la influencia antrópica ha sido mínima, en miras de la preservación de la biodiversidad.

- *Zona de restauración*: Dentro de esta categoría, que está encaminada a la recuperación de zonas que han sufrido danos importantes, bien sea por causas naturales o antrópicas. En este grupo encontramos 2 subcategorías: Restauración para la preservación, que busca el restablecimiento de las condiciones naturales o, Restauración para uso sostenible, que consiste en restablecer las condiciones naturales del ecosistema para posteriormente aprovechar los servicios ecosistémicos que pueda proveer.
- *Zona de recreación*: Áreas que ofrecen la posibilidad de ser visitadas sin realizar modificaciones significativas al entorno.
- *Zona de uso sostenible Tipo A*: Hábitats con distintos grados de intervención humana que permiten, dentro de sus procesos de conservación, el uso regulado.
- *Zona de uso sostenible Tipo B*: Áreas con una alta fuente de recursos naturales, cuyo objetivo es el aprovechamiento de dichos recursos en beneficio de la región.

Dentro de las 5 categorías presentadas anteriormente, se considera que en la segunda categoría: “zonas de restauración”, se debería tener en cuenta solo la primera subcategoría “Restauración para preservación”, si se toma en consideración que un área que está clasificada como de restauración, da un indicio de su capacidad para adaptarse a las presiones que sobre ella se ejercen, por lo tanto, sería importante no considerar estas zonas como de posible aprovechamiento. Las demás categorías permiten tener una visión clara de los tipos de zonas con los que cuenta el área protegida permitiendo el control y manejo de estas.

El plan de manejo en cuestión proyecta las áreas que abarcaran cada una de las zonas en un escenario al 2023, como se muestra en la siguiente figura:

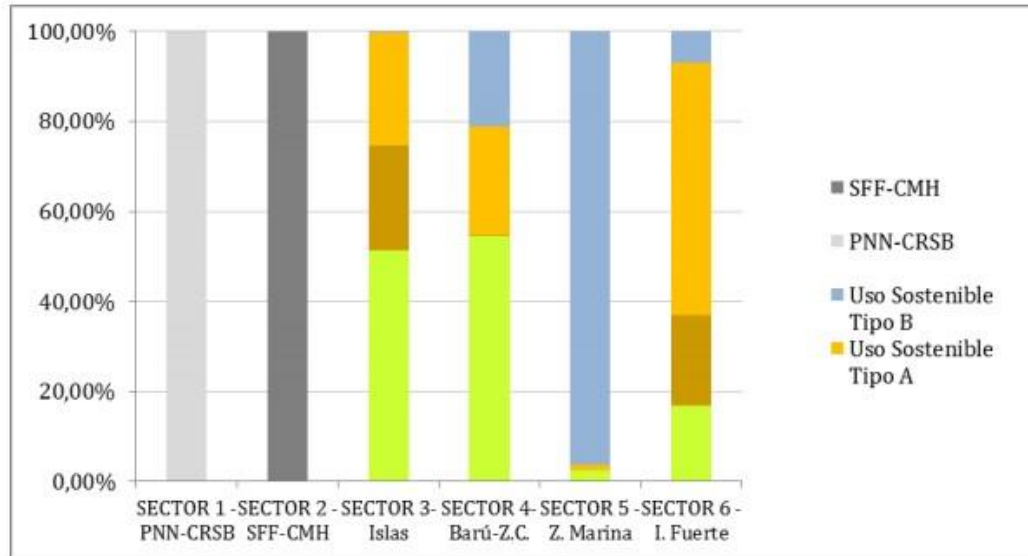


Ilustración 20. Proyección de la clasificación del uso del suelo 2023. (INVEMAR, 2013)

Sin embargo, en los indicadores de gestión de los objetos de conservación, no se consideran los arrecifes coralinos al interior del PNN CRSB, por el contrario, se especifica que la restauración se orientara a los ambientes localizados en isla Fuerte para recreación, y los arrecifes que se encuentran fuera del parque pero que aún pertenecen al archipiélago de san Bernardo, se preservaran.

De igual forma, la clasificación del Área Marina Protegida dentro del PNN CRSB responde al Plan de Manejo del parque, como se muestra a continuación:

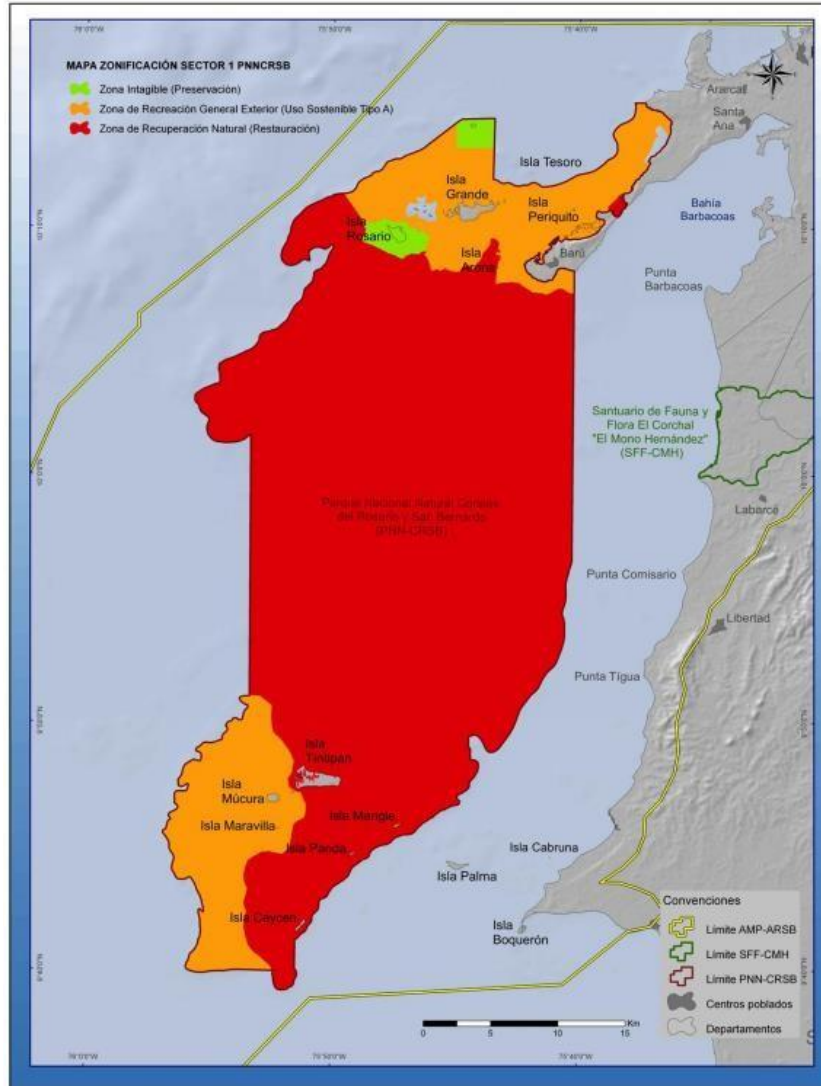


Ilustración 21. Clasificación del área marina protegida dictada por el Plan de Manejo del PNNCRSB

### Zonificación PNN Corales del Rosario y San Bernardo

De esta manera, clasifica la zona intangible (preservación), zona de recuperación natural (restauración) y Zona de Recreación General Exterior (Uso sostenible tipo A).

Finalmente, se realiza una clasificación definitiva de las zonas del parque que serán tenidas en cuenta de acuerdo con los criterios establecidos previamente:

**Zona de restauración:**

- Borde costero de las islas, incluyendo playas y terrazas arrecifales.
- Áreas degradadas de vegetación isla Ceycén.
- Cobertura vegetal de toda la isla Palma.
- Áreas de manglar isla Tintipán.
- Áreas de manglar, bosque seco y lagunas costeras de la isla Múcura, isla grande.

**Zona de preservación:**

- Isla grande

**Zona de recreación:**

- Áreas con ecosistemas de bosque seco, lagunas costeras y playas en las cuales se llevan a cabo actividades de recreación (Isla grande, Múcura y Tintipán)

**Zonas de uso sostenible tipo A**

- Isla Cabruna
- Áreas de cultivos de pancoger con actividades turísticas en isla Grande.
- Áreas de cultivos isla Tintipán.
- Áreas de cultivo en isla Múcura.

**Zona de uso sostenible tipo B**

- San Cruz del Islote.

De lo listado anteriormente, se puede apreciar que en las zonas de restauración se consideran únicamente las terrazas arrecifales, lo que indica que no se ahonda o profundiza en la totalidad de los ecosistemas que se encuentran al interior del parque; dejando vulnerable la biodiversidad que no es considerada de restauración a pesar de ser víctima de diferentes presiones naturales y antrópicas.

Así mismo, se considera dentro del plan un listado de actividades prohibidas y otras permitidas; dentro de las prohibidas, se menciona la incineración, acopio, depósito o entierro de cualquier tipo de residuo sólido, ya sea a los cuerpos de agua en los terrenos insulares y costeros. Examinando lo anterior, dicha actividad se encuentra prohibida, sin embargo, son muy pocas las islas que cuentan con el servicio de recolección de basura

cuentan los isleños que pueden pasar 2 meses acumulando los residuos porque no hay nadie que los recoja para hacer una adecuada disposición. De la misma forma, está prohibida la extracción y transporte de cualquier tipo de material para fines de construcción o relleno; el islote artificial de santa cruz del islote es un claro ejemplo de que las normas que se plantean, primero, no son de conocimiento de la población o, como segunda opción, no hay organismo de control que vele por el cumplimiento de las mismas, dificultando cualquier tipo de iniciativa de conservación, teniendo en cuenta que los habitantes de las islas no están informados de lo que pueden y no hacer dentro del parque, y adicionalmente, no cuentan con el apoyo institucional necesario para poder hacer un cambio en sus prácticas.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

El presente proyecto busca sensibilizar y resaltar la importancia de los ecosistemas presentes en el Caribe colombiano, así como la cohesión entre todos los actores que cumplen una función dentro de la protección de los arrecifes de coral; destacando los servicios ecosistémicos que presta a las comunidades que habitan dentro del parque.

Por esto, se hace necesario un equipo de trabajo en las relaciones socio ambientales que se desarrollan en la zona marina protegida donde la inclusión de la población dentro de las iniciativas de conservación sea clave para el éxito de estas. Teniendo en cuenta que los isleños tienen un contacto directo con los ecosistemas, y a lo largo de los años han desarrollado una relación unilateral, donde el beneficio se ve únicamente hacia las poblaciones de las islas, sobrepasando la capacidad de resiliencia de los ecosistemas marinos.

De igual forma, algunos factores ambientales y ciclos naturales se han visto alterados por la intervención antrópica, lo cual, considerando el cambio de temperatura superficial del mar, son alteraciones naturales que se presentan a través de los años, sin embargo, estos factores, últimamente se han visto potenciados por las actividades humanas; la rectificación del canal del Dique también significó un punto de inflexión en la salud de los arrecifes de coral, afectando negativamente los niveles de salinidad al verter sus aguas directamente sobre zonas de alta vulnerabilidad, causando una alteración en las condiciones normales para el desarrollo y crecimiento de las poblaciones de coral.

Así mismo, los fenómenos del Niño y la Niña causaron alteraciones importantes en cuanto a los niveles de temperatura superficial en el mar, interfiriendo con los procesos de reproducción de los corales y aumentando los niveles de acidificación en el agua y como consecuencia, aumentando las probabilidades de eventos de blanqueamiento.

En consecuencia, se han presentado eventos significativos de pérdida de cobertura, considerando el impacto del fenómeno del Niño que se vivió en 1991, se perdieron aproximadamente 1.900 hectáreas y la temperatura superficial del agua aumentó 2°C. En los años siguientes, se dieron pequeños pasos en la recuperación del ecosistema, sin



embargo, el fenómeno del niño ha sido repetitivo en Colombia, presentándose de nuevo en 1997, dificultando los procesos de recuperación en el área protegida.

Así mismo, cuando se trata de enfrentarse a escenarios como los descritos anteriormente, la sinergia entre los actores es de vital importancia para tener éxito en la recuperación de los ecosistemas de coral, sin embargo, se evidenció una desarticulación casi absoluta entre las partes involucradas; actividades desarrolladas por parques Nacionales no son consideradas por las CAR y viceversa; de igual manera, las alcaldías que tienen jurisdicción no se han manifestado con respecto a la situación actual que se vive en el PNN. Como consecuencia, el trabajo de conservación se ha recargado en unos contados grupos independientes conformados por isleños que buscan la restauración de los arrecifes de coral y velan por el cuidado y protección de la biodiversidad de la zona.

Tomando esto en consideración, la educación ambiental es un factor crucial para la protección, recuperación y conservación de la biodiversidad, así como las iniciativas deben ir encaminadas a una cohesión entre la población y su entorno y no por separado. Por otro lado, el abandono estatal que manifiestan los isleños divide los esfuerzos por conservar los arrecifes; el acercamiento que realizan las entidades no es el más adecuado, generando un rechazo por parte de la comunidad, no solo a la presencia gubernamental sino a sus iniciativas, planes y proyectos.

## **Recomendaciones**

Una clara clasificación de las áreas que tienen una mayor vulnerabilidad ante alteraciones de tipo antrópico o natural permitirían un mejor manejo y control sobre las actividades que se desarrollan y así evitar superar el límite de resiliencia de los ecosistemas; de igual forma, limitar las clasificaciones facilitaría la recolección y análisis de información.

Adicionalmente, la dificultad en la obtención de información de calidad dificulta los procesos; es importante considerar las fechas de las imágenes que se van a utilizar en el estudio así como el nivel de nubosidad de las mismas; sumado a esto, vale la pena resaltar el error de bandeado que posee el satélite Landsat 7, razón por la cual fue necesario realizar

procesos adicionales para obtener la información completa, sin embargo, la veracidad de la información se ve afectada, así como el posterior análisis.

Sumado a esto, se considera pertinente implementar el uso de estaciones de control, sobre zonas de importancia en el lugar, con sensores que registren continuamente valores de acidez del agua, niveles de luz, sedimentos, nutrientes y materia orgánica del lugar. Esto permitirá mantener un control y monitoreo constante de los corales.

Finalmente, la inclusión de los habitantes de las islas en los planes y proyectos que se llevan a cabo en el parque, así como de los turistas, en las actividades de conservación, pueden resultar en una base sólida de reconocimiento del valor ecológico de la zona y de esta manera, en el largo plazo, poder garantizar la conservación de la diversidad nacional.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, M., Pizarro, B., Sarmiento-Segura, A. (2011). Formaciones arrecifales. El entorno ambiental del parque nacional natural corales del Rosario y San Bernardo. (110). Recuperado de: <http://observatorioirsb.org/web/wp-content/uploads/2015/11/el-entorno-ambiental-del-parque-nacional-natural-corales-del-rosario-y-de-san-bernardo.pdf>
- Aguirre, R., Morales, L. (2005). Análisis espectral del arrecife coralino de Cayos Arcas, Campeche, México. Instituto de Geografía, UNAM, Circuito exterior, Cd. Universitaria. Obtenido de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112005000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112005000200002)
- Aranguren, J. (2011). *Prefacio: El entorno ambiental, parque nacional natural corales del rosario y de san bernando*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2019, de <http://observatorioirsb.org>: <http://observatorioirsb.org/web/wp-content/uploads/2015/11/el-entorno-ambiental-del-parque-nacional-natural-corales-del-rosario-y-de-san-bernardo.pdf>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación: introducción a la metodología científica*. Caracas: Episteme.
- AIDA. (2015). Guía de buenas prácticas de regulación para la protección de arrecifes de coral. Recuperado de: [http://www.aida-americas.org/sites/default/files/featured\\_pubs/guia\\_de\\_buenas\\_practicas\\_de\\_regulacion\\_para\\_la\\_proteccion\\_de\\_arrecifes\\_de\\_coral\\_0.pdf](http://www.aida-americas.org/sites/default/files/featured_pubs/guia_de_buenas_practicas_de_regulacion_para_la_proteccion_de_arrecifes_de_coral_0.pdf)
- Arroyave, L., Bermúdez, Y. & Villada, L. (2014). Impacto de la sedimentación en los corales de Islas del Rosario y San Bernardo, Colombia. Cuaderno Activa, 6, pp 133-141. Tomado de: <file:///C:/Users/davidalejandro/Desktop/U/Novia/GRADO/BIBLIOGRAFIA/224-Texto%20del%20art%C3%ADculb-423-1-10-20150612.pdf>
- Arambuco, G., Ruíz, M., Calderón, L., Chávez, E., Cupul, A., Navarrete, A., González, C., Iglesias, P., López, A., Pérez, H., Reyes, H., Carricat, J. (2008). La importancia de los arrecifes de coral en México. Eco Fronteras. Revista cuatrimestral de divulgación

- de la ciencia. Tomado de:  
<http://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/778>
- Bádenas, B., Aurell, M., (1999). Arrecifes de coral y concentración de dióxido de carbono: un ejemplo en la didáctica sobre cambio climático. Departamento ciencias de la tierra. Universidad de Zaragoza. Tomado de:  
<https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/viewFile/88530/132516>
- Banco Mundial, Centro de análisis de información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge. Tennessee, Estados Unidos. Recuperado de:  
<https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC?end=2010&locations=CO&start=1981&view=chart>
- Basterra, I., (2007). Catedra de fotointerpretación. Departamento de geociencias, facultad de ingeniería. Universidad Nacional del Nordeste. Recuperado de:  
<http://ing.unne.edu.ar/dep/goeciencias/fotointer/pub/teoria2011/parte02/tdi.pdf>
- Betancourt, J; Narvaez, S.; Espinosa, L.; Vivas, J.; Parra, J.,. (2011). *Calidad de Aguas*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2019, de <http://observatorioirsb.org>:  
<http://observatorioirsb.org/web/wp-content/uploads/2015/11/el-entorno-ambiental-del-parque-nacional-natural-corales-del-rosario-y-de-san-bernardo.pdf>
- Cabrales, Y. (2014). *Variaciones espaciales en las comunidades de corales en la costa*. (U. d. Habana, Editor) Obtenido de [oceandocs.org](http://www.oceandocs.org):  
<https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/7401/Tesis%20maestr%C3%ADa%20Yenizeis%20Cabrales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Caneleo, P., (2010), Sensoramiento remoto de imágenes satelitales. Universidad de Magallanes. Págs. Xxx. Recuperado de:  
[http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/caneleo\\_perez\\_2010.pdf](http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/caneleo_perez_2010.pdf)
- Carrasquel, G. (22 de julio de 2013). *veoverde*. Obtenido de:  
<https://www.veoverde.com/2013/07/arrecifes-de-coral-son-vulnerables-frente-al-cambio-climatico/>
- Calle, J. (2014). *Implementación de un protocolo de monitoreo en sitios permanentes en el arrecife de Tuxpan, Veracruz, México*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2019,

- de uv.mx: <https://www.uv.mx/pozarica/mmemc/files/2014/12/Calle-Trivino-Johanna.pdf>
- Castro. (2016). *Cuadernos de Investigación UNED (ISSN: 1659-4266) Vol. 8(1): 17-26, Junio, 2016* Impacto de la actividad turística sobre los arrecifes coralinos del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, Colombia. Recuperado el 26 de septiembre de 2019, de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v8n1/1659-4266-cinn-8-01-00013>
- Castro, L. y. (2016). *Impacto de la actividad turística sobre los arrecifes coralinos del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, Colombia*. Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica. Cuadernos de Investigación UNED. Recuperado el 11 de JUNIO de 2019, de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5156/515653586003/html/index.html>
- Colparques. (2019). *Corales del Rosario*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2019, de Colparques.net: <http://www.colparques.net/CORALES>
- Conde-Álvarez, C., Saldaña-Zorilla, S. (2007). Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Revista ambiente y desarrollo*, 23 (2), 23-24.
- Cover, V. y. (2013). *ECOSISTEMAS DE ARRECIFE CORALINO EN COSTA RICA: ANÁLISIS NORMATIVO PARA DETERMINAR LA NECESIDAD DE SU REGULACIÓN*. Obtenido de Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca: <http://ijj.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2017/06/Ecosistemas-de-arrecife-coralino-en-Costa-Rica-An%C3%A1lisis-normativo-para-determinar-la-necesidad-de-su-regulaci%C3%B3n.pdf>
- Duque-Caro, H. (1979). *Major structural elements and evolution of northwestern Colombia*. American Association of Petroleum.
- Exeter, u. o. (2014). Hacia la Resiliencia del Arrecife y Medios de Vida Sustentables. En E. university, *Hacia la Resiliencia del Arrecife y Medios de Vida Sustentables* (págs. 52-63).
- Flórez, C. y. (2011). *Caracterización ecológica de las Islas de Múcura y Tintipán, Archipiélago de San Bernardo*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2019, de <http://observatorioirsb.org>: <http://observatorioirsb.org/web/wp ->

content/uploads/2015/11/el-entorno-ambiental-del-parque-nacional-natural-corales-del-rosario-y-de-san-bernardo.pdf

Gómez-Campo, K., López-Londoño, T., Gil-Agudelo, D., Navas-Camacho, R., Rojas, J. y Garzón, F. (2015). Blanqueamiento coralino, amenaza para el futuro de los arrecifes de coral de los archipiélagos Nuestra Señora del Rosario y San Bernardo.

Gómez, E., (2006), Campos electromagnéticos- Óptica, Guía básica de conceptos de radiometría y fotometría. Universidad de Sevilla. Pág. 5. Recuperado de: <http://laplace.us.es/campos/optica/general/opt-guia2.pdf>

Gómez et all. (2011). *Blanqueamiento coralino, amenaza para el futuro de los arrecifes del coral de los archipiélagos de nuestra señora del resario y san bernardo*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2019, de <http://observatorioirsb.org/web/wp-content/uploads/2015/11/el-entorno-ambiental-del-parque-nacional-natural-corales-del-rosario-y-de-san-bernardo.pdf>

Grimsditch, G. (2019). *Los arrecifes de coral están siendo hervidos vivos*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2019, de [news.un.org/es: https://news.un.org/es/story/2019/01/1449332](https://news.un.org/es/story/2019/01/1449332)

Gutiérrez-Moreno, C., Marrugo, M., Lozano-Rivera, P., Sierra, P.C., Andrade, C., (2011). Clima marino. El entorno ambiental del parque nacional natural corales del Rosario y San Bernardo. (110). Recuperado de: <http://observatorioirsb.org/web/wp-content/uploads/2015/11/el-entorno-ambiental-del-parque-nacional-natural-corales-del-rosario-y-de-san-bernardo.pdf>

Henao, A. (2013). *EFFECTOS DE LOS APORTES DEL CANAL DEL DIQUE SOBRE EL RECLUTAMIENTO DE ESPECIES DE CORAL EN LOS ARRECIFES DEL ARCHIPIÉLAGO NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO, ÁREA MARINA PROTEGIDA*. Recuperado el 11 de JUNIO de 2019, de [expeditiorepositorio.utadeo.edu.co: https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/1770/T005%20\(2\).pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/1770/T005%20(2).pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Hernández, R. F. (2014). *Metodología de la Investigación* (6 ed ed.). México: McGraw-Hill.

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación*. México: McGraww Hill.

- Hoegh-Guldberg, O. (1999). EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS ARRECIFES.
- IDEAM, (2015). Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100. (3). Recuperado de: [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022964/documento\\_nacional\\_departamental.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022964/documento_nacional_departamental.pdf)
- INGEOMINAS. (2003). *Geología de los Cinturones Sinú-San Jacinto*.
- Incoder UJTL. (2014). *Visión integral de los Archipiélagos de Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2019, de <http://observatorio.epacartagena.gov.co>:  
<http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/12/descarga-el-documento-comentarios-49-de-5-3-votos-ambiente-y-desarrollo-en-el-caribe-colombiano-parte-2.pdf>
- INVEMAR. (2012). *Plan para el manejo y control del pez león en el caribe Colombiano*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2019, de <http://www.invemar.org.co>:  
[http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/portalinvasoresmarinos/docs/10059Plan\\_manejo\\_control\\_pez\\_leon.pdf](http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/portalinvasoresmarinos/docs/10059Plan_manejo_control_pez_leon.pdf)
- IÑIGUEZ, L. (ENERO de 1996). *Lo socioambiental y el bienestar humano*. Obtenido de: [scielo.sld.cu](http://scielo.sld.cu): [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-34661996000100007](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34661996000100007)
- Labrador, M., Évora, J., Arbelo, M., (2012). Satélites de teledetección para la gestión del territorio. Consejería de agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias. Recuperado de: [http://www.gmrcanarias.com/wp-content/uploads/2016/01/20\\_catalogo\\_satelites\\_es.pdf](http://www.gmrcanarias.com/wp-content/uploads/2016/01/20_catalogo_satelites_es.pdf)
- LAEFF, (2008). Conceptos técnicos de un radiotelescopio y de la radiación recibida. Proyecto académico con el radiotelescopio de NASA en Robledo. Tomado de: [http://hcra.cab.inta-csic.es/Upload/200809/rad\\_5.pdf](http://hcra.cab.inta-csic.es/Upload/200809/rad_5.pdf)
- Lira, A., Guevara, A. (2018). Irradiancia y radiancia. Universidad Nacional Autónoma de México. Tomado de: [http://leias.fa.unam.mx/wp-content/uploads/2018/07/180515\\_Practica15\\_LES.pdf](http://leias.fa.unam.mx/wp-content/uploads/2018/07/180515_Practica15_LES.pdf)

- Lozano, F. (2019). ANÁLISIS ECOTURÍSTICO DE LA ACTIVIDAD DE SNORKELLING EN MAJAYURA (CARTAGENA, COLOMBIA). *revistas.uexternado.edu.co*. doi: <https://doi.org/10.18601/01207555.n24.09>
- Mancera-Pineda, J., Gavio, B., & Lasso-Zapata, J. (2013). PRINCIPALES AMENAZAS A LA BIODIVERSIDAD MARINA/MAIN THREATS TO MARINE BIODIVERSITY. *Actualidades Biológicas*, 35(99), 111-133. Retrieved from <https://bibliobd.udca.edu.co:2091/docview/1630026205?accountid=47900>
- Martinez, H. F. (2014). CARACTERIZACIÓN DEL USO Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS EN ÁREAS PROTEGIDAS DE PARQUES NACIONALES NATURALES EN EL CARIBE DE COLOMBIA. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. Obtenido de Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar): <http://www.scielo.org.co/pdf/mar/v43n2/v43n2a03.pdf>
- Meneses, C. (2011). El índice normalizado de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. *Unasyuva* 238, Vol 62. FAO. Tomado de: <http://www.fao.org/3/i2560s/i2560s07.pdf>
- Ministerio de Ambiente, y. D. (2011). *El entorno ambiental del parque nacional natural corales del rosario y san bernardo*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2019, de <http://observatorioirsb.org>: <http://observatorioirsb.org/web/wp-content/uploads/2015/11/el-entorno-ambiental-del-parque-nacional-natural-corales-del-rosario-y-de-san-bernardo.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (1996). *Resolución N° 1425 del 20 de diciembre de 1996*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2019, de [runapadmin.parquesnacionales.gov.co](http://runapadmin.parquesnacionales.gov.co): [runapadmin.parquesnacionales.gov.co > general > descargardocumento](http://runapadmin.parquesnacionales.gov.co/general/>descargardocumento)
- Montealegre, J. (2007). *Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2019, de <http://www.ideam.gov.co>: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Modelo+Institucional+El+Ni%C3%B1o++La+Ni%C3%B1a.pdf/232c8740-c6ee-4a73-a8f7-17e49c5edda0>
- Montaño, J. (1 de Junio de 2014 ). El plan para salvar los arrecifes de las islas del Rosario. *El Tiempo* .
- Montoya, G. (2018). Lineamientos epistemológicos para la aplicación de la geografía en el suelo. Sociedad geográfica de Colombia. Academia de ciencias geográficas. Primera edición. Publicación aperiódica 14.



Navarro, Z. (2015). *Ictiofauna arrecifal de punta francés, cuba: estructura y estado de conservación en el periodo 2011-2014*. Obtenido de [oceandocs.org](http://oceandocs.org):

- <https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/8383/Tesis%20de%20maestr%C3%ADa%20Navarro%2C%20Zenaida.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Observatorio para el desarrollo sostenible de los Archipiélagos de Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo*. (2012). Obtenido de <http://observatorioirsb.org/nuestras-islas/vision-integral/ambiental/ecosistemas/arrecifes-de-coral/>
- Observatorio para el desarrollo sostenible, d. l. (2012). *Marco Jurídico*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2019, de <http://observatorioirsb.org>: <http://observatorioirsb.org/nuestras-islas/vision-integral/economico/usos-del-territorio-y-modelos-de-ocupacion/marco-juridico/>
- Olan, M. (2018). *Geomorfología arrecifal y su efecto sobre la función de los ensamblajes ícticos*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2019, de [biblio.uabcs: http://biblio.uabcs.mx/tesis/te3925.pdf](http://biblio.uabcs.mx/tesis/te3925.pdf)
- Ortiz, A. (2005). Los arrecifes de coral. Programa de Colegio Sea Grant de la Universidad de Puerto Rico.
- Oviedo, M., (2011). Viabilidad de trasplantes de coral cuerno de alce *Acropora palmata* en el parque Nacional Natural Tayrona, Caribe Colombiano. Universidad Nacional de Colombia. Tomado de: <http://bdigital.unal.edu.co/7094/1/1190342.2011.pdf>
- Padilla. C., Alafita-Vázquez, H., Andreu-Montalvo, E. (2009). Factores de riesgo para los arrecifes coralinos y sus mecanismos de respuesta ante los efectos del cambio climático global. *Cambio climático en México un enfoque costero y marino*.
- Pabón, J., & Montealegre, J. (2017). *Los fenómenos de El Niño y de La Niña*. Recuperado el 2018 de Septiembre de 2019, de <https://accefyn-dspace.metabiblioteca.org>: <https://accefyn-dspace.metabiblioteca.org/jspui/bitstream/001/113/1/Fenomeno%20del%20ni%C3%B1o%20y%20la%20ni%C3%B1a%20WEB.pdf>
- Ramsar. (2015). Arrecifes de coral: Humedales esenciales en grave peligro. Convención sobre los humedales (5). Recuperado de: [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/ramsar\\_factsheet\\_coral\\_5\\_sp.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/ramsar_factsheet_coral_5_sp.pdf)
- Sanchez, N. (2013). *Apuesta al ecoturismo; transformaciones de los sistemas socioecológicos presentes en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo- PNN CRSB, Colombia*. Recuperado el 11 de junio de 2019, de [repository.javeriana.edu.co](http://repository.javeriana.edu.co):

- <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12469/SanchezAlzateNataliaAndrea2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sarmiento.A. (2010). *COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD ARRECIFAL SOMERA DENTRO Y FUERA DEL ÁREA MARINA PROTEGIDA PARQUE NACIONAL NATURAL CORALES DEL ROSARIO Y SAN BERNARDO, CARIBE COLOMBIANO*. Obtenido de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/1277/T931.pdf?sequence=1>
- SEMARTNAT. (2009). Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. Recuperado de: [http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio\\_climatico\\_09-web.pdf](http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio_climatico_09-web.pdf)
- Sergio, S; Soares, M,;. (2017). *Efectos del niño en ecosistemas costeros y servicios relacionados*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2019, de <http://www.scielo.br>: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1984-22012017000100229&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1984-22012017000100229&script=sci_abstract&tlng=es)
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación, S. (2016). *Protocolo para el monitoreo ecológico de las formaciones coralinas*. San José de Costa Rica: SINAC.
- Universidad Jorge Tadeo Lozano, s. C. (2014). Visión integral de los archipiélagos de Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo. (I. C. Rural, Ed.) *AMBIENTE Y DESARROLLO DEL CARIBE COLOMBIANO*, 3(1 Y 2).
- Vega, J. (2016). *Efectos de perturbaciones naturales en ecosistemas marinos: eventos oceánicos extremos en formaciones coralinas del Caribe colombiano*. Recuperado el 27 de Septiembre de 2019, de [http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/7be721f9-b773-42a8-b5cf-7f3df9dfca27/Efectos%20de%20perturbaciones%20naturales%20en%20ecosistemas%20marinos.pdf?ticket=TICKET\\_a09598c6c59fc09faafe4763f88a81780061992](http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/7be721f9-b773-42a8-b5cf-7f3df9dfca27/Efectos%20de%20perturbaciones%20naturales%20en%20ecosistemas%20marinos.pdf?ticket=TICKET_a09598c6c59fc09faafe4763f88a81780061992)
- Zarza, E. (2011). *EL ENTORNO AMBIENTAL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CORALES DEL ROSARIO Y DE SAN BERNARDO*. (P. N. Bernardo, Editor) Recuperado el 11 de JUNIO de 2019, de <http://observatorioirsb.org/web/wp-content/uploads/2015/11/el-entorno-ambiental-del-parque-nacional-natural-corales-del-rosario-y-de-san-bernardo.pdf>
- Zapata, A. (2017). *Dinámica temporal de la cobertura de corales y algas y sus impulsores en un arrecife coralino de Isla Gorgona, Colombia (Pacífico Tropical Oriental)* .

Recuperado el 27 de septiembre de 2019, de  
<https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/486>

ZIMMERMANN, L. (25 de JULIO de 2018). *La milagrosa supervivencia de los corales de Varadero en la bahía de Cartagena*. Obtenido de [es.mongabay.com](https://es.mongabay.com):  
<https://es.mongabay.com/2018/07/corales-cartagena-colombia-sobreviven-contaminacion/>

## ANEXOS

### *Código para automatización de procesos técnicos.*

```
import arcpy
import math
import os
from arcpy import env
from arcpy.sa import *

"""
Esta funcion retorna un raster con la radianza
rmb: Es el "Radiance Mult Band" que se halla en el meta dato de la imagen
bt: la banda termica de la imagen multiespectral
rab: Es el "Radiance Add Band" que se halla en el meta dato de la imagen
"""
def radianza(rmb, bt, rab ):
    return (rmb * bt) + rab

"""
Esta funcion retorna un raster con la temperatura de brillo
k1 y k2: son constantes de la banda termica
radianza: es la radianza generada previamente
"""
def tempBrillo(k1,k2,radianza):
    return (k2/(Ln( k1/radianza) + 1 ))) - 273.15

"""
Retorna el indice de vegetacion normalizado
RED_3: Es la banda roja de la imagen multiespectral
NIR_4: Es la banda del infrarojo cercano de la imagen multiespectral
"""
def NDVI(RED_3, NIR_4):
    return Float(NIR_4 - RED_3) / Float(NIR_4 + RED_3)

"""
Retorna la proporcion de vegetacion
NDVI: Indice de vegetacion normalizado
mini: Valor minimo encontrado de un pixel de la imagen NDVI
maxi: Valor maximo encontrado de un pixel de la imagen NDVI
"""
```

```

def PV(NDVI,mini,maxi):
    return (NDVI - (mini / maxi) + mini ) ** 2

"""
Retorna el nivel de emisividad
pv: la proporcion de vegetacion
"""

def LSE(pv):
    return ( 0.004*pv ) + 0.986

"""
Retorna la temperatura superficial
tempBrillo: La temperatura de brillo
b6: Es la banda termica de la banda superficial
lse: El nivel de emisividad
"""

def TSP(tempBrillo,b6,lse):
    return tempBrillo + b6 * (tempBrillo/14380) * Ln(lse)

def main():
    path = os.getcwd()
    #Leemos los rasters:

    #Banda 6
    raster1 = (r""+path+r"\6.TIF")
    #Banda 3
    raster2 = (r""+path+r"\3.TIF")
    #Banda 4
    raster3 = (r""+path+r"\4.TIF")
    #Composicion
    comp = (r""+path+r"\Composite.TIF")

    env.workspace = path

    clases = int(input("Numero de clases:"))
    minMembers = 20
    samplInterval = 10

    outClasificacion =
    IsoClusterUnsupervisedClassification(comp,clases,minMembers,samplInterval)
    outClasificacion.save(r""+path+r"\clasificacion.TIF")

```

```
#Pide los datos
radianceMultBand = float(input("Radiance Mult Band: "))
radianceAddBand = float(input("Radiance Add Band: "))
k1 = float(input("k1: "))
k2 = float(input("k2: "))

#Calcula la radianza
radi = radianza(radianceMultBand, Raster(raster1), radianceAddBand)

#Calcula la temperatura de brillo
tempi = tempBrillo(k1,k2,radi)
#Calcula el NDVI
ndvi = NDVI(Raster(raster2),Raster(raster3))
#Calcula el PV
pv = PV(ndvi,-1,1)
#Calcula el LSE lse = LSE(pv)
TSP(tempi,raster1,lse).save(r""+path+r"\result.TIF")

main()
```