

**ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA COMUNIDAD ARRECIFAL  
PRESENTE EN ISLA FUERTE-BOLÍVAR (COLOMBIA).**

**Diana Carolina Casas Figueroa**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
CARRERA DE BIOLOGÍA  
BOGOTÁ, D.C  
JUNIO DE 2011**

**ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA COMUNIDAD ARRECIFAL  
PRESENTE EN ISLA FUERTE-BOLÍVAR (COLOMBIA).**

**Diana Carolina Casas Figueroa**

---

**Ingrid Schuler, Ph.D.**

**Decana Académica**

---

**Andrea Forero, B.sc.**

**Directora del Programa Académico**

**ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA COMUNIDAD ARRECIFAL  
PRESENTE EN ISLA FUERTE-BOLÍVAR (COLOMBIA).**

**Diana Carolina Casas Figueroa**

---

**Fabio Gómez D. Msc.**

**Director**

---

**Raúl Navas C.**

**Jurado**

## **NOTA DE ADVERTENCIA**

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por que no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por qué las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.

**Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946**

## Tabla de contenido

<b>Resumen</b> .....	<b>1</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Problema y justificación</b> .....	<b>2</b>
<b>Marco teórico</b> .....	<b>3</b>
Arrecife Coralino .....	3
Deterioro Coralino .....	4
Técnicas de muestreo para evaluar arrecifes coralinos.....	5
Estructura y composición .....	6
Diversidad.....	7
<b>Objetivos</b> .....	<b>9</b>
General.....	9
Específicos .....	9
<b>Metodología</b> .....	<b>9</b>
Área de estudio .....	9
Fase de campo .....	10
Fase de análisis.....	11
<b>Resultados</b> .....	<b>13</b>
<b>Discusión</b> .....	<b>25</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>28</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>29</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>29</b>
<b>Anexos</b> .....	

## **Agradecimientos**

A Dios por darme la oportunidad de iniciar este proyecto de vida.

A mis papas por ser mi gran apoyo durante este proceso y enseñarme que la confianza en mí, la paciencia y la perseverancia son la llave del triunfo.

A Andrés por ser mi todo, mi pedestal y mi confidente, por llevarme de la mano durante todos los buenos y malos momentos de este camino.

A Fabio Gómez, director de este trabajo, por su gran asesoría, consejos y paciencia.

A Raúl Navas por sus pertinentes sugerencias.

A Juan Manuel Díaz por su colaboración en la determinación taxonómica de algunas especies.

A la comunidad de Isla Fuerte, en especial a la familia de Don Juan y Doña Agustina, a la familia de Maryluz y a Rafa.

## **Resumen**

Los arrecifes coralinos comprenden una de las diversidades más grandes del planeta, son ecosistemas frágiles que cualquier cambio mínimo en las condiciones bióticas o abióticas perjudican su integridad. Durante las últimas décadas el impacto producido por actividades antropogénicas ha incrementado drásticamente produciendo un desequilibrio en la salud coralina. Los cambios en el estado de conservación se observan tanto a nivel internacional como a nivel nacional. La investigación se realizó en Isla Fuerte ubicada al costado sur oriental de la plataforma continental del Caribe colombiano, se ubicaron 7 estaciones de muestreo: Bajo Alicia, Bajo Yerbí, Bajo los Venados, Bajo Mariajo, Bajo San Diego, Bajo El Medio, y Bajo Socorro, las cuales fueron evaluadas con equipo de buceo autónomo de aire comprimido SCUBA aplicando la técnica punto-intercepto. En cada estación se trazaron 5 transectos de 10 metros cada uno, obteniendo un total de 35 transectos (3500 puntos). Se presentó un registro de 29 especies siendo dominantes *Porites porites*, *Siderastrea sidérea*, *Agaricia tenuifolia*, *Montastrea faveolata* y *Colypophilia natans*, se calculó un deterioro coralino del 51,1% para toda la zona. El estado de salud arrecifal con porcentaje de coral enfermo promedio de 7% y porcentaje de cobertura de coral muerto promedio de 9% indica que el complejo arrecifal se encuentra parcialmente sano, siendo la afección más importante el blanqueamiento coralino.

## **Introducción**

En los arrecifes coralinos se presentan las mayores inter-relaciones en el océano, las cuales generan estabilidad, debido a la fragilidad de estos ecosistemas, cualquier cambio mínimo en las condiciones bióticas o abióticas que lo rodean genera una desestabilidad. Los arrecifes presentes en Isla Fuerte-Bolívar (Colombia) no son ajenos a esta condición. La presencia de los eventos tenses que afectan estos ecosistemas ha aumentado drásticamente, lo que incide en el cambio de la estructura y composición de los arrecifes de la isla lo que genera directamente un cambio en el estado de conservación arrecifal. Debido a esto, el objetivo principal de esta investigación es evaluar el estado de conservación arrecifal presente en Isla Fuerte. Fueron ubicadas 7 estaciones alrededor de la isla las cuales se evaluaron con ayuda de SCUBA, en cada estación se fijaron 5

transectos de 10 metros de longitud, sub-divididos cada 10 cm, obteniendo 100 puntos de muestreo (técnica punto- intercepto). Se encontró que la isla presenta diversidad y riqueza bajas, los porcentajes de cobertura principales están compuestos por coral vivo, por último el índice de deterioro coralino medio, en general es estado de conservación de los arrecifes presentes en la isla es Medio.

## **Problema y justificación**

Los arrecifes coralinos son ecosistemas de gran importancia ya que en ellos se presentan numerosas interacciones simbióticas las cuales son fundamentales para generar estabilidad en el océano. La composición y el estado de conservación en que se encuentran, determinan la estructura de las comunidades que habitan el lugar (Escobar, 2006). Durante las últimas décadas esta estructura se ha visto afectada de manera generalizada en el entorno marino y costero, presentándose uno de los mayores impactos en los arrecifes coralinos (Huertas, 2000).

Isla Fuerte, complejo arrecifal holocénico parcialmente emergido, ubicado en el costado sur-central de la plataforma continental del Caribe Colombiano a 11 km de la costa de Paso Nuevo-Córdoba (Castaño & Moncaleano, 2007 y Díaz *et al.*, 1996) presenta numerosas formaciones arrecifales que permiten que las principales actividades económicas de la comunidad, se basen en la pesca y el turismo, lo cual produce un gran impacto sobre el ecosistema.

Numerosas investigaciones indican que el daño producido por las actividades antropogénicas como turismo, buceo, pesca indiscriminada, crecimiento demográfico, etc. es mayor que el daño producido por fenómenos naturales (Huertas, 2000). Los efectos de las actividades se ven reflejados en la disminución de coberturas de coral vivo, aumento de aparición de enfermedades y proliferación de algas las cuales son consecuencia de la muerte coralina (Bula-Meyer, 2002); esto ocasiona pérdidas en el número y variedad de especies asociadas al arrecife produciendo un desequilibrio en la estructura de la comunidad que habita el ecosistema. La disminución de las coberturas arrecifales es evidente, según Escobar (2006), el deterioro coralino es del 59,8%, la cobertura de coral muerto en promedio es de 42,96 %, la diversidad de Shannon-Wiener varía entre 1,23 y 1,94 y Simpson entre 0,5 y 0,8, indicando una diversidad baja-media y alta

dominancia entre especies, lo que sugiere que existen procesos que están incidiendo en la disminución de las especies y en las coberturas arrecifales presentes en la isla. El trabajo presentado por Escobar (2006) evaluó el estado de conservación de cinco parches arrecifales ubicados en la zona oriental de la isla mediante la técnica de punto intercepto. Debido al desconocimiento de la condición de integridad de la totalidad de la comunidad arrecifal se pretende con este estudio, caracterizar el estado de conservación de diferentes parches arrecifales alrededor de la isla para establecer el estado de conservación de la comunidad arrecifal presente en Isla Fuerte- Bolívar (Colombia).

## **Marco teórico**

### **Arrecife coralino**

Los sistemas coralinos han desarrollado una de las más altas diversidades biológicas presentes en los ambientes marinos (Reaka-Kudla, 1996 en Cendales *et al.*, 2002), debido a las interrelaciones que presenta. Las especies que habitan estos ecosistemas son altamente especializados en las interacciones y en el uso de recursos. Una de las interacciones más importantes es la asociación Coral-zooxantela en la cual permiten al coral la captación y asimilación de nutrientes para el óptimo crecimiento y desarrollo (Bula –Meyer, 1987). Para que el sistema se mantenga estable debe estar influenciado por condiciones físicas y biológicas favorables como: “aguas claras libres de sedimentos, temperaturas entre 25 y 28°C, bajos niveles de nutrientes inorgánicos, buena circulación de agua, gran actividad herbívora y poca disponibilidad de plancton” (Cendales, *et al.*, 2002); otros factores influyentes en su desarrollo son el tipo de sustrato e inclinación, estos son definitivos para el correcto asentamiento (fijación de la larva plánula al sustrato) y reclutamiento (desarrollo de las larvas plánula para convertirse en coral juvenil) (Sepúlveda, 2004).

Las especies que componen en su mayor parte a los sistemas arrecifales pertenecen al phylum cnidaria (medusas, anemonas y corales), por su parte los corales componen en valores muy superiores el ecosistema en comparación a otros individuos; los corales pertenecientes a la clase hidrozoa como *Millepora complanata*, presentan alternancia de generaciones y un esqueleto calcáreo, masivo o incrustante, similar al de los corales verdaderos. Por otro lado los corales

pertenecientes a la clase anthozoa, presentan exclusivamente fase de pólipo y se organizan en dos grupos, octocorales y hexacorales, los octocorales presentan silicatos para formar su exoesqueleto, sus tentáculos y septos se encuentran organizados en número múltiplo de ocho, por lo que se conocen como falsos corales o corales ahermatípicos entre estos se incluyen los gorgonáceos. Los hexacorales presentan esqueleto de carbonato de calcio, sus tentáculos y septos se encuentran en número múltiplo de seis, se conocen como corales verdaderos o corales hermatípicos, entre estos se incluyen los corales del orden scleractina o madreporaria (corales pétreos verdaderos) (Brusca & Brusca, 2005).

### **Deterioro coralino**

Debido a que los arrecifes coralinos son ecosistemas muy frágiles ante la acción de agentes perturbadores externos, están gravemente impactados por alteraciones tanto de origen natural como antropogénico, por ejemplo Huracanes, fenómeno del Niño o de la Niña, contaminación, alta sedimentación, sobrepesca, y pesca indiscriminada entre otros. Esto provoca una considerable disminución de la salud coralina (Grigg y Dollar, 1990; Ginsburg, 1994; Birkeland, 1997 en Gil-Agudelo *Et al.*, 2009)

Durante las últimas tres décadas se han registrado grandes y súbitos cambios en el medio marino que ponen en peligro la integridad de los arrecifes coralinos (Gil-Agudelo *Et al.*, 2009), el mayor impacto es generado por las enfermedades que atacan los corales.

Las enfermedades que se encuentran afectando a los corales en la zona del Caribe son:

1. Enfermedad de la Banda Negra (EBN), esta enfermedad se encuentra globalmente, afecta 19 especies de corales pétreos en el Caribe, es transmitida por la cianobacteria *Phormidium corallyticum* y otras cianobacterias de los géneros *Oscillatoria* y *Trichodesmium*.
2. Enfermedad de la Banda Blanca (EBB), esta enfermedad se encuentra en el Caribe, las especies afectadas principalmente son *Acropora palmata* y *Acropora cervicornis*, el agente patógeno no ha sido determinado.
3. Reacción de Muerte Súbita (RMS), esta enfermedad se encuentra en el Caribe y mar Rojo, afecta diferentes especies de corales que se encuentran en alto grado de estrés, el agente patógeno no ha sido determinado.
4. Aspergilosis (ASP), esta enfermedad se

encuentra distribuida en el Caribe y posiblemente en el Pacífico americano, la enfermedad afecta octocorales, especialmente *Gorgonia ventalina* y *Gorgonia flabellum*, el agente patógeno es un hongo filamentoso *Aspergillus sydowii*. 5. Enfermedad de la Plaga Blanca (EPB), Esta enfermedad se encuentra distribuida en el Caribe, está catalogada como: Tipo I – descrita para los géneros *Colipophyllia* y *Mycetophyllia* pero encontrada en 17 especies de corales duros. Tipo II - afecta a *Dichocoenia stokesi*. Tipo III - afecta a *Colipophyllia natans* y *Montastraea annularis*. El agente patógeno para Tipo I y III es desconocido, para Tipo II es la bacteria *Aurantimonas corallicida*. 6. Enfermedad de la Banda Amarilla (EBA), esta enfermedad se encuentra distribuida en el Caribe, afecta principalmente *Montastraea* spp., *Colipophyllia natans*, *Diploria* spp., *Agaricia agaricites*, *Favia fragum* y *Porites asteroides*, el agente patógeno no ha sido determinado. 7. Serriatosis de Acroporas (SAC), esta enfermedad se encuentra distribuida en el Caribe, afecta a *Acropora palmata*, el agente patógeno es la bacteria *Serratia marcescens*. 8. Enfermedad de los Lunares Oscuros (ELO), esta enfermedad se encuentra distribuida en el Caribe, afecta al menos diez especies de corales pétreos, Especialmente *M. annularis*, *Siderastrea siderea* y *Stephanocoenia intercepta*, el patógeno no ha sido identificado (Gil-Agudelo, *Et al.*, 2009).

Por su parte las especies que componen la comunidad arrecifal de Isla Fuerte, están principalmente afectadas por: Enfermedad de plaga blanca, enfermedad de banda amarilla, Serriatosis de Acróporas y enfermedad de lunares oscuros y Blanqueamiento.

### **Técnicas de muestreo para evaluar arrecifes coralinos**

A nivel mundial se han utilizado 6 técnicas diferentes para evaluar cambios estructurales en las comunidades bentónicas a través del tiempo, estas son:

1. Manta tow; 2. Cuadrantes; 3. Video-transecto; 4. Seguimiento fotográfico en cuadrantes permanentes; 5. Transecto de línea-intercepto y 6. Transecto de punto-intercepto (Hill & Wilkinson, 2004).

La técnica manta tow ha permitido inferir a gran escala especial el efecto de una enfermedad sobre las poblaciones o comunidades arrecifales. Los cuadrantes, generalmente sobre una línea de

referencia, se usan para estimar con precisión la composición, cobertura y abundancia de especies raras presentes en el arrecife. La técnica video – transecto, genera un registro permanente de los cambios ocurridos a nivel estructural de los individuos bentónicos. El seguimiento fotográfico en cuadrantes permanentes localizados al azar sobre el arrecife, facilita la inferencia de procesos como: reclutamiento, crecimiento, fisión, fusión, tasas de mortalidad o de retroceso de alguna especie en interacción. La técnica línea intercepto, es la más usada en la actualidad, permite evaluar a corta escala espacial, las comunidades bentónicas dominantes y sus cambios temporales. El transecto línea intercepto, permite cuantificar de manera rápida, en menor escala espacial, el cambio en el porcentaje relativo de cobertura coralina en puntos específicos del transecto (UNEP y AIMS, 1993; Hill & Wilkinson, 2004; Jaramillo *et al.*, 2009).

Estas técnicas presentan dos sesgos principales, 1. Debido a que se realizan sobre arrecifes franjeantes que presentan grandes extensiones, nunca pueden ser evaluados en su totalidad (vertical y horizontalmente), por lo que generalmente se omiten cambios temporales como variación en composición, abundancia y cobertura de especies raras. 2. La abundancia y las coberturas coralinas son empleadas como indicadores de la estructura, sin embargo la comunidad científica no está de acuerdo debido a que estas variables no son suficientes para generar diagnósticos de los arrecifes, ya que obvian procesos como el reclutamiento coralino el cual representa las tasas de recambio de las poblaciones y del ecosistema (Nugues y Roberts, 2003; Ben-Tzvi *et al.*, 2004; Dikou y van Woerik, 2006 en Jaramillo *Et al.*, 2009)

### **Estructura y composición**

El término estructura hace referencia en la forma en que están organizadas las comunidades; para realizar un correcto análisis de la estructura de una comunidad, es necesario estudiar: la estructura vertical, es la distribución de los componentes de una comunidad a lo largo de un gradiente vertical. La estructura horizontal, es el comportamiento y distribución de una comunidad a lo largo del terreno que ocupan. El conjunto de estructura vertical y horizontal forman la estructura espacial, debido a que las dos se refieren a los componentes de la comunidad en el espacio. La estructura cuantitativa, hace referencia al número de individuos, biomasa o cobertura que aporta cada especie a la comunidad (Valverde, *Et al.*, 2007).

## **Diversidad**

La diversidad biológica o biodiversidad se conoce como: “la variabilidad entre los organismos vivientes de todas las fuentes, incluyendo, entre otros, los organismos terrestres, marinos y de otros ecosistemas acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte; esto incluye diversidad dentro de las especies, entre especies y de ecosistemas” (UNEP,1992).

Según Odum, E. & Barret, G. (2006); Margalef, R. (1995) los principales componentes de la diversidad son la riqueza, basada en el número total de especies y la distribución de unidades, basada en la abundancia relativa, la dominancia y área.

La diversidad biológica, así como la abundancia, dominancia y riqueza son la base de la composición de una comunidad. Según Moreno (2001) la diversidad se define como la variabilidad interespecífica, intraespecífica y ecosistémica, lo que quiere decir que involucra distintos niveles, especie, población, comunidad y ecosistema y su base principal es la variabilidad genética (Watson, *et al.*, 1995). Para analizar la diversidad es necesario conocer el número de especies diferentes en el área (riqueza) y el número de individuos de cada una de ellas (abundancia relativa) al conocer estos valores se tiene una idea más clara del comportamiento de una población (Valverde, *et al.*, 2007; Smith & Smith, 2000).

La diversidad puede calcularse estadísticamente de dos formas, la primera, realizando Índices de diversidad basados en la proporción  $n/N$ , donde  $n$  corresponde al número o porcentaje de importancia (productividad, cobertura, biomasa, etc.) y  $N$  corresponde al total de los valores de importancia, los índices pueden utilizarse para comparar una comunidad o grupo de poblaciones o entre ellos, y la segunda graficando curvas de dominancia contra diversidad (Odum & Barret, 2006).

La manera más sencilla de medir la diversidad es cuantificarla en función del número de especies presentes en una comunidad.

Los índices más comunes para la evaluación de diversidad son Índice de Shannon-Wiener (diversidad-Equidad), Índice de Simpson (diversidad-dominancia) e Índice de Margalef (riqueza específica).

**Tabla 1.** Referencia de evaluación de diversidades alfa en función del número de especies e Índices de Margalef, Simpson y Shannon. (Unificación de Ramírez (1999) y Ramírez (2006))

Número de especies	Índice			Diversidad
	Margalef	Simpson	Shannon	
1 - 5	$\leq 1$	0 - 0.5	$< 1$	Muy baja
> 5 - 10	> 1 - 2	> 0.5 - 0.7	> 1 - 1.8	Baja
> 10 - 15	> 2 - 2.7	> 0.7 - 0.8	> 1.8 - 2.1	Media
> 15 - 20	> 2.7 - 3	> 0.8 - 0.9	> 2.1 - 2.3	Alta
> 20	> 3	> 0.9 - 1	> 2.3	Muy alta

La interpretación de los índices es independiente entre ellos: para la diversidad evaluada como número de especies, donde no se tiene en cuenta el número de individuos ni la proporción en que se encuentran; El índice de Margalef calcula la diversidad en función de la riqueza específica, es decir a mayor número de especies, mayor diversidad, sin embargo hoy en día se analiza como riqueza; El índice de Simpson evalúa la diversidad en función de la dominancia, si se tienen especies dominando la zona la diversidad tiende a disminuir, por el contrario, si no existe la tendencia de aparecer especies dominantes, el valor de diversidad tenderá a aumentar; por último, el índice de Shannon determina la diversidad en función de la uniformidad o equidad de las especies y sus abundancias, cuando los valores de las abundancias son muy variables los valores son bajos, mientras que si los valores de las abundancias oscilan de manera similar el índice tiende a aumentar (Odum, E. & Barret, G. 2006; Moreno, 2001; Ramírez, A. 2006).

## **Objetivos**

### **General**

Evaluar la composición, estructura y estado de conservación del complejo arrecifal ubicado en Isla Fuerte-Bolívar (Colombia).

### **Específicos**

- Estimar la composición, cobertura, riqueza, dominancia y diversidad de la comunidad arrecifal en 7 parches coralinos ubicados en Isla Fuerte-Bolívar (Colombia).
- Evaluar el estado de conservación y manifestaciones de procesos de transformación en la condición de integridad de la comunidad arrecifal de 7 parches coralinos ubicados en Isla Fuerte-Bolívar (Colombia).

## **Metodología**

### **Área de estudio**

El estudio se realizó en Isla Fuerte ubicada al costado sur de la plataforma continental del Caribe colombiano, entre 9° 20' 30'' a 9° 24' 30'' N y 76° 10' 00'' a 76° 12' 30'' W a 11 km de la costa de Paso Nuevo - Córdoba, tiene una extensión de 3.23 Km<sup>2</sup>. (Castaño & Moncaleano, 2007 y Díaz *et al.*, 1996) La plataforma insular de Isla Fuerte, ocupa un área de aproximadamente 13 Km<sup>2</sup>., de la cual cerca del 20% (en su parte NE) está actualmente emergida (Mejía, 2004). Aunque la isla se encuentra ubicada frente a las costas del departamento de Córdoba, políticamente pertenece al departamento de Bolívar por ser un corregimiento de la ciudad de Cartagena de Indias (Ortega, 2010)

Se ubicaron 7 estaciones (Figura 1.) alrededor de la isla: Bajo Alicia (N 09°24'07.5" O 76°11'31.7"), Bajo Yerbí (N 09°21'33.5" O 76°11'02.1"), Bajo los Venados (N 09°23'05.4" O 76°10'34.9"), Bajo Mariajo (N 09°22'57.7" O 76°10'30.0"), Bajo San Diego (N 09°22'54.3" O 76°11'17.9"), Bajo El Medio (N 09°22'46.0" O 76°10'31.0") y Bajo Socorro (N 09°24'07.5" O 76°11'31.7") (Figura 1).

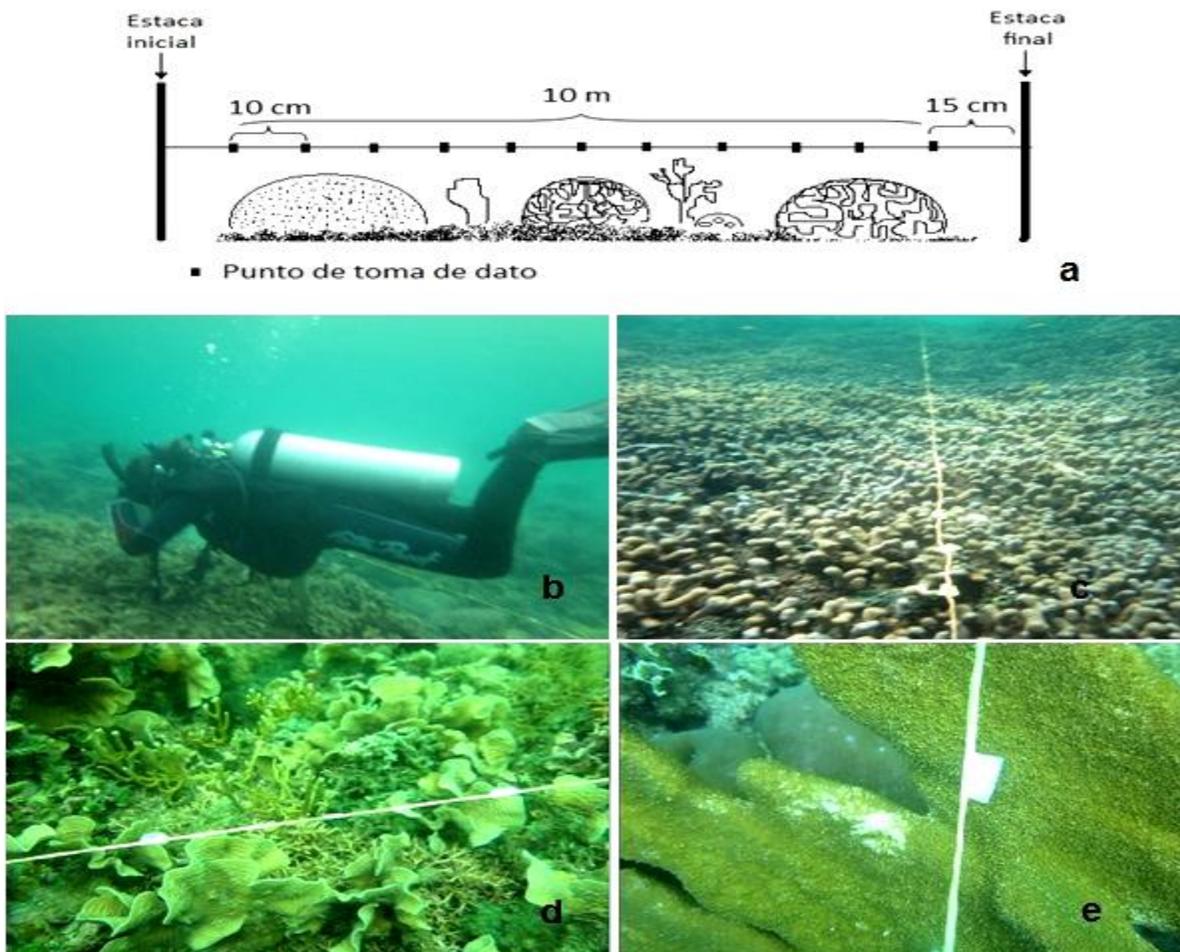


**Figura 1.** Mapa de ubicación de las 7 estaciones de muestreo.

### Fase de campo

Se reconocieron y georreferenciaron 7 parches arrecifales: Alicia, Yerbí, Venados, Mariajo, San Diego, Medio y Socorro, cada parche correspondió a una estación de muestreo, que fue evaluada con equipo de buceo autónomo de aire comprimido SCUBA aplicando la técnica punto-intercepto. En cada estación se trazaron 5 transectos de 10 metros cada uno y subdivididos en 100 puntos distanciados cada 10 cm, en donde se ubicó una marca correspondiente a un punto de toma de dato de sustrato obteniendo un total de 3500 puntos para el análisis. (Jaramillo, *Et al.*, 2009; Ramírez, 2006; Garzón-Ferreira, *Et al.*, 2002), según Ramírez (2006) para obtener valores representativos es necesario evaluar mínimo 1500 puntos, por lo tanto para esta investigación el muestreo es claramente representativo. En cada marca (punto) se registró la presencia de Coral, Fondo rocoso, Fondo arenoso, Fanerógamas, Algas y Poríferos; si se trataba de coral se indicó la

especie y se categorizó en enfermo (se especificó la enfermedad), sano y muerto. Por cada transecto se obtuvo el valor del sustrato, en donde se sumaron los puntos interceptados por cada especie encontrada, el estado (enfermo, sano o muerto) y otro tipo de sustrato, con el fin de tener la cobertura en porcentaje, para posteriormente realizar el análisis de datos correspondiente.



**Figura 2.** a. Esquema de transecto punto-intercepto. b. Ubicación del transecto punto-intercepto sobre el arrecife con ayuda de equipo SCUBA. c y d. Transecto ubicado sobre el arrecife. e. Punto de toma de dato de transecto punto-intercepto sobre *Acropora palmata*.

### Fase de análisis

Se calculó:

**Riqueza específica ( $D_{mg}$ ):** Se desarrolló el índice de Margalef:  $D_{mg} = (S-1) / \ln N$ . Donde S equivale al número de especies y N el número total de individuos (colonias) (Moreno, 2001).

**Diversidad (H')**: se aplicó el índice de Shannon–Wiener:  $H' = - \sum p_i * \ln p_i$ , donde  $H'$  es la diversidad de especies,  $p_i$ ; es la proporción de corales pétreos en el total de la muestra que pertenecen a la especie (Smith & Smith, 2000).

**Dominancia ( $\lambda$ )**: se calculó con el índice de Simpson  $\lambda = \sum p_i^2$ , donde  $p_i$  es la abundancia proporcional de la especie de coral pétreo  $i$ , es decir la proporción de individuos en el total de la muestra que pertenecen a la especie coralina, el rango de diversidad oscila entre 0 y 1, si el valor se encuentra cercano a 1 se puede afirmar que la diversidad es alta y la dominancia es baja (Moreno, 2001).

**Cobertura total**: Cob.total = (# puntos <sub>$i$</sub> / # puntos totales) \* 100. Hace referencia al número de puntos donde se presentó la especie  $i$ , y al número total de puntos muestreados por estación. Con base en esto se valoran los principales elementos que conforman el fondo arrecifal (Ramírez, 2006).

**Cobertura relativa especie  $i$** : Cob.relativa = (Cob.total /  $\sum$  Cob. de todas las especies)\*100, Se cuantifican las especies que conforman el sustrato duro de origen calcáreo, teniendo en cuenta la cobertura de coral vivo (Ramírez, 2006).

Después de obtenidos los datos mediante la metodología anterior se procedió a aplicar el Índice de Deterioro Coralino propuesto por Ramírez *et al.* (1994). Obteniendo los datos de conservación y deterioro de los 7 parches de arrecife coralino.

**Índice de Desarrollo Potencial (IDP)**: IDP= ((#Total de puntos - # puntos de fondo arenoso)/ # total de puntos) \* 100. Indica la cobertura coralina que se puede dar una zona arrecifal bajo condiciones propicias, donde dicha cobertura se aproxima al sustrato que no abarca a lo recubierto por arena (Ramírez *et al.*, 1994).

**Índice de Sostenimiento Coralino (ISC)**: ISC = ((# puntos coral vivo/ # Puntos totales)/ IDP) \*100 porcentaje de coral vivo en la zona en relación con el desarrollo potencial. (Ramírez *et al.*, 1994).

**Índice de Deterioro Coralino (IDC)**: IDC= 100 – ISC. Indica el grado de deterioro que presenta el arrecife analizado. (Ramírez *et al.*, 1994).

Debido a que los octocorales no son formadores del arrecife no se tuvieron en cuenta para el desarrollo de los índices.

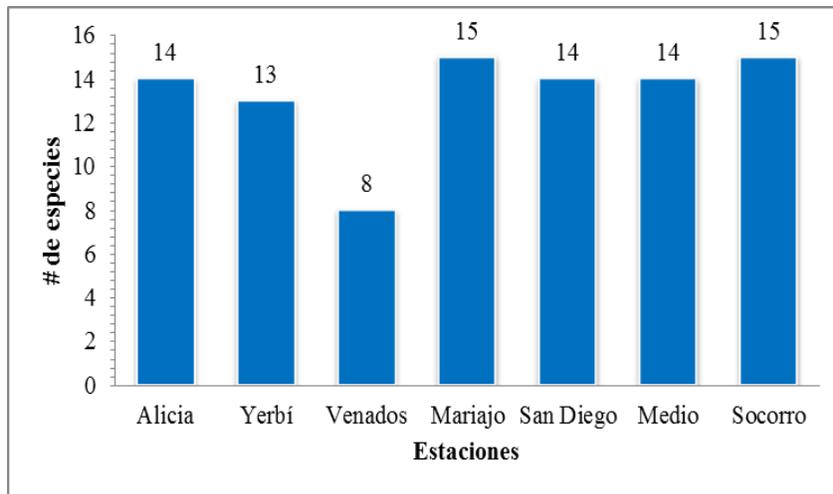
## Resultados

En las 7 estaciones de muestreo se registraron 29 especies de corales pétreos organizados en 2 clases y 11 familias. FAVIIDAE se estableció como la familia con mayor representatividad por presentar 10 especies. En cuanto a las especies de octocorales se registró un total de 5 especies agrupadas en 2 familias (Tabla 2).

**Tabla 2.** Especies encontradas en las 7 estaciones

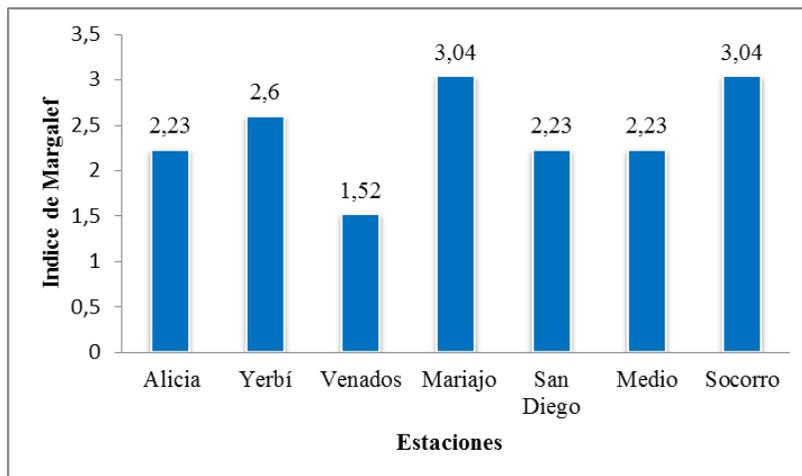
Clase	Familia	Especie
HIDROZOA	MILLEPORIDAE	<i>Millepora alcicornis</i>
		<i>Millepora complanata</i>
		<i>Millepora striata</i>
		<i>Millepora sp 1</i>
	STYLASTERIDAE	<i>Stylaster roseus</i>
	ACROPORIDAE	<i>Acropora cervicornis</i>
		<i>Acropora palmata</i>
	ASTROCOENIIDAE	<i>Madracis decactis</i>
		<i>Madracis mirabilis</i>
	AGARICIIDAE	<i>Agaricia agaricites</i>
<i>Agaricia tenuifolia</i>		
<i>Agaricia undata</i>		
CARYOPHYLLIIDAE	<i>Eusmilia fastigiata</i>	
ANTHOZOA	FAVIIDAE	<i>Diploria clivosa</i>
		<i>Diploria labyrinthiformis</i>
		<i>Diploria strigosa</i>
		<i>Colypophilia natans</i>
		<i>Favia fragum</i>
		<i>Manicina areolata</i>
		<i>Montastraea annularis</i>
		<i>Montastraea cavernosa</i>
		<i>Montastraea faveolata</i>
		<i>Solenstrea bournoni</i>
	MEANDRINIDAE	<i>Meandrina meandrites</i>
		<i>Dichocoenia stokesii</i>
	MUSSIDAE	<i>Mycetophyllia aliciae</i>
	PORITIDAE	<i>Porites porites</i>
	SIDERASTREIDAE	<i>Siderastrea siderea</i>
<i>Siderestrea radians</i>		
OCTOCORALLIA	GORGONIIDAE	<i>Gorgonia ventalina</i>
		Gorgoniidae sp
		<i>Pseudopterogorgia acerosa</i>
		<i>Pseudopterogorgia</i>
PLEXAURIDAE	<i>Eunicea sp</i>	

La mayor riqueza se presentó en las estaciones Mariajo y Socorro, sin embargo las demás zonas presentan números similares aunque menores, destacándose Venados, quien presentó el menor número de especies registrando casi la mitad de la riqueza en las estaciones (Figura 3).



**Figura 3.** Valores de riqueza de cada estación muestreada.

Aplicando el índice de riqueza específica de Margalef se encontró que los valores varían entre 1,52 correspondiente a la estación Venados y 3,04 correspondiente a Mariajo y Socorro, los cuales según Ramírez (1999) indica una riqueza baja (Figura 4) al igual que la riqueza como número de especies (Figura 3), puede verse que Venados presenta el menor valor, debido a la composición del arrecife, dado que su mayor extensión está compuesta por colonias de corales con crecimiento ramificado que cubren la mayor parte de sustrato y no permiten la colonización de otras especies lo cual aumentaría la riqueza de la estación.



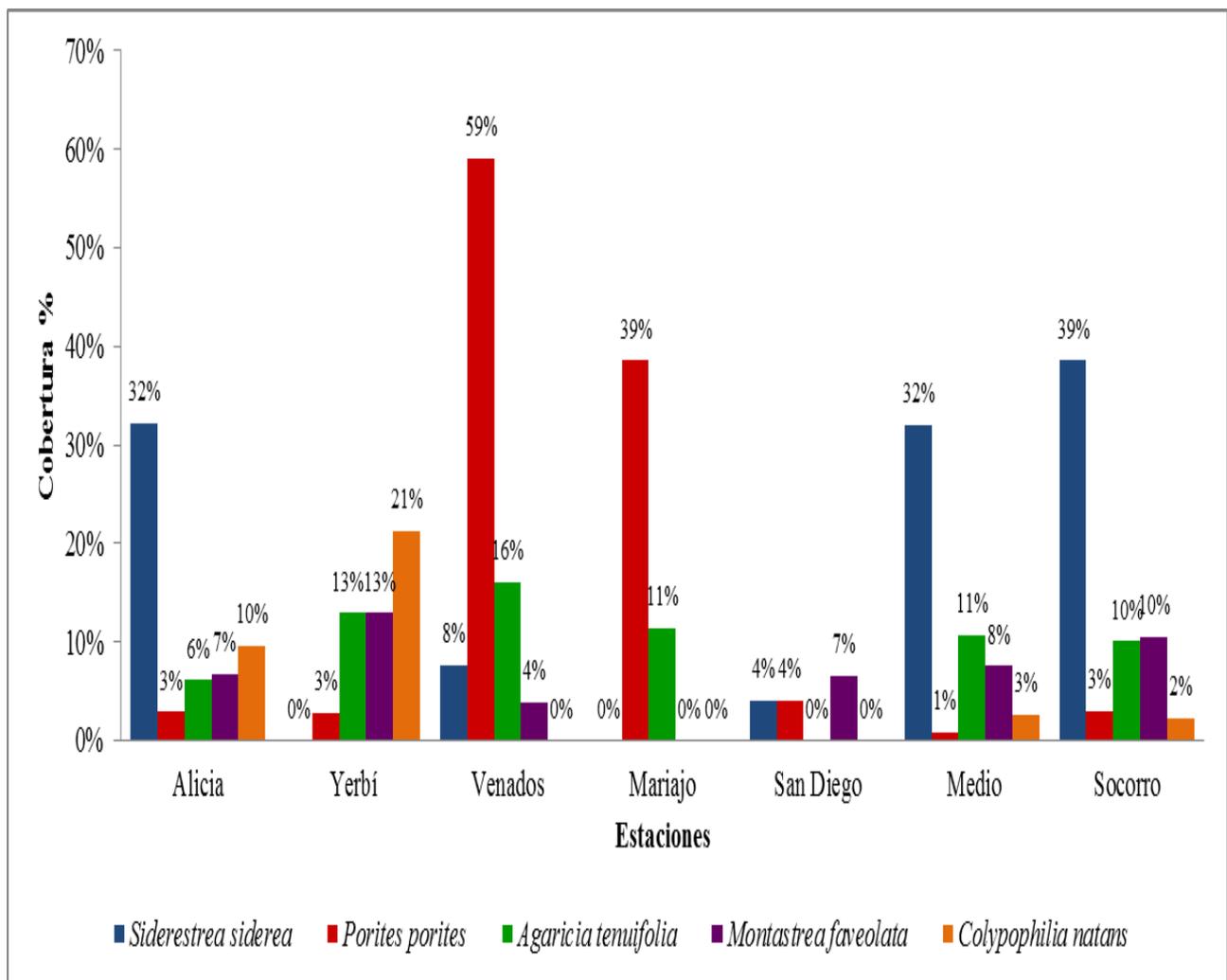
**Figura 4.** Índice de riqueza específica de Margalef.

La mayor cobertura registrada en los corales pétreos está representada por *Porites porites* la cual alcanzó un valores entre 0.4% y 49.2% en Bajo El Medio y Venados respectivamente y un promedio de 12.06% para todo el estudio además de presentarse en las 7 estaciones, seguida por *Siderestrea siderea* el cual registró valores entre 1% y 22% en San Diego y Bajo Alicia respectivamente y un promedio de 9.20% para todo el estudio y apareciendo en 6 de las 7 estaciones. Los valores de cobertura de corales pétreos son altos en la mayoría de las estaciones indicando que el sustrato predominante es coral pétreo, las coberturas de octocorales son bajas en comparación con las demás, ya que las zonas de estudio fueron escogidas por la representatividad de corales pétreos y no de octocorales. Los porcentajes de otras coberturas se encuentran en valores altos como en Yerbí y San diego con 59.8% y 74.8% respectivamente, los que indica que casi el total de la cobertura es sustrato desnudo en el cual no pueden desarrollarse los arrecifes (Tabla 3).

**Tabla 3.** Porcentajes de cobertura total por estación muestreada

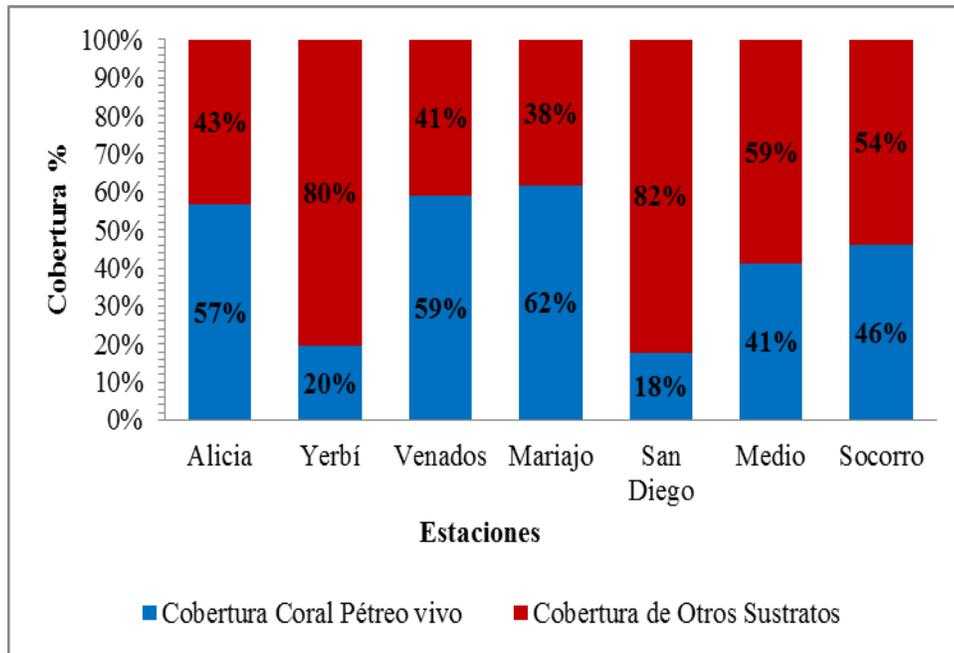
Sustrato	Estación							
	Alicia	Yerbí	Venados	Mariajo	San Diego	Medio	Socorro	Media
<i>Acropora cervicornis</i>	---	---	---	12,20%	---	---	---	1,74%
<i>Acropora palmata</i>	10,20%	---	---	---	---	---	1,80%	1,71%
<i>Agaricia agaricites</i>	0,40%	1,00%	---	---	---	---	---	0,20%
<i>Agaricia tenuifolia</i>	4,20%	2,80%	13,40%	8,80%	---	4,80%	5,40%	5,63%
<i>Agaricia undata</i>	---	---	---	2,00%	---	---	0,80%	0,40%
<i>Colypophilia natans</i>	6,60%	4,60%	---	---	---	1,20%	1,20%	1,94%
<i>Dichocoenia stokesii</i>	---	1,20%	---	---	1,00%	---	---	0,31%
<i>Diploria clivosa</i>	---	---	---	---	0,60%	2,40%	2,40%	0,77%
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	3,00%	0,60%	---	0,60%	---	---	---	0,60%
<i>Diploria strigosa</i>	8,20%	0,40%	---	1,60%	1,80%	0,40%	0,40%	1,83%
<i>Eusmilia fastigiata</i>	0,60%	---	---	0,40%	0,40%	---	---	0,20%
<i>Favia fragum</i>	---	0,40%	---	---	0,80%	1,00%	---	0,31%
<i>Madracis decactis</i>	---	0,80%	---	---	---	---	---	0,11%
<i>Madracis mirabilis</i>	---	---	---	4,80%	---	---	---	0,69%
<i>Manicina areolata</i>	---	---	---	---	3,20%	---	---	0,46%
<i>Meandrina meandrites</i>	---	0,60%	---	0,80%	---	---	---	0,20%
<i>Millepora alcicornis</i>	0,20%	---	4,60%	6,20%	1,60%	3,60%	2,80%	2,71%
<i>Millepora sp1</i>	---	---	---	---	---	4,40%	4,40%	1,26%
<i>Millepora complanata</i>	1,60%	---	4,80%	4,80%	2,20%	3,40%	2,60%	2,77%
<i>Millepora striata</i>	---	---	0,80%	---	1,00%	1,40%	1,40%	0,66%
<i>Montastrea anularis</i>	---	---	---	3,00%	---	---	1,20%	0,60%
<i>Montastrea cavernosa</i>	2,80%	2,00%	---	1,60%	---	3,40%	---	1,40%
<i>Montastrea faveolata</i>	4,60%	2,80%	3,20%	---	1,60%	3,40%	5,60%	3,03%
<i>Mycetophyllia aliciae</i>	---	3,80%	---	---	---	---	---	0,54%
<i>Porites porites</i>	2,00%	0,60%	49,20%	29,60%	1,00%	0,40%	1,60%	12,06%
<i>Siderostrea radians</i>	1,80%	---	---	---	6,80%	---	1,20%	1,40%
<i>Siderostrea siderea</i>	22,00%	---	6,40%	---	1,00%	14,40%	20,60%	9,20%
<i>Solenstrea bournoni</i>	---	---	---	---	1,20%	---	---	0,17%
<i>Styaster roseus</i>	---	---	0,80%	0,40%	---	0,80%	---	0,29%
<b>Sub total</b>	<b>68,20%</b>	<b>21,60%</b>	<b>83,20%</b>	<b>76,80%</b>	<b>24,20%</b>	<b>45,00%</b>	<b>53,40%</b>	<b>53,20%</b>
<b>Octocorales</b>								
Gorgoniidae sp	---	6,00%	---	---	---	2,80%	0,80%	1,37%
<i>Eunicea sp</i>	---	9,00%	---	---	---	3,40%	---	1,77%
<i>Gorgonia ventalina</i>	---	---	---	---	---	0,60%	0,60%	0,17%
<i>Pseudopterogorgia</i>	---	2,40%	---	---	0,40%	1,00%	---	0,54%
<i>Pseudopterogorgia acerosa</i>	---	1,20%	---	---	0,60%	2,00%	---	0,54%
<b>Sub total</b>	<b>0,00%</b>	<b>18,60%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>1,00%</b>	<b>9,80%</b>	<b>1,40%</b>	<b>4,40%</b>
<b>Otros</b>								
Algas	4,40%	0,80%	9,20%	12,20%	7,80%	6,00%	14,00%	7,77%
Esponja erecta	1,40%	18,00%	---	---	2,20%	1,60%	0,80%	3,43%
Esponja incrustante	---	2,60%	---	---	---	1,80%	1,20%	0,80%
Fanerogamas	---	---	---	---	26,20%	---	---	3,74%
Fondo arenoso	9,40%	27,80%	3,40%	4,00%	17,80%	20,40%	10,60%	13,34%
Fondo rocoso	16,60%	10,60%	4,20%	7,00%	20,80%	15,40%	18,60%	13,31%
<b>Sub total</b>	<b>31,80%</b>	<b>59,80%</b>	<b>16,80%</b>	<b>23,20%</b>	<b>74,80%</b>	<b>45,20%</b>	<b>45,20%</b>	<b>42,40%</b>

La dominancia se calculó con el valor de la cobertura de cada especie sobre el total de las coberturas de las especies de corales pétreos, obteniendo los 5 valores más altos, los cuales indican que *Porites porites* es la especie más dominante por presentar la cobertura más alta, además de estar presente en todas las estaciones al igual que *Siderestrea siderea*, *Agaricia tenuifolia* y *Montastrea faveolata* que se reportaron en 6 de las 7 estaciones con valores altos de cobertura, por último *Colytophillia natans* con valores menores de cobertura y se presenta en 4 de las 7 estaciones. Aunque estas no presentan valores de cobertura demasiado altos, en comparación con el total de especies registradas, los valores son superiores y por eso se catalogan como especies dominantes en la comunidad arrecifal presente en la isla (Figura 5).



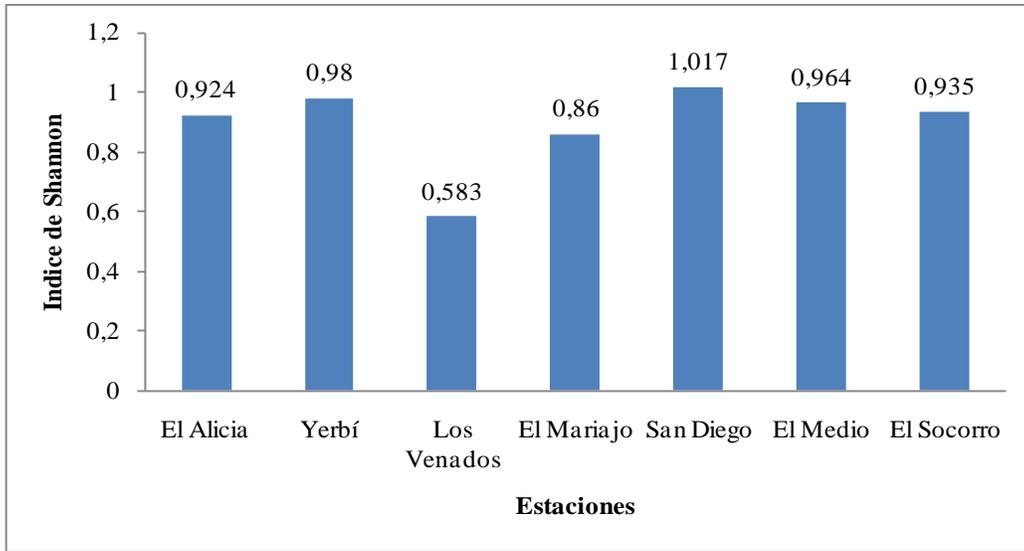
**Figura 5.** Cinco especies dominantes para cada estación.

En el caso de Alicia, Venados, Mariajo, Medio y Socorro, los porcentajes de cobertura de coral pétreo vivo son altos, ya que en su mayoría superan el 50%, lo que indica un buen estado en los arrecifes, en contraste, Yerbí y San Diego, presenta un porcentaje de cobertura de otros sustratos elevados, siendo dominantes los fondos arenosos y fondos rocosos con presencia de octocorales (Figura 6).



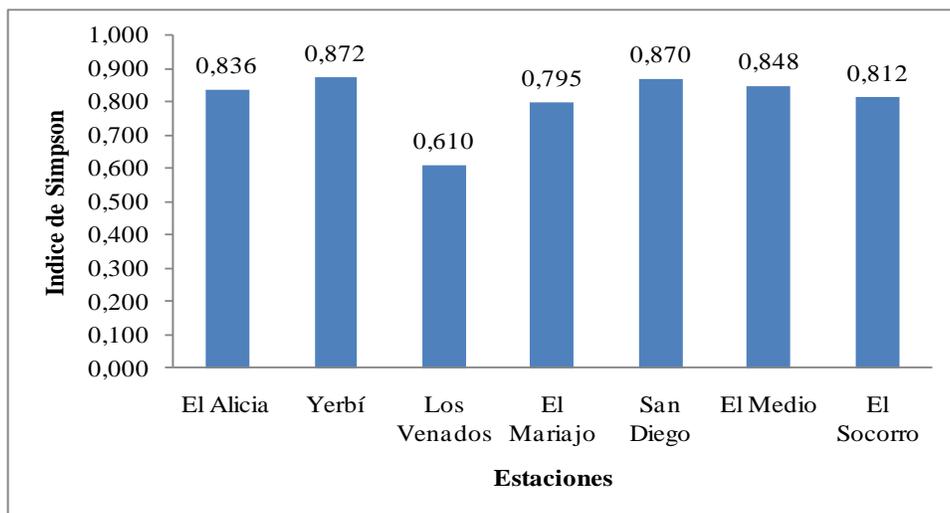
**Figura 6.** Coberturas de coral vivo y otros sustratos para cada estación. El área azul representa el porcentaje de cobertura correspondiente a corales pétreos vivos, mientras que el área roja corresponde al porcentaje de cobertura de sustratos diferentes a corales pétreos vivos incluyendo los octocorales.

Los valores de diversidad estimados con el índice de Shannon se encuentran entre 0.583 y 1.017, e interpretados con Ramírez (1999), todas las estaciones presentan una diversidad baja. Venados presenta el menor número de especies y dado que las coberturas de las diferentes especies son muy variables, presenta el valor más bajo en equidad o diversidad de Shannon, por el contrario las otras 6 estaciones presentan coberturas de las especies más equitativas, lo que permite que el índice tienda a aumentar (Figura 7).



**Figura 7.** Valores de Diversidad Shannon-Weanner de las estaciones muestreadas.

Los valores obtenidos mediante la cuantificación del índice de Simpson presentan un valor mínimo de 0.610 y máximo de 0.872 por lo tanto según Moreno (2001) y Ramírez (2006), existe una diversidad baja y una dominancia alta para Venados y una diversidad alta y baja dominancia para el resto de las estaciones. En la estación de Los Venados la especie *Porites porites* es muy dominante con un 59% de la cobertura total de la estación, (Figura 6.) lo que genera valores altos en la dominancia, por otro lado los valores de diversidad son más altos y de dominancia más bajos en la otras estaciones debido a que no existen especies con diferencias amplias en el porcentaje de cobertura por lo tanto los valores tienden a estar más estáticos (Figura 8).



**Figura 8.** Índice de diversidad de Simpson de la estaciones muestreadas

Aunque el blanqueamiento no se encuentra catalogado como una enfermedad coralina, es una manifestación importante del deterioro en el estado de salud de los corales pétreos, por lo tanto para esta investigación se cuantificó como “enfermedad” coralina. Ciertamente el blanqueamiento presenta el mayor porcentaje de cobertura, estando presente en todas las estaciones y con valores mayores al resto de las enfermedades. La estación más afectada es Alicia ya que presenta todas las enfermedades encontradas en Isla Fuerte, además de tener el mayor porcentaje de coral enfermo. En general el estado de salud coralina de la isla es bueno, los valores de porcentaje de enfermedades no exceden el 10% y en su mayoría está representado en porcentaje de cobertura de blanqueamiento (Tabla 4)

**Tabla 4.** Coberturas de enfermedades por cada estación muestreada. Cada enfermedad representada por su respectiva sigla: **PB:** Puntos blancos, **B:** Blanqueamiento, **WP:** White Pox o Serriatosis de acróporas, **EPB:** Enfermedad de Plaga Blanca y **LO:** Lunares Oscuros.

ESPECIES	Alicia					Yerbí					Venados					Mariajo						
	PB	B	WP	EPB	LO	PB	B	EPB	WP	LO	PB	B	EPB	WP	LO	PB	B	EPB	WP	LO		
<i>Diploria strigosa</i>	-	0,4%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Colyphophilia natans</i>	-	-	-	0,4%	-	-	0,4%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Montastrea cavernosa</i>	-	0,6%	-	-	-	-	0,2%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Montastrea faveolata</i>	-	0,8%	-	-	-	-	0,4%	-	-	-	-	0,4%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Acropora palmata</i>	-	-	1,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Siderastrea siderea</i>	3,0%	3,6%	-	-	1,6%	-	-	-	-	-	-	0,8%	-	-	-	-	0,6%	-	-	-	-	
<i>Siderastrea radians</i>	-	0,6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Agaricia tenuifolia</i>	-	0,2%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Porites porites</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,4%	-	-	-	-	6,2%	-	-	-	-	
<i>Acropora cervicornis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,6%	-	-	-	-	
<i>Madracis mirabilis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Millepora complanata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Diploria clivosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Agaricia undata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4%	-	-	-	-	
<i>Stylaster roseus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Total</b>	<b>3,0%</b>	<b>6,2%</b>	<b>1,0%</b>	<b>0,4%</b>	<b>1,6%</b>	<b>0,0%</b>	<b>1,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>7,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>11,8%</b>	<b>0,0%</b>						

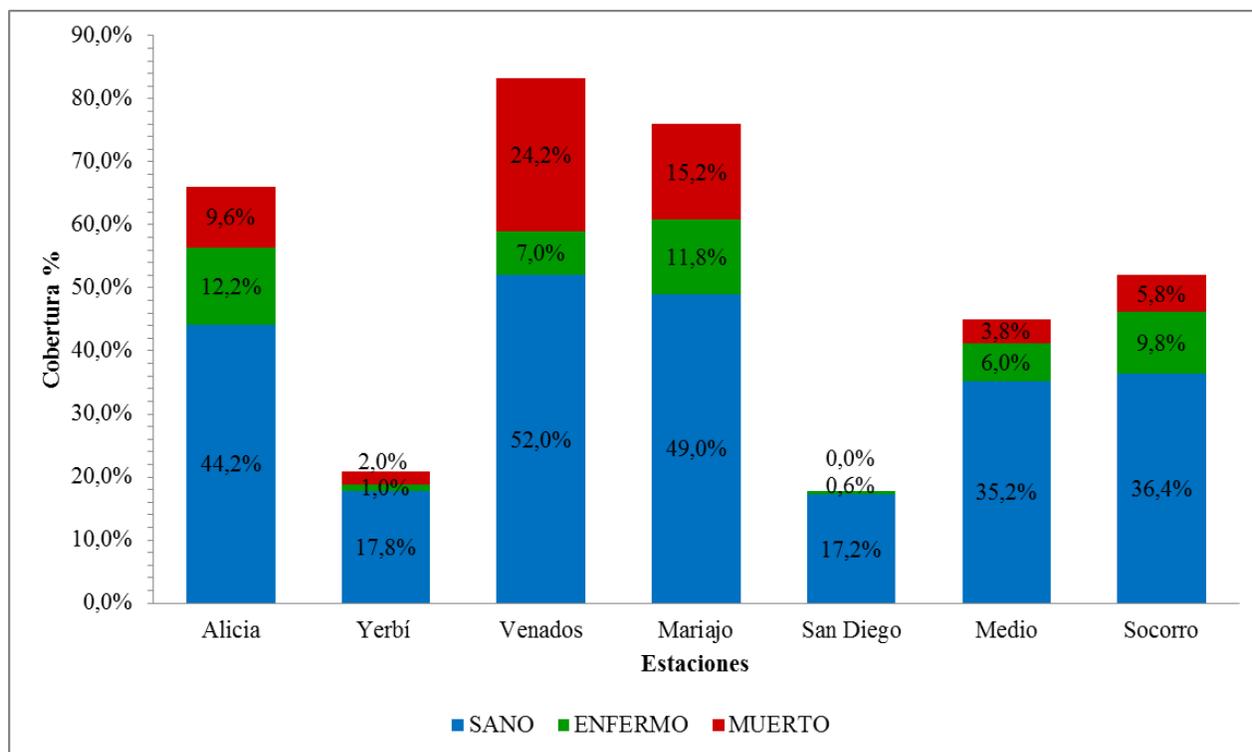
ESPECIES	San Diego					Medio					Socorro				
	PB	B	EPB	WP	LO	PB	B	EPB	WP	LO	PB	B	EPB	WP	LO
<i>Diploria strigosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Colyphophilia natans</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Montastrea cavernosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Montastrea faveolata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acropora palmata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Siderastrea siderea</i>	-	-	-	-	-	1,0%	3,8%	-	-	-	1,0%	7,2%	-	-	-
<i>Siderastrea radians</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8%	-	-	-	-
<i>Agaricia tenuifolia</i>	-	-	-	-	-	-	0,6%	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Porites porites</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acropora cervicornis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Madracis mirabilis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Millepora complanata</i>	-	0,6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Diploria clivosa</i>	-	-	-	-	-	-	0,6%	-	-	-	-	0,6%	-	-	-
<i>Agaricia undata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2%	-	-	-
<i>Stylaster roseus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,6%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>1,0%</b>	<b>5,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>1,0%</b>	<b>8,8%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>

El mayor valor de porcentaje de cobertura de acuerdo a la categorización fue coral sano para todas las especies. Para *Porites porites*, *Siderastrea siderea*, *Montastrea faveolata* y *Agaricia tenuifolia* además de ser especies dominantes en los arrecifes, con valores en todas las categorías del estado de salud coralina, presentan valores elevados en la cobertura de coral sano y valores bajos para la categoría de coral enfermo y muerto (Tabla 5).

**Tabla 5.** Porcentaje de cobertura especies coral pétreo Enfermo, Sano y Muerto por cada estación muestreada.

ESPECIES	Alicia		Yerbí		Venados		Marrajo		San Diego		Medio		Socorro			
	Enfermo	Sano	Muerto	Enfermo	Sano	Muerto	Enfermo	Sano	Muerto	Enfermo	Sano	Muerto	Enfermo	Sano	Muerto	
<i>Acropora cervicornis</i>	-	-	-	-	-	-	3,6%	5,2%	3,4%	-	-	-	-	-	-	
<i>Acropora palmata</i>	1,0%	7,6%	0,8%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0%	0,8%	
<i>Agaricia agaricites</i>	-	0,4%	-	1,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Agaricia tenuifolia</i>	0,2%	2,6%	1,4%	2,4%	0,4%	10,4%	1,4%	2,0%	-	-	0,6%	4,0%	0,2%	5,2%	0,2%	
<i>Agaricia undata</i>	-	-	-	-	-	-	-	2,4%	1,0%	-	-	-	0,2%	0,6%	-	
<i>Colpophyllia natans</i>	0,4%	5,8%	-	0,4%	3,6%	0,6%	-	-	-	-	-	1,2%	-	1,2%	-	
<i>Dichocoenia stokesii</i>	-	-	-	1,2%	-	-	-	-	-	1,0%	-	-	-	-	-	
<i>Diploria clypeosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6%	-	0,6%	-	0,6%	1,8%	
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	-	3,0%	-	0,6%	-	-	-	0,6%	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Diploria strigosa</i>	0,4%	6,2%	1,0%	-	-	-	1,0%	0,6%	-	1,8%	-	0,4%	-	0,4%	-	
<i>Eusmilia fastigiata</i>	-	0,6%	-	-	-	-	-	-	-	0,4%	-	1,0%	-	-	-	
<i>Favia fragum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8%	-	-	-	-	-	
<i>Madracis decactis</i>	-	-	-	0,8%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Madracis mirabilis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Manichina areolata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Meandrina meandrites</i>	-	-	-	0,6%	-	-	-	-	-	3,2%	-	-	-	-	-	
<i>Millepora allicornis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Millepora sp1</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6%	-	3,6%	-	2,8%	-	
<i>Millepora complanata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,4%	-	3,0%	-	
<i>Millepora striata</i>	-	1,6%	-	-	-	3,6%	1,2%	4,4%	0,4%	0,6%	1,6%	3,4%	-	2,6%	-	
<i>Montastrea anularis</i>	-	-	-	-	-	0,8%	-	-	-	-	-	1,4%	-	1,4%	-	
<i>Montastrea cavemosa</i>	0,6%	2,0%	-	0,2%	1,4%	0,4%	-	1,6%	-	-	-	3,4%	-	1,2%	-	
<i>Montastrea faveolata</i>	0,8%	3,8%	-	0,4%	1,8%	0,6%	0,4%	-	1,6%	1,6%	-	3,4%	-	5,6%	-	
<i>Mycetophyllia aliciae</i>	-	-	-	3,8%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Porites porites</i>	-	1,4%	0,6%	-	0,6%	-	5,4%	28,6%	15,2%	1,0%	-	0,4%	-	1,4%	0,2%	
<i>Siderastrea radians</i>	0,6%	0,8%	0,4%	-	-	-	-	-	-	1,4%	-	-	-	0,8%	0,4%	
<i>Siderastrea siderea</i>	8,2%	8,4%	5,4%	-	-	0,8%	1,2%	4,4%	0,6%	1,0%	-	4,8%	6,0%	8,2%	4,6%	
<i>Solenastrea bourtoni</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2%	-	-	-	-	-	
<i>Stylaster rosens</i>	-	-	-	-	0,4%	-	0,4%	0,4%	-	-	-	-	0,8%	-	-	
<b>Total</b>	<b>12,2%</b>	<b>44,2%</b>	<b>9,6%</b>	<b>1,0%</b>	<b>17,8%</b>	<b>2,0%</b>	<b>7,0%</b>	<b>52,0%</b>	<b>24,2%</b>	<b>0,6%</b>	<b>17,2%</b>	<b>0,0%</b>	<b>6,0%</b>	<b>9,8%</b>	<b>36,4%</b>	<b>5,8%</b>

El mayor porcentaje de cobertura está presente en los corales pétreos sanos con valores cercanos al 50%, lo cual es un indicador de un arrecife con buen estado de salud, esto se apoya con la cobertura de coral muerto que presentó valores bajo-medios con porcentajes entre 3.8% y 24.2% y por último la cobertura de coral enfermo que presentó valores bajos cercanos al 10%, estos dos últimos son similares en cuanto a porcentajes de coberturas y presentan grandes diferencias en comparación con la cobertura de coral pétreo sano (Figura 9).



**Figura 9.** Porcentaje de cobertura de coral pétreo sano, enfermo y muerto total por cada estación muestreada.

Existe un alto potencial de desarrollo en todos los arrecifes muestreados con valores superiores al 70%, según el Índice de Desarrollo Potencial tanto los arrecifes de todas las zonas y en general toda la isla con un 86.7%, tienen la posibilidad de recuperarse y establecerse con éxito, ya que estos valores discriminan el valor de sustrato arenoso, el único sustrato en el cual la larva plánula no se puede desarrollar satisfactoriamente. Del índice de sostenimiento se obtuvieron valores bajos en Yerbí y San Diego, lo cual se explica por la riqueza baja de estos arrecifes y valores

medio-altos para las demás estaciones, este índice indica que de un total de sostenimiento dado, solo cierto porcentaje podría ser cobertura coralina, en el caso del estado general de los arrecifes de Isla Fuerte de un 86.7% de potencial, solo el 48.9% comprende la cobertura coralina posible, es decir un poco más de la mitad de la cobertura potencial para establecer, podrá hacerlo. En cuanto al Índice de deterioro coralino, el valor más bajo se encuentra en Alicia con 35.3%, Mariajo con 35.8% y Venados con 38.9% lo que indica que son los que menos deteriorados están, por el contrario los arrecifes Yerbí y San Diego con 72.9% y 78.3% respectivamente son los más deteriorados, para el reporte general de la zona, el Índice de Deterioro Coralino fue de 51.1% lo que indica que el deterioro arrecifal es medio (Tabla 6).

**Tabla 6.** Índices Ecológicos para las comunidades coralinas en cada estación de muestreo

<b>Estación</b>	<b>Índice de Desarrollo Potencial</b>	<b>Índice de Sostenimiento Coralino</b>	<b>Índice de Deterioro Coralino</b>
Alicia	90,6%	64,7%	35,3%
Yerbí	72,2%	27,1%	72,9%
Venados	96,6%	61,1%	38,9%
Mariajo	96,0%	64,2%	35,8%
San Diego	82,2%	21,7%	78,3%
Medio	79,6%	51,8%	48,2%
Bobito	89,4%	51,7%	48,3%
<b>Media</b>	<b>86,7%</b>	<b>48,9%</b>	<b>51,1%</b>

## Discusión

Este estudio encontró una riqueza (Tabla 2) similar a la reportada en estudios previos realizados en la zona mediante la misma metodología utilizada en esta investigación, Díaz *et al.* (1996) y Escobar (2006) reportaron 27 y 25 especies respectivamente, Huertas (2000) mediante la metodología levantamientos rápidos (fast surveys) reportó 39 especies, lo que indica un que la riqueza es similar en la zona a través del tiempo, la diferencia de valores descritos por Huertas (2000) pueden deberse al método de muestreo. Aunque existen similitudes en la riqueza, la composición varía, presentándose 6 especies (*Agaricia undata*, *Madracis mirabilis*, *Manicina areolata*, *Micetophylia aliciae*, *Siderestrea radians* y *Solenastrea bournoni*) no reportadas por los anteriores autores pero si por Huertas (2000) y 2 especies: *Millepora striata* y *Millepora* sp1 nuevos registros para la zona.

Las riquezas de cada estación fueron similares (Figuras 3 y 4), en la estación Venados la más baja debido a la estructura horizontal que presenta el arrecife, siendo *Porites porites* la que se reporta como principal formador del arrecife siendo una especie de gran importancia ya que construye colonias de grandes extensiones impidiendo el asentamiento de nuevas especies en el lugar.

En cuanto a las dominancias (Figura 5), la mayor cobertura (Tabla 3) la presentó *Porites porites*, encontrándose en todas las estaciones, lo cual es justificable con su amplio espectro de colonización que va desde los 0.5 a 50 m de profundidad y su facilidad para formar grandes tapetes en todos los ambientes arrecifales (Reyes *et al.*, 2010), Seguida por *Siderestrea siderea*, *Agaricia tenuifolia* y *Montastrea faveolata*, en donde las dominancias reportadas por Escobar (2006) coinciden casi por completo, siendo la última especie mencionada la única diferente, perteneciendo al mismo género pero especie *M. cavernosa*.

Debido a que Isla Fuerte se encuentra altamente influenciada por factores tensores para el sistema arrecifal como la alta sedimentación y altos niveles de nutrientes (Huertas, 2000) provenientes de la desembocadura del río Sinú, se generan cambios que favorecen las macroalgas que compiten con los corales, en el caso de *A. tenuifolia*, se ve favorecida la especie por su capacidad de sobrevivir en dicho ambiente y le permite ser dominante a lo largo del ecosistema dada su forma de crecimiento y estructura de frondas verticales delgadas y cresta de las colinas afilada (Reyes,

*et al.*, 2010), permite la supervivencia de los pólipos y evita ser colonizado por algas (Sepúlveda, 2004).

El porcentaje de cobertura de corales pétreos (Tabla 3) fué mayor que los demás componentes de sistema, con 53.2%, seguido de otros sustratos con un 42.4% y finalmente octocorales con 4.4% de cobertura. Según Navas *Et al.* (2009) para Isla Fuerte el porcentaje de cobertura de corales pétreos es de 39.8%, otros sustratos 42.1% y octocorales 18.4%. Demostrando valores mayores para cobertura coralina, valores similares para otras coberturas y valores menores en los octocorales. Lo que sugiere colonias coralinas en buen estado y uno de los mayores valores para el Caribe, al igual que lo planteó Navas *et al.* (2009).

En las estaciones Alicia, Venados, Mariajo, Medio y Socorro predominaron los sustratos de coral vivo (Figura 6), presentándose valores entre 41 y 62%, mientras que en las estaciones de Yerbí y San Diego predominaron los valores de otros sustratos con porcentajes de 80 y 82% respectivamente, claramente esto se debe a que el mayor componente de cobertura en “otros sustratos” son fondos arenosos, caracterizados por ser estructuras blandas en donde el asentamiento de plánulas de coral es nulo por lo que la cobertura arrecifal permanece con valores bajos.

Isla Fuerte en general, presenta un valor de 43% de coral vivo, en comparación con estudios previos los valores obtenidos fueron 34% (Escobar, 2006), 31% (Huertas, 2000), y para el Caribe colombiano 29,8% en las Islas del Rosario, Isla Barú y bajos intermedios (Cendales, 1999) y 27% (Ramírez *et al.*, 1994) y 46% (López-Victoria, 1999) para el archipiélago de San Bernardo. Siendo los valores más altos para la cobertura de coral pétreo vivo de todos los estudios para Isla Fuerte y zonas cercanas.

De acuerdo a las coberturas de sustrato de coral pétreo, la zona presenta 36% de cobertura de coral sano, 7% de cobertura de coral enfermo y 9 % de cobertura de coral muerto (Figura 9). Según Navas *et al.*, (2009) la zona presenta valores muy similares, 39% para cobertura de sustrato arrecifal sano y 7% de cobertura de coral enfermo. Los valores de cobertura sana son altos en comparación con las demás coberturas (enfermo y muerto) teniendo en cuenta el valor similar en cuanto a porcentaje de enfermedades Navas *et al.* (2009) señalan que “la ocurrencia

de enfermedades y blanqueamiento registró valores bajos que se encuentran en promedios históricos para otras estaciones SIMAC”.

La diversidad estimada con índice de Shannon (Figuras 7) indica diversidades bajas para todas las estaciones y Simpson (Figuras 8) indica diversidades altas para las estaciones y por ende para la zona. Durante las últimas décadas estos sistemas se han encontrado fuertemente impactados, ya sea por factores bióticos o abióticos entre los cuales se incluyen las actividades antropogénicas, por lo tanto han sufrido un declive en su diversidad y cobertura, lo que genera un cambio en su estabilidad típica (Hughes, 1994; Grigg y Dollar, 1998. En Sepúlveda, 2004) en consecuencia, se ha perdido cobertura de coral vivo lo que repercute en la reproducción y futuro establecimiento de plánulas, lo cual está influenciando aparentemente los valores bajos de diversidad en la zona

El índice de desarrollo potencial para las comunidades coralinas (Tabla 6) establece que un 86.7% del sustrato que compone el sistema arrecifal podría estar cubierto por corales pétreos lo que permite inferir que la mayor parte del arrecife está compuesto por sustrato apto para la fijación de plánulas, por lo tanto valores altos como el reportado permiten un equilibrio en el desarrollo y crecimiento del arrecife.

Según el índice de sostenimiento coralino, de este 86.7% del sustrato que podría tener cobertura de corales pétreos, un 48.9% lo presenta, es decir, más de un 50% de la cobertura está viva y puede reproducirse.

Isla Fuerte presenta un deterioro coralino del 51.1% correspondiente a un nivel medio (Ramirez, *et al.*, 1994), es evidente que existen procesos degradativos en el ecosistema, eventos como cambio climático, variaciones en los patrones de circulación oceánica y marejadas, aumento de la radiación ultravioleta, eutroficación del mar Caribe por un aumento generalizado en el aporte continental de sedimentos y nutrientes que inhiben el crecimiento coralino y aumento de enfermedades epidémicas coralinas, además de las actividades antrópicas como sobre explotación de recursos marinos, contaminación con aguas residuales, mal anclaje de lanchas, buceo, etc.

Generan aumento en enfermedades y blanqueamiento, muerte súbita del tejido vivo y fragmentación de las estructuras, incidiendo directamente en el aumento del deterioro del estado de conservación arrecifal.

## **Conclusiones**

La comunidad arrecifal presente en Isla Fuerte, está siendo dominada por *Porites porites*, *Siderastrea siderea*, *Agaricia tenuifolia*, *Montastrea faveolata* y *Colypophillia natans*. Los valores según el índice de Margalef indican baja riqueza, la cual está siendo afectada especialmente por especies como *P.porites*, que presenta una colonización masiva. La diversidad descrita mediante el índice de Shannon indica una diversidad baja y Simpson indica una diversidad alta, demostrando que existen factores que afectan la diversidad del ecosistema. El mayor porcentaje de cobertura está presente en coral vivo, mientras que el sustrato muerto y enfermo se encuentra con bajas coberturas, estableciendo un daño bajo en las estructuras coralinas que componen el arrecife. Se registró una nueva especie: *Millepora striata* y se reportó *Millepora* sp1 como un posible nuevo especie.

La afección más importante presente en los arrecifes de Isla Fuerte, es el blanqueamiento, aunque no hay una causa establecida, es necesario evaluarla por su alta frecuencia de aparición, las demás enfermedades se encuentran con bajo porcentaje de incidencia. Según los índices de desarrollo potencial, de un 86.7% de sustrato que podría tener cobertura coralina viva (índice de desarrollo coralino), un 48.9% lo presenta y puede desarrollarse y reproducirse (índice de sostenimiento coralino), además de presentar un 51.1% de deterioro coralino. Aunque se tienen valores altos en el deterioro del arrecife, un porcentaje importante de sustrato óptimo para el asentamiento coralino y porcentaje de posibilidad de sostenimiento, indican que existe un gran potencial en el aumento de la diversidad arrecifal a futuro y si además disminuyen los factores del ecosistema. Consecuentemente valores altos en porcentaje de coral pétreo, Especialmente vivo, baja incidencia de enfermedades, índice de desarrollo potencial alto, índice de sostenimiento coralino medio y por ultimo un índice de deterioro coralino medio, permiten estimar que el estado de conservación de la comunidad arrecifal de Isla Fuerte es medio.

## **Recomendaciones**

Es recomendable establecer transectos permanentes en cada una de las estaciones para la realización de un posterior monitoreo y aumentar el número de estaciones para una mayor representatividad, se sugiere reubicar las estaciones San Diego y Yerbí a zonas de mayor representatividad de corales pétreos y más cercanos a la cresta arrecifal. Y evaluar los efectos tenses que actualmente se encuentran afectando los arrecifes de la isla.

## **Bibliografía**

- Escobar L. Caracterización del estado de salud, usos y problemática Ambiental de 5 parches coralinos de isla fuerte, mar Caribe Colombiano. Trabajo de Grado de Pregrado. Facultad de estudios Ambientales y Rurales. Pontificia universidad Javeriana, Bogotá, 2006, 87p.
- Huertas J. 2000. Caracterización Estructural, Composición y estado de Salud de las Formaciones Coralinas de Isla Fuerte, bajo Burbujas y bajo Bushnel, Caribe Colombiano. Trabajo de Grado de Pregrado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Antioquia, Medellín, 96p.
- Castaño G. & Moncaleano A. Modelo de evaluación de la unidad productiva de pesca en Isla Fuerte, Cartagena, Bolivar. Univ. Empresa, Bogotá (Colombia) 2007; 6 (13): 195-209.
- Díaz J. M, Sánchez J. A, Díaz-Pulido G. Geomorfología y formaciones arrecifales recientes de Isla Fuerte y Bajo Bushnell, plataforma continental del Caribe Colombiano. Bol. Invest. Mar. Cost. 1996; 25: 87-105
- Bula-Meyer G. Perturbación biológica extrema en los sistemas coralinos del Caribe. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 2002; 26(98) 105-110, 2002
- Cendales M, Zea S, Díaz J. Geomorfología y unidades ecológicas del complejo arrecifal de Islas del Rosario e Isla Barú (Mar Caribe, Colombia). Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 2002; 26 (101): 497-510
- Bula-Meyer G. Taxonomic and ecologic studies of subtidal sand plain macroalgal community in the Colombian Caribbean. Tesis Doctoral. Coll. Mar. Stud., Univ. of Delaware, Newark, USA, 1987, 189p.

- Sepúlveda M. Distribución vertical, composición, riqueza y densidad de corales hermatípicos juveniles en el arrecife de Isla Fuerte, Caribe colombiano. Trabajo de Grado Pregrado. Facultad de Ciencias . Pontificia universidad Javeriana. Bogotá. 2004, 102p.
- Brusca R. & Brusca G. *Invertebrados*, segunda edición, Editorial Mc Graw Hill. España. 2005, 1005p.
- Gil-Agudelo D, Navas-Camacho R, Rodriguez-Ramirez A, Reyes-Nivia M, Bejarano S, Garzón-Ferreira J, Smith G. Enfermedades coralinas y su investigación en los arrecifes colombianos. Bol. Invest. Mar. Cost 2009; 38 (2): 189-224
- Hill J, Wilkinson C. *Methods for Ecological Monitoring of Coral Reefs*. Townsville: Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia. 2004, 117p
- UNEP, AIMS. Monitoring Coral Reefs for Global Change. Reference Methods for marine Pollution studies 1993; No. 61.
- Jaramillo J, Acosta A, Mariño D. Monitoreo para evaluar la dinámica de comunidades coralinas aisladas espacialmente. 95-119 en Acosta A, Zapata A, Fagua G. *Técnicas de campo en ambientes tropicales: manual para el monitoreo en ecosistemas acuáticos y artrópodos terrestres*. Colección libros de investigación. Primera edición. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, 2009, 215p.
- Valverde T, Meave J, Carabias J, Cano-Santana Z. *Ecología y medio ambiente*, Editorial Pearson Educación. México, 2007, 230p
- UNEP. Convention on biological diversity. United Nationsl Environmental Program, Environmental Law and Institutions Program Activity Centre. Nairobi. 1992, 30 p
- Odum E, Barret G. *Fundamentos de Ecología*. Quinta edición. International Thomson Editores. México, 2006, 598 p.
- Margalef, R. *Ecología*. Octava Edición. Ediciones Omega. Barcelona, España, 1995, 951 p
- Garzón-Ferreira J, Reyes-Nivia M, Rodriguez-Ramirez A. *MANUAL DE METODOS DEL SIMAC Sistema Nacional de Monitoreo de Arrecifes Coralinos de Colombia*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras Vinculado al ministerio del Medio Ambiente. Santa Marta, 2002, 57p.
- Moreno C. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. México, 2001, 83p.

- Watson R, Heywood V, Baste I, Diaz B, Gámez R, Janetos T, Reid W, Ruark G. *Evaluación Mundial de la Biodiversidad. Resumen para los responsables de la formulación de Políticas*. PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 1995, 53p
- Smith R, Smith T. *Ecología*. Cuarta edición. España, 2000. 642p.
- Ramírez A. *Manual de Métodos y Procedimientos Estadísticos*. Ministerio de Medio Ambiente, programa ambiental de manejo de recursos naturales. Bogotá, 1999,
- Ramírez A. *Ecología métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2006, 271 p.
- Mejía M, Ramírez A. Caracterización del sistema extractivo de la pesca artesanal en Isla Fuerte, Mar Caribe, Colombia. *Ambiente y Desarrollo*. Bogotá, 2004; 11:13-28
- Ortega S. 2010. Estudio de aprovechamiento de la energía del oleaje en Isla Fuerte (Caribe Colombiano) Trabajo de Grado de Maestría. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 130 p.
- Ramírez A, Miranda D, Viña G. Estructura arrecifal del archipiélago de San Bernardo (Mar Caribe Colombiano), Estudio de línea base. *Trianea*, 1994; 5:189-219.
- Reyes J, Santodomingo N, Flórez P. *Corales Escleractinios de Colombia*. Invemar Serie de Publicaciones Especiales, No. 14. Santa Marta, 2010; 246 p.
- Navas-Camacho R, Gómez-Campo K, Vega-Sequeda J, López-Londoño T. Estado de los arrecifes coralinos. En: INVEMAR. *Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia: Año 2008*. Serie de Publicaciones Periódicas No. 8. Santa Marta, 2009, 244 p.
- López-Victoria M. Estado actual de las áreas coralinas del Archipiélago de San Bernardo; distribución, estructura, composición y estado de salud, con notas sobre su origen y desarrollo geológico. Trabajo de Grado de Pregrado, Dpto. de Biología, Universidad del Valle, Santiago de Cali, 1999, 134 p.



**Fotografía sub-acuática de Millepora sp1**



**Fotografía Sub-acuática *Millepora striata***

