

**CALIDAD DEL AGUA A PARTIR DE LA APLICACIÓN DEL FORAM INDEX  
(FI) COMO HERRAMIENTA BIOINDICADORA EN LA MONTAÑA  
SUBMARINA BAJO FRIJOL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL  
CORALES DE PROFUNDIDAD (PNN CPR), CARIBE COLOMBIANO**

**KAREN LORENA NARANJO GARCÍA**

**UNIVERSIDAD EL BOSQUE  
FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.**

**2016**

**CALIDAD DEL AGUA A PARTIR DE LA APLICACIÓN DEL FORAM INDEX  
(FI) COMO HERRAMIENTA BIOINDICADORA EN LA MONTAÑA  
SUBMARINA BAJO FRIJOL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL  
CORALES DE PROFUNDIDAD (PNN CPR), CARIBE COLOMBIANO**

**KAREN LORENA NARANJO GARCÍA**

**Trabajo de grado para optar al título de ingeniera ambiental**

**Investigación aplicada**

**Director**

**Yina Patricia Salamanca Blanco  
Profesora asociada**

**Codirector**

**Hernán Alejandro Henao Castro  
Coordinador de investigaciones y monitoreo del Parque Nacional Natural Corales de  
Profundidad  
Parques Nacionales Naturales de Colombia**

**UNIVERSIDAD EL BOSQUE  
FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.**

**2016**

“La Universidad El Bosque, no se responsabiliza de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”.

## **Agradecimientos**

Agradezco a la Universidad El Bosque y al Parque Nacional Natural Corales de Profundidad (PNNCPR), por la financiación, apoyo y colaboración para el desarrollo de este proyecto de grado, el cual se encuentra enmarcado dentro del macroproyecto “Estudio preliminar de comunidades planctónicas y bentónicas del arrecife mesofótico Bajo Frijol del Parque Nacional Natural Corales de Profundidad, Caribe Colombiano”, avalado con memorando 20152200002063 expedido por el Grupo de Planeación y Manejo de Áreas Protegidas (SGM-GPM) de Parques Nacionales Naturales de Colombia.

Principalmente agradezco a la profesora Yina Salamanca y Alejandro Henao Castro, directora y codirector respectivamente de la presente investigación, quienes me guiaron en este proceso y dieron parte de su tiempo y paciencia, para revisiones del documento y correcciones del mismo. Al profesor Carlos Quintero por su tiempo y apoyo en el desarrollo del proyecto, a Matías Gómez, quien fue de gran ayuda para dar comienzo a la investigación y al trabajo de laboratorio, y a mis compañeros del semillero de investigación por escuchar la versión 1, versión 2, etc., y siempre dar opiniones nuevas con el fin de fortalecer el trabajo.

A mi familia y amigos por su apoyo, principalmente Ale, Carlangas, el negro, la pitu y Pau, quienes me escucharon una y otra vez, tanto mis quejas como los avances, por ayudarme a estar concentrada siempre o casi siempre, y descansar cuando ya no podía más. A la familia Gómez Sicard, por su apoyo incondicional, sin ellos no hubiese sido posible tener la energía y la tranquilidad necesaria para poder terminar esta etapa de vida.

De manera especial quiero agradecerle a mi Papá por haber sido mi apoyo tantos años, a Juan y Dani por siempre estar ahí tanto para presionarme como para tener mis ratos de descanso, por el tinto que nunca puede faltar y por los regaños por mala redacción. Pero, sobre todo, quiero darles las gracias por siempre creer en mí y recordarme nunca dejar de hacerlo.

## **Dedicatoria**

Este proyecto está dedicado a mis padres, mis hermanos y mi sobrino, por ser mi fuente de inspiración. A mi familia, a la familia Gómez Sicard y Ale, por apoyarme siempre incondicionalmente y por nunca perder la confianza en mí.

## Tabla de contenido

Resumen .....	1
Introducción .....	1
Justificación.....	2
Pregunta de investigación.....	4
Hipótesis.....	4
Objetivos .....	5
General .....	5
Específicos .....	5
Marco teórico-conceptual.....	5
Marco legal-normativo.....	13
Diseño metodológico.....	16
Dimensiones, variables e indicadores .....	21
Área de estudio.....	22
Metodología .....	24
Resultados .....	27
FORAM Index (FI) .....	27
Diferencias entre profundidades.....	29
Análisis de resultados.....	34
Conclusiones .....	37
Recomendaciones.....	37
Bibliografía.....	38
Anexos.....	47

Anexo 1: Carta de entrega de las muestras de sedimentos tomadas en la montaña submarina Bajo Frijol por el Parque Nacional Natural Corales de Profundidad a la Universidad de los Andes.....	47
Anexo 2: Fotografías de los foraminíferos bentónicos más relevantes analizados en el laboratorio de Química Ambiental en la Universidad el Bosque.....	47

### Lista de tablas

<b>Tabla 1:</b> Alcance, unidad de análisis y técnicas de instrumento. ....	17
<b>Tabla 2:</b> Sitios de muestreo, ubicación geográfica y profundidad. ....	21
<b>Tabla 3:</b> Indicadores para el estudio de cada una de las variables. ....	21
<b>Tabla 4:</b> Clasificación de los foraminíferos bentónicos por grupo funcional y género en los tres puntos de muestreo y sus respectivas replicas. ....	28
<b>Tabla 5:</b> Presencia-ausencia de los diferentes géneros de foraminíferos bentónicos en los diferentes puntos de muestreo. ....	30
<b>Tabla 6:</b> Índices de diversidad aplicados a las muestras en las tres profundidades. ....	31
<b>Tabla 7:</b> ANOSIM cruzando los tres grupos indicando los valores R Global y el Nivel de significancia correspondiente. ....	33

### Lista de gráficas

<b>Figura 1:</b> Superposición de las principales fuentes terrestres de contaminación a las aguas marinas y costeras de Colombia. Fuente: IGAC, en (Vivas-Aguas, 2012) y mapa de ubicación y delimitación del PNN CPR, mapas del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, disponible en (Londoño et al., 2012).....	7
<b>Figura 2:</b> Delimitación del Parque Nacional Natural Corales de Profundidad, Caribe Colombiano. (Henao, 2016).....	23

<b>Figura 3:</b> Metodología de recolección de los sedimentos superficiales de la cima de la montaña submarina Bajo Frijol, en el Parque Nacional Natural Corales de Profundidad (Velásquez et al., 2011).....	<b>24</b>
<b>Figura 4:</b> Metodología para identificación de especies de foraminíferos bentónicos encontrados en las muestras tomadas en la montaña submarina Bajo Frijol, en el PNNCPR. (Hallock, P., 2012) .....	<b>25</b>
<b>Figura 5:</b> Metodología para análisis de la comunidad de foraminíferos bentónicos encontrados en los sedimentos de la montaña submarina Bajo Frijol, en PNNCPR. (Henao, 2008; Gómez, 2015) .....	<b>26</b>
<b>Figura 6:</b> Metodología para el análisis multivariado, para la determinación de similaridad entre las muestras tomadas en la montaña submarina Bajo Frijol en el PNNCPR. (Hallock, 2012; Henao, 2008).....	<b>27</b>
<b>Figura 5:</b> Metodología para análisis de la comunidad de foraminíferos bentónicos encontrados en los sedimentos de la montaña submarina Bajo Frijol, en PNNCPR. (Henao, 2008; Gómez, 2015) .....	<b>26</b>
<b>Figura 7:</b> Valores promedio del FORAM Index (FI) en las tres profundidades muestreadas. Las líneas horizontales representan los valores en la escala del FI. ....	<b>29</b>
<b>Figura 8:</b> Porcentaje del número de individuos por grupo funcional en los tres puntos de muestreo, en la montaña submarina Bajo Frijol. ....	<b>31</b>
<b>Figura 9:</b> Porcentaje de contribución de los géneros con mayor abundancia en los diferentes puntos de muestreo. ....	<b>32</b>
<b>Figura 10:</b> Dendrograma del análisis de clasificación basado en el coeficiente de Bray-Curtis. ....	<b>33</b>
<b>Figura 11:</b> Escalamiento multidimensional no métrico (MDS) de los puntos de muestreo ubicados en la montaña submarina Bajo Frijol en Parque Nacional Natural Corales de Profundidad.. ....	<b>34</b>



# **CALIDAD DEL AGUA A PARTIR DE LA APLICACIÓN DEL FORAM INDEX (FI) COMO HERRAMIENTA BIOINDICADORA EN LA MONTAÑA SUBMARINA BAJO FRIJOL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CORALES DE PROFUNDIDAD (PNNCPR), CARIBE COLOMBIANO**

## **Resumen**

El estado actual del ecosistema de arrecife coralino mesofótico (ACM), ubicado en la montaña submarina Bajo Frijol en el PNNCPR, fue determinado a partir de la evaluación de la calidad del agua marina por medio del FORAM Index, indicador basado en el análisis de la comunidad de foraminíferos bentónicos y medido por un rango entre 0 y 10, indicando 10 un ambiente en excelentes condiciones que permitan el crecimiento y desarrollo de los corales; y el análisis de la composición de la comunidad de foraminíferos bentónicos en tres sitios de muestreo (A, B y C), cada uno a diferente profundidad (37 m, 43 m y 50-70 m respectivamente), esto con la finalidad de encontrar o no diferencias de dicha comunidad respecto a la profundidad. En primer lugar, se realizó una identificación de los foraminíferos bentónicos encontrados y se clasificó según el grupo funcional, para su posterior aplicación en el cálculo del FI, el cual dio como resultado valores mayores a 4, representando condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo coralino, debido a bajas concentraciones de nutrientes, por lo que es probable que este ecosistema no está siendo influenciado por actividades antrópicas continentales como el turismo, pesca y aumento poblacional. En cuanto al análisis de la composición de la comunidad foraminífera, para definir diferencias entre las profundidades, se aplicaron los índices de diversidad, el análisis de clasificación de Bray-Curtis analizado a partir de ordenación MDS, SIMPER y ANOSIM, los cuales dieron como resultado homogeneidad entre los sitios de muestreo, demostrando que no hay mayor variación de las condiciones ambientales, dando como resultado aportes similares de la riqueza y abundancia de los géneros.

## **Introducción**

Los arrecifes coralinos mesofóticos (ACM) son ecosistemas con gran relevancia ecológica, debido a su función como conector de los ecosistemas de arrecifes someros y de profundidad (Kahng et al. 2010; Kahng et al. 2014), su alta biodiversidad y su capacidad para proveer refugio a diferentes especies (Hinderstein et al. 2010). Dicho ecosistema, está siendo afectado, debido al desarrollo de los asentamientos humanos en zonas costeras, en las cuales se desarrollan actividades socioeconómicas como el turismo, navegación, entre otros (USEPA, 2004), el crecimiento de la industria de hidrocarburos y la creciente tecnificación en artes de pesca para acceder a zonas cada vez más profundas (Posada, 2012); sin embargo, las malas prácticas de dichas actividades generan impactos negativos en el ecosistema de arrecifes de corales (ejemplo, el aporte de nutrientes por parte de las fuentes de descarga de aguas residuales), generando cambios en la temperatura, pH, salinidad,

acumulación de materia orgánica y enriquecimiento de las aguas (Nixon et al., 1995; Cai et al., 2013), produciendo variaciones en la calidad del agua marina (Hallock, 2012).

Debido a la importancia ecológica, social y económica, de dicho ecosistema estratégico, debe conocerse el estado actual, implementar planes de manejo y programas de monitoreo, para llevar un seguimiento continuo de las comunidades que se presentan y los impactos que lo pueden estar vulnerando, por medio de mediciones que permitan orientar y verificar el éxito de las acciones de manejo (Flórez et al., 2008). Con el fin de determinar el estado actual del ecosistema, se puede desarrollar mediciones de parámetros abióticos y bióticos (Reymond et al. 2012). No obstante, los primeros implican altos costos económicos (por ejemplo, calidad de aguas a partir de nitritos, nitratos, amonios, fosfatos, materia orgánica) y protocolos que en altamar no pueden cumplirse rigurosamente. En este contexto, se ha propuesto en diversos escenarios, el uso de indicadores biológicos. En especial, sobre calidad del agua en ambientes marinos como arrecifes de corales (Cooper et al. 2009; Henao, 2013).

El FORAM Index, es un índice desarrollado para evaluar ambientalmente los entornos de fondos blandos utilizando foraminíferos bentónicos (Hallock et al. 2003), definiendo si los requerimientos en el ambiente son los adecuados para el crecimiento, desarrollo y recuperación de los corales. Mide impactos antrópicos que no son perceptibles en la comunidad coral (Hallock, 2012), con el objetivo añadido de desarrollar un índice solo métrico que sea usado en entornos productivos y que favorezca a la formulación de estrategias de conservación (Velásquez et al., 2011). “Los foraminíferos son un grupo de protozoos rozópodos caracterizados por poseer una concha” (Acosta, 2004), los cuales pueden presentarse de forma planctónicas y bentónicas (Hallock et al., 2003). Estos últimos, son propicios para el uso como bioindicador, dada su sensibilidad a los cambios en los parámetros físicos y químicos del agua, como temperatura, salinidad y concentración de nutrientes; al mismo tiempo, son inmunes contra enfermedades coralinas y a otros factores que, si afectan a las poblaciones de coral como la herbívora, depredación o competencia (Hallock et al., 2003).

Este estudio se realizó en el ACM en la montaña submarina Bajo Frijol en el PNN CPR, para contribuir al fortalecimiento de la toma de decisiones en pro de la conservación del patrimonio Nacional, con el fin de evaluar el ecosistema de acuerdo a la calidad del agua marina, ajustándose a

los requerimientos de los arrecifes coralinos mesofóticos, a partir del FORAM Index y sustentado por medio del estudio de la composición de la comunidad de foraminíferos bentónicos.

### **Justificación**

Son insuficientes las investigaciones que se desarrollan en nuestro país sobre ecosistemas marinos, principalmente corales mesofóticos, debido a limitaciones de infraestructura, logístico, económico y tecnológico. Colombia a través de la declaratoria del PNN CPR, ha demostrado el compromiso con la conservación de la biodiversidad marina (Alonso et al., 2015), siendo permitidas las actividades de conservación, investigación, educación, recreación, cultura, recuperación y control (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013). No obstante, se hace urgente generar una línea base ambiental sólida de esta área protegida del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia, para asegurar el cumplimiento de su gran objetivo de conservación de ecosistemas de profundidad.

Los arrecifes coralinos mesofóticos (ACM) son ecosistemas dependientes de la luz, los cuales se encuentran a partir de 30 o 40 m hasta 150 m de profundidad, representan una extensión directa de los ecosistemas de arrecifes de coral de aguas someras (Kahng et al. 2010) y pueden sobreponerse o extenderse sobre formaciones coralinas de aguas frías, actuando como un puente entre estos dos ecosistemas (Kahng et al. 2014); ya que se contrasta la abundancia de peces en profundidad con la escasez en los arrecifes someros, a causa del inadecuado desarrollo de actividades antrópicas (Hughes et al., 2014).

Revisiones bibliográficas de ACMs sugieren que estos ecosistemas profundos tienen una gran relevancia ecológica, no solo por su alta biodiversidad, sino también atribuido a la capacidad de proveer refugio a peces e invertebrados marinos como crustáceos, moluscos, entre otros (Hinderstein et al. 2010). Asimismo, contribuyen en el desarrollo de la vida costera y mejoramiento de la calidad de vida de la misma, ya sea por actividades productivas como la pesca, turismo o en seguridad alimentaria (Burke et al., 2011; Jennings et al., 1996).

Las áreas costeras son fuente de recursos valiosos, que permiten desarrollar actividades como pesquería con fines comerciales o recreacionales, navegación, entre otros (USEPA, 2004). Sin embargo, las malas prácticas conllevan al deterioro de los ecosistemas marinos, de la calidad del agua marina, causando diferentes consecuencias como la eutrofización y la sedimentación (Nixon et

al., 1995; Cai et al., 2013), intensificándose la problemática al unir estos impactos antrópicos, con amenazas globales como el cambio climático y la acidificación causada por el aumento del dióxido de carbono (CO<sup>2</sup>); afectando otros factores físicos como la temperatura, la luz; haciendo que estos ecosistemas estén vulnerables a perturbaciones como tormentas, enfermedades coralinas, entre otros (Burke et al., 2011).

Una de las variables que se ve en mayor medida afectada, es la calidad del agua, siendo la eutrofización uno de los principales factores modificadores de esta (Hallock, 2012), definida como "el enriquecimiento de nutrientes en el agua, especialmente Nitrógeno, Fósforo y materia orgánica, lo que puede aumentar el crecimiento de algas, produciendo una desviación inaceptable en la estructura, función y estabilidad en la calidad del agua y de los organismos presentes en esta" (Andersen et al., 2006). Los principales nutrientes encontrados en las aguas marinas son nitratos y fosfatos, fundamentales para el desarrollo adecuado de los ecosistemas marinos; su producción se debe a fuentes naturales como la descomposición de la materia orgánica o inducido por medio de la contaminación antrópica, como los vertimientos de aguas residuales (Roldán et al., 2008).

El PNNCPR por medio de la Resolución 0339 del 2013 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, establece como objetivo la conservación de corales de aguas frías y profundas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013), con el fin de dar cumplimiento a lo estipulado, se debe realizar una buena toma de decisiones para el manejo, control y monitoreo de dicha área protegida, para llevar un seguimiento continuo del ecosistema, las comunidades que se presentan, las variables que pueden estar afectando, por medio de mediciones que permitan orientar y verificar el éxito de las acciones de manejo (Flórez et al., 2008).

Con el fin de determinar el estado actual del ecosistema, se puede desarrollar mediciones de parámetros abióticos y bióticos (Reymond et al. 2012). Sin embargo, los primeros no han sido viables debido a que no proporcionarían la información homogenizada, representarían altos costos que limitan la investigación (Reymond et al., 2012; Cooper et al., 2009) y se requiere de protocolos que en altamar no pueden cumplirse rigurosamente. Por lo mencionado anteriormente, se propone el uso de indicadores biológicos. En especial, sobre calidad del agua en ambientes marinos como arrecifes de corales (Cooper et al. 2009; Henao, 2013).

Se comienza una búsqueda por parte de The U.S. Environmental Protection Agency's (EPA), identificando los arrecifes de coral como uno de los ecosistemas más amenazados por las actividades humanas, generando la necesidad de buscar una alternativa que contribuya y responda a diferentes condiciones que puedan presentarse, que sea fácil de desarrollar y genere un bajo costo (Cooper et al., 2009; Hallock et al., 2003); teniendo en cuenta estas necesidades, se formula el FORAM (Foraminifera in Reef Assessment and Monitoring) Index, (FI), índice para la evaluación ambiental de los entornos de fondos blandos utilizando foraminíferos bentónicos (Hallock et al., 2003), el cual revela que tan propicio es el ambiente para crecimiento, desarrollo y recuperación de los corales, causando el mínimo impacto en su implementación (Hallock, 2012).

Esta investigación al contribuir con la evaluación de la calidad del agua a nivel de nutrientes en el ambiente mesofótico “Bajo frijol” del área protegida, está generando una línea base que fortalece al Plan de Manejo Ambiental (PMA) actual del Parque, siendo esta una herramienta de la gestión ambiental; además también es un aporte fundamental en la contribución a la educación ambiental, dado que según el capítulo 36 de la Agenda 21, esta es de gran relevancia para direccionar al desarrollo sostenible y aumentar la capacidad de las comunidades para afrontar temáticas ambientales y de desarrollo, estando entre sus objetivos, la conservación de la biodiversidad y la protección de los recursos oceánicos (Agenda 21, 1992).

Además, el presente trabajo se encuentra enmarcado dentro de un macro-proyecto liderado por el Parque Nacional Natural Corales de Profundidad llamado “Estudio preliminar de comunidades planctónicas y bentónicas del arrecife mesofótico Bajo Frijol del Parque Nacional Natural Corales de Profundidad, Caribe Colombiano” el cual cuenta con el aval de Parques Nacionales Naturales de Colombia, remitido al área protegida con el número de memorando 20152200002063 desde el 25 de noviembre de 2015.

### **Pregunta de investigación**

¿La montaña submarina “Bajo frijol” ubicada en el Parque Nacional Natural Corales de Profundidad, presenta buena calidad de agua en términos de nutrientes, que permita el crecimiento y desarrollo coralino, según el FORAM index?

## **Hipótesis**

El Parque Nacional Natural Corales de Profundidad en la montaña submarina Bajo Frijol, posee un ecosistema de arrecife coralino mesofótico, el cual debe presentar un  $FI > 4$ , ya que es un área protegida netamente marina, retirada de la costa, y la cual tiene poca influencia antropogénica de origen continental y, como consecuencia se presenta una baja disponibilidad de nutrientes. En segundo lugar, la comunidad de foraminíferos será diferente entre las tres profundidades muestreadas indicando modificaciones en las condiciones ambientales.

## **Objetivos**

### *Objetivo general*

Evaluar la calidad del agua en un ambiente mesofótico de la montaña submarina Bajo Frijol del Parque Nacional Natural Corales de Profundidad (PNNCPR) en el Caribe colombiano, a partir de la aplicación del FORAM Index (FI) como herramienta bioindicadora.

### *Objetivos específicos*

- Determinar la composición de la comunidad de foraminíferos bentónicos en los sedimentos marinos obtenidos a diferentes profundidades e implementar el FI como herramienta bioindicadora de calidad del agua.
- Correlacionar la composición de la comunidad de foraminíferos bentónicos con las diferentes profundidades determinadas para la toma de sedimentos.

## **Marco Teórico-Conceptual**

El PNNCPR tiene como objetivo la conservación de las formaciones coralinas de profundidad que se encuentran al borde de la plataforma continental y el talud superior, como símbolo de representatividad y particularidad, siendo un hábitat esencial para la diversidad de especies marinas y dispersión de especies bentónicas, debido a su conectividad con otros ecosistemas. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013)

El valor de objeto de conservación está definido por tres ecosistemas: los fondos blandos profundos, corales profundos y los corales mesofóticos (Parques Nacionales Naturales de Colombia, última actualización, 2016). Los arrecifes coralinos mesofóticos (ACM), se encuentran a partir de 30 o 40 m hasta 150 m de profundidad en algunas regiones, siendo su principal característica representar una extensión directa de los ecosistemas de arrecifes de coral de aguas someras, soportando una amplia diversidad de grupos de especies (Kahng et al. 2010), y al mismo tiempo poder sobreponerse o extenderse sobre formaciones coralinas de aguas frías, actuando como un puente entre estos dos ecosistemas (Kahng et al. 2014). Revisiones bibliográficas acerca de los ACM, plantean que estos ecosistemas profundos tienen una gran relevancia ecológica, no solo por su alta biodiversidad, sino también atribuido a la capacidad de proveer refugio (hipótesis de zona de refugio) (Hinderstein et al. 2010).

Es evidente la diferencia en la abundancia de peces entre los ecosistemas profundos y los arrecifes someros debido a la sobreexplotación y malas prácticas, causadas por los asentamientos humanos costeros al utilizar estos bancos de peces para realizar explotación extensiva; al usar los cuerpos hídricos como vías de transporte, sumidero de residuos domésticos, agrícolas e industriales, los cuales reciben el aporte de las cargas contaminantes, que pueden reducir la calidad del agua, ya que un 90% de los contaminantes es transportado por los ríos al mar, amenazando la salud humana y el funcionamiento natural de los ecosistemas marino-costeros (Escobar, 2002; Burton, 2003, citado por Vivas-Aguas et al., 2012); perjudicando a largo plazo su calidad de vida al deteriorar estos ambientes vitales para su desarrollo y sostenimiento (Hughes et al., 2014), y que además contribuye en la seguridad alimentaria, puesto que se calcula que basta con 1 km<sup>2</sup> de arrecife somero sano o activamente creciente, para abastecer 300 personas sin ninguna otra fuente de proteína disponible (Jennings et al., 1996).

“Cuando un arrecife es saludable se regenerará gradualmente y el arrecife no perderá terreno por fragmentación y erosión. Sin embargo, donde los corales han sido debilitados por contaminación con aguas negras, sedimentos, fertilizantes, pesticidas, y escorrentía industrial, la regeneración del coral no podrá mantener el ritmo de los procesos destructivos en los arrecifes como el oleaje” (Alvarado et al., 2004). El PNNCPR se encuentra frente a las costas de los departamentos de Bolívar, Sucre y Córdoba, siendo vulnerable de la zona de descarga del Canal del Dique y del Río Magdalena

(Parques Nacionales Naturales de Colombia, última actualización, 2016), como puede apreciarse en la Figura 1.



*Figura 1: Superposición de las principales fuentes terrestres de contaminación a las aguas marinas y costeras de Colombia. Fuente: IGAC, en (Vivas-Aguas, 2012) y mapa de ubicación y delimitación del PNN CPR, mapas del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, disponible en (Londoño et al., 2012)*

Debido a sus características demográficas y su entorno oceanográfico, las comunidades coralinas profundas son particularmente vulnerables a los daños físicos. Los usos actuales evidencian un alto riesgo de amenaza a la conservación para dichas comunidades del Parque, a causa del crecimiento de la industria de hidrocarburos, la creciente tecnificación en artes de pesca para acceder a zonas cada vez más profundas, y el incremento en la instalación de cables submarinos (Posada, 2012). Estas



actividades son fuentes del deterioro de la calidad del agua marina, causando cambios físicos y químicos como la acidificación, cambios en el pH, temperatura, sedimentación, eutrofización; incrementando la tasa de producción de materia orgánica, asociado al sobre enriquecimiento de nutrientes, produciendo eutrofización, las cuales causan perturbaciones indeseables en el desarrollo normal de los organismos asociados al ecosistema y a la calidad del agua (Andersen et al., 2006; Hallock, 2012). En las aguas marinas se encuentran diferentes nutrientes vitales para el desarrollo adecuado de los ecosistemas, como lo son nitratos y fosfatos, siendo estos los limitantes en la producción primaria y generados a partir de la descomposición de la materia orgánica o por el aporte de nutrientes de las descargas de agua residuales. (Roldán et al., 2008).

Por todo lo mencionado anteriormente, se hace indiscutible la necesidad de proteger los arrecifes coralinos mesofóticos, por medio de la implementación de planes de manejo y programas de monitoreo; a partir de un estudio continuo del ecosistema, tanto de las comunidades que se presentan como las variables que pueden estar afectando, con mediciones que permitan orientar y verificar el éxito de las acciones de manejo. “El monitoreo es un instrumento proveedor de información, para facilitar los procesos de planificación, puesta en marcha y evaluación de las estrategias de manejo” (Flórez et al., 2008).

El estado actual del ecosistema se puede determinar por medio de mediciones de parámetros físicos y químicos, con un análisis multivariado de las comunidades pertenecientes, entre otros. La necesidad por desarrollar un bioindicador que se ajuste a los requerimientos y determine en este caso si las concentraciones de nutrientes en los arrecifes de coral son adecuadas para el crecimiento y recuperación coralino (Cooper et al., 2009). Se formula el FORAM (Foraminifera in Reef Assessment and Monitoring) Index, (FI), índice desarrollado para evaluar ambientalmente los entornos de fondos blandos utilizando foraminíferos bentónicos (Hallock et al. 2003), el cual define si el ambiente es o no propicio para el crecimiento y recuperación coralino (Hallock, 2012), además mide impactos antrópicos que no son perceptibles en la comunidad coral, generando un mínimo impacto en su extracción sobre los recursos del arrecife (Hallock, 2012), con el objetivo añadido de desarrollar un índice solo métrico que podría ser usado en entornos productivos y que favorezca a la formulación de estrategias de conservación (Velásquez et al., 2011).

“Los foraminíferos son un grupo de protozoos rizópodos caracterizados por poseer una concha” (Acosta, 2004), presentan gran ubicuidad y mayor abundancia, debido a que constituyen un tercio de la superficie de la tierra (Hayward et al., 2016); además, pueden presentarse de forma planctónicas y bentónicas (Hallock et al., 2003). Estos últimos, poseen características que los hacen propicios para el uso como bioindicador, como su sensibilidad a los cambios en los parámetros físicos y químicos del agua, como temperatura, salinidad y concentración de nutrientes; al mismo tiempo, son inmunes contra enfermedades coralinas y a otros factores que, si afectan a las poblaciones de coral como la herbívora, depredación o competencia (Hallock et al., 2003).

Hay tres clases de foraminíferos bentónicos: los simbióticos, oportunistas y otros pequeños heterótrofos; asociando directamente la baja presencia de los simbióticos con deterioro de la calidad del agua producto de eutrofización; además, poseen similitud funcional con los corales hermatípicos, debido a que ambos dependen de microalgas endosimbióticas para su óptimo desarrollo y producción de carbonato de calcio en aguas con bajas concentraciones de nutrientes (Hallock et al., 2003). Por todo lo previamente mencionado, estos organismos son los únicos que indican sobre el grado de eutrofización del agua sin depender del estado de las poblaciones coralinas, las cuales poseen un tiempo muy largo de respuesta a cambios en el ambiente (Cockey et al., 1996, citado por Gómez, 2015).

El FORAM Index consiste en agrupar las clases de foraminíferos bentónicos relacionando su abundancia con la disponibilidad de nutrientes (Gómez, 2015), y se calcula a partir de la ecuación 1:

$$FI = (10xP_s) + (P_o) + (2xP_h) \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

$P_s$  = Población de foraminíferos simbióticos encontrados

$P_o$  = Población de foraminíferos oportunistas encontrados

$P_h$  = Población de otros foraminíferos heterótrofos pequeños

$$P_s = \frac{N_s}{T} \text{ (Ecuación 2)}$$

$$P_o = \frac{N_o}{T} \text{ (Ecuación 3)}$$

$$P_h = \frac{N_h}{T} \text{ (Ecuación 4)}$$

$T$  = Total de foraminíferos encontrados

$N_s$  = Foraminíferos simbióticos encontrados

$N_o$  = Foraminíferos oportunistas encontrados

$N_h$  = Otros foraminíferos heterótrofos pequeños

(Hallock, 2012)

El resultado del FI está en un rango de 1 a 10; si el FI es menor a 2, representa que el ambiente no tiene las condiciones favorables para el crecimiento de los corales; si está entre 2 y 4, el ambiente es apto para el crecimiento, pero no para la recuperación; y si es mayor a 4, las condiciones son propicias para el crecimiento, desarrollo y recuperación de los corales (Velásquez et al., 2011; Hallock et al., 2003).

El estado actual del ecosistema se puede medir también al estudiar directamente a los involucrados, en este caso a los foraminíferos, a partir de la determinación de la composición de la comunidad, por medio de los índices de diversidad. De los cuales hace parte la riqueza específica (S), es la forma más sencilla debido a que se limita al conteo del número de especies presentes; se basa en realizar un inventario completo que nos permita conocer el número total de especies (Moreno, 2001); la diversidad de Shannon-Wiener, el cual expresa la uniformidad de los valores relevantes a través de todas las especies encontradas, midiendo el grado promedio de incertidumbre para prever a que especie corresponde un individuo (Magurran, 1988, citado por Moreno, 2001). Se desarrolla a partir de la siguiente fórmula (Ecuación 5):

$$H' = - \sum p_i \ln p_i \text{ (Ecuación 5)}$$

Tomando valores entre cero cuando solo hay una especie, y el logaritmo de S, cuando hay un mismo número de individuos por especie (Magurran, 1988, citado por Moreno, 2001).

Otro índice de diversidad es la uniformidad o equidad de Pielou (J), la cual mide la igualdad de la diversidad presentada en comparación de la máxima diversidad esperada. Su rango varía entre 0 y 0.1, representando el último valor que todas las especies son igual de abundantes (Magurran, 1988, citado por Moreno, 2001)., y se calcula a partir de la ecuación 6:

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}} \text{ (Ecuación 6)}$$

Donde,  $H'_{max} = \ln(S)$  (Ecuación 7)

(Magurran, 1988, citado por Moreno, 2001)

El índice de Simpson, representa la probabilidad de que dos individuos de la muestra correspondan a la misma especie, está influenciado por las especies con mayor dominancia (Magurran, 1988, citado por Moreno, 2001). Está representado por la ecuación 8:

$$Lambda = \sum p_i^2 \text{ (Ecuación 8)}$$

Donde,  $p_i =$  la abundancia proporcional de la especie  $i$

(Magurran, 1988, citado por Moreno, 2001)

Y finalmente el número de diversidad de Hill o serie de números de Hill, la cual determina el número de especies cuando dichas especies ya han sido ponderadas por su abundancia (Magurran, 1988, Hill, 1973, citado por Moreno, 2001). Las más relevantes son:

$N_0 =$  Número total de especies (S)

$N_1 =$  Número de especies abundantes  $= e^{H'}$  (Ecuación 9)

$N_2 =$  Número de especies muy abundantes  $= \frac{1}{Lambda}$  (Ecuación 10)

(Hill, 1973, citado por Moreno, 2001)

Se obtienen valores de  $N_1$  y  $N_2$  bajos, debido a que, al aumentar el número de especies, se disminuye la relevancia de las especies raras (Hill, 1973, citado por Moreno, 2001).

La similaridad entre las muestras, se halla mediante el cálculo del coeficiente de Bray Curtis, el cual es un coeficiente de distancia que mide las diferencias en abundancia de los taxones que componen las muestras, ignorando los casos en que el taxón está ausente en ambas muestras (Gómez-Lemos et al., 2010); tiene como objeto demostrar el grado de similitud o disimilitud entre dos unidades o grupos de unidades, se calcula a partir del siguiente algoritmo (Ecuación 11):

$$B = \frac{\sum_{i=1}^s (X_{ij} - X_{ik})}{\sum_{i=1}^s (X_{ij} + X_{ik})} \text{ (Ecuación 11)}$$

Donde:

$B$  = Medida de Bray – Curtis entre las muestras  $j$  y  $k$

$X_{ij}$  = Número de individuos de la especie  $i$  en la muestra  $j$

$X_{ik}$  = Número de individuos de la especie  $i$  en la muestra  $k$

(López et al., 2005)

Se representa a partir de un dendrograma, el cual es un diagrama arborescente que muestra la relación del grado de similitud o de disimilitud entre dos unidades o grupos de unidades.

(López et al., 2005)

Hay diferentes tipos de análisis multivariados (Giraldo, 2015), como el escalamiento multidimensional no métrico (MDS), el cual es un algoritmo complejo actualmente en el tratamiento de los datos de abundancia o biomasa de especies (Uehara-Prado et al., 2009); esta técnica permite representar gráficamente las muestras en un número específico de dimensiones, basándose en una matriz de similitud. Este método da un nivel de stress, representando la medición la adecuación de la representación del MDS. (Moreira, 2009)

Stress < 0,05; indica que la representación es excelente

Stress < 0,1; corresponde a una buena representación

Stress < 0,2; indica una representación potencialmente útil

Stress > 0,2; revela que los puntos están representados casi arbitrariamente en el espacio 2D

(Moreira, 2009)

El análisis de similaridad (ANOSIM) es una prueba no paramétrica, que determina la importancia estadística de los grupos obtenidos; representa disimilitud entre los grupos cuando su valor se acerca o supera a 1. Emplea diversas métricas de similitud, como Bray-Curtis (presencia o ausencia de especies), permite comparar dos o más grupos de especies, basado en matrices de similitud y desarrolla un R estadístico (Giraldo, 2015), calculado por medio de la ecuación 12:

$$R = \frac{R_b - R_w}{\frac{N(N-1)}{4}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Si R es cercano a 1, representa disimilitud entre las muestras

Si R es cercano a 0, significa que no hay disimilitud significativa entre las muestras

(Giraldo, 2015)

Para cuantificar la contribución de las especies en las diferencias observadas con el índice de Bray-Curtis (Moreira, 2009), se determina el porcentaje de similaridad (SIMPER), el cual busca obtener los porcentajes de la contribución de los diferentes taxones en la discriminación de los grupos (Gómez-Lemos et al., 2010); comprende un procedimiento estadístico similar al de ANOSIM.

### **Marco normativo**

- En la Ley 2 de 1959, el Congreso de Colombia estipula las normas sobre economía forestal de la nación y conservación de recursos naturales que son de carácter renovables. Por tanto, se adoptó la figura de Parque Nacional Natural para la conservación de la flora y la fauna nacionales, a su vez, se establecieron los principios básicos para su creación declarándolas de utilidad pública las zonas establecidas como tales (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1959).
- El artículo 1, numeral 2 de la Ley 99 de 1993, el Congreso de Colombia consagró entre principios generales orientadores de la política ambiental colombiana a la protección prioritaria y el aprovechamiento en forma sostenible de la biodiversidad del país, esto ya que hace parte del patrimonio nacional y de interés de la humanidad. (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1993) (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1994)

- En la ley 165 de 1994, el Congreso de Colombia aprobó el Convenio sobre la Diversidad Biológica, en el artículo 8, se promueve el establecimiento de un Sistema de Áreas Protegidas, la protección de ecosistemas, hábitats naturales y mantenimiento de población viables de especies en entornos naturales y recuperación de especies. (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1994)
- Artículo 34 de la Ley 685 de 2001 por el Congreso de la República, modificado por el artículo 3 de la ley 1382 de 2010, el Congreso de la República estipula, que no se podrán ejecutar trabajos y obras de exploración y explotación mineras, en zonas declaradas y delimitadas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables, o del ambiente (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2010).
- Los artículos 13 de la Ley 2 de 1959 del Congreso de Colombia, 6 del Decreto 622 de 1977 y 39 del Decreto 2372 de 2010, donde el Presidente de la República de Colombia con el objeto de conservar la flora y fauna nacionales, se declara "Parques Nacionales Naturales", se delimite y reserve de manera especial, por medio de decretos, en las distintas zonas del país y en sus distintos pisos térmicos, y en las cuales quedará prohibida la adjudicación de baldíos, las ventas de tierras, la caza, la pesca y toda actividad industrial, ganadera o agrícola, distinta a la del turismo o a aquellas que el Gobierno Nacional considere convenientes para la conservación o embellecimiento de la zona; además, para declararse área protegida se debe contar con concepto previo de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y naturales. Y se responsabiliza al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, INDERENA, reservar las diferentes áreas pertenecientes al Sistema de Parques Nacionales Naturales (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1959) (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1977) (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).
- El Decreto 622 de 1977 reglamentó el Decreto Ley 2811 de 1974, donde el Presidente de la República de Colombia establece reglas generales aplicables a los Parques Nacionales Naturales (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1977).
- Artículo literal a) del Decreto 2372 de 2010 por el Presidente de la República de Colombia, incluye áreas que conforman el Sistema de Parques Nacionales Naturales, siendo áreas públicas protegidas, por tanto, se da cumplimiento de exigencias del Convenio antes mencionado. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

- El artículo 327 del Decreto 2811 de 1974 por el Presidente de la República de Colombia, define el Sistema de Parques Naturales como un conjunto de áreas con valores excepcionales para el patrimonio Nacional en beneficio de los habitantes de la nación y a sus características naturales, culturales o históricas (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1974).
- El artículo 328 del Decreto 2811 de 1974 por el Presidente de la República de Colombia, tiene como objetivo del Sistema de Parques Nacionales Naturales, la conservación de valores sobresalientes de fauna y flora, paisajes o reliquias históricas, culturales o arqueológicas, esto para brindarles un régimen especial de manejo, en una planeación integral, que posee principios ecológicos y que tiene como fin evitar el deterioro por la alteración de sistemas culturales de conocimiento y manejo asociados, esto contribuye a la preservación del patrimonio de la humanidad. (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1974)
- Los artículos 11 del Decreto 2372 de 2010 por el Presidente de la República de Colombia y 2 numeral 14 del decreto ley 3570 de 2011 por el Departamento Administrativo de la Función Pública, expone al Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible de responsable por reservar, delimitar, alinear y declarar áreas dentro del Sistema de Parques Nacionales Naturales (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2011).
- Decreto 2811 de 1974 por el Presidente de la República de Colombia, el cual estipula la protección al medio ambiente y el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1974).
- Decreto 1743 de 1994 por el Presidente de la República de Colombia, es el proyecto de Educación Ambiental para la educación formal e informal para la promoción de la educación ambiental (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1994).
- Decreto 1876 de 1979, el Ministerio de Agricultura adopta medidas en materia de recursos naturales marinos (Ministerio de Agricultura, 1979).
- Decreto 1978 de 1989 por el Presidente de la República de Colombia, regula el artículo 310 de los Recursos Naturales Renovables y la Ley 23 de 1973 del Congreso de Colombia, por tanto, este decreto ordena, planifica y regula el uso y manejo de recursos naturales y actividades económicas que se desarrollan (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1989).



- Decreto 1875 de 1979, el Ministerio de Agricultura define normas sobre la prevención de contaminación del medio marino y otras disposiciones, contaminación como introducción del hombre de sustancia que tienen efectos nocivos (Ministerio de Agricultura, 1979).
- En los artículos 79 y 80 de la Constitución Política de Colombia de 1991, declara como deberes del estado, encargarse de proteger la diversidad e integridad del ambiente, más específicamente se encarga de conservar las áreas de especial importancia ecológica, planificar el manejo y uso de los recursos naturales para así garantizar su conservación y restauración, prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer sanciones y exigir reparación de daños causados (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1991).
- El artículo 63 de la Constitución Política de Colombia de 1991, se les definió a los Parques Nacionales Naturales ser inalienables, imprescriptibles e inembargables (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1991).
- Resolución 0339 de 2013, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, reserva, delimita, alindera y declara al Parque Nacional Natural Corales de profundidad. Refiriéndose entonces al artículo 8 de la constitución política, que hace referencia a la obligación que tiene el estado y todas las personas de proteger las riquezas naturales de la nación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

### **Diseño metodológico**

La investigación tiene un enfoque de tipo mixto con alcance descriptivo-correlacional, dado que el objetivo, es la evaluación de la calidad de agua del Parque Nacional Corales de Profundidad en la montaña submarina “Bajo frijol”, a tres diferentes profundidades, a partir de tres fases. En las cuales se identifica y determina la composición de la comunidad de foraminíferos bentónicos, y mediante su aplicación en el FORAM Index se determina la calidad del agua marina a nivel nutrientes en el área de estudio.

El proyecto realizará un reporte de los resultados en un formato analítico lineal según el orden en el que se desarrollen. La principal característica del presente estudio, es que servirá como punto de partida de futuras investigaciones del área protegida en mención y de estudios acerca de arrecifes coralinos mesofóticos, y contribuirá al fortalecimiento de la toma de decisiones para el mejoramiento continuo del plan de manejo y el programa de control y monitoreo del parque.

Con el fin de analizar paso a paso de la metodología en función de las fases para el desarrollo de presente proyecto, se propone en la Tabla 1:

*Tabla 1: Alcance, unidad de análisis y técnicas de instrumento.*

Evaluar la calidad del agua	<b>FASE I</b>	<b>FASE II</b>
en un ambiente mesofótico de la montaña submarina	<b>Objetivo Esp 1</b>	<b>Objetivo Esp 2</b>
Bajo Frijol del Parque Nacional Natural Corales de Profundidad (PNNCPR) en el Caribe colombiano, a partir de la aplicación del FORAM Index (FI) como herramienta bioindicadora	Determinar la composición de la comunidad de foraminíferos bentónicos en los sedimentos marinos obtenidos a diferentes profundidades e implementar el FI como herramienta bioindicadora de calidad del agua.	Correlacionar la composición de la comunidad de foraminíferos bentónicos con las diferentes profundidades determinadas para la toma de sedimentos.
Enfoque	La presente investigación es de enfoque mixto, ya que para cumplir los objetivos se debe aplicar un diseño tanto cualitativo como cuantitativo de manera teórica, sistemática y empírica; se llevó a cabo un diseño mixto secuencial de un solo caso ya que el análisis cualitativo se desarrolló teniendo en cuenta los resultados cuantitativos obtenidos. Estos enfoques se representan en la toma de datos, la identificación, conteo y determinación de la composición de la comunidad de foraminíferos, hasta en la implementación del FORAM Index para la evaluación de la calidad del agua del parque. El	

	<p>enfoque cuantitativo analiza la situación desde una perspectiva objetiva, permitiendo generalizar los resultados obtenidos, a partir de la implementación de procedimientos estandarizados y su carácter deductivo, impidiendo que el investigador tenga influencia en los resultados según su criterio. Este enfoque se tuvo en cuenta en el objetivo 2, puesto que se requirió de la operación de datos obtenido de la recolección y análisis de datos numéricos para lograr su cumplimiento. El enfoque cualitativo puede desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Además, el enfoque se puede considerar holístico, debido a que se tomó el “todo” sin reducirlo al estudio de las partes (Sanpieri, 2003), ya que el proyecto no se limita en dar respuesta a la evaluación del FI o analizar la composición de la comunidad de foraminíferos, si no que busca generar la relación entre estos para la determinación de la calidad del ambiente mesofótico en el PNN Corales de Profundidad y la variabilidad respecto a la profundidad.</p>	
<p>Alcance</p>	<p>En la primera fase del proyecto el alcance fue descriptivo, debido a que se buscó caracterizar la comunidad de foraminíferos encontrados en los sedimentos asociados al ambiente mesofótico del PNN Corales de Profundidad y aplicar los resultados en la evaluación de la calidad del agua, a partir del FI.</p>	<p>Para esta segunda fase, el alcance es nuevamente descriptivo, debido que lo que se quiso investigar es si había una relación entre la composición de la comunidad foraminífera y la profundidad, a partir del análisis de la composición de la comunidad de foraminíferos encontrados, por medio de los índices de diversidad y análisis multivariados.</p>

Unidad de Análisis		La unidad de análisis durante toda la investigación es la montaña submarina Bajo Frijol, ubicada en el Parque Nacional Natural Corales de Profundidad en el Caribe Colombiano, en tres diferentes sitios de muestreo.	
Informantes		El proyecto no requirió la integración de informantes en vista de que el área de estudio se encuentra ubicado en mar abierto sin fines turísticos ni comerciales, hasta ahora. Se contó con el apoyo e interacción con Parque Nacional Natural Corales de Profundidad en el Caribe Colombiano.	
Recolección de información	Técnicas	Revisión cartográfica para la determinación de los puntos de muestreo; Toma de muestras y observación en campo; determinación de la calidad del agua, del FORAM Index como herramienta bioindicadora.	Índices de diversidad
	Instrumentos	Buceo de circulación cerrada y el FORAM Index como herramienta bioindicadora	Software PRIMER 5
Interpretación	Técnicas	Biodiversidad de la comunidad de foraminíferos	Calidad de sedimentos marinos.
	Instrumentos	Software PRIMER 5	FOREM index

Tabla 2: Sitios de muestreo, ubicación geográfica y profundidad.

Estación	Sitio de muestreo	Profundidad (m)	Ubicación geográfica	Fecha de recolección	Número de muestra	Etiqueta	Profundidad (m)	
Bajo Frijol	1	37	10°00'56.4"	3-jun-15	1	1a	37	
			N		2	3a		
			76°04'15.9"		3	4a		
			O		4	5a		
	2	43	43	10°00'56.5"	3-jun-15	1	1b	43
				N		2	2b	
				76°04'28.9"		3	3b	
				O		4	4b	
						5	5b	
	3	50-70	50-70	10°00'22.6"	4-jun-15	1	1c	50-70
				N		2	2c	
				76°09'33.7"		3	3c	
O				4		4c		
				5		5c		

*Dimensiones, variables e indicadores*

Con base en las técnicas de recolección y análisis de información que están expuestas en la siguiente tabla para el desarrollo de cada uno de los objetivos, es preciso determinar las variables e indicadores que se generan a partir de estas. Las anteriores le proporcionan valor al presente proyecto en la medida que se relacionan entre sí para dar soporte a los resultados obtenidos y facilitan su consecuente análisis basado en los enfoques de investigación que maneja el presente estudio, representado en la siguiente Tabla.

Tabla 3: Indicadores para el estudio de cada una de las variables.

Dimensión	Variable	Indicador
Ecológica	Calidad del agua a nivel nutrientes, en el ambiente mesofótico del Parque Nacional Natural Corales de Profundidad.	FORAM index $FI = (10xP_s) + (P_o) + (2xP_h)$ FI<2; indica condiciones de estrés que impiden el crecimiento coralino. 2<FI<4; indica condiciones que permiten el crecimiento, pero no el

desarrollo de los corales.

FI>4; indica condiciones favorables para el crecimiento, desarrollo y recuperación coralino.

(Hallock et al., 2003)

### *Área de estudio*

El Parque Nacional Natural Corales de Profundidad (PNNCPR), mediante la Resolución 0339 del 2013 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se reserva, delimita, alindera y declara con un área aproximada de ciento cuarenta y dos mil ciento noventa y dos punto quince hectáreas (142.192.15 ha). Ubicadas entre los 76° 17' 41.091" longitud oeste, 10° 7' 30.277" latitud norte y los 9° 43' 16.591" latitud oeste, 76° 0' 16.254" latitud norte (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

Dicha área, hace parte de la cuenca del Gran Caribe y se encuentra ubicado en el Caribe Colombiano a una distancia aproximada de 12 km del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo y a 32 km aproximadamente del punto más cercano en el continente (Península de Barú). El PNNCPR pertenece al sistema costero Archipiélagos Coralinos (ARCO) y del sistema Caribe Oceánico (COC) y se extiende frente a las costas de los departamentos de Bolívar, Sucre y Córdoba (Parques Nacionales Naturales de Colombia, última actualización, 2016), como puede observarse en la Figura 2. Adicionalmente, más del 45% del PNNCPR se encuentra inmersa dentro del Área Marina Protegida Archipiélago del Rosario y San Bernardo, favoreciendo procesos biológicos y posibilitando la conectividad ecológica y la conservación de otros sistemas como el Parque Nacional Natural Los Corales del Rosario y de San Bernardo y el Santuario de Fauna y Flora El Corchal “Mono Hernández” (Parques Nacionales Naturales de Colombia, última actualización, 2016).

Hasta la fecha, por medio de una exploración con buceo de circulación cerrada en la parte más somera de la montaña submarina Bajo Frijol (35 a 40 m), se identificó un tipo de arrecife coralino atípico el cual se caracteriza por grandes esponjas y ocasionalmente promontorios rocosos de origen coralino con presencia de corales zooxantelados, en un sustrato de arena blanca gruesa de origen calcáreo cubierto por diversas algas. Allí se evidencian fondos de bajo relieve, cubiertos

primordialmente por rodolitos (Corallinacea) y cascajo con una alta cobertura de algas. También es común encontrar grandes esponjas barril (*Xestospongia muta*), entre otras esponjas, el octocoral *Pterogorgia citrina* y el coralimorfario *Ricordea florida* (en varias coloraciones) (Sánchez et al., 2014). Finalmente, aunque las observaciones deben considerarse como preliminares, es claro que esta zona contiene una gran biomasa de peces y son un refugio natural de especies que son muy escasas en el resto de la costa Caribe colombiana (e.g. el caracol pala *Strombus gigas*). (Mumby et al. 2006)

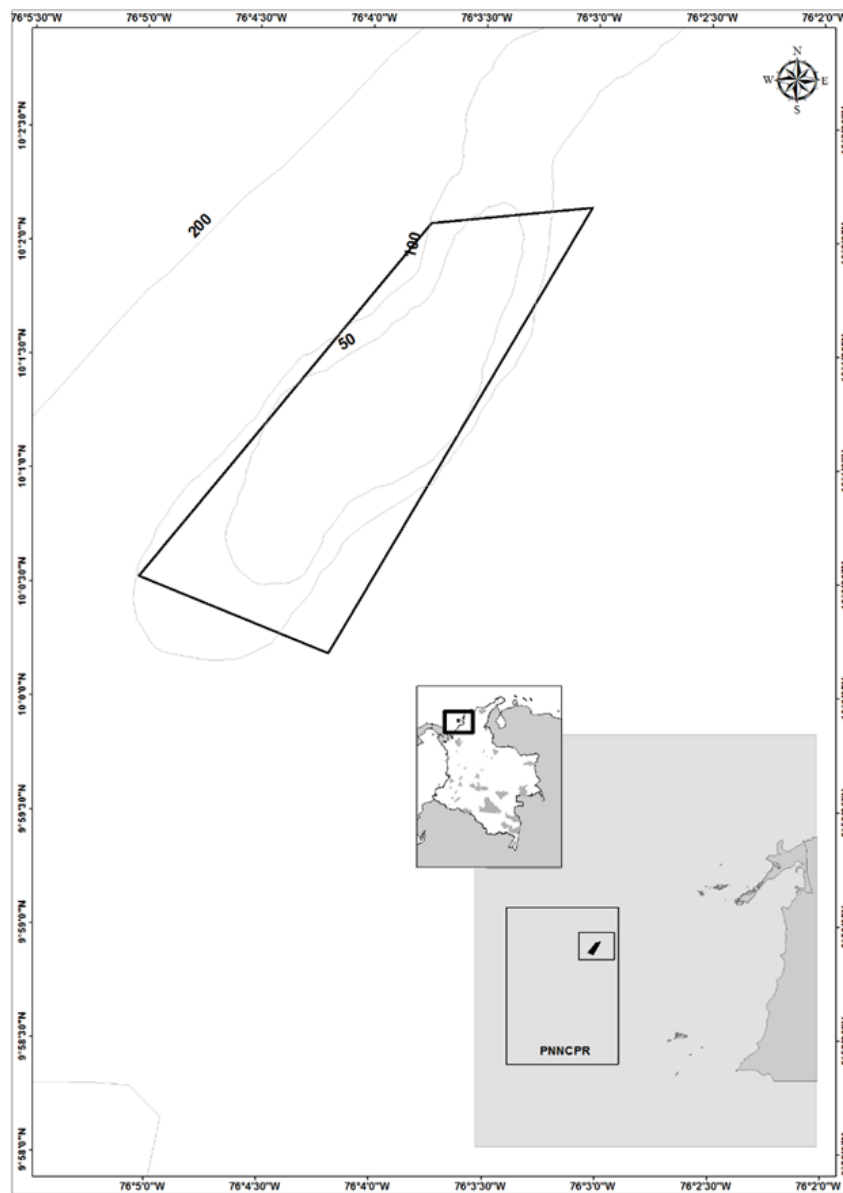


Figura 2: Delimitación del Parque Nacional Natural Corales de Profundidad, Caribe Colombiano (Henao, 2016).

## Metodología

- *Etapa de campo*

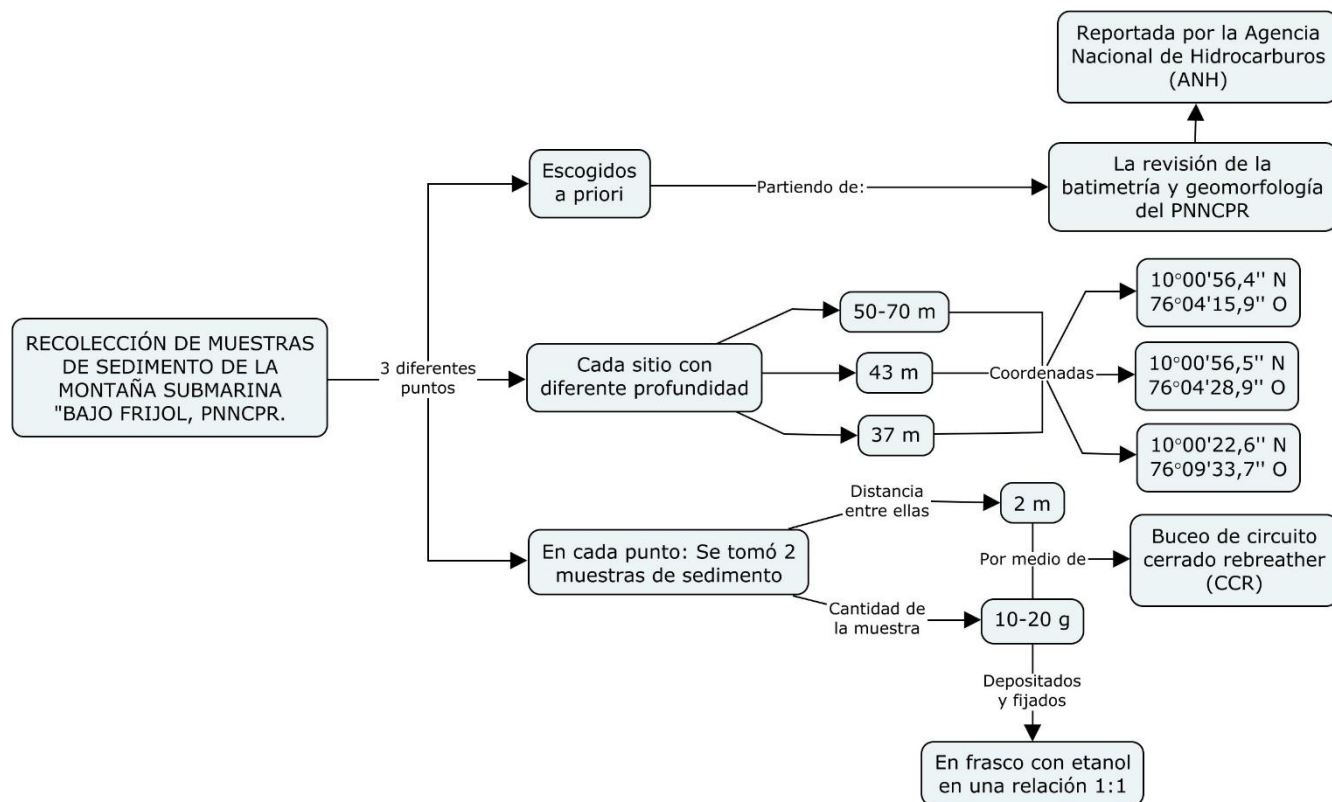


Figura 3: Metodología de recolección de los sedimentos superficiales de la cima de la montaña submarina Bajo Frijol, en el Parque Nacional Natural Corales de Profundidad (Velásquez et al., 2011).

La toma de muestras fue realizada entre el 3 y 4 de junio del año 2015 como puede observarse con mayor detalle en el anexo 1, se requiere de tecnología de punta para la inmersión, dada la profundidad de los sitios de muestreo determinados. En cuanto a la técnica de recolección, la toma de sedimentos fue realizado manualmente por Juan Armando Sánchez, director del laboratorio BIOMMAR, y almacenados inmediatamente con etanol en una relación 1:1, para su posterior análisis en laboratorio.



Dicha metodología fue realizada por PNN CPR, en la salida de campo de reconocimiento de área de estudio, para su posterior entrega a la Universidad de los Andes.

- *Etapas de laboratorio*

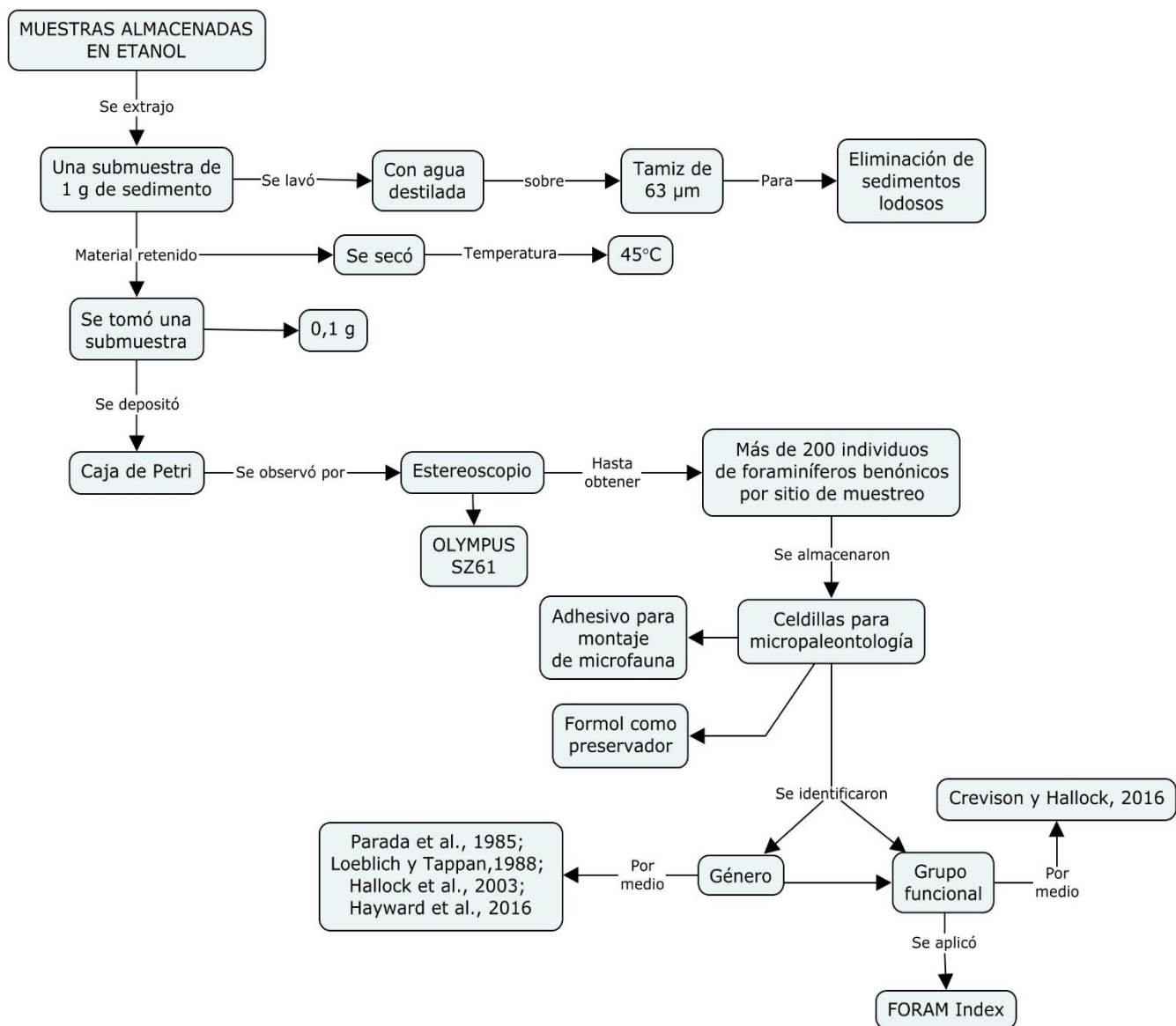
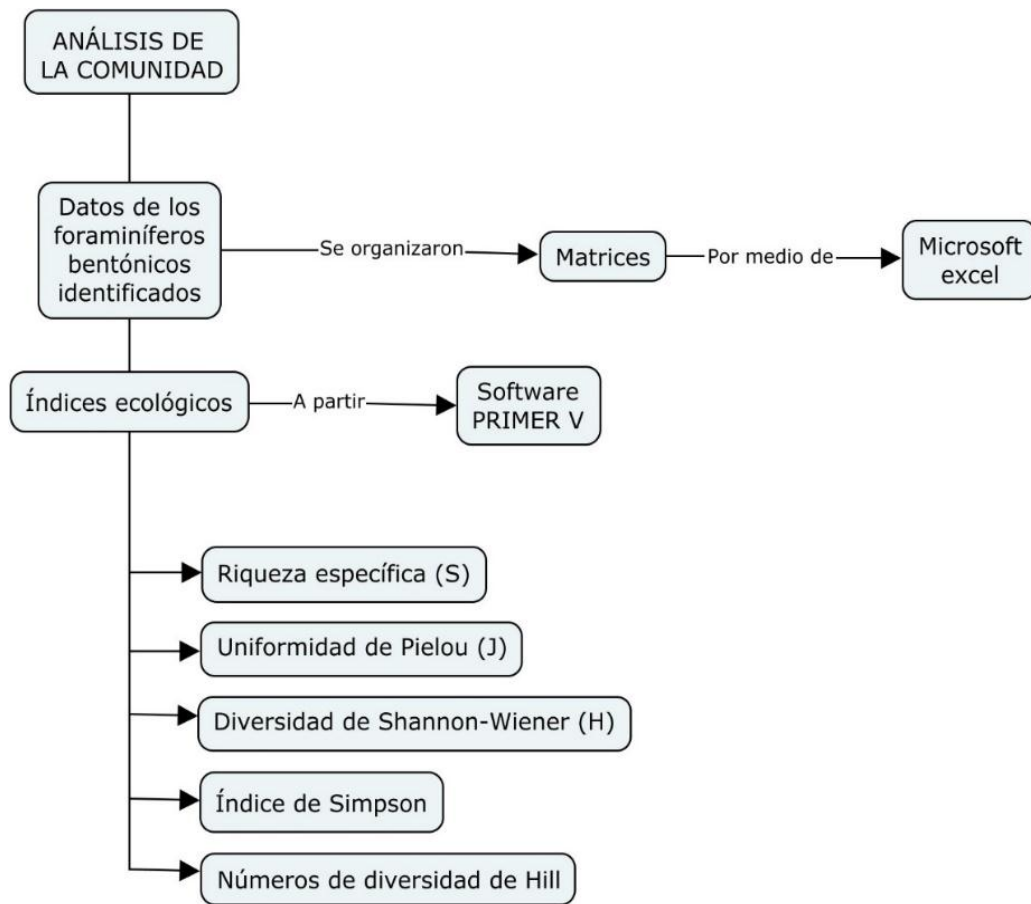


Figura 4: Metodología para identificación de especies de foraminíferos bentónicos encontrados en las muestras tomadas en la montaña submarina Bajo Frijol, en el PNN CPR. (Hallock, P., 2012)

La Universidad de los Andes entregó a la Universidad El Bosque 14 muestras secas de sedimentos tomados en la montaña submarina Bajo Frijol en el PNN CPR, identificados en el anexo 1, para su

posterior análisis en el laboratorio de Química Ambiental, con el fin de desarrollar el FORAM Index y la determinación de la comunidad de foraminíferos bentónicos.

- *Fase de Gabinete*



*Figura 5: Metodología para análisis de la comunidad de foraminíferos bentónicos encontrados en los sedimentos de la montaña submarina Bajo Frijol, en PNNCPR. (Henao, 2008; Gómez, 2015)*

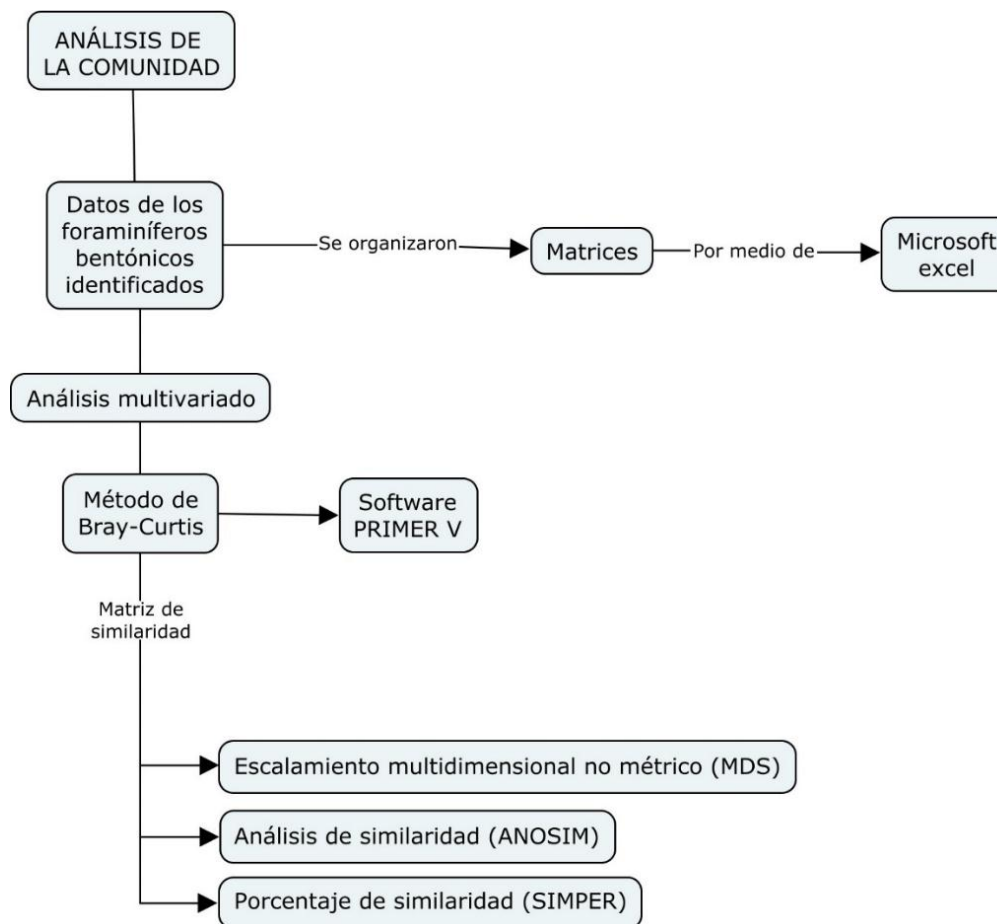


Figura 6: Metodología para el análisis multivariado, para la determinación de similitud entre las muestras tomadas en la montaña submarina Bajo Frijol en el PNNCPR. (Hallock, 2012; Henao, 2008)

## Resultados

### FORAM Index (FI)

Se analizaron 14 muestras de sedimento tomadas en junio de 2015, en las que se encontraron de 788 individuos de foraminíferos bentónicos. Se presentaron 4 géneros de foraminíferos simbióticos, 4 oportunistas y 27 de otros pequeños heterótrofos, para un total de 35 géneros, como se reporta en la Tabla 4. El género más abundante fue *Amphistegina spp.* en los simbióticos con un total de 414 individuos, equivalente al 52,5%; *Elphidium spp.* en los oportunistas con un total de 7 individuos, representando el 0,9%; y en los otros pequeños heterótrofos *Cibicides spp.* con 63 individuos, *Rosalina spp.* con 62, *Triloculina spp.* con 59, *Quinqueloculina spp.* con 48 y *Discorbis spp.* con 26 representando el 8%, 7,9%, 7,5%, 6,1% y el 3,3% del total de la muestra respectivamente (imágenes de foraminíferos bentónicos mencionados anexo 2). Por lo mencionado anteriormente puede

deducirse que la comunidad de foraminíferos encontrados se encuentra dominado por 7 géneros, los cuales conforman el 86,2% del muestreo; sin embargo, la dominancia en los grupos funcionales fue de otros pequeños heterótrofo con 353 individuos (44,8%), en comparación con los simbiótico y los oportunistas, con un total de individuos de 420 (53,3%) y 15 (1,9%) respectivamente.

Tabla 4: Clasificación de los foraminíferos bentónicos por grupo funcional y género en los tres puntos de muestreo y sus respectivas replicas.

Grupo funcional	Género	PNN CPR																		Total
		Profundidad																		
		a=37 m					b=43 m					c= 50-70 m								
		1	3	4	5	total	1	2	3	4	5	total	1	2	3	4	5	total		
Simbióticos	Amphistegina	33	24	30	40	127	37	17	23	28	46	151	35	22	23	23	33	136	414	
	Peneroplis				1	1			1			1					1	1	3	
	Archaias				1	1						0						0	1	
	Asterigerina					0						0	2					2	2	
Oportunistas	Elphidium	1	2			3			1			1			2		1	3	7	
	cribroelphidium			1		1	1	1				2						0	3	
	Ammonia					0			3	1		4						0	4	
	Bolivina					0						0	1					1	1	
Otros pequeños heterótrofos	Nonionella	4	1			5				1		1						0	6	
	Quinqueloculina	9	4		1	14	4	9	7	6	2	28	8	1	1	7		17	59	
	Triloculina	5		7		12		6	1	4	8	19			3	2	12	17	48	
	Spiroloculina	2	1			3					1	1						0	4	
	Textularia	1	1		1	3						0			1			1	4	
	Discorbis	5		3	2	10	2	1		3	2	8	4	1	1	2		8	26	
	Scutularis	2			1	3						0		2			1	3	6	
	Spirillina		1	2		3						0		1			3	4	7	
	Cibicides		6	3	5	14	5	6	3		1	15	5	9	1	9	10	34	63	
	Lituotuba			1		1	1					1						0	2	
	Pyrgo			1		1						0						0	1	
	Rosalina			1	3	4	1	1		4		6		7	7	18	20	52	62	
	Sigmoilina		1		1	2	2					2		1			1	2	6	
	Poroepionides		1		3	4		2	1	4	5	12		3	1	1	3	8	24	
	Bolivinita					0		1		1		2			1			1	3	
	cyclogyra					0		2				2	2					2	4	
	Articulina					0			2		1	3	1	1			1	3	6	
	Miliolinella					0		2	1			3			1		1	2	5	
	Eponides					0			2			2	1					1	3	
	Nodobaculariella					0				2		2						0	2	
	Pateoris					0					1	1						0	1	
	Globocassidulina					0						0	2	1				3	3	
	Reussella					0						0			1	1		2	2	
Bronnimannia					0						0			1		1	2	2		
Siphonina					0						0				1		1	1		
Hauerina					0						0					1	1	1		
Pseudoeponides		1			1						0					1	1	2		
																			788	

Las tres profundidades sobrepasaron un  $FI > 4$ , indicando que las condiciones son adecuadas para crecimiento y desarrollo coralino, siendo mayor a 43 m de profundidad y menor a 50-70 m, como puede observarse en la Figura 7.

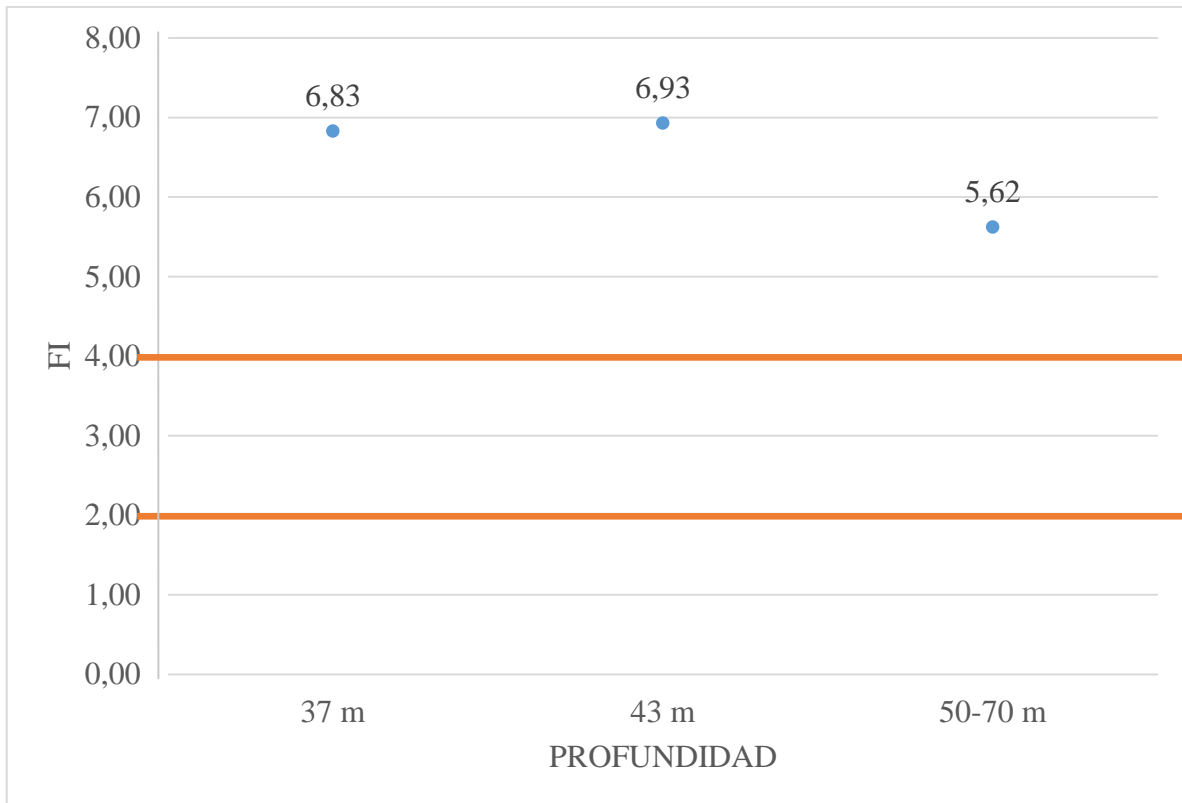


Figura 7: Valores promedio del FORAM Index (FI) en las tres profundidades muestreadas. Las líneas horizontales representan los valores en la escala del FI.

#### *Diferencia entre profundidades*

Como se puede observar en la Tabla 5, se identificaron los géneros de foraminíferos bentónicos encontrados en los diferentes sitios de muestreo, siendo la profundidad entre 50-70 m de profundidad, la que presentó mayor diversidad, y a los 37 m, se presentó menor diversidad de géneros.

Tabla 5: Presencia-ausencia de los diferentes géneros de foraminíferos bentónicos en los diferentes puntos de muestreo.

PNN CPR						
Grupo funcional	Orden	Familia	Género	Profundidad		
				a = 37m	b = 43 m	c= 50-70 m
simbióticos	Rotaliida	Amphisteginidae	<i>Amphistegina</i>	x	x	x
	Miliolida	Peneroplidae	<i>Peneroplis</i>	x	x	x
	Miliolida	Sonitidae	<i>Archaias</i>	x		
	Rotaliida	Amphisteginidae	<i>Asterigerina</i>			x
oportunistas	Rotaliida	Elphidiidae	<i>Elphidium</i>	x	x	x
	Rotaliida	Elphidiidae	<i>cribroelphidium</i>	x	x	
	Rotaliida	Rotaliidae	<i>Ammonia</i>		x	
	Rotaliida	Bolivinitidae	<i>Bolivina</i>			x
Otros pequeños heterótrofos	Rotaliida	Elphidiidae	<i>Nonionella</i>	x	x	
	Miliolida	Miliolidae	<i>Quinqueloculina</i>	x	x	x
	Miliolida	Miliolidae	<i>Triloculina</i>	x	x	x
	Miliolida	Spiroloculinidae	<i>Spiroloculina</i>	x	x	
	Textulariina	Textulariidae	<i>Textularia</i>	x		x
	Rotaliida	Discorbidae	<i>Discorbis</i>	x	x	x
	Miliolida	Miliolidae	<i>Scutularis</i>	x		x
	Spirillinida	Spirillinidae	<i>Spirillina</i>	x		x
	Rotaliida	Cibicididae	<i>Cibicides</i>	x	x	x
	Lituolida	Lituotubidae	<i>Lituotuba</i>	x	x	
	Miliolida	Hauerinidae	<i>Pyrgo</i>	x		
	Rotaliida	Rosalinidae	<i>Rosalina</i>	x	x	x
	Miliolida	Hauerinidae	<i>Sigmoilina</i>	x	x	x
	Rotaliida	Eponididae	<i>Poroeponides</i>	x	x	x
	Rotaliida	Bolivinitidae	<i>Bolivinita</i>		x	x
	Miliolida	Cornuspiridae	<i>cyclogyra</i>		x	x
	Miliolida	Hauerinidae	<i>Articulina</i>		x	x
	Miliolida	Hauerinidae	<i>Miliolinella</i>		x	x
	Rotaliida	Eponididae	<i>Eponides</i>		x	x
	Miliolida	Fischerinidae	<i>Nodobacularella</i>		x	
	Miliolida	Miliolidae	<i>Pateoris</i>		x	
	Rotaliida	Cassidulinidae	<i>Globocassidulina</i>			x
	Rotaliida	Reussellidae	<i>Reussella</i>			x
	Rotaliida	Bronnimanniidae	<i>Bronnimannia</i>			x
	Rotaliida	Siphoninidae	<i>Siphonina</i>			x
	Miliolida	Hauerinidae	<i>Hauerina</i>			x
Rotaliida	Epistomariidae	<i>Pseudoeponides</i>	x		x	

En la figura 8, se representa la contribución por grupo funcional del número de individuos de los foraminíferos bentónicos en las tres profundidades muestreas.

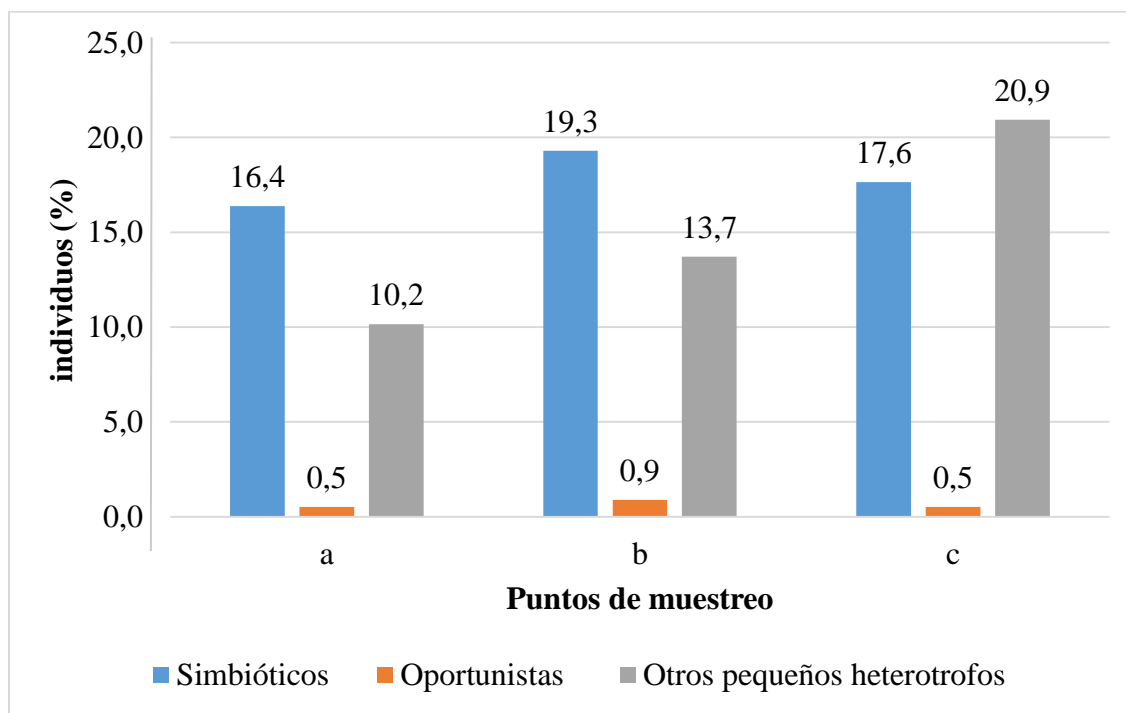


Figura 8: Porcentaje del número de individuos por grupo funcional en los tres puntos de muestreo, en la montaña submarina Bajo Frijol.

Los índices de diversidad de la Tabla 6, muestran que tanto la riqueza de especies (S) como la diversidad de Shannon-Wiener, tuvieron los valores mínimos en el sitio A (S=20 y H=1,70) y sus máximos en el sitio C (S=26 y H=2,00). Siendo el sitio C, la mayor profundidad del muestreo (50m-70m), representando no solo la mayor riqueza, sino también la mayor abundancia; se considera, además, el punto de mayor diversidad debido a que presenta una alta uniformidad (J=0,61) y el más bajo predominio (Lambda´=0,24).

Tabla 6: Índices de diversidad aplicados a las muestras en las tres profundidades.

Sitio	S	N	J	H	Lambda´	N1	N2
A	20	213	0,57	1,70	0,37	5,50	2,69
B	22	267	0,57	1,75	0,34	5,74	2,91
C	26	308	0,61	2,00	0,24	7,36	4,10

A partir del dendrograma de similaridad representado en la Figura 10, se presentó una similitud de la composición de la comunidad de foraminíferos del 58% en todas las muestras, en los cuales se determinaron tres grupos. La similitud existente entre dichos grupos puede deberse a los géneros *Amphistegina spp.*, *Quinqueloculina spp.*, *Triloculina spp.*, *Rosalina spp.*, *Cibicides spp.* y *Discorbis spp.*, que se encuentran en todas o casi todas las muestras, como puede observarse en la Figura 9 (SIMPER, contribución de especies). Según el dendrograma de Bray-Curtis, no se puede observar una diferencia clara, principalmente entre los puntos A y B; con el fin de buscar una tendencia, se puede inferir que la separación entre los diferentes puntos puede deberse en parte a especies exclusivas en cada punto como *Discorbis spp.*, *Triloculina spp.* y *Rosalina spp.*

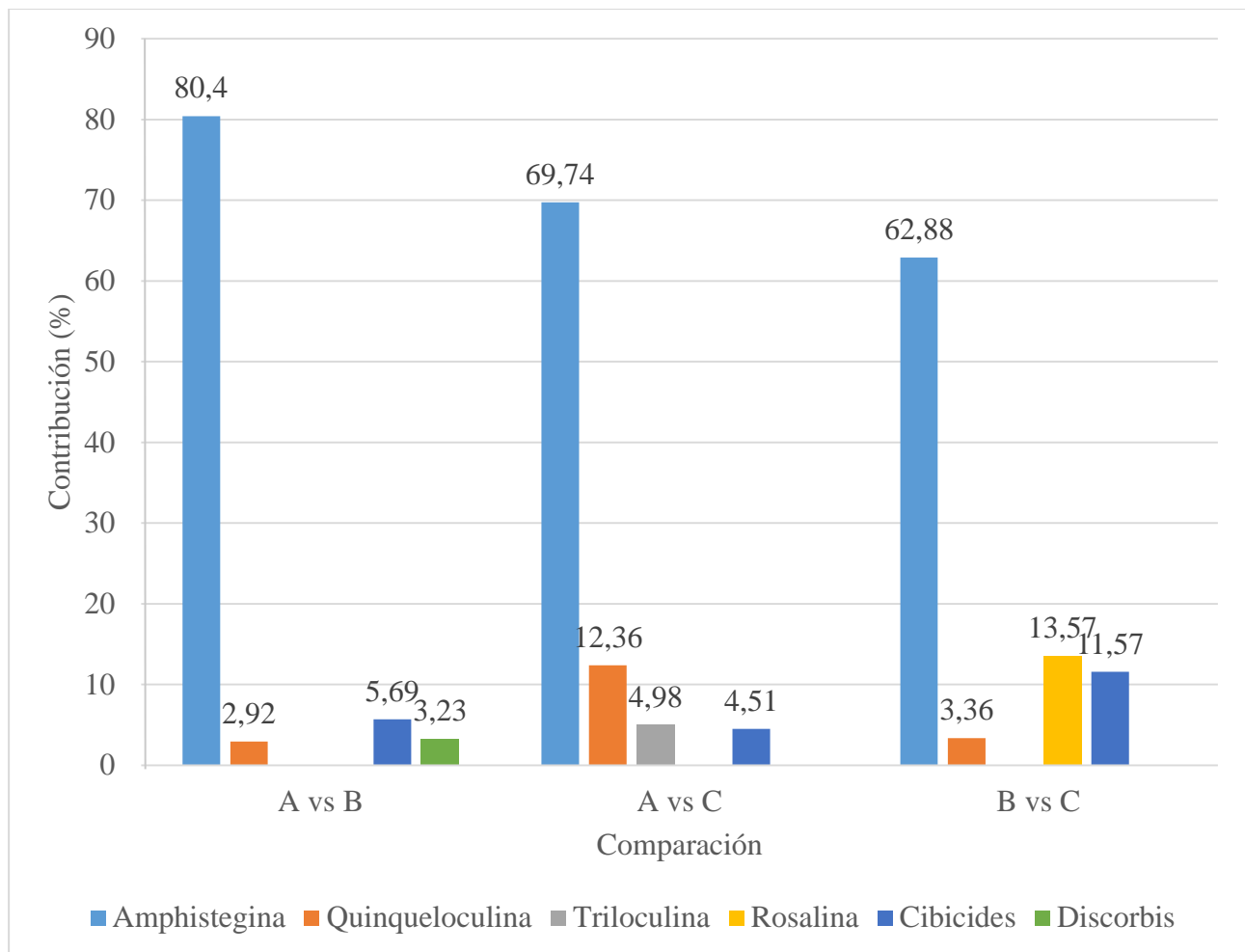


Figura 9: Porcentaje de contribución de los géneros con mayor abundancia en los diferentes puntos de muestreo, dados por SIMPER (porcentaje de similitud).



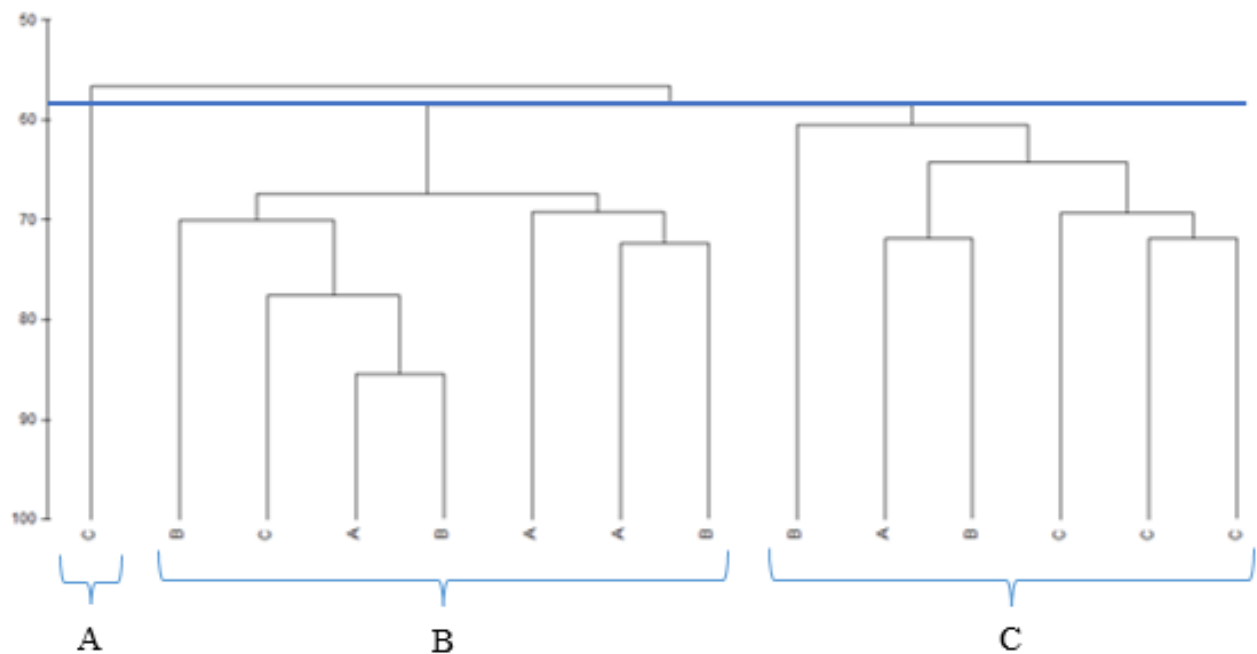


Figura 10: Dendrograma del análisis de clasificación basado en el coeficiente de Bray-Curtis.

El análisis de similitud ANOSIM, representando los resultados en la Tabla 7, dio un nivel de significancia de 27,9% para el análisis global, con un R global de 0,067. Asimismo, para el grupo A-B un R global de -0,203 y un nivel de significancia de 89,7% y para los grupos A-C y B-C, valores de 0,141 y 20,6% y 0,212 y 27,9% respectivamente. Por lo mencionado anteriormente, se deduce que no existen diferencias significativas en la comunidad de foraminíferos bentónicos entre los sitios de muestreo.

Tabla 7: ANOSIM cruzando los tres grupos indicando los valores R Global y el Nivel de significancia correspondiente.

Grupo	Estadístico Global ( R )	Nivel de significancia P (%)
A-B	-0,203	89,7
A-C	0,141	20,6
B-C	0,212	11,1
<b>Análisis global</b>	0,067	27,9

El escalamiento multidimensional no métrico (MDS) presentó coeficiente de stress de 0,16, indicando ser una representación potencialmente útil. Se puede observar en la Figura 11, la cual grafica el grado de similitud entre los sitios de muestreo, siendo los puntos de muestreo A y B los sitios con mayor similitud respecto a los foraminíferos encontrados en cada uno. A pesar que no se presentaron diferencias significativas en el ANOSIM, se aprecia una separación en el sitio C respecto a los demás.

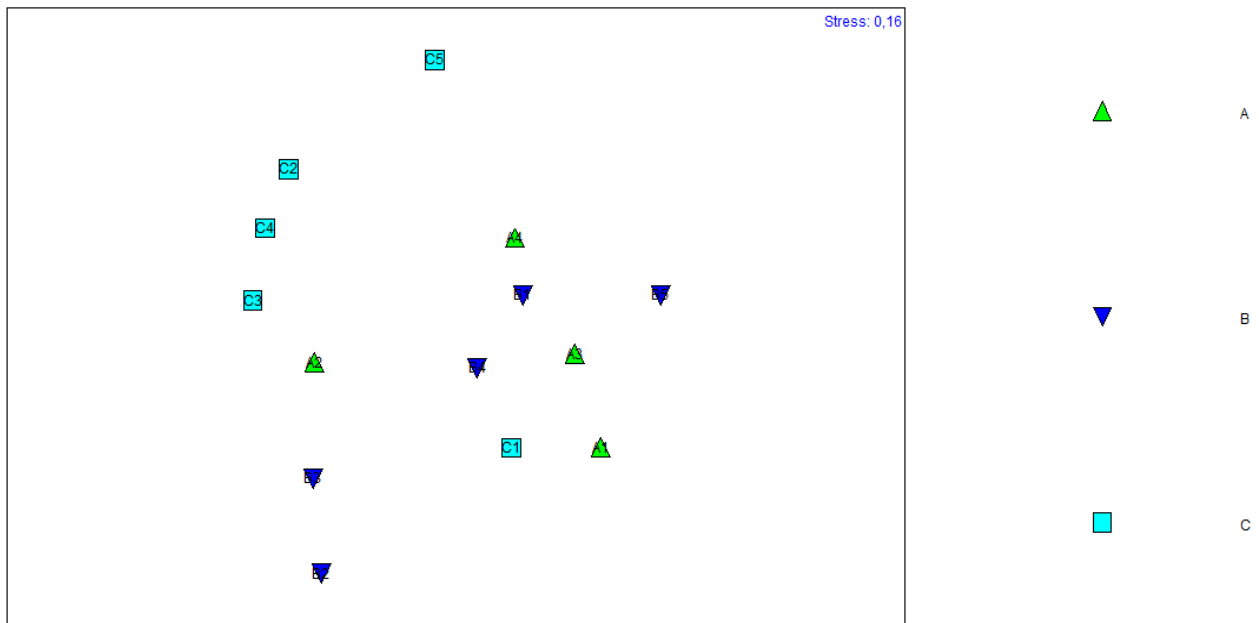


Figura 11: Escalamiento multidimensional no métrico (MDS) de los puntos de muestreo ubicados en la montaña submarina Bajo Frijol en Parque Nacional Natural Corales de Profundidad

### Análisis de resultados

#### FORAM Index

La evaluación de la calidad del agua marina en el Parque Nacional Natural Corales de Profundidad, en la montaña submarina Bajo Frijol en las tres profundidades muestreadas, a través del FORAM Index, demostró estar en óptimas condiciones para el crecimiento y desarrollo coralino, lo que sugiere que es probable que en esta zona se presenten bajas concentraciones de nutrientes, permitiendo de igual manera tener la capacidad de resiliencia del ecosistema (Hallock et al, 2003). Lo anteriormente mencionado se evidencia en los promedios del FI obtenidos en los sitios de muestreo, como se representa en la Figura 5, debido a que sus valores fueron mayores a 4,

evidenciando la ausencia de aportes de nutrientes que afecten al ecosistema, de naturaleza antrópica, siendo esta una de las principales causas de amenaza de estos ecosistemas (Hallock et al, 2003), soportando la proliferación de mixótrofos calcificantes (Hallock, 2012), y confirmando los resultados obtenidos por Gómez (2015), en el cual se expuso que PNNCPR posee una calidad del agua de un FI>4.

La composición a nivel de grupo funcional, orden, familia y género encontrada en el área de estudio (Tabla 2), es consistente con lo reportado en zonas arrecifales someras de distintos sitios (Parada et al., 1985; Loeblich y Tappan, 1988; Hallock et al, 2003; Hayward et al., 2016; Crevison y Hallock, 2016). El género con mayor abundancia fue *Amphistegina spp.*(imagen anexo 2), perteneciente al grupo funcional de foraminíferos simbióticos, siendo contemplada anteriormente su importancia como bioindicador de buena calidad del agua por Hallock (1996), por ende, se obtuvo un alto FI en los sitios de muestreo; este género es muy abundante en ambientes arrecifales saludables, como se mencionó anteriormente, debido a la poca acumulación de materia orgánica (Hallock, 2000).

El uso de los foraminíferos como indicador de las condiciones del ecosistema fue satisfactorio en este estudio, dado que se capacidad de resiliencia de los corales, como lo estable Hallock (2003); presentándose una dominancia de los foraminíferos simbióticos representando un buen estado de salud del ecosistema (Hallock, 1982, citado por Velásquez et al., 2011); se demuestra que este ecosistema no se ha visto afectado por actividades antrópicas como el turismo, pesca y aumento poblacional, en comparación con el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, el cual se ha visto afectado por la descarga del Río Magdalena (Restrepo et al., 2006, citado por Velásquez et al., 2011; Henao, 2013). Los Parques Nacionales de Colombia se han deteriorado, debido a la carga turística y a un manejo inadecuado (Velásquez et al., 2011), por ende, se debe contribuir a la investigación, en el estudio de ecosistemas que aporten información fundamental para el fortalecimiento de toma de decisiones, para contribuir al plan de manejo y programa de control y monitoreo, herramientas de la gestión ambiental, para que no se vean afectados el patrimonio nacional y la búsqueda del desarrollo sostenible.

Los resultados obtenidos del FI en el PNNCPR, están relacionados con la alta presencia de foraminíferos simbióticos (Tabla 3; Figura 6), lo cual deja en evidencia del estado sano del

ecosistema y permite inferir que ha estado poco vulnerado por descargas contaminantes, causantes de la acumulación de materia orgánica, la cual limita la entrada de luz, impidiendo los procesos fotosintéticos en profundidad (Cockey et al., 1996); disminuyendo la comunidad bentónica dependientes de la luz como los foraminíferos simbióticos y los corales zooxantelados (Hallock, 2012).

El área de estudio al no contener porción de tierra emergida y al tener altos niveles de FI, permite deducir que conserva su buena calidad por no verse afectada debido a las actividades socioeconómicas al turismo y al no tener fuentes de descarga a una distancia que puede vulnerarla. Según Gómez (2015), PNNCPR tiene un  $FI > 4$ , debido a que las condiciones oceanográficas locales contribuyen a que los nutrientes de origen antrópico no lleguen a perjudicar dicha zona; por ende, presenta menor turbidez, disponibilidad de nutrientes inorgánicos, poca disponibilidad de materia orgánica y sedimentos finos (Schueth y Frank, 2008; Oliver et al, 2014; Uthicke y Nobes, 2008; Uthicke et al, 2010; citado por Gómez, 2015). Sin embargo, el Caribe Colombiano se encuentra influenciado por la Zona de Convergencia intertropical (ZCIT) y por el movimiento meridional del sistema de monzones americanos, y en la cuenca del Caribe interviene los vientos alisios (Andrade, C. A., 2000).

El muestreo fue realizado en el mes de junio del año 2015, siendo considerado periodo de transición (junio-agosto), los vientos no superan los 10 nudos y las precipitaciones no sobrepasan de los 120 mm/mes. Por lo que no debe discriminar muestreos en periodos más húmedos, los cuales se ven caracterizados por el aumento de las descargas tanto del canal del Dique como del Río Magdalena, y de los periodos secos, en donde los vientos alisios generan el desarrollo de la Corriente del Caribe. (Arias, F., 1998)

#### *Diferencia entre sitios de muestreo*

Los índices de diversidad representados en la Tabla 4, muestran que la diversidad de los foraminíferos bentónicos es mayor en la profundidad del sitio C ( $S=26$ ;  $H=2,0$ ), puesto que según Ramírez (2006), la diversidad entre 1,8 y 2,1, se considera una diversidad media, a diferencia de las otras dos profundidades, ya que presentan una diversidad menor a 1,8; confirmando que la diversidad y la profundidad son directamente proporcional, según lo expuesto en la literatura. Sin embargo, se

debe realizar un seguimiento con el fin de confirmar lo mencionado anteriormente, y fortalecer el programa de control y monitoreo.

No obstante, la calidad del agua y la diversidad, aparentan ser inversamente proporcionales, basados en Hinderstein et al. (2010), quien afirma que a mayor profundidad mayor diversidad, y en Hallock (2003), la cual sugiere que la calidad no cambia con la profundidad; demostrado por medio de los resultados obtenidos, presentando la profundidad del sitio C, la mayor diversidad y al mismo tiempo la menor calidad.

Mediante el MDS (Figura 11) se puede observar que no hay separación entre las muestras teniendo como factor los sitios de muestreo. Esto podría ser consecuencia de la cercanía entre los sitios de donde se extrajeron las muestras, demostrando que la composición de la comunidad de foraminíferos bentónica es homogénea, principalmente entre la profundidad del sitio A y el B. Se presentó un nivel de stress del 0,16; indicando ser una buena representación de la ordenación de las muestras para determinar su similaridad (Moreira, 2009). Con el fin de buscar una tendencia, se puede inferir que la separación entre los diferentes puntos puede deberse ya sea por la alta abundancia de foraminíferos simbióticos como *Amphistegina spp.*, o en parte a géneros exclusivos en cada punto como *Discorbis spp.*, *Triloculina spp.* y *Rosalina spp.*, concordando con los resultados de Gómez (2015), en donde estos géneros tuvieron mayor abundancia.

El análisis de similaridad ANOSIM, dio un nivel de significancia de 27,9 %, con un R global de 0,067 (Tabla 5), por lo que se rechaza la segunda hipótesis, indicando que no existen diferencias entre los cambios de profundidad, como lo sugiere Hallock (2003). Sin embargo, no pueden ser interpretados como ensamblajes independientes, ya que de acuerdo con Schiller (2003), dos grupos que se están comparando sólo pueden ser considerados totalmente diferentes cuando los valores de R están entre 0,75 y 1.

A partir del análisis de contribución de especies (SIMPER), en este caso, se determinaron los géneros que presentaron mayor abundancia, siendo *Amphistegina spp.*, *Quinqueloculina spp.*, *Triloculina spp.*, *Rosalina spp.*, *Cibicides spp.* y *Discorbis spp.* (Figura 7). De éstas, *Amphistegina spp.* resultó ser el género dominante, generando un aporte significativo en la disminución de la

similaridad entre las muestras, como también reportó Velásquez et al. (2011) y Gómez (2015). Adicionalmente, dicho género sugiere que las condiciones del agua son oligotróficas (Reymond et al., 2012). Por otro lado, los demás géneros pertenecen al grupo funcional de otros pequeños heterótrofos, los cuales su abundancia es asociada con el flujo o el tiempo de permanencia de nutrientes y, la presencia de micro algas, macro algas y heterótrofos mixótrofos no calcificantes como las esponjas. (Hallock, 2000).

Por medio de los resultados obtenidos se puede dar soporte de lo propuesto por Gómez (2015), formulando al PNNCPR como una estación de control de calidad para los ecosistemas de arrecifes coralinos aledaños como los de los Archipiélagos del Rosario y San Bernardo, así como aquellos presentes en Isla Barú y el Canal del Varadero, dado su alto FI ( $>4$ ), diversidad ( $>2$ ) y por no presentar diferencias significativas entre los sitios de muestreo. Sin embargo, esto debe ser apoyado por un mayor número de muestreos y análisis, con el fin de dar un mayor soporte para fortalecer la toma de decisiones del Parque Nacional Natural Corales de Profundidad.

### **Conclusiones**

- El PNNCPR presenta buena calidad del agua marina, demostrando que no hay un aporte de nutrientes significativo al ecosistema, con un  $FI > 4$ , afirmando la primera hipótesis e indicando condiciones favorables para el crecimiento y recuperación coralino.
- El agua del Parque puede considerarse con características oligotrófica, debido a la alta abundancia de foraminíferos simbióticos, siendo estos exclusivos de áreas con baja concentración de materia orgánica.
- La composición de la comunidad no se ve alterada con la profundidad en el ecosistema mesofótico estudiado del PNNCPR.

### **Recomendaciones**

Para el fortalecimiento de la toma de decisiones y del plan de manejo, se debe implementar el FORAM Index como variable en el programa de monitoreo del PNNCPR, siendo aplicado periódicamente con la idea de llevar un seguimiento y poder analizar los gradientes de variación. Además, se deben realizar toma de muestras en mayor cantidad de sitios y con una mayor variación de profundidad, en periodos húmedos y secos, con el fin de realizar un análisis más completo teniendo en cuenta el área del PNNCPR.

Asimismo, se debe tener en cuenta el número de individuos de la comunidad de foraminíferos bentónicos que se encuentran en malas condiciones (e.g. fisuras, orificios, desgaste, erosión, entre otros), debido a que según Hallock (2003), éstos representan la posible presencia de metales pesados -características geoquímicas del agua que afectan el ecosistema.

### **Bibliografía**

Acosta, N. C. (2004). Compendio de foraminíferos de Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1.

Agenda 21. (1992). Agenda 21. Brasil. Recuperado en 31, julio, 2016, con [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1718a21\\_summary\\_spanish.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1718a21_summary_spanish.pdf)

Alonso, D., Vides, M., Cedeño, C., Marrugo, M., Henao, A., Sanchez, J.A., Dueñas, L., Andrade, J.C.,

González, F., Gómez, M. (2015). Parque Nacional Natural Corales de Profundidad: descripción de comunidades coralinas y fauna asociada. Santa Marta: Serie de Publicaciones Generales del Invemar No. 88.

Alvarado, E., Abello, M., McRae, E., Baquero, J., McAllister, D. (2004). Manual de cuidados para los Arrecifes de coral del Gran Caribe. Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Andersen, J., Schlüter, L., A Ertebjerg, G. (2006). Eutrofización costera: evolución reciente de las definiciones e implicaciones para las estrategias de vigilancia. *Journal of Plankton Research*; 28(7): 621-628.

Andrade, C. A. (2000). Circulation and variability of the Colombian Basin in the Caribbean Sea, tesis de grado. Universidad efe Gales, 223 p.

Arias, F. (1998). Condiciones Oceanográficas del Caribe colombiano. Colombia, Patria de Tres Mares. Lisboa, España. ExpoLisboa 98; 31-80.

Burke, L., Reytar, M., Spalding y Perry, A. (2011). Reefs at risk revisited. Washington, D.C.: World Resources Institute.

Burton, J. (2003). Integrated Water Resources Management on a Basin Level: A training manual. UNESCO, 240.

Cai, W. J., Hu, X., Huang, W. J., Murrell, M. C., Lehrter, J. C., Y Otros. (2013) Acidification of subsurface coastal waters enhanced by eutrophication. Recuperado en 31, julio, 2016, con <http://www.nature.com/naturegeoscience>

Cockey, E., Hallock, P., y Lidz, B. H. (1996). Decadal-scale changes in benthic foraminiferal assemblages off Key Largo, Florida. *Coral Reefs*, 15(4), 237–248.

Cooper, T. F., Gilmour, J. P., y Fabricius, K. E. (2009). Bioindicators of changes in water quality on coral reefs: review and recommendations for monitoring programmes. *Coral Reefs*, 28(3); 589–606.

Crevison, H., Hallock, P. (s.f.). Key subtropical weatern atlantic and caribbean taxa. College of Marine Science University of South Florida St. Petersburg. Recuperado 25, agosto, 2016, con [http://www.marine.usf.edu/reefslab/foramcd/html\\_files/titlepage.htm](http://www.marine.usf.edu/reefslab/foramcd/html_files/titlepage.htm)

Departamento Administrativo de la Función Pública. (2011). Ley 3570 de 2011. Secretaría del Senado Recuperado en 8, octubre, 2016, con [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto\\_3570\\_2011.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_3570_2011.html)

Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Naciones Unidas. CEPAL – SERIE, Recursos naturales e infraestructura, 50(68).

Fabricius, K.E., Cooper, T.F., Humphrey, C., Uthicke, S., De’ath, G., Davidson, J., LeGrand, H., Thompson. A., Schaffelke, B. (2012). A bioindicator system for water quality on inshore coral reefs of the Great Barrier Reef. *Marine Pollution Bulletin*, 65(4-9); 320–332.



Flórez, N., Pardo, M., Lopera, M. (2008). Estrategia Nacional de monitoreo del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia. Bogotá: Parques Nacionales Naturales de Colombia. Recuperado en 25, septiembre, 2016, con [http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/pdf/Estrategia\\_Nacional\\_de\\_Monitoreo\\_S\\_PNN\\_2008.pdf](http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/pdf/Estrategia_Nacional_de_Monitoreo_S_PNN_2008.pdf)

Giraldo, A. E. (2015). La suficiencia taxonómica como herramienta para el monitoreo de artrópodos epígeos: una primera aproximación en el desierto costero peruano. *Scielo, Ecología aplicada*, 14 (2); Recuperado en 25, septiembre, 2016, con [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162015000200007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162015000200007&script=sci_arttext)

Gómez, M. (2015). Foraminíferos como bioindicadores de calidad del agua marina en el norte de Isla Barú (Caribe Colombiano), Empleando El Foram Índice. Tesis de grado. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Gómez-Lemos, L., Cruz, N., Duque, G. (2010). Composición y estructura del ensamblaje de crustáceos Brachyura de la plataforma continental de la Guajira colombiana y su relación con la profundidad y las características del sedimento. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 39 (2): 359-379

Hallock, P., Talge, H. (2003). Ultrastructural Responses in Field-Bleached and Experimentally Stressed *Amphistegina Gibbosa* (Class Foraminifera). *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 50(5), 324-333.

Hallock, P. (2012). The FORAM Index revisited: uses, challenges, and limitations. Australia: 12th International Coral Reef Symposium Cairns.

Hallock, P. (1996). *Amphistegina* (Foraminiferida) Densities as a Practical, Reliable, LowCost Indicator of Coral Reef Vitality. En: Crosby, M.P., G.R. Gibson, y K.W. Potts (Eds.) *A Coral Reef Symposium on Practical, Reliable, Low Cost Monitoring Methods for Assessing the Biota and Habitat Conditions of Coral Reefs*, January 26-27, 1995 (pp.37-44). Annapolis, MD: Office of Ocean

and Coastal Resource Management, National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, MD.

Hallock, P. (2000). Larger foraminifera as indicators of coral reef vitality. En: Martin, R. E. (Ed.), *Environmental micropaleontology: the application of microfossils to environmental geology* (pp. 121-150). New York, NY: Springer Science+Business Media.

Hallock, P. (1982). Evolution and extinction in large Foraminifera. *Proceeding 3rd North American Paleontoly Convention 1*; 221-225.

Hayward, B.W., Cedhagen, T., Kaminski, M., Gross, O. (2016). World Foraminifera Database. Recuperado en 17, julio, 2016, con <http://www.marinespecies.org/foraminifera>

Henao, H. A. (2008). Composición de la comunidad arrecifal bentónica de un área marina protegida (AMP) y un área marina no protegida (NMP) con y sin exposición al buceo. Tesis de grado. Bogotá, Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Henao, H. A. (2013). Efectos 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. Tesis de maestría. Bogotá, Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Henao-Castro, H. A. (2016). Programa de Monitoreo del Parque Nacional Natural Corales de Profundidad (PNN CPR). Plan de Manejo 2016-2021. Dirección Territorial Caribe. Parques Nacionales Naturales de Colombia. Ciudad, Colombia. 48 Pág.

Hill, M.O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54; 427-432

Hinderstein, L., Marr, J., Martínez, F., Dowgiallo, M., Puglise, K., Pyle, R., Zawada, D., Appeldoorn, R. (2010). Theme section on “Mesophotic Coral Ecosystems: Characterization, ecology, and management”. *Coral Reefs*. 29: 247-251.

Hughes, R. N., Hughes, D. J., Smith I.P. (2014). *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, Volumen 52: 165-166.

Jennings, S., Polunin, N.V.C., 1996. Impacts of fishing on tropical reef ecosystems. *Ambio* 25 (1), 44-49.

Kahng, S., Copus, J., Wagner, D. (2014). Recent advances in the ecology of mesophotic coral ecosystems (MCEs). *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 7: 72-81.

Kahng, S. E., Garcia-sais, J., Spalding, H. L., Brokovich, E., Wagner, D., Weil, E., Toonen, R. J. (2010). Community ecology of mesophotic coral reef ecosystems. *Coral Reefs*, 29(2), 255-275.

Loeblich, A. R., y Tappan, H. (1988). *Foraminiferal genera and their classification*. New York, NY: Van Nostrand Reinhold.

Londoño, V., Cuevas, A. M. (2012). Parques de corales, en peligro. *El Espectador*, pág. artículo: 373924. Recuperado en 30, julio, 2016, con <http://www.elespectador.com/noticias/actualidad/vivir/un-parque-bajo-el-agua-articulo-417990>

López, R. C., Rocha, A., Ramírez, A. (2005). Cambios de los ensamblajes de peces del sistema lagunar de Alvarado (sla), Veracruz, México. *Revista Digital Universitaria*, 6(8). Recuperado en 25 octubre, 2016, con <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num8/art79/art79-1.htm>

Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey: Princeton University Press, 179 pp

Ministerio de Agricultura. (1979). Decreto 1875 de 1979. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado en 8, octubre, 2016 con [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/25-dec\\_1875\\_1979.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/25-dec_1875_1979.pdf)

Ministerio de Agricultura. (1979). Decreto 1876 de 1979. Red Jurídica. Recuperado en 8, octubre, 2016 con [https://www.redjurista.com/documents/d1876\\_79.aspx#/viewer](https://www.redjurista.com/documents/d1876_79.aspx#/viewer)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Resolución Número 0339. Recuperado en 19, julio, 2016, con [www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/pdf/coralesdeprofundidadok.pdf](http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/pdf/coralesdeprofundidadok.pdf)

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Decreto 2372 de 2010. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado en 8, octubre, 2016 con [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec\\_2372\\_2010.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_2372_2010.pdf)

Moreira, M. (2009). Moreira, M. Tratamiento de datos. En Aplicación y selección de indicadores de calidad ecológica en la utilización de fertilizantes orgánicos para la producción de forraje (48-52). España: Universidad de Santiago de Compostela; 48-52

Moreno, C. E. (2001). M&T-Manuales y Tesis SEA. Zaragoza. Métodos para medir la biodiversidad, 1

Mumby, P., (2006). Connectivity of reef fish between mangroves and coral reefs: Algorithms for the design of marine reserves at seascape scales. *Biological Conservation*, 18 (2); 215-222.

NIXON, S. W. (1995). "Coastal marine eutrophication, a definition, social causes, and future concerns". *Ophelia.*, Vol. 41, p. 199-219.

Oliver, L. M., Fisher, W. S., Dittmar, J., Hallock, P., Campbell, J., Quarles, R.L., Harris, P. y LoBlue, C. (2014). Contrasting responses of coral reef fauna and foraminiferal assemblages to human influence in La Parguera, Puerto Rico. *Marine Environmental Research*, 99; 95–105.

Parada, C. P., y Pinto, J. P. (1986). Foraminíferos bentónicos recientes de la plataforma continental interna de Isla Barú. Bogotá, Colombia: Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis”.

Parque Nacional Natural Corales de Profundidad. (s.f.). Obtenido de Ubicación Geográfica Parque Nacional Natural Corales de Profundidad. Recuperado en 2, junio, 2016, con <http://www.parquesnacionales.gov.co/porta1/es/parques-nacionales/parque-nacional-natural-corales-de-profundidad/>

Posada, O. N., Rangel, S., Narváez, L.J., Vivas-Aguas, L.F., Espinosa., García, C. (2012). Aspectos físicos del paisaje en la zona marina y costera, 24 – 43. CORPOGUAJIRA-INVEMAR. 2012. Atlas marinocostero de La Guajira. Series de Publicaciones Especiales INVEMAR # 27. Santa Marta, 188 p.

Ramírez, A. (2006). Aplicaciones. En: Ramírez, A. Ecología: Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades (58-61). Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana; 58-61

Restrepo, J., Zapata, P., Díaz, J., Garzón-ferreira, J., y García, C. (2006). Fluvial fluxes into the Caribbean Sea and their impact on coastal ecosystems: The Magdalena River, Colombia. *Global and Planetary Change*, 50(1-2), 33–49.

Reymond, C. E., Uthicke, S., y Pandolfi, J. M. (2012). Tropical Foraminifera as indicators of water quality and temperature. *Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium*, Cairns, Australia, July 9-13, 2012. Recuperado en 29, julio, 2016, con [http://www.icsr2012.com/proceedings/manuscripts/ICRS2012\\_21B\\_2.pdf](http://www.icsr2012.com/proceedings/manuscripts/ICRS2012_21B_2.pdf)

Roldán, G., Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Ríonegro: Universidad de Antioquia.

Sánchez, J. A., Ardila, N. E., Andrade, J., Dueñas, L. F., Navas, R., Ballesteros D. (2014). Octocoral densities and mortalities in Gorgona Island, Colombia, Tropical Eastern Pacific. *Revista de Biología Tropical / International Journal of Tropical Biology and Conservation*. 62(1); 209-219

Sanpieri, H. (2003). Metodología y Técnicas de Investigación. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana.

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (1959). Ley 2 de 1959. Alcaldía de Bogotá. Recuperado en 8, octubre, 2016, con <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=9021>.

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (1974). Decreto 2811 de 1974. Alcaldía de Bogotá. Recuperado en 8, octubre, 2016, con <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=1551>

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (1977). Decreto 622 de 1977. Alcaldía de Bogotá. Recuperado en 8, octubre, 2016, con <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=8265>

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (1989). Decreto 1978 de 1989. Alcaldía de Bogotá. Recuperado en 8, octubre, 2016, con <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=1523>

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (1991). Constitución Política de Colombia de 1991. Alcaldía de Bogotá. Recuperado en 8, octubre, 2016, con <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=4125>

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (1993). Ley 99 de 1993. Alcaldía de Bogotá. Recuperado en 8, octubre, 2016, con <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=297>

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (1994). Decreto 1743 de 1994. Alcaldía de Bogotá. Recuperado en 8, octubre, 2016, con <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=1301>

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (1994). Ley 165 de 1994. Alcaldía de Bogotá. Recuperado en 8, octubre, 2016, con <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=37807>

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2010). Ley 1382. Alcaldía de Bogotá. Recuperado en 8, octubre, 2016, con <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=38863>

Schueth, J. D., y Frank, T. D. (2008). Reef foraminifera as bioindicators of coral reef health: Low Isles Reef, northern Great Barrier Reef, Australia. *The Journal of Foraminiferal Research*, 38(1), 11–22.

Uehara-Prado, M., de Oliveira Fernandes, J., de Moura Bello, A., Machado, G., Santos, A. J., Zagury Vaz de Mello, F., Lucci Freitas, A. V. (2009). Selecting terrestrial arthropods as indicators of small-scale disturbance: A first approach in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*, 142(1220-1228).

USEPA, Environmental Protection Agency. (2004). *Classification Framework for Coastal Systems*. Washington DC: U.S., p. 66.

Uthicke, S., Thompson, A., y Schaffelke, B. (2010). Effectiveness of benthic foraminiferal and coral assemblages as water quality indicators on inshore reefs of the Great Barrier Reef, Australia. *Coral Reefs*, 29(1), 209–225. doi:10.1007/s00338-009-0574-9

Velásquez, J., López-Angarita, J., Sánchez, J.A. (2011). Evaluation of the FORAM index in a case of conservation: Benthic foraminifera as indicators of ecosystem resilience in protected and non-protected coral reefs of the Southern Caribbean. *Biodivers Conserv*, DOI 10.1007/s10531-011-0152-7.

Vivas-Aguas, L.J., Tosić, M., Narváez, S., Cadavid, B., Bautista, P., Betancourt, J., Parra, J. Carvajalino, M., Espinosa, L. (2012). Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas

marinas y costeras de Colombia. –REDCAM. Informe técnico 2011. INVEMAR. Santa Marta, 229 p.



## Anexos

Anexo 1: Carta de entrega de las muestras de sedimentos tomadas en la montaña submarina Bajo Frijol por el Parque Nacional Natural Corales de Profundidad a la Universidad de los Andes.



Parques Nacionales Naturales de Colombia  
Parque Nacional Natural Corales de Profundidad



MINAMBIENTE

\*20156670000131\*

Al contestar por favor cita estos datos:

Radicado No.: 20156670000131

Fecha: 2015-07-10

Código de dependencia 667

PARQUE NACIONAL NATURAL CORALES DE PROFUNDIDAD

Cartagena de Indias D.T. y C., Bolívar

Doctor (a):

**Juan Armando Sánchez**

Director Laboratorio BIOMMAR

Universidad de Los Andes

**Asunto:** Entrega de muestras de sedimentos de zona mesofótica de Bajo Frijol para análisis de Foram Index

Con la presente, hago entrega oficial de 14 muestras de sedimentos recolectadas en Bajo Frijol del Parque Nacional Natural Corales de Profundidad. Éstas se recolectaron los días 3 y 4 de junio del presente año. Agradezco su ayuda en el análisis del Foram Index que contribuirá con alimentar la línea base, así como la implementación futura del programa de monitoreo del área marina protegida. A continuación se detalla el número de muestras, fecha y coordenadas de extracción.

Sitio	# de muestras	Fecha de recolección	Ubicación geográfica
1	4	03-jun-15	10°00'56.4" N 76°04'15.9" W
2	5	03-jun-15	10°00'56.5" W 76°04'28.9" W
3	5	04-jun-15	10°00'22.6" N 76°09'33.7" W

Capitán de Corbeta **CARLOS ANDRES MARTINEZ LEDESMA**  
Jefe (e) de Área Protegida PNN Corales de Profundidad

Firmado ANÁLISIS

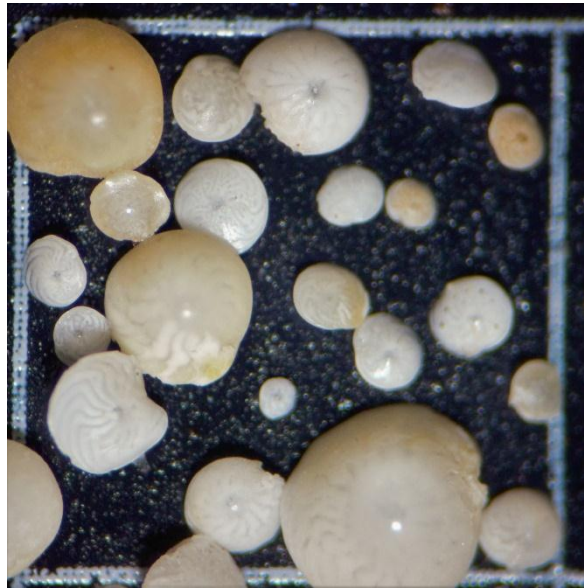


Calle 4 No. 3 – 204 Cartagena - Colombia  
Teléfono: 6855317  
coralesprofundidad@parquesnacionales.gov.co  
www.parquesnacionales.gov.co

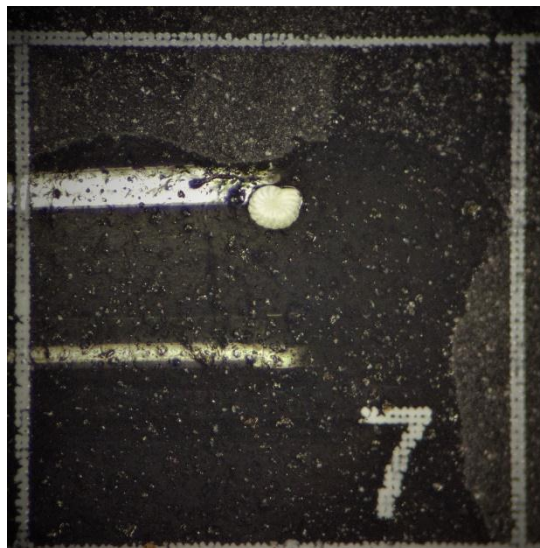
*Recibido  
10-jun-2015  
Juan Armando Sánchez*

Anexo 2: Fotografías de los foraminíferos bentónicos más relevantes analizados en el laboratorio de Química Ambiental en la Universidad el Bosque.

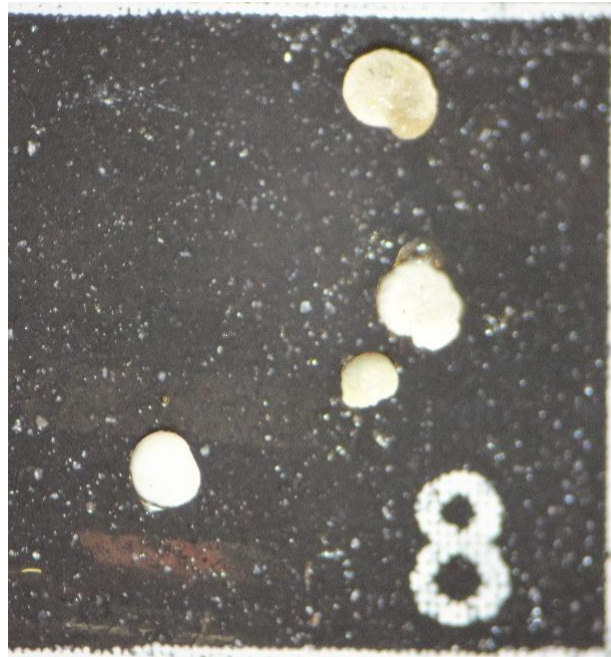
- Género *Amphistegina* spp., perteneciente al grupo funcional simbióticos, almacenada en el primer cuadrante de la celdilla micropaleontológica de la muestra 3a.



- Género *Elphidium* spp., perteneciente al grupo funcional oportunistas, almacenada en el cuadrante 7, de la celdilla micropaleontológica de la muestra 3b.



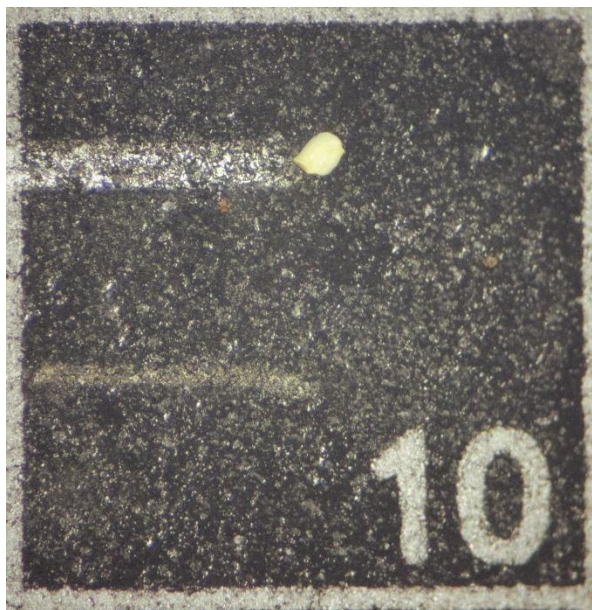
- Género *Cibicides* spp., perteneciente al grupo funcional de otros pequeños heterótrofos, almacenada en el cuadrante 8, de la celdilla micropaleontológica de la muestra 1b.



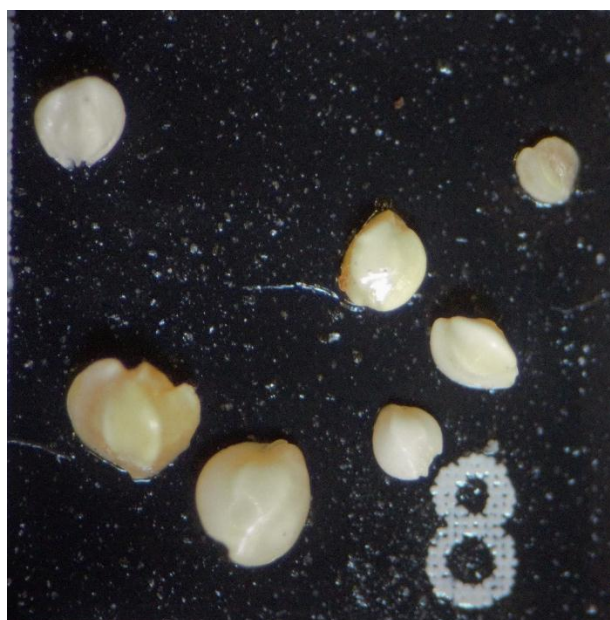
- Género *Rosalina* spp., perteneciente al grupo funcional de otros pequeños heterótrofos, almacenada en el cuadrante 6, de la celdilla micropaleontológica de la muestra 3c.



- Género *Triloculina* spp., perteneciente al grupo funcional de otros pequeños heterótrofos, almacenada en el cuadrante 10, de la celdilla micropaleontológica de la muestra 3c.



- Género *Quinqueloculina* spp., perteneciente al grupo funcional de otros pequeños heterótrofos, almacenada en el cuadrante 8, de la celdilla micropaleontológica de la muestra 1a.





- Género *Discorbis* spp., perteneciente al grupo funcional de otros pequeños heterótrofos, almacenada en el cuadrante 15, de la celdilla micropaleontológica de la muestra 1a.

