



## Variación espacio temporal del ensamble de larvas de peces coralinos en isla Gorgona, Pacífico colombiano

### Spaciotemporal variation in the coral fish larvae assembly of Gorgona Island, Colombian Pacific

Isabel Cristina Calle-Bonilla, Alan Giraldo y Andrés Cuéllar-Chacón

0000-0002-6569-7625

0000-0001-9182-888X

Universidad del Valle, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Biología. Calle 13# 100-00. Cali. [isabel.calle@correounivalle.edu.co](mailto:isabel.calle@correounivalle.edu.co), [alan.giraldo@correounivalle.edu.co](mailto:alan.giraldo@correounivalle.edu.co), [andres.cuellar.chacon@correounivalle.edu.co](mailto:andres.cuellar.chacon@correounivalle.edu.co)

#### RESUMEN

Se describió la variación espacial y temporal del ensamble de larvas de peces asociados a formaciones coralinas en el sector oriental de isla Gorgona, Pacífico colombiano y se evaluó la relación entre la variación espacial de la abundancia y las condiciones oceanográficas locales, particularmente el campo de circulación superficial instantáneo. Se registró información oceanográfica y biológica en septiembre 2014 y febrero 2015, siguiendo una malla de 16 estaciones clasificadas en tres sectores con base en la distancia a la formación coralina de mayor extensión en el área de estudio, el arrecife coralino de La Azufrada. Se capturaron 1185 larvas de 29 especies de peces asociados a formaciones coralinas. La abundancia, riqueza y diversidad del ensamble fue significativamente mayor en febrero que en septiembre, estando el ensamble dominado en septiembre por *Coryphopterus urospilus* (Gobiidae) y en febrero por *C. urospilus* y *Stegastes* sp. (Pomacentridae). Durante septiembre, la riqueza y diversidad de especies fue significativamente menor en el sector cercano al arrecife coralino de La Azufrada, mientras que en febrero, la riqueza y la dominancia fueron significativamente menores en la zona más externa del área de estudio. Durante septiembre, la tendencia general del campo instantáneo de circulación fue en dirección a la isla, identificando un centro de agregación de larvas en el sector del arrecife coralino La Azufrada, mientras que durante febrero fue hacia afuera de la isla registrándose una mayor abundancia en el sector externo del área de estudio. De acuerdo con la evidencia se encontró que la estructura y composición del ensamble de larvas varió de forma temporal y espacial, probablemente modulada por el efecto de patrón local de circulación superficial.

**PALABRAS CLAVES:** Arrecifes de coral, Circulación superficial, Larvas de peces.

#### ABSTRACT

The spatial and temporal variation in the assemblages of the larval stages of fishes associated with coralline formations in the eastern sector of Gorgona Island was evaluated considering its relationship to local oceanographic conditions, particularly the instantaneous surface circulation field. Oceanographic and biological information was recorded in September 2014 and February 2015 from a grid of 16 stations, which were classified into three sectors based on their distance to the largest coral formation in the study area, La Azufrada coral reef. A total of 1185 larvae were collected from 29 species of fish associated with coralline formations, and the abundance, richness and diversity of the ensemble was significantly higher in February than in September, with *Coryphopterus urospilus* dominant in September and *C. urospilus* and *Stegastes* sp. dominant in February. In September, species richness and diversity were significantly lower in the area near La Azufrada coral reef, while richness and dominance were significantly lower in the outermost region of the study area in February. During September, the general trend of the instantaneous circulation field was towards the island, and a center of the larval concentration was identified in the sector containing La Azufrada coral reef. However, during February, it was away from the island, and a greater abundance of larvae was registered in the external sector of the study area. According to the evidence, the structure and composition of the fish larvae assembly in the study area varied temporally and spatially and was probably modulated by the local surface circulation pattern.

**KEY WORDS:** Coral reefs, Circulation field, Fish larvae.

DOI: 10.25268/bimc.invemar.2017.46.2.728

Publicado por INVEMAR

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by INVEMAR

This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

## INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral son ecosistemas altamente biodiversos y albergan las comunidades más ricas en especies de peces en el planeta (Sale, 2004). En términos generales los peces que habitan en los arrecifes coralinos se caracterizan por presentar un ciclo de vida con dos fases diferenciales, una primera fase larval pelágica que les permite dispersarse y una segunda fase adulta demersal relativamente sedentaria (Gerlach *et al.*, 2007; Hamner *et al.*, 2007; Hamner y Largier, 2012). Comprender la dinámica espacial y temporal de la fase larval es de gran interés debido a su importancia en el suministro de las poblaciones, los procesos de conectividad o intercambio de individuos entre las mismas y los patrones de dispersión de las especies (Cowen *et al.*, 2000, 2006; Lefèvre y Bellwood, 2015). Las larvas de peces son quizás el grupo taxonómico mejor documentado dentro del plancton. Aunque en sus inicios la investigación en este grupo estuvo enfocada hacia la taxonomía, fisiología, etología, composición, abundancia y distribución, recientemente ha surgido un creciente interés en la comunidad científica marina por abordar problemas de estudio relacionadas con la dinámica poblacional de las comunidades ícticas, direccionado hacia conectividad y reclutamiento (Sale, 2004; Jones *et al.*, 2005; Hogan *et al.*, 2012; Salles *et al.*, 2015) incluyendo estrategias y trayectorias (Irisson *et al.*, 2004; Green *et al.*, 2015).

En términos generales los estudios realizados sobre dispersión y distribución de larvas de peces apoyan la idea que desde los arrecifes de coral se exportan larvas hacia áreas cercanas, y posteriormente regresan para hacer un “auto-reclutamiento” de la población de la cual se originaron o bien pueden llegar a ser direccionadas a lugares cercanos (Harrison *et al.*, 2012, Almany *et al.*, 2013). Este tipo de información es relevante para determinar las zonas geográficas de importancia en el ciclo de vida de las especies que conforman una comunidad íctica particular, además de contribuir al conocimiento sobre el intercambio genético, la colonización de nuevos hábitats y el estado de las poblaciones (Buston *et al.*, 2012).

Ha sido ampliamente documentado que los procesos que intervienen en el transporte de larvas y huevos funcionan a diferentes escalas espaciotemporales, destacándose los giros, el patrón superficial de circulación y los frentes térmicos o salinos entre otros. Además, factores biológicos como la tasa de depredación natural. Específicamente, estos elementos son responsables de la supervivencia, el transporte y el mantenimiento de las larvas en hábitats adecuados para su desarrollo o reclutamiento (Paris y Cowen, 2004; Hamner y Largier, 2012; Wolansky *et al.*, 2014). En el Pacífico Oriental,

## INTRODUCTION

Coral reefs are highly biodiverse ecosystems that harbor the most species-rich fish communities on the planet (Sale, 2004). Generally, the fish that inhabit coral reefs are characterized by a life cycle with two phases: a pelagic larval phase that allows them to be dispersed and a relatively sedentary demersal adult phase (Gerlach *et al.*, 2007; Hamner *et al.*, 2007; Hamner and Largier, 2012). Understanding the spatial and temporal dynamics of the larval phase is of great interest because of their importance to the population dynamics and connectivity, or the exchange of individuals, and the dispersal patterns of species (Cowen *et al.*, 2000, 2006, Lefèvre and Bellwood, 2015). Within plankton, fish larvae are perhaps the best documented taxonomic group, and although research into this group has been focused on taxonomy, physiology, ethology, composition, abundance and distribution, there is a growing interest in the marine scientific community to address questions related to the population dynamics of fish communities, especially connectivity and recruitment (Sale, 2004; Jones *et al.*, 2005; Hogan *et al.*, 2012; Salles *et al.*, 2015) including strategies and trajectories (Irisson *et al.*, 2004; Green *et al.*, 2015).

Generally, studies of the dispersal and distribution of fish larvae support the idea that larvae are exported from coral reefs to nearby areas and then return to “self-recruit” into their population of origin, or they may be directed to nearby sites (Harrison *et al.*, 2012, Almany *et al.*, 2013). This information is relevant for determining the important geographic areas in the life cycle of the species in a particular fish community, and it contributes to knowledge of genetic exchange, the colonization of new habitats and the status of populations (Buston *et al.*, 2012).

It has been widely documented that the processes involved in the transport of larvae and eggs operate at different spatiotemporal scales with notable changes due to surface circulation patterns and thermal or saline fronts, among influences, as well as biological factors such as the natural predation rate. Specifically, these elements are responsible for the survival, transport and maintenance of larvae in habitats suitable for their development or recruitment (Paris and Cowen, 2004; Hamner and Largier, 2012; Wolansky *et al.*, 2014). In the Eastern Pacific, research into factors involved in fish larvae dispersal processes has been mainly occurred in Hawaii, the Gulf of California

las investigaciones realizadas sobre factores involucrados en los procesos de dispersión de larvas de peces han sido desarrolladas principalmente en Hawái, el Golfo de California y el Archipiélago Juan Fernández (Chile) (Bogan, 1994; Landaeta y Castro, 2004; Eble *et al.*, 2011). Para el Pacífico de Colombia aún existen vacíos de información y escasez de conocimiento sobre la dinámica espacial y temporal del ictioplancton en ambientes costeros, a pesar de su importancia ecológica e interés económico y social que tienen las actividades pesqueras, siendo estos vacíos aún mayores para los ecosistemas de arrecifes de coral presentes en esta región del Pacífico Oriental Tropical.

Hasta la fecha, algunas investigaciones sobre las comunidades de peces adultos presentes en ambientes coralinos del Pacífico colombiano han sido desarrollados, principalmente en isla Gorgona (Rubio, 1990; Zapata y Morales, 1997; Zapata, 2001) y la ensenada de Utría (Estupiñán *et al.*, 1990; Gómez y Viera, 1996). En estas investigaciones se ha estudiado principalmente la composición, abundancia y diversidad de este ensamble. Sin embargo, el conocimiento sobre el ictioplancton de estos lugares es reducido, aunque ha sido sugerido que la distribución espacial del zooplancton -incluyendo el ictioplancton- estaría dominado principalmente por el patrón de circulación local (Escarria *et al.*, 2007; Giraldo *et al.*, 2008, 2014; Giraldo y Valencia, 2012).

De acuerdo con Giraldo (2008), en isla Gorgona se identifican anualmente dos períodos oceanográficos contrastantes que modulan las condiciones ambientales del sistema pelágico, registrándose incluso cambios en la dirección prevaeciente de la circulación superficial que tiende a favorecer los procesos advectivos locales (Giraldo *et al.*, 2008). Sin embargo, la presencia de la masa de isla sobre el campo de circulación superficial podría estar favoreciendo la formación de giros que podrían modular el patrón de distribución espacial de las larvas de peces como ha sido sugerido para otras localidades insulares (Boehlert *et al.*, 1992; Cowen y Castro, 1994; Landaeta y Castro, 2004; Eble *et al.*, 2011) favoreciendo la permanencia en el área de larvas de corta duración como son las larvas de las especies de peces que viven asociados a las formaciones coralinas (Searcy y Sponaugle, 2000; Zapata y Herron, 2002; Bergeniuss *et al.*, 2005; Leahy *et al.*, 2015). En la presente investigación se analizó la variación temporal y espacial del ensamble de estadios larvales de peces de especies, cuyo hábitat principal son las formaciones coralinas del sector oriental de isla Gorgona (lugar de mayor desarrollo de formaciones coralinas en la zona), considerando el efecto potencial de las condiciones oceanográficas locales sobre su composición y distribución espacial.

and the Juan Fernández Archipelago (Chile) (Bogan, 1994; Landaeta and Castro, 2004; Eble *et al.*, 2011). Therefore, there are still information gaps and a lack of knowledge about the spatial and temporal dynamics of ichthyoplankton in coastal environments of the Colombian Pacific despite their ecological importance and the economic and social interest in fishing activities; these gaps are even greater for the coral reef ecosystems in this region of the Eastern Tropical Pacific.

To date, some research on adult fish communities in coral environments has been conducted in the Colombian Pacific, mainly on Gorgona Island (Rubio, 1990; Zapata and Morales, 1997; Zapata, 2001) and in Utría Cove (Estupiñán *et al.*, 1990; Gómez and Viera, 1996). However, the main focus of these investigations has been the species composition, abundance and diversity of the assemblages, so there is little knowledge of the ichthyoplankton at these sites. However, it has been suggested that the spatial distribution of zooplankton, including ichthyoplankton, would be primarily influenced by the local circulation pattern (Escarria *et al.*, 2007; Giraldo *et al.*, 2008, 2014, Giraldo and Valencia, 2012).

According to Giraldo (2008), there are two annual contrasting oceanographic periods around Gorgona Island that modulate the environmental conditions of the pelagic system including changes in the prevailing direction of the surface circulation that tend to favor local advective processes (Giraldo *et al.*, 2008). However, the presence of the island mass in the surface circulation field could favor the formation of currents that could modulate the spatial distribution pattern of fish larvae, as has been suggested for other island locations (Boehlert *et al.*, 1992; Cowen and Castro, 1994; Landaeta and Castro, 2004; Eble *et al.*, 2011), promoting the permanence of short-lived larvae in the area such as those of fish species that live in association with the coral formations (Searcy and Sponaugle, 2000, Zapata and Herron, 2002, Bergeniuss *et al.*, 2005, Leahy *et al.*, 2015). The present study analyzed the temporal and spatial variation in the ensemble of larval instars of fishes whose main habitat is the coral formations of the eastern sector of Gorgona Island (where coral formation development is high), considering the potential effect of local oceanographic conditions on the composition and spatial distribution of the community.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

Gorgona es una isla continental ubicada en el océano Pacífico colombiano ( $2^{\circ}58'10''\text{N}$ ;  $78^{\circ}11'5''\text{W}$ ) a 30 km del continente (Figura 1). La temperatura del aire en promedio es de  $26^{\circ}\text{C}$ , mientras que la precipitación es de tipo bimodal con registros promedio anuales de 7000 mm, destacándose un periodo de baja precipitación de diciembre a marzo y dos momentos de máxima precipitación al año, uno en abril y el otro en noviembre (Blanco, 2009). La transparencia de la columna de agua varía de 6 a 12 m, la temperatura superficial del agua se encuentra entre  $26$  y  $28^{\circ}\text{C}$  y la salinidad promedio mensual superficial oscila entre 28 y 33 unidades prácticas (Díaz *et al.*, 2001; Giraldo, 2008; Giraldo *et al.*, 2008).

## MATERIALS AND METHODS

### Study Area

Gorgona is a continental island located 30 km from the mainland in the Colombian Pacific Ocean ( $2^{\circ}58'10''\text{N}$ ;  $78^{\circ}11'5''\text{W}$ ) (Figure 1). The average air temperature is  $26^{\circ}\text{C}$ , and the annual precipitation is 7000 mm and bimodal with a low-precipitation period from December to March and two periods of high precipitation in April and November (Blanco, 2009). The transparency of the water column varies from 6 to 12 m; the surface temperature of the water is between  $26$  and  $28^{\circ}\text{C}$ ; and the average monthly salinity ranges from 28 to 33 practical units (Díaz *et al.*, 2001, Giraldo, 2008; Giraldo *et al.*, 2008).

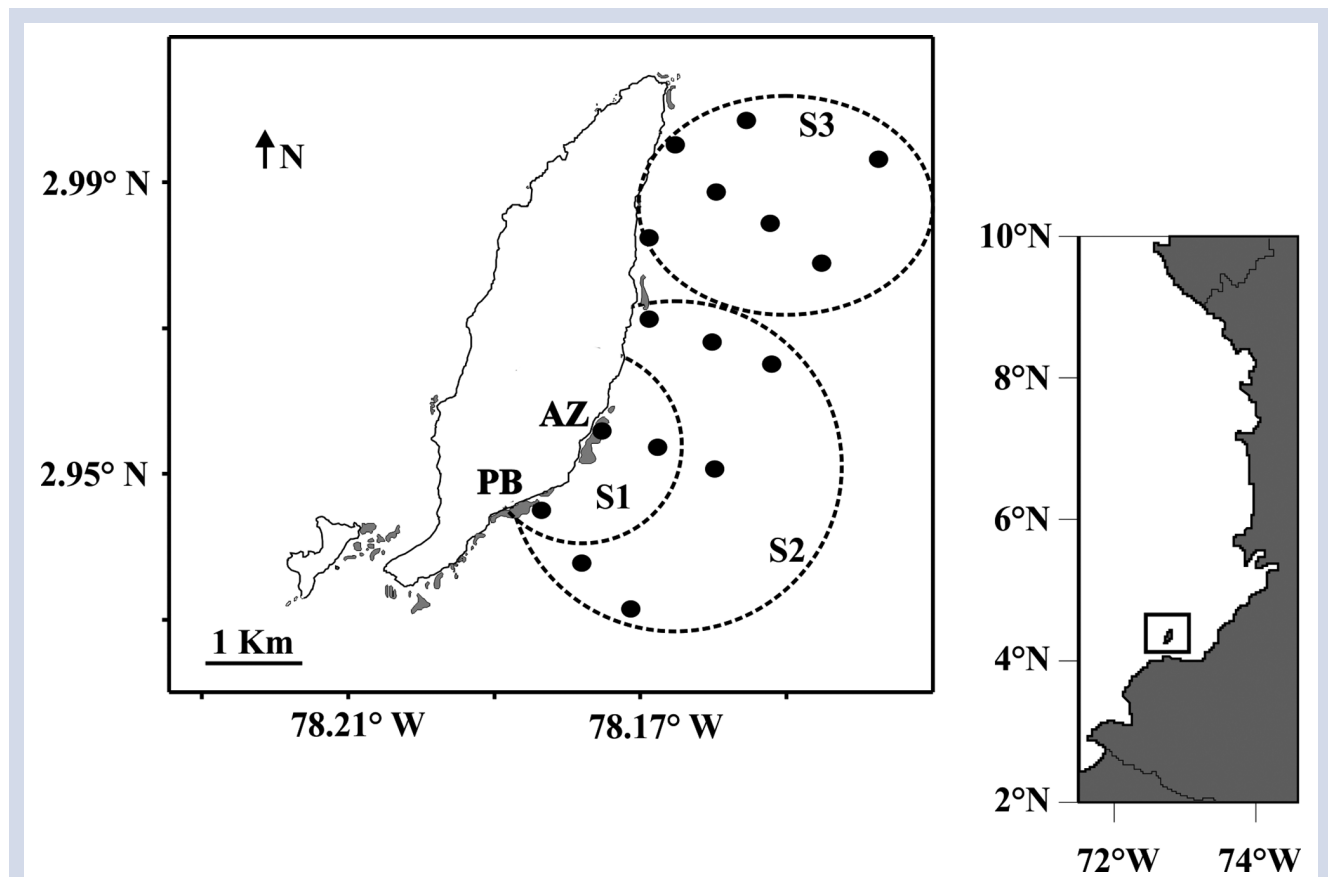


Figura 1. Ubicación de la isla Gorgona y la malla de muestreo dentro de la zona de estudio. En gris localización de las formaciones coralinas en la isla Gorgona indicando AZ como arrecife La Azufrada, BL como arrecife Playa Blanca. Se indican los sectores definidos a priori con base en la distancia a las áreas de formaciones de arrecife de coral. S1= Sector 1, S2= Sector 2 y S3= Sector 3.

Figure 1. Location of Gorgona Island and the sampling mesh within the study area. In gray, locations of the coral formations around Gorgona Island with AZ indicating the La Azufrada reef and BL the Playa Blanca reef. The sectors were defined a priori based on their distance to the coral reef formations. S1 = Sector 1, S2 = Sector 2 and S3 = Sector 3.

Para esta localidad han sido descritos dos periodos oceanográficos contrastantes: el primero, de mayo a diciembre con bajos valores de salinidad superficial y una termoclina profunda (entre 40 a 50 m de profundidad), y el segundo de enero a abril con alta salinidad superficial y termoclina somera (entre 5 a 10 m de profundidad). La marea es de tipo semidiurna, con registros máximos de altura de 5.7 m (Giraldo, 2008; Giraldo *et al.*, 2008a). Esta variación intra anual de las condiciones oceanográficas locales en isla Gorgona está estrechamente relacionado con el efecto del desplazamiento latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) sobre el Pacífico colombiano (Rodríguez *et al.*, 2003; Blanco, 2009; Amador *et al.*, 2016; Villegas *et al.*, 2016). Específicamente, la ZCIT ha sido identificada como la principal fuente de variabilidad climática en la región (Poveda *et al.*, 2011; Hoyos *et al.*, 2013), además de modular el patrón de circulación oceánico y costero en el sector oriental del Pacífico oriental tropical incluyendo el Pacífico colombiano (Fiedler y Talley, 2006; Kessler, 2006; Villegas y Málíkov, 2006; Rodríguez *et al.*, 2007).

Las principales formaciones coralinas en el Pacífico colombiano se desarrollan sobre la franja oriental de isla Gorgona (Figura 1), destacándose los arrecifes de La Azufrada (AZ) con una extensión de 15 ha y el de Playa Blanca (PB) con una extensión de 9.6 Ha (Glynn y Ault, 2000). Al ser los arrecifes coralinos ecosistemas estratégicos, las formaciones coralinas de isla Gorgona han sido incluidas en el plan de manejo del Parque Nacional Natural Gorgona como objetos de conservación (UAESPNN, 2004; Muñoz y Zapata, 2013), siendo este uno de los principales temas de investigación en esta localidad durante los últimos 20 años (Giraldo *et al.*, 2014).

### Recolección de Muestras y Análisis

Para el desarrollo de esta investigación se estableció una malla de 16 estaciones oceanográficas en el sector oriental de isla Gorgona (Figura 1) y se seleccionaron dos períodos de muestreo: septiembre 2014 y febrero 2015, períodos que incluyen la variación intra anual de las condiciones oceanográficas que han sido descritas para esta localidad (Giraldo, 2008). En cada estación de muestreo se realizaron pescas horizontales superficiales (0-10 m) de zooplancton utilizando una red bongo de 30 cm de diámetro con flujómetros Hydrobios® adosados en cada boca y mallas colectoras de 250  $\mu\text{m}$  de poro. Previo a la pesca de zooplancton, se recolectaron muestras discretas de agua con una botella Niskin a 1 y 10 m de profundidad registrando la temperatura y salinidad utilizando una sonda multiparámetro YSIpro®. Además, se construyó el campo de circulación superficial instantáneo a 1 m de profundidad a partir del registro de la velocidad y la

Two contrasting oceanographic periods have been described for this locality: from May to December, when superficial salinity values are low and there is a deep thermocline (between 40 and 50 m in depth), and from January to April, when surface salinity is high and the thermocline is shallow (5-10 m deep). The tide is semidiurnal with a maximum height of 5.7 m (Giraldo, 2008; Giraldo *et al.*, 2008a). This intra-annual variation in the local oceanographic conditions around Gorgona Island is closely related to the effect of the latitudinal displacement of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) on the Colombian Pacific (Rodríguez *et al.*, 2003, Amador *et al.*, 2016, Villegas *et al.*, 2016). Specifically, the ITCZ has been identified as the main source of climatic variability in the region (Poveda *et al.*, 2011; Hoyos *et al.*, 2013), and it modulates the pattern of oceanic and coastal circulation in the eastern sector of the eastern Pacific, including the Colombian Pacific (Fiedler and Talley, 2006, Kessler, 2006, Villegas and Malíkov, 2006, Rodríguez *et al.*, 2007).

The main coral formations in the Colombian Pacific are located on the eastern coast of Gorgona Island (Figure 1), with the La Azufrada (AZ) reef stretching 15 ha and the Playa Blanca (PB) reef extending 9.6 ha (Glynn and Ault, 2000). As coral reefs are strategic ecosystems, the coralline formations of Gorgona Island have been included as conservation objects in the management plan for the Gorgona Natural National Park (UAESPNN, 2004, Muñoz and Zapata, 2013), and they have been one of the main research subjects in this locality over the last 20 years (Giraldo *et al.*, 2014).

### Sample Collection And Analysis

To develop this research, a grid consisting of 16 oceanographic stations was established in the eastern sector of Gorgona Island (Figure 1), and two sampling periods were selected: September 2014 and February 2015, which include the intra-annual variation in oceanographic conditions that have been described for this locality (Giraldo, 2008). At each sampling station, horizontal (0-10 m) zooplankton samplings were performed using a 30 cm-diameter bongo net with Hydrobios® flowmeters attached to each mouth and 250- $\mu\text{m}$  pore collecting nets. Prior to sampling the zooplankton, discrete water samples were collected with a Niskin bottle at depths of 1 and 10 m, and the temperature and salinity at each depth was recorded using a YSIpro® multiparameter probe. In addition, the instant field of the

dirección del flujo en cada estación, mediante el seguimiento de un derivador pasivo tipo Davis modificado (Joseph, 2014; Jerez *et al.*, 2017) que consistió en una boya inflable de 30 cm de diámetro, unido con una línea principal a un derivador de acero inoxidable con un peso muerto. El instrumento se dejó derivar por al menos 20 minutos en cada una de las estaciones, registrándose la coordenada geográfica inicial y final de deriva utilizando un GPS Garmin.

El zooplankton capturado fue conservado en una mezcla de formol y agua de mar al 4% buferizado con borato de sodio. En el laboratorio se separaron las larvas de peces y se realizó la identificación taxonómica hasta el menor nivel posible, utilizando las guías de ictioplankton de Moser (1996) y Beltrán y Ríos (2000). Para el desarrollo de los análisis, se seleccionaron las larvas de las especies de peces que han sido definidas por Rubio y Angulo (2003) y Robertson y Allen (2015) como especies asociadas a formaciones coralinas del Pacífico Oriental Tropical.

#### Análisis de datos

Se establecieron a priori tres sectores (S1, S2 y S3) en el área de estudio a partir de la distancia al arrecife coralino de La Azufrada (Figura 1). Se compararon las condiciones de temperatura, salinidad y abundancia de larvas de peces entre períodos utilizando una prueba no paramétrica de Mann-Whitney, y entre los sectores de estudio para cada periodo de muestreo utilizando una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis con corrección de Bonferroni y una prueba Post-hoc de rangos de Tukey.

La representatividad del muestreo se estableció como una proporción del valor esperado de riqueza para el área de estudio, definido a partir del estimador no paramétrico de riqueza Jackknife de primer orden. Se comparó la riqueza de especies, dominancia y diversidad alfa entre periodos y entre sectores mediante un análisis de comparación por remuestreo de Bootstrap, a partir de 10000 interacciones aleatorias. Además, se estableció la tasa de recambio entre sectores a partir del índice de diversidad beta Morisita-Horn y se representó mediante un dendrograma de similitud construido a partir de la función de ligamento promedio simple (Vellend, 2001; Jost *et al.*, 2011; Calderón-Patrón *et al.*, 2012), considerando el coeficiente de correlación cofenético como indicador de la significancia del agrupamiento establecido (Herrera-Moreno, 2000). Finalmente, se utilizó el método de interpolación *inverse distance to a power grid* del programa computacional Surfer11® para realizar la representación gráfica vectorial del campo de circulación superficial instantáneo y de la variación espacial de la abundancia de larvas de especies de peces asociados a formaciones coralinas en la zona de estudio.

surface current was constructed at a depth of 1 m from the velocity and flow direction registered at each station by tracking a modified Davis passive diverter (Joseph, 2014; Jerez *et al.*, 2017), which consisted of a 30 cm-diameter inflatable buoy attached with a main line to a stainless-steel shunt with a dead weight. The instrument was allowed to drift for at least 20 minutes in each of the stations, and the initial and final geographic drift coordinates were recorded using a Garmin GPS.

The captured zooplankton were preserved in a mixture of formaldehyde and 4% sea water buffered with sodium borate. In the laboratory, fish larvae were separated and identified to the lowest possible taxonomic level using the ichthyoplankton guides of Moser (1996) and Beltrán and Ríos (2000). For the analyses, the larvae of fish species defined as associated with the coral formations of the Tropical Eastern Pacific by Rubio and Angulo (2003) and Robertson and Allen (2015) were selected.

#### Data Analysis

Three sectors (S1, S2 and S3) were established a priori in the study area based on the distance to La Azufrada coral reef (Figure 1). Temperature and salinity conditions as well as the abundance of fish larvae were compared between periods by a non-parametric Mann-Whitney test and between the study sectors for each sampling period by a Kruskal-Wallis non-parametric test with Bonferroni correction and a post-hoc Tukey's range test.

Sampling representativeness was established as a proportion of the expected value of the wealth of the study area as defined by a non-parametric, first-order Jackknife wealth estimator. We compared species richness, dominance and alpha diversity between periods and between sectors using a bootstrap resampling comparison analysis of 10,000 random interactions. In addition, the inter-sectoral turnover rate was established from the Morisita-Horn beta diversity index and was represented by a similarity dendrogram constructed from the average linking function (Vellend, 2001; Jost *et al.*, 2011; Calderón-Patrón *et al.*, 2012), considering the coefficient of co-behavior as an indicator of the significance of the established grouping (Herrera-Moreno, 2000). Finally, we used the *inverse distance to power grid* interpolation method of the program Surfer11® to perform the vector graphic representation of the instant field of the surface current and the spatial variation in the larval abundance of fish species associated with the coralline formations in the study area.

## RESULTADOS

Las condiciones de temperatura y salinidad fueron contrastantes entre los periodos de muestreo en el área de estudio. Durante septiembre 2014, la temperatura superficial y a 10 m de profundidad fue significativamente mayor en comparación con febrero 2015 (Tabla 1). En contraste, durante febrero 2015 la salinidad superficial y a 10 m de profundidad fue significativamente mayor en comparación con septiembre 2014 (Tabla 1). Al evaluar la variación de estos parámetros oceanográficos entre los sectores de estudio, considerando cada período de muestreo de manera independiente, no se registraron diferencias significativas (Tabla 2). Este resultado sugiere que las condiciones térmicas y salinas fueron consistentes entre los sectores de estudios durante cada uno de los períodos de muestreo.

Tabla 1. Registros de temperatura y salinidad en la zona de estudio durante septiembre 2014 y febrero 2015. T = temperatura, S= salinidad, Z = valor del estadístico Z equivalente al estimador U de Mann-Whitney calculado,  $p = p$  valor,  $n = 9$ .

	T 1m		T 10m		S 1m		S10m	
	Feb	Sep	Feb	Sep	Feb	Sep	Feb	Sep
Mediana	26.8	28.2	26.1	27.9	28.8	28.2	29.6	28.5
Mínimo	26.6	28.0	25.8	27.7	28.1	28.1	29.5	28.1
Máximo	28.3	28.8	27.2	28.1	29.3	28.9	29.9	28.8
Z	-2.9		-3.6		-2.4		-3.5	
P	0.003		0.0003		0.017		0.0002	

## RESULTS

The temperature and salinity conditions in the study area differed between the sampling periods. During September 2014, the temperature at the surface and 10 m in depth was significantly higher than in February 2015 (Table 1). In contrast, the salinity at the surface and 10 m in depth during February 2015 was significantly higher compared to September 2014 (Table 1). When evaluating the variation in these oceanographic parameters between the study sectors, no significant differences were recorded considering each sampling period independently (Table 2). This result suggests that the thermal and saline conditions were consistent across study sectors during each of the sampling periods.

Table 1. Temperature and salinity records in the study area during September 2014 and February 2015. T = temperature, S = salinity, Z = Z statistic equivalent to calculated Mann-Whitney U estimator,  $p = p$  value,  $n = 9$ .

Tabla 2. Resultado del análisis de comparación de la temperatura (T) y salinidad (S) entre los sectores de estudio definidos durante cada periodo de muestreo. H = estimado Kruskal-Wallis,  $p = p$  valor  $p$ .

	H	P
Sep T 1 m	3.6	0.171
Sep T 10 m	4.3	0.117
Sep S 1 m	1.4	0.510
Sep S 10 m	3.8	0.146
Feb T 1 m	3.9	0.142
Feb T 10 m	1.8	0.417
Feb S 1 m	4.0	0.135
Feb S 10 m	2.1	0.342

Table 2. Result of the comparison of the temperature (T) and salinity (S) between the study sectors defined during each sampling period. H = estimated Kruskal-Wallis,  $p = p$  value.

El patrón superficial de circulación instantáneo durante septiembre exhibió dirección predominante hacia el oeste con una velocidad máxima de  $21 \text{ cm s}^{-1}$ , mientras que durante febrero la dirección predominante fue hacia el noreste

The surface pattern of the instant field of the surface current during September exhibited a predominantly westward direction with a maximum velocity of  $21 \text{ cm s}^{-1}$ , whereas during February, the predominant direction

con una velocidad máxima de  $52 \text{ cm s}^{-1}$  (Figura 2). Estas condiciones hidrodinámicas en la zona de estudio sugieren que el patrón de circulación local podría estar influenciando la ubicación espacial de los organismos planctónicos, ya que durante septiembre la tendencia del desplazamiento por deriva sería hacia la zona costera de la isla mientras que durante febrero la tendencia sería hacia mar afuera (Figura 2).

was towards the northeast with a maximum velocity of  $52 \text{ cm s}^{-1}$  (Figure 2). These hydrodynamic conditions suggest that the local circulation pattern could be influencing the spatial location of planktonic organisms because the movement of the current in September trends towards the coastal zone of the island while it trends offshore in February (Figure 2).

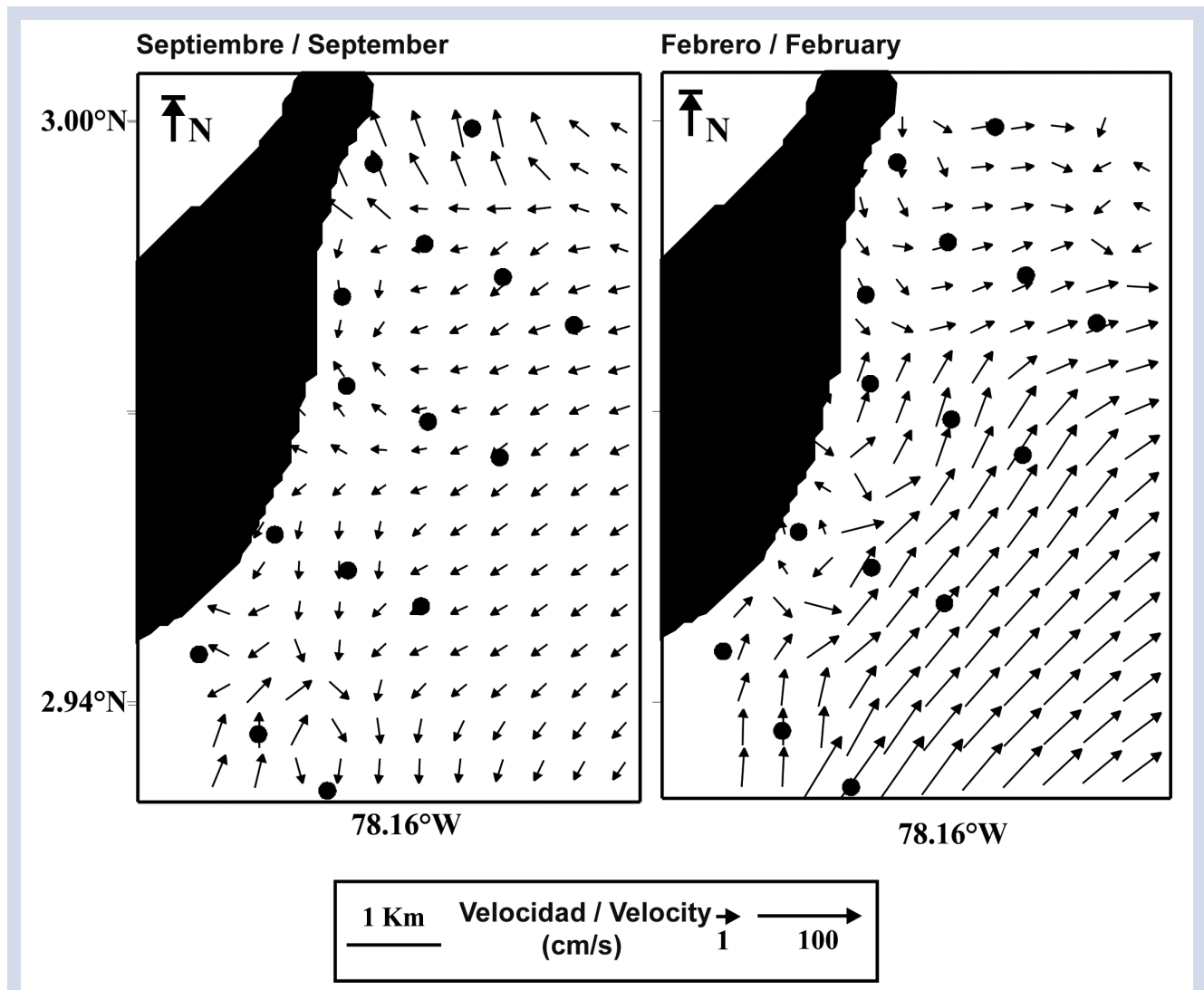


Figura 2. Campo de circulación superficial instantáneo en el costado oriental de isla Gorgona durante septiembre 2014 y febrero 2015.

Figure 2. Instant field of the surface current in the eastern part of Gorgona Island during September 2014 and February 2015.

La representatividad del muestreo fue mayor a 74% en ambos períodos de estudio. En total fueron capturadas 1185 larvas (277 en septiembre y 908 en febrero) de 29 especies de peces asociados a formaciones coralinas en el área de estudio (Tabla 3). La abundancia, riqueza y diversidad del ensamble fue significativamente mayor en febrero que

Sampling representativeness was greater than 74% in both study periods. In total, 1,185 larvae (277 in September and 908 in February) of 29 species of fish associated with coralline formations were captured in the study area (Table 3). The abundance, richness and diversity of the assemblage was significantly higher in February than



en septiembre (Tabla 4), estando dominado en septiembre por *Coryphopterus urosphilus* (Gobiidae) y en febrero por *C. urosphilus* y *Stegastes* sp. (Pomacentridae) (Tabla 3).

Tabla 3. Listado taxonómico de larvas de peces asociadas a arrecifes coralinos capturadas en el sector oriental de isla Gorgona. Se presentan los valores de abundancia relativa (Ab) y frecuencia de captura (Fr) durante los muestreos de septiembre 2014 y febrero 2015. Estaciones de muestreo por periodo: 16.

in September (Table 4), being dominated by *Coryphopterus urosphilus* (Gobiidae) in September and by *C. urosphilus* and *Stegastes* sp. (Pomacentridae) in February (Table 3).

Table 3. Taxonomic listing of fish larvae associated with coral reefs caught in the eastern sector of Gorgona Island. The relative abundance (Ab) and catch frequency (Fr) values are presented for the September 2014 and February 2015 sampling periods. Sampling stations per period: 16.

Familia / Family	Especie / Species	Septiembre / September		Febrero / February	
		Ab (%)	Fr (%)	Ab (%)	Fr (%)
Carangidae	<i>Alectis ciliaris</i> (Bloch)	0.3	6.3	0.0	0.0
Blenniidae	Blenniidae sp. 1	2.4	31.3	2.4	25.0
Blenniidae	Blenniidae sp. 2	2.6	6.3	8.6	12.5
Blenniidae	<i>Hypsoblennius</i> sp. 1	4.6	37.5	7.5	25.0
Blenniidae	<i>Ophioblennius steindachneri</i> Jordan y Evermann	0.0	0.0	0.1	6.3
Bythitidae	Bythitidae sp. 1	0.2	6.3	0.0	0.0
Chaetodontidae	<i>Chaetodon humeralis</i> Günther	0.0	0.0	0.4	6.3
Eleotridae	<i>Erotelis armiger</i> (Jordan y Richardson)	0.0	0.0	0.2	18.8
Gobiesocidae	<i>Gobiesox</i> sp. 1	0.7	6.3	2.3	31.3
Gobiesocidae	<i>Gobiesox</i> sp. 2	0.0	0.0	1.4	6.3
Gobiidae	<i>Coryphopterus urosphilus</i> Ginsburg	72.4	93.8	28.7	87.5
Gobiidae	<i>Gobulus crescentalis</i> (Gilbert)	2.6	12.5	0.5	6.3
Gobiidae	<i>Lythrypnus dalli</i> (Gilbert)	5.9	12.5	0.7	6.3
Haemulidae	<i>Anisotremus</i> sp. 1	2.4	31.3	2.4	25.0
Haemulidae	<i>Anisotremus</i> sp. 2	2.6	6.3	8.6	12.5
Haemulidae	<i>Anisotremus</i> sp. 3	4.6	37.5	7.5	25.0
Labridae	<i>Halichoeres</i> sp. 1	0.0	0.0	1.9	12.5
Labridae	<i>Thalassoma</i> sp. 1	0.0	0.0	1.4	6.3
Labrisomidae	Labrisomidae sp. 1	0.0	0.0	1.2	12.5
Labrisomidae	<i>Labrisomus</i> sp. 1	0.0	0.0	1.9	6.3
Lutjanidae	<i>Lutjanus guttatus</i> (Steindachner)	0.3	6.3	1.4	12.5
Microdesmidae	<i>Clarkichthys bilineatus</i> (Clark)	0.4	6.3	0.0	0.0
Pomacentridae	Pomacentridae sp. 1	0.0	0.0	2.7	18.8
Pomacentridae	<i>Stegastes</i> sp. 1	0.7	12.5	24.9	56.3
Scorpaenidae	<i>Scorpaena mystes</i> Jordan y Starks	0.0	0.0	0.1	6.3
Serranidae	<i>Paralabrax</i> sp. 1	0.3	6.3	1.1	12.5
Serranidae	<i>Paralabrax</i> sp. 2	0.4	6.3	0.0	0.0
Serranidae	<i>Serranus</i> sp. 1	0.0	0.0	5.4	37.5
Tetraodontidae	<i>Sphoeroides lobatus</i> (Steindachner)	6.3	18.8	0.0	0.0

Tabla 4. Comparación de los atributos comunitarios entre septiembre 2014 y febrero 2015. Perm p: valor de significancia de la comparación por remuestreo de bootstrap a partir de 10,000 permutaciones.

Table 4. Comparison of community attributes between September 2014 and February 2015. Perm p: significance value of the bootstrap resampling comparison from 10,000 permutations.

Atributo / Attribute	Septiembre / September	Febrero / February	Perm p(eq)
Taxa S	15	24	0.0001
Abundancia total (ind 1000m <sup>3</sup> ) / Total Abundance	308	373	0.032
Dominancia / Dominance	0.56	0.26	0.082
Shannon H	2.41	3.91	0.0001

También se registraron diferencias significativas en los atributos comunitarios entre los sectores de estudio durante ambos periodos de muestreo (Tabla 5). Durante septiembre se registró un menor número de taxa en el sector más cercano a las formaciones coralinas, siendo en este sector significativamente mayor la dominancia y significativamente menor la diversidad y la riqueza de especies, mientras que durante febrero, la dominancia y la riqueza fueron significativamente menores en el sector más externo del área de estudio (Tabla 5).

There were also significant differences in community attributes between study sectors during both sampling periods (Table 5). During September, there were fewer taxa in the sector closest to the coral reefs, and this sector exhibited significantly greater dominance and species diversity and richness. During February, by contrast, dominance and richness were significantly lower in the outermost sector of the study area (Table 5).

Tabla 5. Atributos comunitarios del ensamble de larvas de peces asociados a formaciones coralinas en el sector oriental de isla Gorgona durante septiembre 2014 y febrero de 2015 considerando tres sectores durante cada periodo de estudio. SS1: septiembre sector 1. SS2: septiembre sector 2. SS3: septiembre sector 3. FS1: febrero sector 1. FS2: febrero sector 2. FS3: febrero sector 3 (diferencias significativas resaltadas en negrilla).

**Table 5.** Attributes of the fish larvae community associated with coralline formations in the eastern sector of Gorgona Island during September 2014 and February 2015 considering three sectors during each study period. SS1: September sector 1, SS2: September sector 2, SS3: September sector 3, FS1: February sector 1, FS2: February sector 2 and FS3: February sector 3 (significant differences are highlighted in bold).

Atributo / Attribute	SS1	SS2	SS3	FS1	FS2	FS3	Comparación / Comparison	P
Taxa S	5	8	9	16	14	12	SS1 – SS2	<b>0.0059</b>
							SS1 – SS3	0.8183
							SS2 – SS3	0.4911
							FS1 – FS2	0.4687
							FS1 – FS3	<b>0.0165</b>
							FS2 – FS3	0.4359
Dominancia / Dominance	0.75	0.44	0.51	0.11	0.15	0.22	SS1 – SS2	<b>0.0001</b>
							SS1 – SS3	<b>0.0001</b>
							SS2 – SS3	0.2660
							FS1 – FS2	<b>0.0187</b>
							FS1 – FS3	<b>0.0001</b>
							FS2 – FS3	<b>0.0004</b>
Shannon H	0.52	1.25	1.18	2.51	2.25	1.78	SS1 – SS2	<b>0.0001</b>
							SS1 – SS3	<b>0.0001</b>
							SS2 – SS3	0.6630
							FS1 – FS2	<b>0.0025</b>
							FS1 – FS3	<b>0.0001</b>
							FS2 – FS3	<b>0.0001</b>
Morisita-Horn		SS1	SS2	SS3	FS1	FS2	FS3	
	SS1	1	0.91	0.68	0.34	0.60	0.60	
	SS2		1	0.78	0.33	0.64	0.65	
	SS3			1	0.43	0.59	0.73	
	FS1				1	0.64	0.56	
	FS2					1	0.84	
	FS3						1	

Algunas especies solo fueron registradas durante alguno de los periodos de estudio (Figura 3) ocasionando diferencias notorias en la composición de los ensambles, siendo la tasa de recambio entre periodos de 64% (Figura 3).

Some species were only recorded during one of the study periods (Figure 3), causing notable differences in the composition of the assemblies, and the replacement rate between the periods was 64% (Figure 3). This

Este resultado sugiere variación estacional en los procesos reproductivos de las poblaciones de peces asociados a las formaciones coralinas en el área de estudio.

suggests seasonal variation in the reproductive processes of the fish populations associated with coral reefs in the study area.

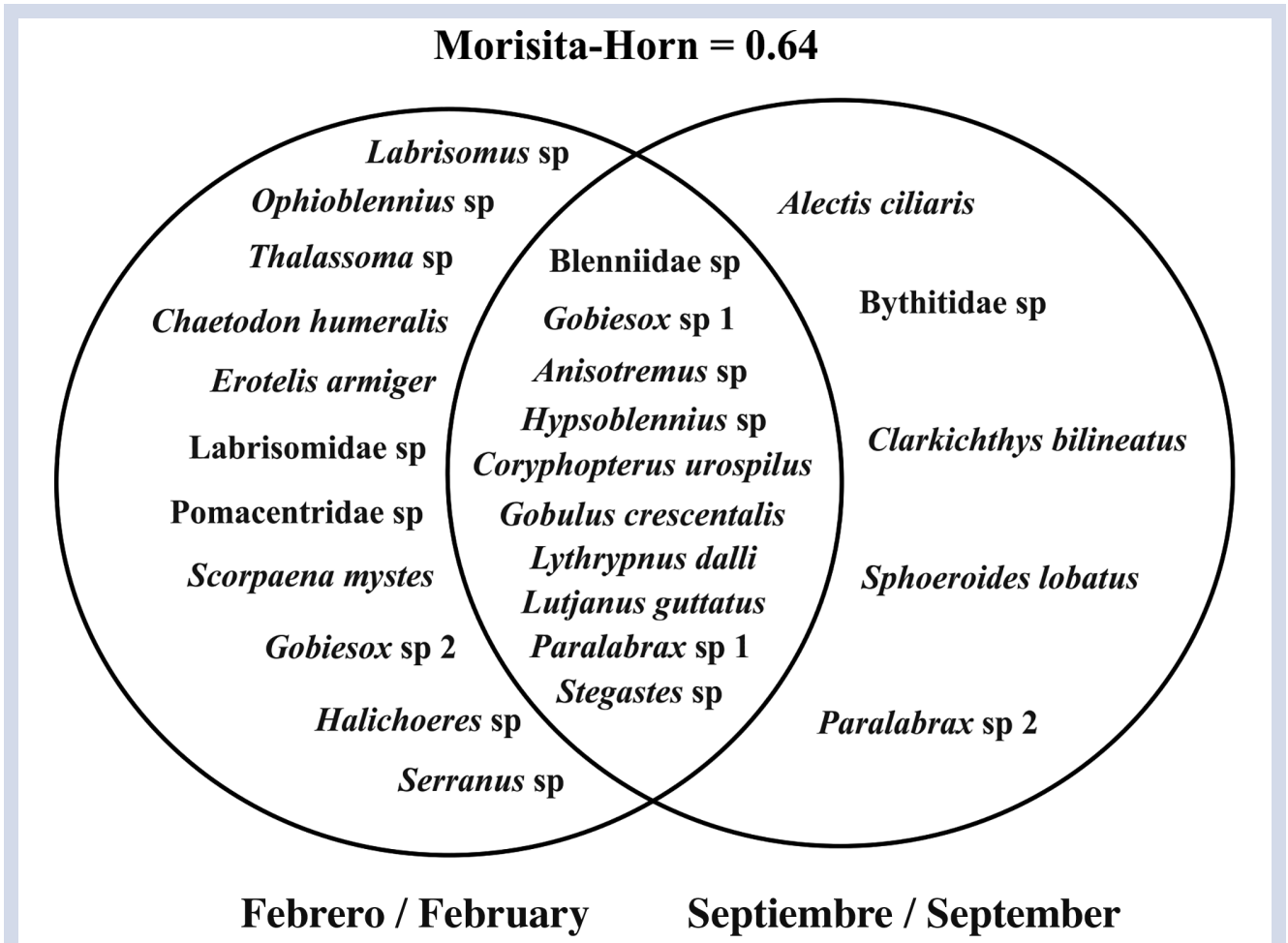


Figura 3. Descripción de la composición taxonómica de los ensambles de larvas de especies de peces asociados a formaciones coralinas en el área de estudio durante septiembre 2014 y febrero de 2015. Se indican las especies registradas exclusivamente en uno de los periodos y las especies compartidas (zona de traslape). *Anisotremus* sp. y *Blenniidae* sp. contienen las especies nominales establecidas para cada uno de los géneros.

Figure 3. The taxonomic composition of the larval assemblages of fish species associated with coral reefs in the study area during September 2014 and February 2015. Both species recorded exclusively in one of the periods and shared species (overlap zone) are indicated. *Anisotremus* sp. and *Blenniidae* sp. include the nominal species established for each of the genera.

Al evaluar la variación de la diversidad del ensamble a lo largo del gradiente espacial definido (diversidad beta) se encontró que durante septiembre la mayor tasa de recambio de especie se presentó entre el sector más externo (S3) y el sector medio e interno, mientras que durante febrero la mayor tasa de recambio se presentó entre el sector interno (S1) y los sectores medio y externo (Figura 4, Tabla 5). Este resultado sugiere que el ensamble de larvas de especies de peces asociadas a formaciones coralinas en isla Gorgona no solo varía temporalmente, sino que también exhibió una variación espacial particular durante cada uno de los períodos de estudio.

When assessing the variation in the diversity of the assemblage along the defined spatial gradient (beta diversity), the highest rate of species exchange was found between the outermost sector (S3) and the middle and inner sectors in September, while the highest replacement rate in February occurred between the inner sector (S1) and the middle and external sectors (Figure 4, Table 5). This result suggests that the larval assemblage of fish species associated with coral formations on Gorgona Island varies both temporally and spatially during each of the study periods.

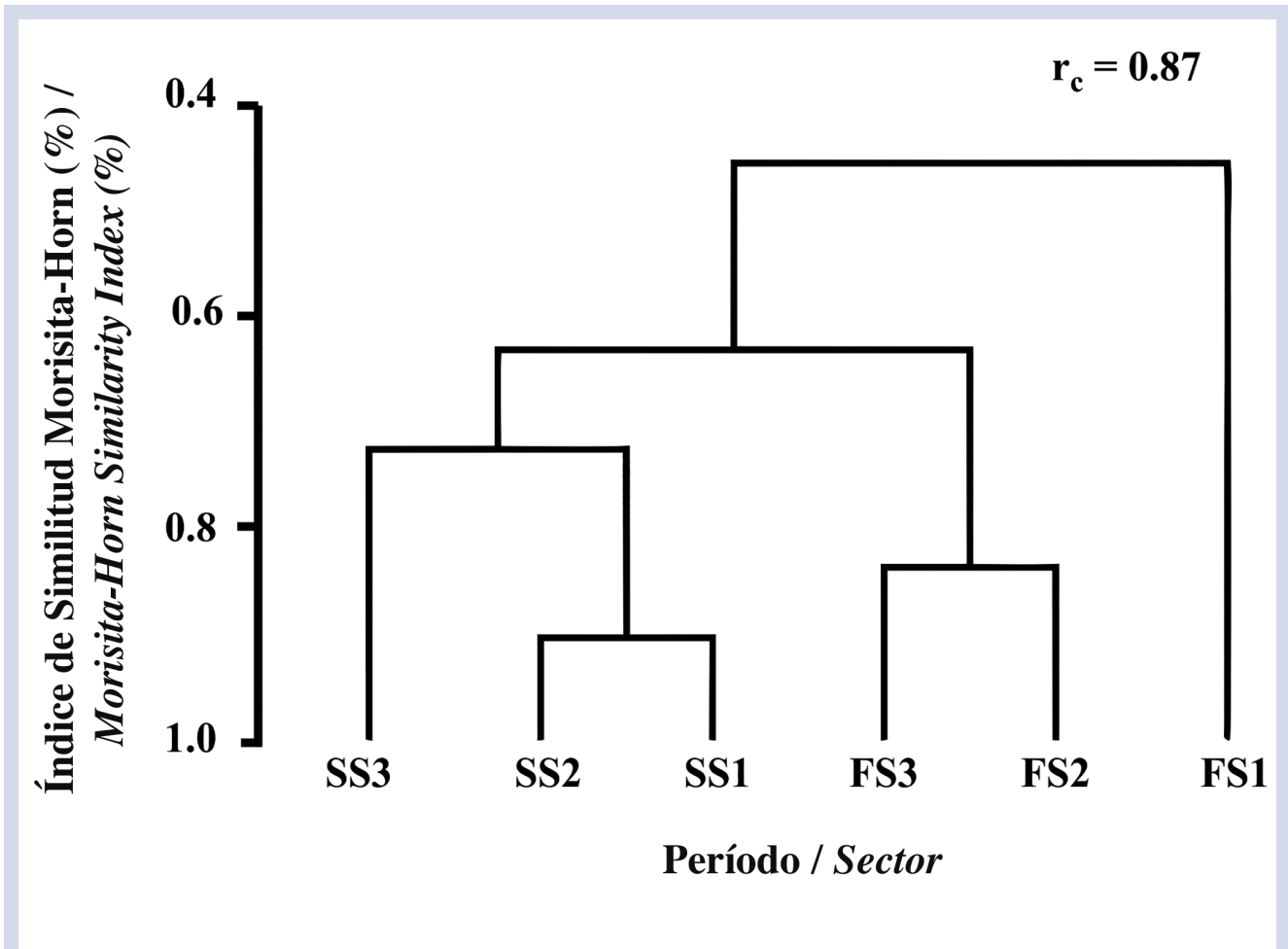


Figura 4. Dendrograma de similitud del ensamble de larvas de especies de peces asociadas a formaciones coralinas por sectores de estudio en isla Gorgona, considerando los períodos septiembre 2014 y febrero 2015.  $r_c$ : coeficiente de correlación cofenético.

Figure 4. Dendrogram of the similarity of the larval assemblages of fish species associated with coral formations by study sector around Gorgona Island considering the periods of September 2014 and February 2015.  $r_c$ : cophenetic correlation coefficient.

La variación espacial de la abundancia total de larvas de especies de peces asociadas a formaciones coralinas fue diferente entre los períodos de muestreo (Figura 5). Durante septiembre, las mayores abundancias se registraron en el arrecife coralino de La Azufrada (1,925 larvas/1,000 m<sup>3</sup>), conformando un centro de agregación (Figura 5). Durante febrero, los registros de abundancia en el sector del arrecife de La Azufrada fueron un orden de magnitud menor (68 larvas/1000 m<sup>3</sup>) a los de septiembre, identificándose durante este período una tendencia a incrementar la abundancia de larvas de especies de peces asociadas a formaciones coralinas en dirección noreste del área de estudio, específicamente hacia los sectores más alejados a las formaciones coralinas con registros del orden de 700 larvas/1,000 m<sup>3</sup> (Figura 3).

The spatial variation in the total abundance of the larvae of fish species associated with coral formations differed between the sampling periods (Figure 5). During September, the greatest abundances were recorded in the La Azufrada coral reef (1,925 larvae / 1,000 m<sup>3</sup>), forming a center of aggregation (Figure 5). During February, the abundance in the La Azufrada reef sector was less (68 larvae / 1,000 m<sup>3</sup>) than in September, with a tendency towards an increase in abundance northeast of the study area in this period, specifically towards the sectors most distant to the coral formations with records on the order of 700 larvae / 1,000 m<sup>3</sup> (Figure 3).

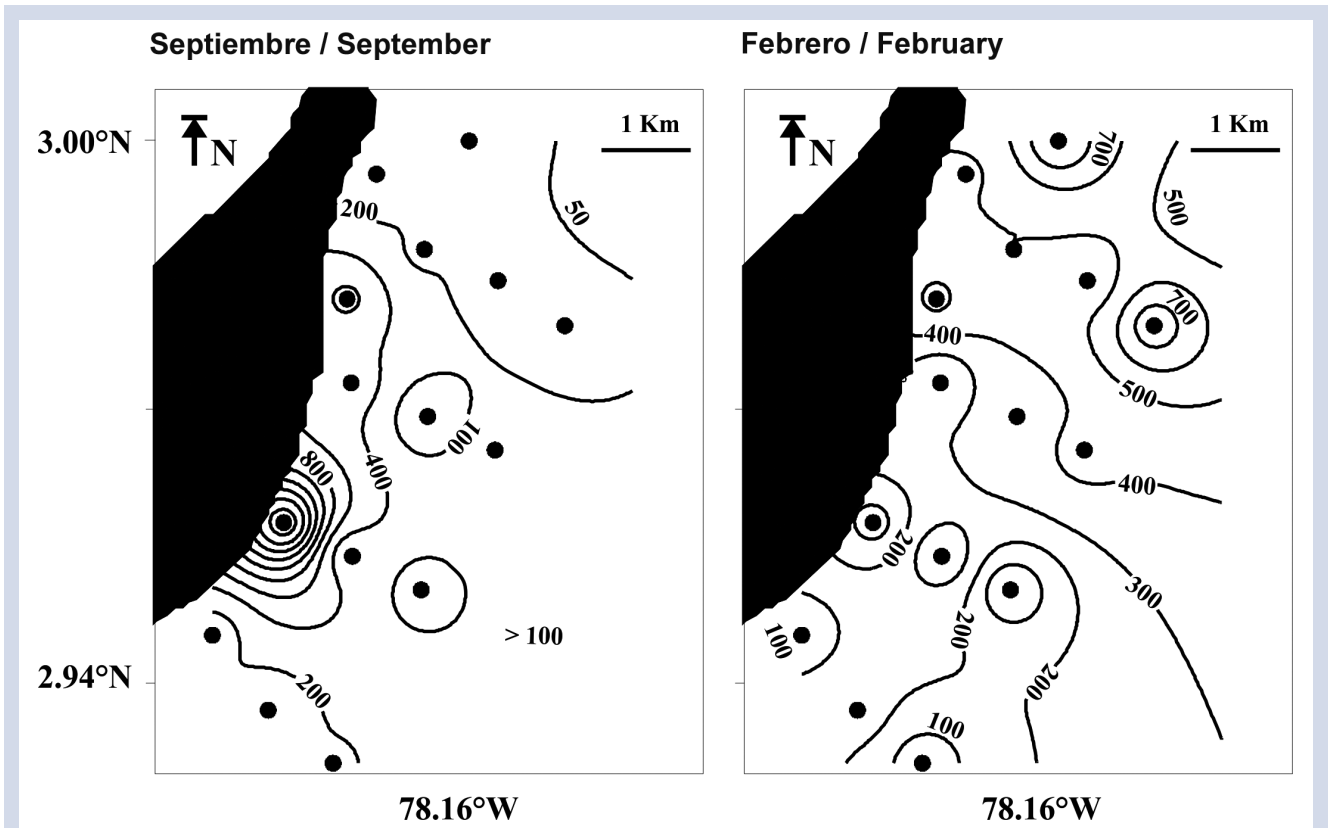


Figura 5. Representación gráfica de la variación espacial de la abundancia total de larvas (larvas/1000m<sup>3</sup>) de especies de peces asociadas a formaciones coralinas en el sector oriental de isla Gorgona durante septiembre 2014 y febrero 2015.

Figure 5. Graphical representation of the spatial variation in the larval abundance (larvae / 1,000 m<sup>3</sup>) of fish species associated with coral formations in the eastern sector of Gorgona Island during September 2014 and February 2015.

## DISCUSIÓN

Los ambientes insulares continentales y oceánicos han sido ampliamente reconocidos como entornos estratégicos para el desarrollo de las larvas de peces (Lobel y Robinson, 1986; Boehlert *et al.*, 1992; Cowen y Castro, 1994; Paris y Cowen, 2004; Sale *et al.*, 2005). Particularmente, isla Gorgona ha sido identificada como un área marina protegida estratégica para el Pacífico colombiano debido a su diversidad biológica y ecosistémica y su potencial función como sitio de abastecimiento de recursos pesqueros a nivel local (Franke y Acero, 1992; Franke y Acero, 1995a, 1995b; Rojas y Zapata, 2006; Giraldo *et al.*, 2014).

Aunque el conocimiento sobre la biología y ecología de los estadios larvales de los peces es clave para entender la dinámica de sus poblaciones (Lehodey *et al.*, 2006; Harrison *et al.*, 2012), la información sobre este tópico en isla Gorgona es escasa. Recientemente, Escarria *et al.* (2007) registraron para isla Gorgona la presencia de larvas de 35 taxa de peces, de las cuales solo dos de ellas (*Lythrypnus dalli* y *Paralabrax* sp.) fueron registradas en la presente investigación. Por lo

## DISCUSSION

Continental and oceanic environments have been widely recognized as strategic for the development of fish larvae (Lobel and Robinson, 1986, Boehlert *et al.*, 1992, Cowen and Castro, 1994, Paris and Cowen, 2004, Sale *et al.*, 2005). In particular, Gorgona Island has been identified as a strategic marine protected area for the Colombian Pacific because of its biological and ecosystem diversity and its potential role as a site for local fishery resources (Franke and Acero, 1992; 1995; Rojas and Zapata, 2006; Giraldo *et al.*, 2014).

Although knowledge of the biology and ecology of larval instars is key to understanding the population dynamics of fish (Lehodey *et al.*, 2006; Harrison *et al.*, 2012), such information is scarce for Gorgona Island. Recently, Escarria *et al.* (2007) recorded the presence of larvae of 35 fish taxa around Gorgona Island, of which only two (*Lythrypnus dalli* and *Paralabrax* sp.) were recorded in the present investigation. Therefore, the

tanto, con los registros realizados durante nuestro estudio se incrementó el conteo de larvas de especies peces para isla Gorgona a 62 taxa.

Ha sido ampliamente documentado que la variación temporal de las condiciones ambientales puede llegar a modular la distribución, abundancia y, en general, la estructura de los ensambles de larvas de peces en el ambiente pelágico (Franco *et al.*, 2002; Funes *et al.*, 2002; Aceves *et al.*, 2003, 2008). Durante el periodo de estudio, las condiciones oceanográficas registradas coincidieron con lo descrito previamente para esta localidad con una mayor temperatura y menor salinidad superficial durante septiembre (período de mayor precipitación) que durante febrero (período de menor precipitación) (Giraldo, 2008; Giraldo *et al.*, 2008, 2012). Sumado a lo anterior, en la presente investigación se establecieron diferencias en la dirección predominante y velocidad media de la circulación superficial instantánea y diferencias en los atributos comunitarios de los ensambles de larvas de especies de peces asociados a formaciones coralinas entre los periodos de estudio. Por lo tanto, se puede inferir que las condiciones oceanográficas locales podrían estar condicionando la estructura y composición del ensamble de larvas de peces asociados a formaciones coralinas en esta localidad, ya sea modulando procesos reproductivos de los adultos o determinando la ubicación espacial de los huevos y larvas (Leis, 1993; Sponaugle *et al.*, 2003; Fabricius *et al.*, 2005; Srinivasan y Jones, 2006; Trembl *et al.*, 2012).

Es importante destacar que la abundancia de larvas de especies de peces asociadas a formaciones coralinas en el sector oriental de isla Gorgona también varió espacialmente dentro de cada uno de los períodos de estudio. Esta variación espacial “intra periodo” podría estar relacionada con el patrón de circulación superficial, el cual durante septiembre estaría favoreciendo procesos de agregación hacia el sector donde se ubican las formaciones coralinas de La Azufrada y Playa Blanca mientras que durante febrero se estarían favoreciendo procesos de dispersión hacia toda el área de estudio. Estos resultados, concuerdan con lo descrito por Cowen y Castro (1994) a una escala de isla en Barbados, Antillas Menores. En esta localidad, la variación espacial de la abundancia de las larvas de peces asociadas a los arrecifes coralinos estuvo modulada por el campo local de circulación siendo las larvas transportadas activamente por la corriente, conformándose áreas de agregación. Incluso, ha sido propuesto que este sería un mecanismo utilizado frecuentemente por las larvas de peces coralinos para colonizar áreas aledañas o incluso retornar a los lugares de desove (Jones *et al.*, 2005; Sundelöf y Jonsson, 2012).

En los estudios de dispersión, las larvas en sus primeros estadios de desarrollo son consideradas como una

records made during our study increased the count of fish larvae to 62 taxa.

It has been widely documented that temporal variation in environmental conditions can modulate the distribution, abundance and general structure of fish larvae assemblages in the pelagic environment (Franco *et al.*, 2002; Funes *et al.*, 2002; Aceves *et al.*, 2003, 2008). During the study period, the oceanographic conditions coincided with those previously described for this location with a higher temperature and lower surface salinity during September (a period of increased precipitation) and a lower temperature and higher salinity during February (a period of lower precipitation) (Giraldo, 2008; Giraldo *et al.*, 2008, 2012). In the present study, differences were found between the study periods in the predominant direction and mean velocity of the instant field of the surface current as well as differences in the community attributes of the larval assemblages of fish species associated with coral formations. Therefore, local oceanographic conditions could be conditioning the structure and composition of the fish larvae assemblage associated with coralline formations in this locality, either by modulating the reproductive processes of the adults or by influencing the spatial location of the eggs and larvae (Leis, 1993; Sponaugle *et al.*, 2003; Fabricius *et al.*, 2005; Srinivasan and Jones, 2006; Trembl *et al.*, 2012.).

It is important to note that the larval abundance of the fish species associated with coral formations in the eastern sector of Gorgona Island also varied spatially within each of the study periods. This “intra period” spatial variation could be related to the surface circulation pattern, which would favor aggregation towards the sector containing the coral formations of La Azufrada and Playa Blanca during September, but during February, dispersion would be favored throughout the entire study area. These results agree with what Cowen and Castro (1994) described on an island scale in Barbados, Lesser Antilles. At this locality, the spatial variation in the abundance of the fish larvae associated with the coral reefs was modulated by the local circulation field with the larvae being actively transported by the current, forming areas of aggregation, and this has been proposed as a mechanism used by coral larvae to colonize surrounding areas or even return to their spawning grounds (Jones *et al.*, 2005; Sundelöf and Jonsson, 2012).

In dispersion studies, larvae in their early stages of development are considered passive particles, whose

partícula pasiva, cuya movilidad en los ambientes pelágicos insulares, estaría estrechamente relacionada con mecanismos físicos de la columna de agua, tales como corrientes, frentes termohalinos o remolinos de pequeña escala (Paris y Cowen, 2004; Hogan *et al.*, 2012). Parece que la interacción de estos mecanismos físicos en una escala local, podrían llegar a favorecer la recirculación de las larvas de peces, reduciendo así la probabilidad de pérdida de individuos como consecuencia al transporte a lugares de asentamiento inadecuados ya que favorecerían el regreso de las larvas en la escala de días a los lugares de desove original (Jones *et al.*, 2005, 2009; Hamner *et al.*, 2007; Wolanski y Kingsford, 2014). Sin embargo, este mecanismo de permanencia puede verse aún más favorecido al considerar la capacidad sensorial (Lecchini *et al.*, 2005; Mouritsen *et al.*, 2013; Paris *et al.*, 2013) y natatoria (Fisher *et al.*, 2005; Irisson *et al.*, 2015) que exhiben la mayoría de las larvas de peces coralinos, las cuales les permiten orientarse y dirigirse hacia lugares que les ofrezcan una mayor probabilidad de sobrevivencia.

Aunque los resultados de esta investigación pueden ser considerados como una visión sinóptica del área de estudio, se generó evidencia significativa que demuestra que en el sector oriental de isla Gorgona la disponibilidad de larvas de especies de peces asociados a formaciones coralinas varía temporal y espacialmente. Incluso, esta variabilidad parece estar relacionada con la variación temporal de las condiciones oceanográficas descritas para la zona de estudio, particularmente las condiciones de circulación superficial a escala de isla. Sin embargo, se hace necesario seguir ahondando en esta temática, incorporando en los estudios los factores que modulan la capacidad de movimiento de las larvas de peces, como su habilidad natatoria y sensitiva (Wolanski y Kingsford, 2014), de tal manera que se pueda llegar a comprender la forma como se estarían abasteciendo las poblaciones de peces que habitan las formaciones coralinas en esta localidad.

## AGRADECIMIENTOS

A Felipe Muriel, Marisol Rivera, María Moreno, Andrés Carmona, Stephania Rojas, José Ortiz, Ana Méndez, John Carvajal, David Friedrich, María Isabel Ospina, Kevin Mendoza, Felipe López, Yolanda Otero y Harold Cuenca por su valioso apoyo durante las jornadas de muestreo. A los funcionarios del PNN Isla Gorgona, especialmente a Ximena Zorrilla, Luis Fernando Payán, Héctor Chirimía, Justino Bonilla, Filiberto Paredes y Abad Ruiz por su disposición para facilitar y apoyar el desarrollo de esta investigación. Esta investigación fue financiada parcialmente por el grupo de

mobility in insular pelagic environments would be closely related to the physical conditions of the water column, such as currents, thermohaline fronts or small-scale eddies (Paris and Cowen, 2004; Hogan *et al.*, 2012). It seems that the interaction of these physical mechanisms on a local scale could favor the recirculation of fish larvae, thus reducing the probability of individual mortality due to transport to inappropriate settlement sites by favoring the return of the larvae to their original spawning sites within days (Jones *et al.*, 2005, 2009, Hamner *et al.*, 2007, Wolanski and Kingsford, 2014). However, this mechanism to promote site fidelity could be further favored if the sensory (Lecchini *et al.*, 2005; Mouritsen *et al.*, 2013; Paris *et al.*, 2013) and swimming capacities (Fisher *et al.*, 2005; Irisson *et al.*, 2015) exhibited by most coral fish larvae are considered, as they allow larvae to orient themselves and reach locations that offer a greater probability of survival.

Although the results of this research can be considered a synoptic view of the study area, significant evidence was generated showing that the abundance of the larvae of fish species associated with coral formations varies temporally and spatially in the eastern sector of Gorgona Island. Even this variability seems to be related to the temporal variation in the oceanographic conditions described for the study area, particularly the island-wide surface circulation conditions. However, it is necessary to continue to delve into this issue, incorporating the factors that modulate the movement capacity of fish larvae, such as their swimming and sensory abilities (Wolanski and Kingsford, 2014), to understand how they impact the fish populations that inhabit the coral formations in this locality.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank Felipe Muriel, Marisol Rivera, María Moreno, Andrés Carmona, Stephania Rojas, José Ortiz, Ana Méndez, Juan Carvajal, David Friedrich, María Isabel Ospina, Kevin Mendoza, Felipe López, Yolanda Otero and Harold Cuenca for their valuable support during sampling as well as the officials of the Gorgona Island PNN, especially Ximena Zorrilla, Luis Fernando Payán, Hector Chirimía, Justino Bonilla, Filiberto Paredes and Abad Ruiz, for their willingness to facilitate and support the development of this research. This study was partially funded by the Oceanography Research Group of the University of

investigación en Ciencias Oceanográficas de la Universidad del Valle, el Departamento de Biología de la Universidad del Valle y el PNN Isla Gorgona, en el marco del programa de monitoreo de los valores objetos de conservación del Parque Gorgona, componente ambiente pelágico. Esta contribución corresponde al trabajo de grado del primer autor para obtener el grado de Biólogo del programa académico de Biología de la Universidad del Valle.

Valle, the Department of Biology of the University of Valle and the Gorgona Island PNN within the framework of the program to monitor the conservation value of the pelagic environment component of Gorgona Park. This contribution represents the work of the first author to obtain the academic degree of Biologist from the Department of Biology of the University of Valle.

## BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Aceves, G., S.P. Jiménez, A. Hinojosa, R. Funes, R.J. Saldierna, D. Lluch, P.E. Smith and W. Watson. 2003. Fish larvae from the Gulf of California. *Scientia Mar.*, 67(1): 1-11.
- Aceves, G., R. Saldierna, A. Hinojosa, S.P.A. Jiménez, M.E. Hernández and R. Morales. 2008. Vertical structure of larval fish assemblages during diel cycles in summer and winter in the southern part of Bahía de La Paz, Mexico. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 76: 889-901.
- Almany, G.R., R.J. Hamilton, M. Bode, M. Matawai, T. Potuku, P. Saenz and G.R. Russ. 2013. Dispersal of grouper larvae drives local resource sharing in a coral reef fishery. *Curr. Biol.*, 23(7): 626-630.
- Amador, J.A., E.R. Rivera, A.M. Durán, G. Mora and F. Sáenz. 2016. The easternmost tropical Pacific. Part I: A climate review. *Rev. Biol. Trop.*, 64: 1-22.
- Beltrán, B.S. y R. Ríos. 2000. Estadios tempranos de peces del Pacífico colombiano. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA, Buenaventura, Colombia. 727 p.
- Bergenius, M.A., M.I. McCormick, M.G. Meekan and D.R. Robertson. 2005. Environmental influences on larval duration, growth and magnitude of settlement of a coral reef fish. *Mar. Biol.*, 147(2): 291-300.
- Blanco, J. F. 2009. The hydroclimatology of Gorgona Island: seasonal and ENSO-related patterns. *Actual. Biol.*, 31(91): 111-121.
- Boehlert, G.W., W. Watson and C. Sun. 1992. Horizontal and vertical distributions of larval fishes around an isolated oceanic island in the tropical Pacific. *Deep Sea Res.*, 39(3/4): 439-466.
- Bogan, M. 1994. Distribution and retention of larval fishes near reefs in the Gulf of California. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 115: 1-13.
- Buston, P.M., P.J. Geoffrey, S. Planes and S.R. Thorrold. 2012. Probability of successful larval dispersal declines fivefold over 1 km in a coral reef fish. *Proc. Royal Soc. B.*, 279: 1883-1888.
- Calderón-Patrón, J.M., C.E. Moreno e I. Zuria. 2012. La diversidad beta: medio siglo de avances. *Rev. Mex. Biodivers.*, 83(3): 879-891.
- Cowen, R. K. and L.R. Castro. 1994. Relation of coral reef fish larval distributions to island scale circulation around Barbados, West Indies. *Bull. Mar. Sci.*, 54(1): 228-244.
- Cowen, R.K., K.M. Lwiza, S. Sponaugle, C.B. Paris and D.B. Olson. 2000. Connectivity of marine populations: open or closed? *Science*, 287: 857-859.
- Cowen, R.K., C.B. Paris and A. Srinivasan. 2006. Scaling of connectivity in marine populations. *Science*, 311: 522-527.
- Díaz, J.M., J.H. Pinzón, A.M. Perdomo, L.M. Barrios y M. López. 2001. Generalidades: 17-26. En Barrios, L.M. y M. López-Victoria. (Eds.). *Gorgona Marina: Contribución al conocimiento de una isla única*. Invemar Ser. Publ. Esp., 7: 160 p.
- Eble, J., R. Toonen, L. Sorenson, L. Basch, Y. Papastamatiou and B. Bowen. 2011. Escaping paradise: larval export from Hawaii in an Indo-Pacific reef fish, the yellow tang *Zebrasoma flavescens*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 428: 245-258.
- Escarria, E., B. Beltrán, A. Giraldo and F.A. Zapata. 2007. Ichthyoplankton in the Nacional Natural Park Isla Gorgona (Pacific Ocean of Colombia) during September 2005. *Invest. Mar. Valparaíso*, 35: 127-133.
- Estupiñán, F., H.v. Prahly y E. Rubio. 1990. Ictiofauna de la ensenada de Utría, Pacífico colombiano. *Rev. Cienc.*, 2: 65-75.
- Fiedler, P.C. and L. Talley. 2006. Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progr. Oceanogr.*, 69: 143-180.
- Fisher, R., J.M. Leis, D.L. Clark and S.K. Wilson. 2005. Critical swimming speeds of late-stage coral reef fish larvae: variation within species, among species and between locations. *Mar. Biol.*, 147(5): 1201-1212.
- Fabricius, K., G. De'ath, L. McCook, E. Turak and D.M. Williams. 2005. Changes in algal, coral and fish assemblages along water quality gradients on the inshore Great Barrier Reef. *Mar. Pollut. Bull.*, 51(1): 384-398.
- Franco, C., E. Godínez and E. Suárez. 2002. Larval fish assemblages in waters off the central Pacific coast México. *J. Plankton Res.*, 24 (8): 775-784.
- Franke, R. y A. Acero P. 1992. Peces lutjánidos del Parque Gorgona Pacifico colombiano (Osteichthyes: Lutjanidae). *Rev. Biol. Mar. Valparaíso*, 27: 59-71.
- Franke, R. y A. Acero P. 1995a. Peces óseos comerciales del Parque Gorgona, Pacifico colombiano (Osteichthyes: Muraenesocidae. Hemiramphidae. Belonidae. Scorpaenidae. Triglidae. Malacanthidae. Gerreidae. Sparidae. Kyphosidae. Sphyrnaeidae e Istiophoridae). *Rev. Biol. Trop.*, 44(2): 763-770.





- Franke, R. y A. Acero P. 1995b. Peces serránidos del Parque Gorgona. Pacífico colombiano (Osteichthyes: Serranidae). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 19(74): 593-600.
- Funes, R., C. Flores, A. Esquivel, M.A. Fernández and A. Gracia. 2002. Larval fish community structure along the west coast of Baja California during and after the El Niño event (1983). *Bol. Cienc. Mar.*, 70(1): 41-54.
- Gerlach, G., J. Atema, M.J. Kingsford, K. Black and V.P. Miller. 2007. Smelling home can prevent dispersal of reef fish larvae. *PNAS*, 104(3): 858-863.
- Giraldo, A. 2008. Variabilidad espacial de temperatura, salinidad y transparencia en el ambiente pelágico del PNN Gorgona durante septiembre 2007 y marzo 2008. *Bol. Cient. CIOH*, 26: 157-163.
- Giraldo, A. y B. Valencia 2012. Condiciones oceanográficas en la Ensenada de Utría y su potencial influencia sobre los ecosistemas marinos objetos valor de conservación del PNN Utría. Informe Técnico Final US-191. Universidad del Valle, Cali. 67 p.
- Giraldo, A., E. Rodríguez y F. Zapata. 2008. Condiciones oceanográficas en isla Gorgona, Pacífico Oriental Tropical de Colombia. *Lat. Am. J. Aq. Res.*, 36: 121-128.
- Giraldo, A., B. Valencia, J. Acevedo y M. Rivera. 2012. Columna de agua del Parque Nacional Natural Gorgona: 27-44. En Giraldo, A. y B. Valencia (Eds.). *Isla Gorgona, paraíso de biodiversidad y ciencia*. Universidad del Valle, Cali. 222 p.
- Giraldo, A., M.C. Diazgranados y C.F. Gutiérrez. 2014. Isla Gorgona, enclave estratégico para los esfuerzos de conservación en el Pacífico Oriental Tropical. *Rev. Biol. Trop.*, 62: 1-12.
- Glynn, P.W. and J.S. Ault. 2000. A biogeographic analysis and review of the far eastern Pacific coral reef region. *Coral Reefs*, 19: 1-23.
- Gómez, F. y C. Vieira. 1996. Ictiofauna asociada a los arrecifes coralinos hermatípicos de la ensenada de Utría, Chocó, Pacífico colombiano. *Universitas Scientiarum*, 3(1-2): 53-61.
- Green, A.L., A.P. Maypa, G.R. Almany, K.L. Rhodes, R. Weeks, R.A. Abesamis and A.T. White. 2015. Larval dispersal and movement patterns of coral reef fishes, and implications for marine reserve network design. *Biol. Rev.*, 90(4): 1215-1247.
- Hamner, W.M. and J.L. Largier. 2012. Oceanography of the planktonic stages of aggregation spawning reef fishes: 159-190. En de Sadovy, Y. y P.L. Colin (Eds.). *Reef fish spawning aggregations: Biology, research and management*. Fish Fish. Series. Springer. New York. 622 p.
- Hamner, W.M., P.L. Colin and P.P. Hamner. 2007. Export-import dynamics of zooplankton on a coral reef in Palau. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 334: 83-92
- Harrison, H. B., D.H. Williamson, R.D. Evans, G.R. Almany, S.R. Thorrold, G.R. Russ, K.A. Feldheim, L. van Herwerden, S. Planes, M. Srinivasan, L.M. Berumen and G.P. Jones. 2012. Larval export from marine reserves and the recruitment benefit for fish and fisheries. *Curr. Biol.*, 22: 1023-1028.
- Herrera-Moreno, A. 2000. La clasificación numérica y su aplicación en la ecología. *Inst. Tecnol. Santo Domingo, República Dominicana*. 88 p.
- Hogan, J. D., R.J. Thiessen, P.F. Sale and D.D. Heath. 2012. Local retention, dispersal and fluctuating connectivity among populations of a coral reef fish. *Oecologia*, 168(1): 61-71.
- Hoyos, N., J. Escobar, J.C. Restrepo, A.M. Arango and J.C. Ortiz. 2013. Impact of the 2010-2011 La Niña phenomenon in Colombia, South America: The human toll of an extreme weather event. *Ap. Geogr.*, 39: 16-25.
- Irisson, J.O., A. LeVan, M. de Lara and S. Planes. 2004. Strategies and trajectories of coral reef fish larvae optimizing self-recruitment. *J. Theor. Biol.*, 227: 205-218.
- Irisson, J.O., C.B. Paris, J.M. Leis and M.N. Yerman. 2015. With a little help from my friends: group orientation by larvae of a coral reef fish. *PLoS One*, 10(12): e0144060.
- Jones, G. P., S. Planes and S.R. Thorrold. 2005. Coral reef fish larvae settle close to home. *Curr. Biol.*, 15(14): 1314-1318.
- Jones, G.P., G.R. Almany, G. R. Russ, P.F. Sale, R.S. Steneck, M.J.H. Van Oppen and B.L. Willis. 2009. Larval retention and connectivity among populations of corals and reef fishes: history, advances and challenges. *Coral Reefs*, 28(2): 307-325.
- Joseph, A. 2014. *Measuring ocean currents: tools, technologies and data*. Elsevier. Waltham, USA. 448 p.
- Jost, L., A. Chao and R.L. Chazdon. 2011. Compositional similarity and  $\beta$  (beta) diversity: 66-87. En Magurran, A. y B.J. McGill (Ed.). *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment*. Oxford, New York. 368 p.
- Kessler, W. S. 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific. A review. *Prog. Oceanogr.*, 69: 181-217.
- Landaeta, M. y L. Castro. 2004. Zonas de concentración de ictioplancton en el archipiélago de Juan Fernández, Chile. *Cienc. Tecnol. Mar.*, 27(2): 43-53.
- Leahy, S.M., G.R. Russ and R.A. Abesamis. 2015. Pelagic larval duration and settlement size of a reef fish are spatially consistent, but post-settlement growth varies at the reef scale. *Coral Reefs*, 34(4): 1283-1296.
- Lecchini, D., J. Shima, B. Banaigs and R. Galzin. 2005. Larval sensory abilities and mechanisms of habitat selection of a coral reef fish during settlement. *Oecologia*, 143(2): 326-334.
- Lefèvre, C. D. and D.R. Bellwood. 2015. Disturbance and recolonization by small reef fishes: the role of local movement versus recruitment. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 537: 205-215.
- Lehodey, P., J. Alheit, M. Barange, T. Baumgartner, G. Beaugrand, K. Drinkwater, J. Fromentin, S. Hare, G. Ottersen, R. Perry, C. Roy, C. van der Lingen and F. Werner. 2006. Climate variability, fish and fisheries. *J. Clim.*, 19: 5009-5030.
- Leis, J.M. 1993. Larval fish assemblages near Indo-Pacific coral reefs. *Bull. Mar. Sci.*, 53(2): 362-392.
- Lobel, P. S. and A.R. Robinson. 1986. Transport and entrapment of fish larvae by ocean mesoscale eddies and currents in Hawaiian waters. *Deep Sea Res. Part A, Oceanogr. Res.*, 33(4): 483-500.

- Moser, H. G. 1996. The early stages of fishes in the California Current Region. Calcofi Atlas. 33. Allen Press, Lawrence, USA. 1505 p.
- Mouritsen, H., J. Atema, M.J. Kingsford and G. Gerlach. 2013. Sun compass orientation helps coral reef fish larvae return to their natal reef. PLoS One, 8(6): e66039.
- Muñoz, C. G. y F. A. Zapata. 2013. Plan de Manejo de los Arrecifes Coralinos del Parque Nacional Natural Gorgona, Pacífico colombiano. Parques Nacionales Naturales y WWF-Colombia. Cali. 68 p.
- Paris, C.B. and R.K. Cowen. 2004. Direct evidence of a biophysical retention mechanism for coral reef fish larvae. Limnol. Oceanogr., 49(6): 1964-1979.
- Paris, C.B., J. Atema, J.O. Irisson, M. Kingsford, G. Gerlach and C.M. Guigand. 2013. Reef odor: a wake up call for navigation in reef fish larvae. PLoS One, 8(8): e72808
- Poveda, G., D.M. Álvarez and O.A. Rueda. 2011. Hydro-climatic variability over the Andes of Colombia associated with ENSO: a review of climatic processes and their impact on one of the Earth's most important biodiversity hotspots. Clim. Dyn., 36: 2233-2249.
- Robertson, D.R. y G.R. Allen. 2015. Peces costeros del Pacífico Oriental Tropical: Sistema de información en línea. Versión 2.0 Inst. Smithsonian Invest. Trop. Balboa, Panamá.
- Rodríguez, E., W. Schneider and R. Abarca del Río. 2003. On the seasonal circulation within the Panama Bight derived from satellite observations of wind, altimetry and sea surface temperature. Geophys. Res. Lett., 30(7): 1410. doi:10.1029/2002GL016794, 7.
- Rodríguez, E., J.R. Ortiz y J.G. Rueda. 2007. Aspectos oceanográficos: 29-44. En DIMAR-CCCP y UAESPNN- DTSO (Eds.). Santuario de Fauna y Flora Malpelo: descubrimiento en marcha. DIMAR, Bogotá. 142 p.
- Rojas, P.A. y L.A. Zapata. 2006. Peces demersales del Parque Nacional Natural Gorgona y su área de influencia. Pacífico colombiano. Biota Colomb., 7(2): 211-244.
- Rubio, E. 1990. Ictiofauna pacífica asociada a los corales de la isla de Gorgona. Rev. Cienc., 2: 97-106.
- Rubio, E. y J. Angulo. 2003. Peces coralinos del Pacífico colombiano: incluye especies deportivas y comerciales de áreas adyacentes. Univ. Valle, Cali. 317 p.
- Sale, P. F. 2004. Connectivity, recruitment variation, and the structure of reef fish communities. Integr. Comp. Biol., 44: 390-399.
- Sale, P., R. Cowen, B. Danilowicz, G. Jones, J. Kritzer, K. Lindeman and R. Steneck. 2005. Critical science gaps impede use of no-take fishery reserves. Trends Ecol. Evol., 20(2): 74-80.
- Salles, O., J. Maynard, M. Joannides, C. Barbu, P. Saenz, R. Almany and S. Planes. 2015. Coral reef fish populations can persist without immigration. Proc. Roy. Soc. B, 282: 20151311. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.1311> 20151311).
- Searcy, S. P. and S. Sponaugle. 2000. Variable larval growth in a coral reef fish. Mar. Ecol. Progr. Ser., 206: 213-226.
- Sponaugle, S., J. Fortuna, K. Grorud and T. Lee. 2003. Dynamics of larval fish assemblages over a shallow coral reef in the Florida Keys. Mar. Biol., 143(1): 175-189.
- Srinivasan, M and G.P. Jones. 2006. Extended breeding and recruitment periods of fishes on a low latitude coral reef. Coral Reefs, 25(4): 673-682.
- Sundelöf, A. and P.R. Jonsson. 2012. Larval dispersal and vertical migration behavior-a simulation study for short dispersal times. Mar. Ecol., 33: 183-193.
- Tremblay, E. A., J.J. Roberts, Y. Chao, P.N. Halpin, H.P. Possingham and C. Riginos. 2012. Reproductive output and duration of the pelagic larval stage determine seascape-wide connectivity of marine populations. Integr. Comp. Biol., 52(4): 525-537.
- UAESPNN. 2004. Plan básico de manejo 2005-2009 Parque Nacional Natural Gorgona. Parques Nacionales Naturales, Dirección Territorial Suroccidente, Cali. 255 p.
- Vellend, M. 2001. Do commonly used indices of  $\beta$ -diversity measure species turnover? J. Veg. Sci., 12: 545-552.
- Villegas, N.L. e I. Málíkov. Modelación de la estructura dinámica de las aguas de la cuenca del Pacífico colombiano. Bol. Cient. CCCP., 13: 97-114.
- Villegas, N.L., I. Málíkov y D. Díaz. 2016. Variabilidad mensual de la velocidad de surgencia y clorofila a en la región del Panama Bight. Rev. Mutis, 6(2): 82-94.
- Wolanski, E. and M. Kingsford. 2014. Oceanographic and behavioural assumptions in models of the fate of coral and coral reef fish larvae. J. Roy. Soc. Interface, 11: 20140209. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2014.0209>
- Zapata, F. 2001. Ecología de peces arrecifales en Gorgona: Composición, abundancia, diversidad e historia de vida temprana: 111-122. En Barrios, L. M. y M López-Victoria (Eds.). Gorgona Marina: Contribución al conocimiento de una isla única. Invenmar Ser. Publ. Esp. 7, 160 p.
- Zapata, F. and Y. Morales. 1997. Spatial and temporal patterns of fish diversity in a coral reef at Gorgona Island, Colombia. Proc. 8th Internat. Coral Reef Symp., 1: 1029-1034.
- Zapata, F. and P. Herrón. 2002. Pelagic larval duration and geographic distribution of tropical eastern Pacific snappers (Pisces: Lutjanidae). Mar. Ecol. Progr. Ser., 230: 295-300.

