

Variación poblacional de tres especies de piqueros (Suliformes: Sulidae) en isla Gorgona, Pacífico colombiano, según la temperatura del mar

Alejandro Perlaza-Gamboa^{1*}, Alan Giraldo¹, Luis Fernando Payán² & Felipe A. Estela³

1. Grupo Investigación Ecología Animal, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle, Calle 13 N° 100-00, Cali, Colombia; alejandro.perlaza@correounivalle.edu.co, alan.giraldo@correounivalle.edu.co
2. Estación Científica Henry von Prael, Parque Nacional Natural Gorgona, Parques Nacionales Naturales de Colombia, Calle 29 Norte N° 6N- 43, Cali, Colombia; estacioncientificagorgona@gmail.com
3. Departamento de Ciencias Naturales y Matemáticas, Pontificia Universidad Javeriana Cali, Calle 18 N° 118-250, Cali, Colombia; felipe.estela@javerianacali.edu.co

* Correspondencia

Recibido 08-VII-2019. Corregido 06-II-2020. Aceptado 30-III-2020.

ABSTRACT. Population variation of three boobies species (Suliformes:Sulidae) on Gorgona island, Colombian Pacific, linked to sea temperature. Introduction: Pelagic environment temperature variations may influence population variation of top predators, such as seabirds. **Objective:** A population response assessment of three species of boobies, in Gorgona Island (Colombian Pacific), in relation to sea surface temperature (SST) variations. **Methods:** We assessed the relationship between SST variability and monthly abundance of Brown Boobies, Blue-footed Boobies and Peruvian Boobies, in the influence area of Gorgona, the San José region (Peruvian coast) and the Niño 1+2 region. **Results:** The largest positive correlation was observed between Blue-footed Boobies and Peruvian Boobies with SST at the Niño 1+2 region, with a lag of four and five months, respectively. This delay may correspond to the migration duration from the Peruvian coast to Gorgona. In contrast, Brown Booby abundance decreased as monthly SST in Gorgona increased. **Conclusions:** These trends may be related to less productivity and prey availability associated with warmer sea surface temperatures. We suggest that SST influences the abundance trend of these three species, and their continuous monitoring will improve our knowledge on the natural variation of these populations.

Key words: distribution; trophic structure; foraging; time delay; climate variability.

Perlaza-Gamboa, A., Giraldo, A., Payán, L.F., & Estela, F.A. (2020). Variación poblacional de tres especies de piqueros (Suliformes: Sulidae) en isla Gorgona, Pacífico colombiano, según la temperatura del mar. *Revista de Biología Tropical*, 68(2), 704-713.

Las variaciones climáticas tienen efectos importantes y diversos sobre los ecosistemas marinos y terrestres (Stenseth et al., 2002; Champagnon, Lebreton, Drummond, & Anderson, 2018). Este es el caso de la temperatura del ambiente pelágico, que ha sido utilizada para comprender algunos procesos biológicos, debido a que su variación puede influir en la estructura trófica, al repercutir en la energía producida por los productores primarios,

influyendo, por ejemplo, en la distribución de especies, tamaño poblacional, supervivencia de adultos y la proporción de individuos reproductivos (Jenouvrier, Barbraud, & Weimerskirch, 2005; Frederiksen, Edwardst, Richardson, Halliday, & Wanless, 2006). Por esto la variación en la temperatura del mar podría estar asociada con la abundancia de los consumidores tope del ambiente pelágico como las aves marinas.

El efecto de la variación en las condiciones de la temperatura del mar sobre la dinámica de las poblaciones de aves marinas ha sido reportado frecuentemente en la literatura científica (Barbraud et al., 2011; Grémillet & Boulinier, 2009; Sydeman, Thompson, & Kitaysky, 2012). Por ejemplo, bajo condiciones El Niño, se ha registrado una disminución en el éxito reproductivo, aumento de mortalidad, migraciones en busca de alimento y alteraciones en la diversidad de dieta y régimen reproductivo de algunas poblaciones de aves marinas en el Pacífico Oriental Tropical (Wang & Fiedler, 2006; Ancona, Calixto-Albarrán, & Drummond, 2012; Quillfeldt & Masello, 2013). Estos eventos podrían relacionarse con el aumento en la temperatura del mar, y consecuentemente con el reclutamiento de algunos peces, como *Engraulis ringens* (Jenyns, 1842) (Barber & Chávez, 1986; Sánchez, Calienes, & Zuta, 2000; Wang & Fiedler, 2006; Bakun et al., 2015), la principal presa de *Sula nebouxii* (Milne-Edwards, 1882) y *Sula variegata* (von Tschudi, 1843) en la costa peruana (Zavalaga, Benvenuti, Dall'antonia, & Emslie, 2008; Zavalaga, Halls, Mori, Taylor, & Dell'omo, 2010).

Isla Gorgona es una localidad importante para las aves marinas del Pacífico colombiano, por tener colonias permanentes de anidación y descanso de cuatro especies (*Fregata magnificens* Mathews, 1914, *Pelecanus occidentalis* Linnaeus, 1766, *Sula leucogaster etesiaca* Thayer & Bangs, 1905 y *S. nebouxii*), cuyas poblaciones han sido monitoreadas mensualmente desde el año 2002. Este monitoreo representa la mayor serie de abundancias mensuales de aves marinas registradas en Colombia. También se ha registrado la presencia de *S. variegata*, que al igual que *S. nebouxii*, es considerada como especie migratoria proveniente de la costa peruana. Gracias a este monitoreo se tiene un conocimiento preliminar de la variación poblacional de estas especies y que la isla puede actuar como refugio temporal para *S. nebouxii* y *S. variegata* cuando la disponibilidad de alimento en las costas peruanas disminuye

(Cadena-López & Naranjo, 2010; Payan, Ortega, & Cuéllar, 2017).

La isla Gorgona fue declarada en 2005 como Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA Co120) (Franco, Devenish, Barrero, & Romero, 2009; Zamudio, 2014). Además, forma parte del Complejo Marino-Costero Iscuandé-Sanquianga-Gorgona, que es el área más importante de Colombia para aves playeras y marinas tanto migratorias como locales (Ruiz-Guerra, 2011). Sin embargo, esta región se encuentra recurrentemente bajo el efecto de variaciones oceanográficas regionales como El Niño, que puede ocasionar alteraciones en la estructura trófica del ecosistema pelágico circundante (Crick, 2004; Santisteban, Benkman, Fetz, & Smith, 2012), generando probablemente efectos indirectos sobre el número de individuos o éxito reproductivo de la colonia reproductiva de *S. leucogaster etesiaca*, subespecie endémica y vulnerable del Pacífico tropical húmedo americano (Ospina-Álvarez, 2004; Renjifo, Amaya-Villarreal, Burbano-Girón, & Velásquez-Tibatá, 2016). En este contexto, esta investigación pretende describir la dinámica temporal de la abundancia de las poblaciones de *S. leucogaster*, *S. nebouxii* y *S. variegata* en isla Gorgona y evaluar su posible relación con la variabilidad temporal de la temperatura superficial del mar (TSM), en la isla, la región Niño 1+2 y San José en la costa peruana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Isla Gorgona y el islote de Gorgonilla (2°55'45"-3°00'55" N & 78°09'00"-78°14'30" W) se ubican a 30 km del continente, y conforman el área insular emergida más extensa de la plataforma continental del Pacífico colombiano con una extensión de 13.7 km² (Giraldo, Diaz-Granados, & Gutiérrez-Landázuri, 2014). En la isla se encuentran playas coralinas, arenosas y rocosas, acantilados y promontorios rocosos emergidos de origen volcánico, en los cuales predomina la roca desnuda, aunque puede haber presencia de arbustos y herbáceas. Estas formaciones rocosas se encuentran representadas en el sur por las rocas alrededor de Gorgonilla, y

en el norte y noroccidente de Gorgona (Giraldo & Valencia, 2012; Zamudio, 2014).

La Zona de Convergencia Intertropical condiciona el régimen climático de la isla, caracterizado por una alta pluviosidad (4 164-8 176 mm anuales). La temperatura media anual del aire es 26 °C y la humedad relativa promedio es superior al 90 %. La época lluviosa transcurre entre mayo y octubre, y es seguida por otra de menos precipitaciones entre diciembre y febrero (Díaz, Pinzón, Perdomo, Barrios, & López-Victoria, 2001; Blanco, 2009). En esta localidad han sido descritos dos periodos oceanográficos opuestos, uno cálido de baja salinidad superficial y con una profundidad promedio de la termoclina (profundidad de la isoterma de 22 °C) de 47 m, entre mayo y diciembre, y uno frío de alta salinidad y con una profundidad promedio de la termoclina de 7.5 m, entre enero y abril (Giraldo, Rodríguez-Rubio, & Zapata, 2008). Este enfriamiento ocurre simultáneamente en el sector oriental y occidental de la isla, y consiste en una característica general del Pacífico Oriental Tropical colombiano, originado por la intensificación del chorro de viento de Panamá durante los primeros meses del año, que genera una lengua fría que desciende desde el norte, sin embargo, la temperatura del mar a 1 m de profundidad varía a lo largo del año entre 27.2 y 28.0 °C (Giraldo, 2008; Giraldo, Valencia, Acevedo, & Rivera, 2014).

Se utilizaron los registros de abundancia recopilados durante el desarrollo del programa de monitoreo de aves marinas que implementa el Parque Nacional Natural Gorgona (PNNG). En este programa se realiza un muestreo visual de aves marinas en isla Gorgona, durante dos días consecutivos de la primera semana de cada mes, desde el 2002 hasta la fecha, en el cual se abarca en cada día un sector de la isla, norte o sur. Cada recorrido se inicia a las 0545 h, a bordo de una embarcación con motor fuera de borda y es realizado por dos observadores entrenados. Durante el muestreo se registra, según la especie, número de adultos, juveniles, machos y hembras. Además de las dos especies de piqueros objeto de monitoreo

(*Sula leucogaster* y *S. neboxii*), también se ha registrado la presencia de *S. variegata* en algunas temporadas. En cada registro se incluye la actividad de los individuos (vuelo o descanso), y en caso de vuelo, solo aquellos que se desplazan en dirección contraria al recorrido de la embarcación. El muestreo de las tres especies de piqueros en isla Gorgona abarca un recorrido de 24.04 km, distribuidos en tres trayectos lineales (Poblado-Horno, Horno-Palmasola y Palmasola-Palmeras) y uno circular (Horno) en la zona norte de la isla, además de un trayecto lineal (Poblado-Tasca) y dos circulares (Gorgonilla y El Viudo) en la zona sur (Payan, 2016).

Los datos fueron estandarizados dividiendo la abundancia (sumatoria de registros en los dos días) por la distancia recorrida, ya que no siempre se visitaron todos los sectores de la isla debido a condiciones climáticas adversas. Los datos recolectados en esfuerzos equivalentes a un solo día de muestreo por mes (un sector de la isla) no fueron considerados para el desarrollo de los análisis numéricos. Para evaluar la variación poblacional de *S. leucogaster* y *S. neboxii*, se utilizaron los registros obtenidos desde el 2002. Para *S. variegata* se emplearon las abundancias registradas a partir del 2012, debido a que durante los primeros años del monitoreo no se registró la abundancia de esta especie. Además, la población de *S. leucogaster* fue analizada excluyendo los pollos.

Se seleccionaron tres localidades para construir las series de tiempo de TSM: 1. Isla Gorgona, Colombia, como condición local, 2. San José, Perú, debido a la presencia en isla Gorgona de especies de piqueros migratorias probablemente provenientes de la costa del Perú y ser la localidad más cercana a la mayor colonia de estas aves (Islas Lobos de Afuera y Lobos de Tierra), y 3. Región Niño 1+2, Ecuador-Norte Perú, territorio asociado al evento ENOS. Los registros de la TSM de la región Niño 1+2 fueron obtenidos de la página web del Climate Prediction Center (CPC, 2018), los de San José de la página web del Instituto del Mar de Perú (Grados & Vásquez, 2018) y los de isla Gorgona a partir de las imágenes mensuales satelitales registradas por el sensor

MODIS-Aqua del *Ocean Biology Processing Group* (OBPG), centrada en la posición 3°0'0" N & 78°0'0" W (OBPG, 2015). Las anomalías térmicas fueron calculadas al substrar el promedio histórico mensual de los periodos 1981-2010, 1991-2012 y 2002-2008, correspondientemente, de la serie temporal mensual de la TSM. Así mismo, se tuvo acceso al Índice de Oscilación Peruano (POI), que explica el 72 % de la variación de las anomalías mensuales de la TSM a lo largo de la costa peruana (Purca-Cuicapusa, 2005).

Para determinar el desfase temporal de la posible influencia de la temperatura sobre las abundancias de los piqueros, se realizó una correlación cruzada de los registros de la abundancia mensual de cada especie con la TSM y las anomalías térmicas de las tres localidades, así como con el POI. En total se realizaron 21 correlaciones cruzadas, 7 para cada especie. El desfase temporal (*Lag*) de cada correlación fue seleccionado entre 0 y 12 meses, ya que es el mínimo intervalo que abarca completamente la variación de la abundancia de las tres especies de piqueros. La fuerza de la correlación es representada por la función de autocorrelación (ACF), cuyo valor varía entre -1 y 1, siendo -1 la mayor correlación negativa y 1 la mayor correlación positiva. A continuación, se desarrolló un modelo lineal generalizado (GLM) para cada especie de manera independiente, con la finalidad de explicar la posible asociación entre la abundancia de cada piquero y la condición de temperatura que presentó la mayor correlación, considerando el desfase temporal encontrado. Cada modelo fue desarrollado con un nivel de significancia de 0.05. Como se analizaron datos de conteo se utilizó la distribución quasipoisson, y en caso de sobredispersión se implementó la distribución binomial negativa. Todos los análisis y figuras fueron desarrolladas en el programa R (R Core Team, 2018), utilizando los paquetes ggplot2 para las figuras (Wickham, 2016), astsa para la correlación cruzada (Stoffer, 2017), MASS para los modelos GLM (Venables & Ripley, 2002), y funciones de uso general para la organización

de los datos (Wickham, 2007; Fox & Weisberg, 2011; Trapletti & Hornik, 2018).

RESULTADOS

Durante el muestreo de aves marinas en isla Gorgona se realizaron registros de 184 abundancias mensuales de *Sula leucogaster* y *S. nebouxii* y 81 de *S. variegata*. La abundancia de *S. leucogaster* presentó la menor variación intra-anual, con una mediana de 6.68 ind/km por mes, y una abundancia máxima y mínima de 16.35 y 1.33 ind/km, respectivamente. Por otro lado, *S. nebouxii* fue la especie más abundante, con una mediana de 79.64 ind/km por mes. Esta especie presentó la mayor variación, siendo más abundante a mitad de año, con un máximo de 550.97 ind/km y un mínimo de 0 ind/km en octubre 2008, que representó el único mes en el que no hubo ningún registro de esta especie. A diferencia de las especies anteriores, *S. variegata* no fue observada durante todos los meses del año, siendo menos abundante en el primer semestre. La mediana mensual fue 0.15 ind/km con un máximo y mínimo de 74.05 y 0 ind/km, respectivamente. Asimismo, se destacó que los cinco mayores registros fueron obtenidos en 2014.

Los registros de la TSM de la región Niño 1+2 (mediana = 23.01 °C) generalmente fueron menores que los de isla Gorgona (mediana = 27.26 °C), aunque presentaron mayor dispersión, fluctuando entre 19.5 y 28.10 °C, mientras que en isla Gorgona las temperaturas oscilaron entre 25.47 y 28.05 °C (Fig. 1). *Sula nebouxii* y *S. variegata* presentaron la mayor correlación con la TSM de la región Niño 1+2. Además, el desfase temporal encontrado sugiere que la abundancia de *S. nebouxii* y *S. variegata* están asociadas con la temperatura registrada cuatro y cinco meses antes, respectivamente (Tabla 1). Por su parte, *S. leucogaster* estuvo correlacionada con la TSM de isla Gorgona, sin ningún desfase (Tabla 1).

El modelo lineal generalizado, desarrollado entre la TSM y la abundancia con desfase temporal, sugirió que el número de individuos de *S. nebouxii* (coeficiente TSM = 1.36,

TABLA 1
Correlación cruzada entre la abundancia mensual de los piqueros de isla Gorgona, Pacífico colombiano, con la temperatura superficial del mar y sus anomalías térmicas

TABLE 1
Cross correlation between monthly abundance of boobies in Gorgona island, Colombian Pacific, and sea surface temperature (SST) and thermal anomalies

Temperatura	<i>Sula leucogaster</i>		<i>Sula nebouxii</i>		<i>Sula variegata</i>	
	ACF	Lag	ACF	Lag	ACF	Lag
ANOM Niño 1+2	-0.173	-1	0.181	-2	-	-
TSM Niño 1+2	-0.252	-2	0.568	-4	0.309	-5
ANOM Gor	-0.153	0	-	-	-	-
TSM Gor	-0.252	0	0.421	-1	0.299	-2
ANOM SJ	-	-	-0.175	7	-	-
TSM SJ	-0.253	-2	0.427	-4	-	-
POI	-0.284	-1	0.198	0	-	-

ACF = fuerza de la correlación, ANOM = anomalía térmica, Gor = isla Gorgona, Lag: desfase temporal de la correlación medido en meses, Niño 1+2 = región Niño 1+2, POI = Índice de Oscilación Peruano, SJ = San José, TSM = temperatura superficial del mar.

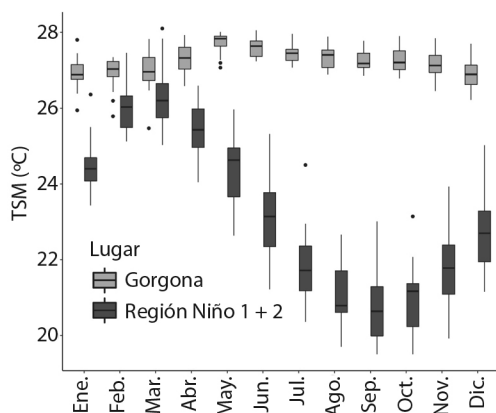


Fig. 1. Variación mensual de la temperatura superficial del mar (TSM) de isla Gorgona, Pacífico Colombiano, y la región Niño 1+2, Ecuador-Norte Perú. Promedios mensuales del periodo 1981-2010.

Fig. 1. Monthly variation of sea surface temperature (SST) of Gorgona Island, Colombian Pacific and the Niño 1+2 region, Ecuador-North Peru. Monthly means of the 1981-2010 period.

$P < 0.001$) y de *S. variegata* (coeficiente TSM = 2.77, $P < 0.001$) en isla Gorgona tendieron a aumentar con el incremento de la TSM en la región Niño 1+2 (Fig. 2A). En cambio, la abundancia de *S. leucogaster* (coeficiente TSM = 0.82, $P \leq 0.001$), al parecer, tiende a disminuir al aumentar la TSM de isla Gorgona (Fig. 2B).

DISCUSIÓN

Generalmente, los adultos de piqueros permanecen cerca de la colonia reproductiva mientras hay abundante alimento, lo cual se observa principalmente en aquellas especies que habitan aguas productivas, como el caso de *Sula nebouxii* y *S. variegata*, que forrajear en las aguas de la corriente de Humboldt (Ludynia, Garthe, & Luna-Jorquera, 2010; Ancona et al., 2012). Recientemente, Payan et al. (2017) identificaron una correlación positiva entre la abundancia de *S. variegata* y las anomalías de la TSM de la región Niño 1+2, y sugieren que esta especie pudo haber migrado desde la costa peruana hacia el Pacífico colombiano, como respuesta al efecto de El Niño sobre la productividad de esta región, cómo ha sido propuesto por Sánchez et al. (2000), Wang y Fiedler (2006) y Bakun et al. (2015). Aun así, este estudio no evaluó un posible desfase en la influencia de la TSM sobre la abundancia de los piqueros. Al observar que las temperaturas más altas de la región Niño 1+2 fueron registradas en marzo, mientras que las mayores abundancias de *S. nebouxii* y *S. variegata* fueron obtenidas entre julio y agosto, se sugiere que el desfase encontrado en la correlación

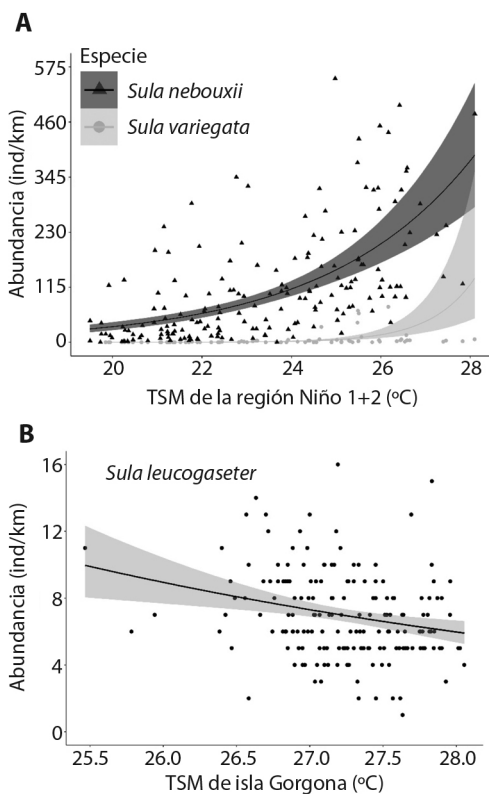


Fig. 2. Relación entre la abundancia mensual de (A) los dos piqueros migratorios y la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2 (Distribución binomial negativa), y (B) la especie de piquero residente y la temperatura superficial del mar (TSM) de isla Gorgona (Distribución quasi-Poisson).

Fig. 2. Relationship between the monthly abundance of (A) the two migratory boobies and sea surface temperature (SST) of the Niño 1+2 region (Negative binomial distribution), and (B) the resident booby and sea surface temperature (SST) of Gorgona Island (Quasi-Poisson distribution).

cruzada podría considerarse como el tiempo que demora la migración de estos individuos desde las costas peruanas hasta isla Gorgona, cuando ocurre un aumento en la TSM en la región Niño 1+2.

Es posible que otras variables estén influyendo en la migración de *S. variegata*, ya que las mayores abundancias (año 2014) no estuvieron asociadas con los mayores registros de TSM (aproximadamente entre 25 y 26 °C), e incluso, a mayores temperaturas (28 °C)

se observaron menos individuos en la isla. Asimismo, por presentar menor abundancia que *S. neboxii*, y asumir que ambas especies provienen de la costa peruana, se podría llegar a considerar que *S. variegata* no sería tan sensible como *S. neboxii* ante la variabilidad o el incremento de la TSM, y probablemente se desplaza cuando las condiciones de variación térmica son más drásticas. Cabe mencionar que esta especie se caracteriza por forrajear más cerca de la colonia en comparación con *S. neboxii*, por lo que podría realizar migraciones más cortas (Zavalaga et al., 2008, 2010), condición que es sustentada por los reportes de esta especie en Ecuador durante El Niño de 1997 (Haase, 1997).

Sula neboxii se puede reproducir en cualquier mes del año (Nelson, 1978), por lo que la variación poblacional intra-anual de esta especie en isla Gorgona podría estar más asociada con la fluctuación de la TSM de la región Niño 1+2, que con su ciclo reproductivo. Además, es conocido que la población peruana ha migrado hacia el sur de Perú y norte de Chile durante el fenómeno de El Niño, asociado con la escasez de recursos presa (Cushman, 1926; Schulenberg, Stotz, Lane, O'Neill, & Parker III, 2007), menor acceso a ellas debido a la profundización de la termoclina, o alteraciones en la distribución horizontal y vertical de algunas especies de peces pelágicos (Gilman, Chaloupka, Peschon, & Ellgen, 2016). Se podría asumir que este piquero también migra hacia el norte debido al calentamiento del mar, como ocurrió durante El Niño de 1982-83, en el cual hubo registros de más 7000 individuos de *S. variegata* y 10000 de *S. neboxii* en el Golfo de Panamá, (Jaksic & Fariña, 2010) mientras que en islas Galápagos se reportaron pérdidas de nidadas y partida de individuos de *S. neboxii* (Jaksic & Fariña, 2010). La permanencia de estos piqueros en el Golfo de Panamá hasta abril de 1985, su condición física, y el desarrollo de actividades reproductivas, sugieren que esta localidad presenta las condiciones alimentarias requeridas para abastecer sus necesidades (Smith, 1990; D'Croz & O'Dea, 2007). Finalmente, cabe mencionar que la distancia

recorrida al borde de la costa desde Lobos de Afuera hasta Gorgona (aproximadamente 1 200 km) es menor que la recorrida hasta el norte de Chile (aproximadamente 1 800 km). Esto podría favorecer la migración hacia el norte, al encontrarse un refugio a menor distancia, a pesar de que *E. ringens* no se encuentre en isla Gorgona, y si esté presente en Chile (Mujica, Nava, Matsuda, & Vargas, 2016).

Con respecto a *S. leucogaster*, en el modelo se observó que la abundancia disminuye cuando aumenta la TSM mensual, relacionándose posiblemente con la disminución en la productividad, y consecuentemente en la disponibilidad de alimento, cuando aumenta la temperatura del mar (Wang & Fiedler, 2006). Aun así, se desconoce por qué las mayores abundancias no fueron obtenidas durante los primeros meses del año, cuando la productividad es mayor en isla Gorgona (Giraldo, Valencia, Acevedo, & Rivera, 2014), por lo que otras variables podrían influir en la disponibilidad de presas.

En conclusión, se sugiere que la TSM, tanto de isla Gorgona como de la región Niño 1+2, está asociada, posiblemente a través de su efecto sobre la disponibilidad y distribución de peces pelágicos, con las variaciones poblacionales de los tres piqueros presentes en isla Gorgona. Además, se destaca la importancia de esta localidad para la conservación de los piqueros, al albergar una colonia reproductiva de una subespecie endémica de *S. leucogaster*, considerada vulnerable y susceptible a posibles variaciones ambientales. Así mismo, isla Gorgona recibe individuos de dos especies de piqueros migratorias, *S. neboxii* y *S. variegata*, que al parecer encuentran en esta localidad, alimento y sitio de descanso cuando las condiciones ambientales en la costa peruana no son adecuadas por el incremento de la TSM del mar y la consecuente reducción de la disponibilidad de presas. Sin embargo, considerando la menor abundancia de *S. variegata* en isla Gorgona, se sugiere que esta especie estaría migrando cuando las condiciones adversas son más intensas.

Declaración de ética: los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

AGRADECIMIENTOS

A Julio Cesar Herrera Carmona por su orientación y apoyo para construir la serie de tiempo de la temperatura superficial del mar de isla Gorgona. A Sara Regina Purca Cui-capusa (IMARPE) por proporcionar acceso a los registros del índice de oscilación peruano para el desarrollo de los análisis numéricos. Los datos de la temperatura superficial del mar y anomalías térmicas de San José pertenecen al Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y son accesibles en la página web (<http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/servicios/series-tiempo>). A Ximena Zorrilla, directora del Parque Nacional Natural Gorgona por autorizar el acceso a los registros de abundancia de piqueros en isla Gorgona en el marco del Programa de Monitoreo de Aves Marinas. A Hector Chirimia, funcionario de la estación Científica Henry von Prael del PNNG por la decidida colaboración durante el desarrollo de los monitoreos de aves marinas y las útiles observaciones para depurar el registro de datos del monitoreo. A Wilmar Alexander Torres por su orientación para el desarrollo de los análisis estadísticos. A la Asociación Calidris por su participación durante el inicio del programa de monitoreo de aves marinas en isla Gorgona. A WWF por su aporte financiero para el análisis de la información. A todas las personas e instituciones que desde el 2002 han participado en el programa de monitoreo de aves marinas en el PNNG. Este trabajo de investigación fue cofinanciado por el Parque Nacional Natural Gorgona, la Universidad del Valle y WWF-Colombia, y se realizó

en el marco de un acuerdo de entendimiento entre el Parque Nacional Natural Gorgona y el grupo de investigación en Ecología Animal de la Universidad del Valle.

RESUMEN

Introducción: La alteración de la temperatura del ambiente pelágico puede repercutir en la variación poblacional de los consumidores tope como las aves marinas. **Objetivo:** Evaluar la respuesta poblacional de tres especies de piqueros en isla Gorgona (Pacífico colombiano) con respecto a la variabilidad local y regional de las condiciones de temperatura superficial del mar (TSM). **Métodos:** Se analizaron las tendencias mensuales de la abundancia de *Sula leucogaster*, *Sula nebouxii* y *Sula variegata* en relación a la variación de la TSM en el área de influencia de Gorgona, la región de San José en la costa del Perú y la región Niño 1+2. **Resultados:** La mayor correlación positiva se presentó entre *S. nebouxii* y *S. variegata* con la TSM de la región Niño 1+2, con un desfase de cuatro y cinco meses, respectivamente. Este desfase temporal posiblemente corresponde al tiempo que demora su migración entre la costa peruana y Gorgona. En contraste, la abundancia de *S. leucogaster* disminuyó al aumentar la TSM mensual de Gorgona. **Conclusiones:** Es probable que las tendencias descritas estén relacionadas con la disminución de la productividad y disponibilidad de presas asociadas con temperaturas más cálidas en estas áreas. Se sugiere que la TSM puede influir sobre las tendencias de abundancia de los tres piqueros, y su continuo monitoreo permitirá mejorar el conocimiento sobre la variación natural de estas poblaciones.

Palabras clave: distribución; estructura trófica; forrajeo; desfase temporal; variabilidad climática.

REFERENCIAS

Ancona, S., Calixto-Albarrán, I., & Drummond, H. (2012). Effect of El Niño on the diet of a specialist seabird, *Sula nebouxii*, in the warm eastern tropical Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 462, 261-271. Recuperado de <https://doi.org/10.3354/meps09851>

Bakun, A., Black, B.A., Bograd, S.J., García-Reyes, M., Miller, A.J., Rykaczewski, R.R., & Sydeman, W.J. (2015). Anticipated Effects of Climate Change on Coastal Upwelling Ecosystems. *Current Climate Change Reports*, 1(2), 85-93. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0008-4>

Barber, R.T., & Chávez, F.P. (1986). Ocean variability in relation to living resources during the 1982-83 El Niño. *Nature*, 319, 279-285. Recuperado de <https://doi.org/10.1038/319279a0>

Barbraud, C., Rivalan, P., Inchausti, P., Nevoux, M., Rolland, V., & Weimerskirch, H. (2011). Contrasted demographic responses facing future climate change in Southern Ocean seabirds. *Journal of Animal Ecology*, 80(1), 89-100. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2010.01752.x>

Blanco, J.F. (2009). The Hydroclimatology of Gorgona Island: Seasonal and Enso-Related Patterns. *Actualidades Biológicas*, 31(91), 111-121.

Cadena-López, G., & Naranjo, L. G. (2010). Distribución, abundancia y reproducción de las aves marinas residentes en el Parque Nacional Natural Gorgona, Colombia. *Boletín SAO*, 20, 22-32.

Champagnon, J., Lebreton, J.D., Drummond, H., & Anderson, D.J. (2018). Pacific Decadal and El Niño oscillations shape survival of a seabird. *Ecology*, 99(5), 1063-1072. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/ecy.2179>

CPC, C. P. C. (2018). Sea Surface Temperature: Monthly ERSSTv5 (1981-2010 base period) Niño 1+2 (0-10°South)(90°West-80°West) Niño 3 (5°North-5°South)(150°West-90°West) Niño 4 (5°North-5°South) (160°East-150°West) Niño 3.4 (5°North-5°South)(170-120°West). Recuperado de <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst5.nino.mth.81-10.ascii>

Crick, H.Q.P. (2004). Impact of climate change on birds. *Ibis*, 146, 48-56. Recuperado de <https://doi.org/doi:10.1111/j.1474-919X.2004.00327.x>

Cushman, R. (1926). Oceanic and Climatic Phenomena along the West Coast of South America during 1925. *Geographical Review*, 16(1), 26-54.

D'Croz, L., & O'Dea, A. (2007). Variability in upwelling along the Pacific shelf of Panama and implications for the distribution of nutrients and chlorophyll. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73, 325-340. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.01.013>

Díaz, J.M., Pinzón, J.H., Perdomo, A.M., Barrios, L.M., & López-Victoria, M. (2001). Generalidades. En L. M. Barrios & M. Lopez-Victoria (Eds.), *Gorgona marina: Contribución al conocimiento de una isla única* (pp. 17-26). Santa Marta: INVEMAR, Serie Publ. Esp. No. 7.

Fox, J., & Weisberg, S. (2011). An R Companion to Applied Regression [Software]. Thousand Oaks: Sage. Recuperado de <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>

Franco, A.M., Devenish, C., Barrero, M.C., & Romero, M.H. (2009). Colombia. En C. Devenish, D.F. Díaz Fernández, R.P. Clay, I. Davidson, & I. Yépez Zabala (Eds.), *Important Bird Areas Americas - Priority sites for biodiversity conservation* (pp. 135-148). Quito: BirdLife International (BirdLife Conservation Series No. 16).

- Frederiksen, M., Edwardst, M., Richardson, A.J., Halliday, N.C., & Wanless, S. (2006). From Plankton to Top Predators : Bottom-up Control of a Marine Food Web across Four Trophic Levels. *Journal of Animal Ecology*, 75(6), 1259-1268.
- Gilman, E., Chaloupka, M., Peschon, J., & Ellgen, S. (2016). Risk factors for seabird bycatch in a pelagic longline tuna fishery. *PLoS ONE*, 11(5), 1-24. Recuperado de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155477>
- Giraldo, A. (2008). Variabilidad espacial de temperatura, salinidad y transparencia en el ambiente pelágico del PNN Gorgona durante septiembre 2007 y marzo 2008. *Boletín Científico CIOH*, 163(26), 157-163. Recuperado de https://doi.org/10.26640/01200542.26.157_163
- Giraldo, A., Diaz-Granados, M.C., & Gutiérrez-Landázuri, C.F. (2014). Isla Gorgona, enclave estratégico para los esfuerzos de conservación en el Pacífico Oriental Tropical. *Revista de Biología Tropical*, 62, 1-12.
- Giraldo, A., Rodríguez-Rubio, E., & Zapata, F. (2008). Condiciones oceanográficas en isla Gorgona, Pacífico oriental tropical de Colombia. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 36(1), 121-128. Recuperado de <https://doi.org/10.3856/vol36-issue1-fulltext-12>
- Giraldo, A., & Valencia, B. (Eds.). (2012). *Isla Gorgona, paraíso de biodiversidad y ciencia*. Cali, Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle, Colección Libros de Investigación.
- Giraldo, A., Valencia, B., Acevedo, J.D., & Rivera, M. (2014). Fitoplancton y zooplancton en el área marina protegida de Isla Gorgona, Colombia, y su relación con variables oceanográficas en estaciones lluviosa y seca. *Revista de Biología Tropical*, 62, 117-132. Recuperado de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0034-77442014000500008&lng=en&nrm=iso&tlng=es%5Cnhttp://ezproxy.uniandes.edu.co:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsoci&AN=edsoci.S0034.77442014000500008&lang=
- Grados, C., & Vásquez, K. (2018). Temperatura Superficial del Mar en el litoral peruano, periodo: 1970-2017. (En preparación). Recuperado de <http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/servicios/series-tiempo>
- Grémillet, D., & Boulinier, T. (2009). Spatial ecology and conservation of seabirds facing global climate change: A review. *Marine Ecology Progress Series*, 391(2), 121-137. Recuperado de <https://doi.org/10.3354/meps08212>
- Haase, B. (1997). The impact of the El Niño Southern Oscillation (ENSO) on birds: update from Ecuador 1997. *Cotinga*, 8, 64-65.
- Jaksic, F.M., & Fariña, J.M. (2010). El Niño and the Birds: a Resource-Based Interpretation of Climatic Forcing in the Southeastern Pacific. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 38(1), 121-140. Recuperado de <https://doi.org/10.4067/s0718-686x2010000100009>
- Jenouvrier, S., Barbraud, C., & Weimerskirch, H. (2005). Long-Term Contrasted Responses to Climate of Two Antarctic Seabird Species. *Ecology*, 86(11), 2889-2903.
- Ludynia, K., Garthe, S., & Luna-Jorquera, G. (2010). Distribution and foraging behaviour of the Peruvian Booby (*Sula variegata*) off northern Chile. *Journal of Ornithology*, 151(1), 103-111. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s10336-009-0431-1>
- Mujica, A., Nava, M.L., Matsuda, K., & Vargas, A. (2016). Distribution and abundance of *Engraulis ringens* eggs along the north-central Chilean coastline (25.0-31.5°S) during February 2008 to 2014. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(1), 65-75. Recuperado de <https://doi.org/10.3856/vol44-issue1-fulltext-7>
- Nelson, J.B. (1978). *The Sulidae Gannets and Boobies*. Oxford: Oxford University Press.
- OBPG, O. B. P. G. (2015). MODIS Aqua Level 3 SST Thermal IR Monthly 4km Daytime v2014.0. Recuperado de https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/MODIS_AQUA_L3_SST_THERMAL_MONTHLY_4KM_DAYTIME_V2014.0
- Ospina-Álvarez, A. (2004). *Ecología reproductiva y colonialidad del piquero café Sula leucogaster (Aves: Sulidae), en el PNN Gorgona, Pacífico colombiano*. Trabajo de grado, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Payan, L.F. (2016). *Informe de monitoreo de aves marinas Parque Nacional Natural Gorgona Febrero - Diciembre 2016*. Cali, Colombia.
- Payan, L.F., Ortega, L.F., & Cuéllar, A. (2017). Análisis de la abundancia del piquero peruano (*Sula variegata*) durante condiciones oceanográficas contrastantes en el Pacífico colombiano. Medellín: Póster presentado al XVII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar.
- Purca-Cuicapusa, S.R. (2005). *Variabilidad temporal de baja frecuencia en el Ecosistema de la Corriente Humboldt frente a Perú* (Tesis de doctorado). Universidad de Concepción, Chile.
- Quillfeldt, P., & Masello, J.F. (2013). Impacts of climate variation and potential effects of climate change on South American seabirds - a review. *Marine Biology Research*, 9(4), 337-357. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/17451000.2012.756982>
- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing (Version 3.5.2). Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <https://www.r-project.org>

- Renjifo, L.M., Amaya-Villarreal, Á.M., Burbano-Girón, J., & Velásquez-Tibatá, J. (2016). *Libro rojo de aves de Colombia, Volumen II: Ecosistemas abiertos, secos, insulares, acuáticos continentales, marinos, tierras altas del Darién y Sierra Nevada de Santa Marta y bosques húmedos del centro, norte y oriente del país*. Bogotá, D.C.: Editorial Pontificia Universidad Javeriana e Instituto Alexander von Humboldt.
- Ruiz-Guerra, C. (2011). *Avifauna del complejo marino costero Iscuandé Sanquianga Gorgona (CISG)*. Recuperado de Cali: Asociación Calidris: 10.13140/2.1.1234.0007
- Sánchez, G., Calienes, R., & Zuta, S. (2000). The 1997-98 El Niño and its effects on the coastal marine ecosystem off Peru. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 41, 62-86.
- Santisteban, L., Benkman, C.W., Fetz, T., & Smith, J.W. (2012). Survival and population size of a resident bird species are declining as temperature increases. *Journal of Animal Ecology*, 81, 352-363. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2011.01918.x>
- Schulenberg, T.S., Stotz, D.F., Lane, D.F., O'Neill, J., & Parker III, T.A. (2007). *Birds of Peru*. New Jersey: Princeton University Press, Princeton.
- Smith, N.G. (1990). The Gulf of Panama and El Niño Events: The Fate of two Refugee Boobies from the 1982-83 Event. *Elsevier Oceanography Series*, 52, 381-393.
- Stenseth, N.C., Mysterud, A., Ottersen, G., Hurrell, J.W., Chan, K.S., & Lima, M. (2002). Ecological effects of climate fluctuations. *Science*, 297(5585), 1292-1296. Recuperado de <https://doi.org/10.1126/science.1071281>
- Stoffer, D. (2017). *astsa: Applied Statistical Time Series Analysis [Software]*. Recuperado de <https://cran.r-project.org/package=astsa>
- Sydeman, W.J., Thompson, S.A., & Kitaysky, A. (2012). Seabirds and climate change: Roadmap for the future. *Marine Ecology Progress Series*, 454, 107-117. Recuperado de <https://doi.org/10.3354/meps09806>
- Trapletti, A., & Hornik, K. (2018). *tseries: Time Series Analysis and Computational Finance [Software]*. Recuperado de <https://cran.r-project.org/package=tseries>
- Venables, W.N., & Ripley, B.D. (2002). *Modern Applied Statistics with S [Software]*. New York: Springer. Recuperado de <http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4>
- Wang, C., & Fiedler, P.C. (2006). ENSO variability and the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69, 239-266. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.004>
- Wickham, H. (2007). *Reshaping Data with the reshape Package [Software]*. *Journal of Statistical Software*, 21(12), 1-20. Recuperado de <http://www.jstatsoft.org/v21/i12>
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis [Software]*. New York: Springer-Verlag. Recuperado de <http://ggplot2.org>
- Zamudio, J.A. (2014). *Plan Básico para el Manejo de las Aves Marinas en el Parque Nacional Natural Gorgona - Pacífico colombiano*. Cali: Parques Nacionales Naturales, Asociación Calidris y WWF-Colombia. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/311681063>
- Zavalaga, C.B., Benvenuti, S., Dall'antonia, L., & Emslie, S.D. (2008). Foraging areas of breeding blue-footed boobies *Sula nebouxi* in northern Peru, as determined by direction recorders. *Journal of Avian Biology*, 39, 405-412. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/j.2008.0908-8857.04275.x>
- Zavalaga, C.B., Halls, J.N., Mori, G.P., Taylor, S.A., & Dell'omo, G. (2010). At-sea movement patterns and diving behavior of Peruvian boobies *Sula variegata* in northern Peru. *Marine Ecology Progress Series*, 404, 259-274. Recuperado de <https://doi.org/10.3354/meps08490>