

## **Incidencia de la Temperatura del Mar en las Comunidades Rocosas Submareales de la Reserva Marina de Galápagos**

Angela M. Kuhn<sup>1,2</sup>, José Luis Santos<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup>Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar (FIMCM)

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral. Guayaquil – Ecuador

akuhn@espol.edu.ec, jlsantos@espol.edu.ec

<sup>(2)</sup>Departamento de Investigación Marino Costera

Fundación Charles Darwin (FCD)\* Santa Cruz – Ecuador

\*becario hasta febrero 2010

### **Resumen**

*Mediante técnicas multivariadas se analizó la relación entre temperatura del mar in situ y diferencias en abundancias de macro-invertebrados móviles, peces y cobertura sésil en registros de la estación fría y cálida (2004 – 2005) en sitios de la región oeste de Galápagos. Las relaciones significativas describieron dos límites termales: uno vertical, relacionado con el gradiente latitudinal de temperatura y observado en el sitio más al norte; y uno horizontal, correspondiente a la termoclina. Existieron además diferencias en los parámetros de relación para cada tipo de organismo: sésiles y macro-invertebrados se encontraron relacionados con la temperatura mínima y promedio 30 días previos a la observación. La abundancia de peces estuvo explicada por la variable de cambio de temperatura entre 30 y 60 días. Adicionalmente se presentan detalladas las especies que mostraron patrones más claros de diferenciación con replicaciones en años posteriores (2004 – 2008) relacionadas empíricamente con fluctuaciones termales estacionales e inter-anales observadas en registros satelitales para la región.*

**Palabras Claves:** Galápagos, temperatura del mar, análisis multivariado.

### **Abstract**

*With the use of multivariate techniques we analyzed the relationship between in situ sea temperature and differences in abundance of mobile macro-invertebrates, fish and sessile coverage. The biotic records were taken during the cold and warm seasons (2004 – 2005) in sites of the western region of Galapagos. Significant relationships described two thermal boundaries: one vertical, related to the latitudinal gradient of temperature and observed in the northern site of study; and one horizontal, corresponding to the thermocline. There were also differences in the relationship parameter for each type of organism. Sessile and macro-invertebrates were associated to minimum and average temperature 30 days previous to the monitoring and the abundance of fishes was explained by the variable of temperature ratio between 30 and 60 days. Details of the species with clearest patterns and their replications in time are presented and related empirically to seasonal and inter-annual thermal fluctuations observed in remote-sensed records for the region.*

**Keywords:** Galapagos, sea temperature, multivariate analysis.

## **1. Introducción**

El relativo aislamiento geográfico de la Reserva Marina de Galápagos (RMG) es reconocido como rector de los procesos evolutivos y endemismo que la caracterizan; sin embargo el patrón de corrientes marinas y masas de agua con distintas características físico químicas permite la convivencia de especies con diferentes rangos ambientales[1]. En el ámbito físico, este patrón no es fijo, sino que está sometido a modificaciones periódicas caracterizadas por eventos

termales que varían en velocidad de desarrollo, frecuencia, magnitud y duración, cuyos mayores impactos sobre las especies y el equilibrio trófico han sido evidenciados en los eventos fuertes de El Niño [2-4]. Fluctuaciones inter e intra-estacionales también pueden afectar la composición de las especies en las diferentes bioregiones. El presente estudio se enfoca al oeste de las islas Fernandina e Isabela, área que bajo la influencia del afloramiento de la Sub-Corriente Ecuatorial, presenta particularidades físico-químicas

que podrían aumentar su vulnerabilidad a la variabilidad climática.

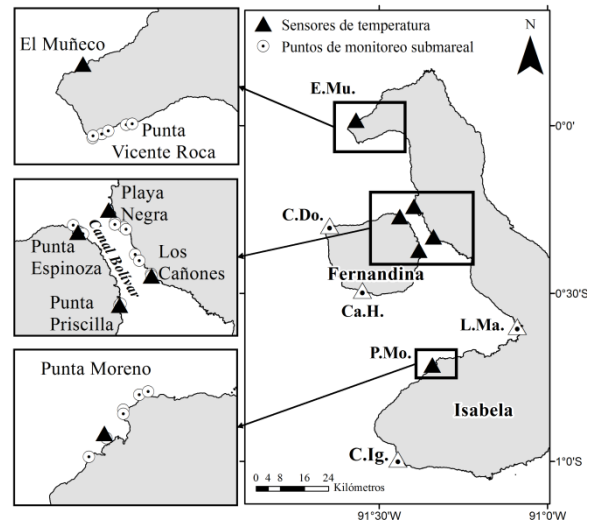
Datos de monitoreos ecológicos [5] se relacionan con variables de temperatura calculadas a partir de series de tiempo *in situ* para responder: 1. ¿Existen variaciones significativas en la distribución de organismos submareales entre las fechas de monitoreo?; 2. ¿Qué factores de la variabilidad de temperatura (promedio, mínima, máxima, tasa de cambio) tienen mejor correlación con la distribución biótica observada?; 3. ¿Qué organismos son posibles bio-indicadores de cambios de regímenes termales?; y, 4. ¿Qué otros factores pueden ser teóricamente causales de las diferencias en comunidades submareales costeras no explicadas por la variabilidad de temperatura?

Los cambios ambientales son inevitables, pero la comprensión del funcionamiento del ecosistema brinda cierta facultad de fortalecer la capacidad de recuperación natural ejecutando medidas que tiendan a aumentar la resiliencia de los ecosistemas vulnerables en tiempo y espacio, como la redistribución de la presión antropogénica ejercida actualmente sobre los mismos. El estudio resalta la importancia de investigaciones de carácter multidisciplinario, que combinen a largo plazo los conocimientos físicos y ecológicos del sistema marino de Galápagos, tanto para validar los resultados de las investigaciones realizadas, como para crear capacidad de detectar tendencias y cambios que puedan afectar a la reserva y los servicios ecosistémicos que proporciona.

## 2. Metodología y bases de datos

Se analizaron registros de 26 puntos de monitoreo biológico submareal costero, adyacentes a 6 sitios con sensores de temperatura HOBO® Water Temp Logger, ubicados a 10 y 20 metros de profundidad entre las islas Fernandina e Isabela, al oeste del archipiélago de Galápagos (Figura 1).

Para la caracterización de la variabilidad termal se presentan las series de temperatura *in situ* filtradas a 30 días, desde septiembre 2003 hasta julio 2005; incluyendo adicionalmente la serie de Caleta Iguana (C.Ig.), en el extremo sur de la isla Isabela. Se realizaron análisis de serie de tiempo mediante transformación de Fourier, se evaluaron relaciones simples entre los sitios y sus distancias geográficas y se realizó un análisis de conglomerados (CLUSTER) sobre los promedios mensuales de temperatura de cada serie.



**Figura 1.** Mapa de ubicación de los sitios con sensores in situ de temperatura del mar y puntos de monitoreo biológico submareal costero.

A partir de estas series, se construyó una matriz de datos ambientales para la comparación estadística con los registros biológicos. Esta matriz incluyó como variables: la temperatura promedio ( $T_{av}$ ), temperatura mínima ( $T_{min}$ ), temperatura máxima ( $T_{max}$ ) y la tasa de cambio de temperatura ( $\Delta T = (T_{max} - T_{min})/\tau$ ); donde  $\tau$  es el número de días transcurridos entre  $T_{max}$  y  $T_{min}$ . Cada variable fue calculada a 30, 60 y 90 días previos a la fecha de monitoreo biológico, generando un total de 12 variables en la matriz.

Los registros biológicos fueron obtenidos de la Base de Datos Ecológicos Submarinos de la FCD [5] que incluye abundancia de peces demersales, macroinvertebrados móviles, y porcentaje de cobertura de organismos sésiles, evaluados mediante técnicas estandarizadas de conteo en transectos visuales durante inmersiones de buceo autónomo a 6 y 15 metros de profundidad en cada punto de monitoreo.

La matriz biótica se construyó para cada tipo de organismo por separado y en dos grupos de análisis: los sitios El Muñeco (E.Mu.) - Punta Moreno (P.Mo.); y los cuatro sitios en el Canal Bolívar, por considerarse regiones bio-geográficas bien diferenciadas. Se utilizaron los registros de octubre 2004 y abril 2005 para las cuales se calcularon las variables de temperatura.

El análisis estadístico se realizó mediante el uso del software estadístico PRIMER v6 [6]. Sobre la matriz biológica se aplicaron las rutinas para generar diagramas de escalamiento multidimensional (MDS) y para comprobar la diferenciación estadística ( $R \neq 0$ ;

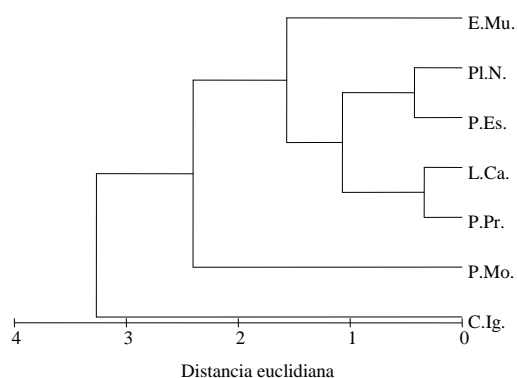
$p < 0.005$ ) entre sitios, fechas y profundidades, mediante el análisis de varianza ANOSIM (Analysis of Similitude). Sobre la matriz abiótica se ejecutó un análisis de componentes principales (PCA) para evidenciar la distribución de las muestras en relación con las variables calculadas. Finalmente, la rutina BEST se utilizó para encontrar las variables de temperatura mejor correlacionadas con la distribución de abundancias bióticas de cada tipo de organismo.

### 3. Resultados

#### 3.1. Variabilidad termal

De norte a sur se establece un gradiente meridional de temperatura que se encuentra bien diferenciado entre agosto y diciembre, cuando se observan diferencias entre los sitios de hasta  $6^{\circ}\text{C}$ . La distancia meridional marca la correlación entre las magnitudes de cada sitio, de esta manera los sitios del Canal Bolívar, mantienen un rango similar de temperaturas durante la serie toda la serie, las máximas diferencias registradas entre estos sitios es de  $0.5^{\circ}\text{C}$  (Figura 2).

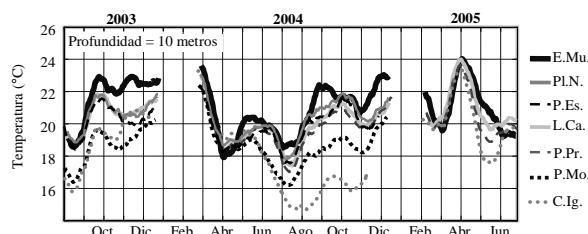
El gradiente es claro entre los meses de junio a diciembre, tiempo en que las temperaturas son más diferenciadas entre los sitios. De enero a mayo la desviación estándar se reduce considerablemente y se observan variaciones del patrón espacial latitudinal.



**Figura 2.** Análisis de conglomerados (CLUSTER) sobre los promedios mensuales de temperatura de cada serie.

De abril a mayo 2004 existe una inversión de las magnitudes máximas y mínimas del grupo; los valores más altos de este periodo se registran en Caleta Iguana (sur), en aproximadamente  $20^{\circ}\text{C}$ , mientras que la temperatura de El Muñeco (norte) desciende temporalmente a  $18^{\circ}\text{C}$ . En escenarios similares de

enero 2004 y marzo – abril 2005, la temperatura de C. Iguana se encuentra por encima de otros sitios. En estos casos, la menor temperatura se registra en Punta Moreno, que a su vez mantiene el menor promedio de temperatura de las series (Figura 3).



**Figura 3** Series de temperatura *in situ* a 10 metros de profundidad.

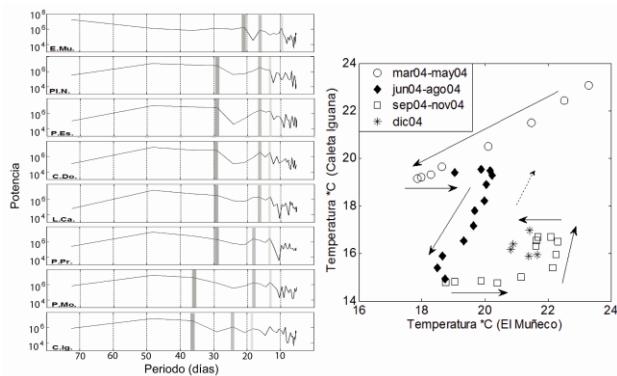
Los sitios expuestos de El Muñeco y Caleta Iguana (extremos norte y sur) presentan mayor desviación estándar que los sitios del Canal Bolívar tanto a 10 metros ( $\sigma_{\text{emu}}=1.6$ ;  $\sigma_{\text{cig}}=2.3$ ), como a 20 metros de profundidad ( $\sigma_{\text{emu}}=1.5$ ;  $\sigma_{\text{cig}}=1.7$ ). Durante el periodo registrado la diferencia entre temperatura máxima y temperatura mínima promedio en todos los sitios fue de  $6.1 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$  a 10 metros y  $6.6 \pm 0.9^{\circ}\text{C}$  a 20 metros de profundidad.

El análisis de serie de tiempo muestra que las variaciones intra-estacionales se presentan en periodos menores a 90 días, en los picos de potencia en los periodogramas muestra la propagación latitudinal de esta variabilidad (Figura 4).

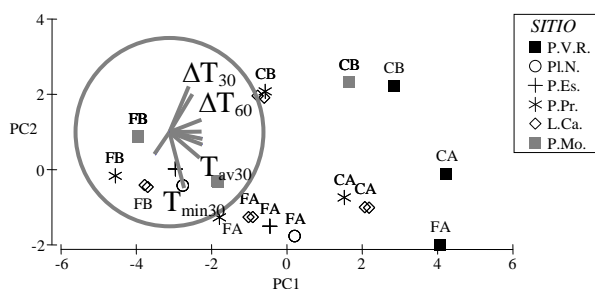
El análisis de componentes principales (PCA) mostró que las variables de temperatura analizadas definen diferencias entre fechas y profundidades para todos los sitios. El primer y segundo componente de este análisis explicaron el 93.4% de la variabilidad ambiental (PC1: 73.4%; PC2: 20%), conformándose principalmente por las variables de temperatura mínima ( $T_{\text{min}}$ ), temperatura media ( $T_{\text{av}}$ ) y la tasa de cambio de temperatura ( $\Delta T$ ) en periodos de 30 y 60 días (Figura 5).

#### 3.2. Diferencias bióticas

Al compararse los puntos de monitoreo de Punta Vicente Roca ( $\approx 9,3$  km. al sur de El Muñeco) y P. Moreno, una agrupación de 83 especies de organismos sésiles, 51 especies de peces y 20 de macroinvertebrados caracterizaron en conjunto estos dos sitios, durante las fechas de estudio. Comparten el 75% del total de especies registradas, con 43 especies observadas sólo en el norte y 8 registradas sólo en el sur.



**Figura 4** Periodogramas de las series de temperatura *in situ* a 20 metros de profundidad y propagación de la variabilidad de temperatura (10m) entre los sitios extremo norte (E. Muñeco) y sur (C. Iguana) de la región oeste



**Figura 5** Análisis de componentes principales (PCA) sobre las variables de temperatura calculadas para todos los sitios.

El porcentaje de cobertura sésil dominante (>20%) fue del género *Lithothamnium* para ambos sitios, Organismos filtradores, micro omnívoros y micro carnívoros fueron más comunes en P. Vicente Roca (*Aplidium spp.*, *Cystodytes dellechiaiei*, *Haliclona spp.*) y diferentes grupos de algas caracterizaron P. Moreno (*Ulva spp.*, *Kallymenia spp.*, *Gelidium spp.*).

Entre los macro-invertebrados móviles, en P. Vicente Roca el erizo coronado (*Centrostephanus coronatus*; 0.485 ind/m<sup>2</sup>) y el churo (*Hexaplex princeps*; 0.047 ind/m<sup>2</sup>) fueron más frecuentes y se presentó una mayor abundancia de erizo morado (*Echinometra vanbrunti*; 0.142 ind/m<sup>2</sup>) y el pepino de mar (*Holothuria kefersteini*; 0.022 ind/m<sup>2</sup>). P. Moreno se caracterizó por la abundancia de camarón de roca (*Rhynchocinetes typus*; 3.914 ind/m<sup>2</sup>) y erizo verde (*Lytechinus semituberculatus*; 0.619 ind/m<sup>2</sup>).

Las especies de peces con mayor abundancia y frecuencia de observación fueron *Halichoeres dispilus* (vieja camaleón; 0.705 ± 0.35 ind/m<sup>2</sup>), *Stegases leucurus beebei* (damisela de cola blanca; 0.317 ± 0.06 ind/m<sup>2</sup>) y *Paranthias colonus* (gringo; 0.644 ± 0.72 ind/m<sup>2</sup>). Algunas diferencias observables fueron la mayor abundancia de cardenal punta negra (*Apogon atradorsatus*; 0.226 ind/m<sup>2</sup>) y vieja arcoíris (*Thalassoma lucasanum*; 0.095 ind/m<sup>2</sup>) en P. Vicente Roca y de las especies endémicas chopo penumbra (*Girella freminvillei*; 0.115 ind/m<sup>2</sup>) y roncador (*Orthopristis forbesi*; 0.032 ind/m<sup>2</sup>) en P. Moreno.

La diferencia comunitaria entre fechas y profundidades fue comprobada con los resultados del ANOSIM, a  $p < 0.005$  para todos los tipos de organismos. Las comunidades de P. Moreno se encuentran más diferenciadas por el factor de profundidad. Contrariamente, P. Vicente Roca demostró una diferenciación entre ambas fechas de monitoreo para ensambles de peces (Tabla 1). Dichos rasgos son observables en los diagramas de escalamiento multidimensional (no mostrado).

Por otra parte, los sitios del Canal Bolívar comparten en conjunto el 43% de las especies registradas (54 especies de peces, 23 de invertebrados y 57 especies de sésiles); el 26% se halla en tres de los sitios y el 31% se encuentra en sólo dos de los sitios.

El mayor porcentaje de cobertura en todos los sitios fue *Lithothamnium spp.* (28.15% ± 5.33) y algas foliosas (*Ulva spp.*; 7.28% ± 1.39). Diferentes especies de organismos filtradores (*Aplidium spp.*, *Cystodytes dellechiaiei*, 1.51%) ocuparon el tercer lugar de abundancia en Playa Negra. La especie de invertebrado más abundante fue *E. galapagensis* (3.328 ± 1.06 ind/m<sup>2</sup>), seguido en frecuencia y abundancia de *C. coronatus* (0.452 ± 0.32 ind/m<sup>2</sup>). El erizo morado (*E. vanbrunti*; 0.213 ± 0.589 ind/m<sup>2</sup>) ocurrió más generalmente en los sitios norte del canal. *Linckia columbiae* (0.015 ± 0.01 ind/m<sup>2</sup>) fue la única especie de invertebrado ausente Pl. Negra, mientras el erizo aguja (*Diadema mexicanum*; 0.014 ± 0.03 ind/m<sup>2</sup>) sólo se registró en este sitio.

La mayor parte de especies de peces ocurrieron en rangos de abundancia y frecuencias similares para los cuatro sitios, el ANOSIM pareado definió que los sitios no tenían diferencias entre sus comunidades, con excepción de las diferencias significativas encontradas en la composición de macro-invertebrados de Playa Negra evidentes en la mayor abundancia de *C. coronatus*, *H. princeps* y *E. vanbrunti* y menor abundancia de erizo lapicero.

Diferencias entre profundidades, en ambas fechas de observación, fueron significativas para los grupos

de sésiles y macro-invertebrados móviles. Diferencias entre las fechas sólo se observaron a 15m en grupos sésiles y de peces (Tabla 2).

**Tabla 1** Valores de R estadístico y porcentaje de significancia ( $p$ ), de la prueba ANOSIM de una vía para Punta Vicente Roca y Punta Moreno. \*Diferencias significativas ( $p < 0.005$ ).

	Fechas				Profundidad			
	P. Vicente Roca		P. Moreno		P. Vicente Roca		P. Moreno	
	R	p	R	p	R	p	R	p
Sésiles	0.01	0.396	0.04	0.728	0.04	0.773	0.42	0.001*
Macro-invertebrados	0.19	0.007	0.00	0.423	0.10	0.049	0.43	0.001*
Peces	0.33	0.001*	0.13	0.026	0.11	0.034	0.42	0.001*

**Tabla 2** Valores de R estadístico y porcentaje de significancia ( $p$ ), de la prueba ANOSIM pareada para los sitios del Canal Bolívar. \*Diferencias significativas ( $p < 0.005$ ).

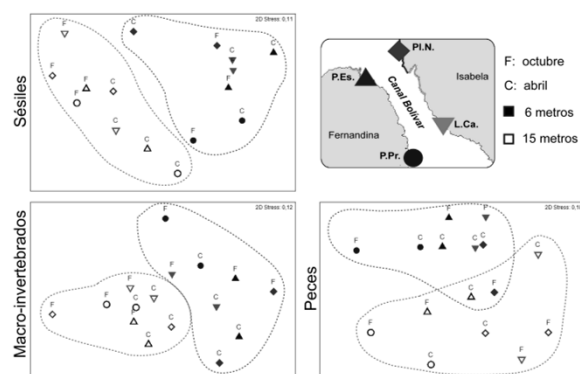
	Fechas				Profundidad			
	6 metros		15 metros		octubre		abril	
	R	p	R	p	R	P	R	P
Sésiles	0,05	0,124	0,26	0,001*	0,66	0,001*	0,30	0,002*
Macro-invertebrados	0,05	0,124	0,26	0,001*	0,66	0,001*	0,30	0,002*
Peces	0,14	0,003	0,14	0,004	0,40	0,001*	0,43	0,001*

En los diagramas MDS se observan las diferencias probadas por el ANOSIM. La división entre profundidades es clara en los tres grupos; mientras las relaciones por fechas varían entre tipos de organismos. La distancia entre sitios en relación con sésiles es menor en octubre a 15 metros; para macro-invertebrados en abril y en ensambles de peces en abril a 6 metros.

### 3.3. Relación biótico - abiótico

El análisis BEST de los sitios de la región oeste (Punta Vicente Roca y Punta Moreno) determinó que combinaciones de temperaturas mínimas a 30 y 60 días ( $T_{\min 30}$ ,  $T_{\min 60}$ ) representan la mejor relación con los ensambles bióticos submareales de grupos funcionales sésiles y macro-invertebrados móviles, sin embargo la relación con grupos sésiles es poco significativa. En

los sitios del Canal Bolívar la variable que explica la relación para ambos tipos de organismos es el promedio de temperatura a 30 días ( $T_{av30}$ ). En las combinaciones relacionadas con ensambles de peces de los sitios de las dos regiones mencionadas se presenta además la variable de tasa de cambio de temperatura entre 30 y 60 días ( $\Delta T_{30}$ ,  $\Delta T_{60}$ ) (Tabla 3).



**Figura 6** Diagrama MDS sobre los sitios del Canal Bolívar. La línea punteada divide con propósitos las agrupaciones entre profundidades.

## 4. Discusión

Los resultados muestran que diferencias detectables y representativas en las abundancias bióticas pueden ser relacionadas con el régimen de temperatura registrado de 1 a 2 meses previo al monitoreo. Este tiempo es relativo a la periodicidad registrada en las series de tiempo ( $\approx 72-21$  días) producto de variaciones intra-estacionales. La menor relación se observó en organismos sésiles, mientras que los invertebrados mostraron apego a la temperatura promedio y mínima en los 30 días previos y los peces estuvieron determinados por un conjunto de variables incluyendo la tasa de cambio de la temperatura. Poca influencia mostraron las temperaturas máximas, llevando a pensar que es el aumento (o disminución) en las temperaturas mínimas lo que impone presión sobre la biota durante los eventos termales.

**Tabla 3** Valores de correlación R y porcentaje de significancia ( $p$ ), de los resultados del análisis BEST para Punta Vicente Roca y Punta Moreno y los sitios del Canal Bolívar. \*Relaciones significativas biótico –abiótico ( $p < 0.005$ ).

<i>Punta Vicente Roca – Punta Moreno</i>				<i>Canal Bolívar</i>		
	<i>Variables</i>	<i>R</i>	<i>p</i>	<i>Variables</i>	<i>R</i>	<i>p</i>
<b>Organismos Sésiles</b>		0.164	0.009		0.486	0.001*
	$T_{\min 60}$	0.164		$T_{\text{av}30}, T_{\min 30}, T_{\text{max}60}, T_{\text{max}90}$	0.486	
	$T_{\min 60}, T_{\min 90}$	0.164		$T_{\text{av}30}, T_{\min 30}, T_{\text{max}60}$	0.486	
	$T_{\min 90}$	0.161		$T_{\text{av}30}, T_{\min 30}, T_{\text{av}60}, T_{\text{max}60}$	0.480	
<b>Peces Demersales</b>		0.347	0.001*		0.275	0.001*
	$T_{\min 30}, T_{\min 60}, T_{\min 90}, \Delta T_{30}, \Delta T_{60}$	0.347		$\Delta T_{30}, \Delta T_{60}$	0.275	
	$T_{\min 30}, T_{\min 60}, T_{\min 90}, \Delta T_{60}, \Delta T_{90}$	0.342		$T_{\min 30}, T_{\min 60}, \Delta T_{60}, \Delta T_{30}$	0.258	
	$T_{\min 30}, T_{\min 60}, T_{\text{av}90}, \Delta T_{30}, \Delta T_{60}$	0.339		$T_{\min 60}, \Delta T_{60}, \Delta T_{30}$	0.256	
<b>Macro-Invertebrados</b>		0.352	0.001*		0.379	0.001*
	$T_{\min 30}$	0.352		$T_{\text{av}30}$	0.379	
	$T_{\min 30}, T_{\min 60}$	0.341		$T_{\text{av}30}, T_{\min 30}, T_{\text{max}90}$	0.368	
	$T_{\min 30}, T_{\min 90}$	0.331		$T_{\text{av}30}, T_{\min 30}, T_{\text{av}60}$	0.354	

La variación de las comunidades submareales costeras entre estaciones estuvo mejor representada en Punta Vicente Roca, dada su ubicación más cercana a la interface entre bio-regiones y regímenes oceanográficos. En general, las regiones del norte mantienen temperaturas más cálidas que las del sur diferenciadas por la presencia del Frente Ecuatorial (FE) [7]. La diferencia biótica está caracterizada por mayor abundancia de varias especies de peces e invertebrados observado en abril 2005, la mayor parte de éstas son poco comunes en las regiones del oeste y algunas (*A. troschelli*, *A. scapularis*) virtualmente sólo fueron registradas en el sitio durante este u otros meses cálidos. Investigación específica sobre estas especies es necesaria para comprobar y esclarecer los patrones observados.

Los resultados son correspondientes a fechas en condiciones consideradas neutrales en las cercanías del archipiélago, aunque los índices climáticos catalogan al 2004-2005 como un evento débil de El Niño. El análisis exploratorio sobre TSM satelital y abundancias hasta 2008 muestra que si bien los comportamientos son replicables, incluso débiles variaciones interanuales dadas por anomalías asociadas a El Niño – La Niña modifican los patrones observados [8]. En Galápagos, un evento El Niño se relaciona con la supresión de los afloramientos

del área durante El Niño [9-11]. La baja magnitud del evento del 2006 pudo no semejar impactos de los eventos de 1982-83 y 1997-98, sin embargo fue suficiente para mostrar efectos en especies más apegadas a un patrón estacional.

Por otra parte, la diferenciación comunitaria entre profundidades se relaciona con el límite termal de la termoclina, el cual a su vez se vincula con factores de disponibilidad de nutrientes, penetración lumínica y abundancia de plancton. En Punta Moreno, una termoclina superficial es casi permanente, aunque fluctuaciones temporales afectan su profundidad. Esta variabilidad incide más notoriamente en el aumento o disminución de cobertura de algas.

Se observó además diferencias en las variables de correlación según el tipo de organismo. Se conoce que la vulnerabilidad de los distintos tipos de organismos difiere en función de su motricidad, historia y ciclo de vida. Mientras que los cambios en la cobertura sésil pueden ser directamente asociados a los límites de tolerancia de las especies, la capacidad natatoria de los peces les permite “rastrear” condiciones ambientales favorables. Como lo evidencian los resultados, la distribución de peces observada en una determinada fecha guarda relación con la tasa de cambio de temperatura

registrada en meses previos; mientras que la distribución de especies bentónicas de menor o ninguna movilidad está mejor explicada por las temperaturas mínimas y promedios característicos de cada sitio.

La escala temporal analizada, en el presente estudio, es capaz de abarcar procesos de disponibilidad de alimento, escalamiento trófico y desplazamientos espaciales. Aunque en la actualidad no se observen tendencias de un cambio climático en Galápagos, el conocimiento de las oscilaciones océano-atmosféricas indica que es una posibilidad latente [12]. Contando con pocos datos sobre los cambios fuertes experimentados en los eventos ENOS 82, 97, se requiere puntos referenciales de la variabilidad natural que permitan determinar umbrales de afectación e identificar especies más sensibles que puedan ser utilizadas como bio-indicadores de cambios termales

Además, una variedad de factores físicos interactúan en la variabilidad climática y muchos otros ecológicos son independientes de la misma, por lo que la exclusión de estas importantes consideraciones puede llevar a interpretaciones erróneas [13]. Adaptaciones a la latitud y oceanografía local pueden modificar el efecto de las fluctuaciones termales sobre las comunidades bióticas. En particular, la topografía de Galápagos modifica fuertemente los patrones de circulación, originando zonas afloramientos y mezcla en distintas áreas del archipiélago [9-11]. Los sitios analizados poseen rasgos batimétricos que van desde paredes verticales en Punta Vicente Roca, a pendientes tendidas en Punta Moreno. Esto caracteriza la mayor diferencia en cobertura sésil observada y puede incidir también en el número de invertebrados contados por el buzo. Las diferencias de sustrato pueden limitar a su vez expansiones de rango de algunas especies; por ejemplo, especies asociadas a corales de la región norte pueden encontrar dificultades para establecerse en los hábitats de algas del oeste.

La geometría del Canal Bolívar puede disminuir la velocidad de propagación de ondas internas e inducir un flujo donde vientos locales y el régimen de marea influyen más directamente en los procesos de mezcla y advección de las aguas del afloramiento. La incidencia del

afloramiento de la SCE en esta área modifica también los valores de salinidad, existiendo un pronunciado gradiente que separa las aguas salinas del afloramiento ( $S > 35$ psu) de aquellas al norte y sur de la isla Isabela ( $S > 33$ psu) [14]. Aunque información específica sobre estos procesos físicos es escasa, se ha sugerido su importancia en el mantenimiento de los niveles de hierro en el área [11].

Así, aunque el estudio carece de una más robusta serie histórica física que permita relacionar la variabilidad interanual, y la intensidad de los eventos ENOS. La importancia de los resultados radica, empero, en la necesidad de tener indicios sobre las condiciones ambientales que determinan una observación biológica.

## 5. Conclusiones

La temperatura del mar imprime un claro gradiente meridional en el área de estudio, semejante al observado a mayor escala en todo el archipiélago y producto del encuentro de dos masas de agua. La incidencia de la Sub-Corriente Ecuatorial (SCE) tiene la capacidad de modificar esta gradiente, invirtiendo las magnitudes de los extremos norte y sur, sin embargo existe poco consenso e información sobre su variabilidad espacio-temporal en el archipiélago.

Se observa que en condiciones cercanas a neutrales, el gradiente meridional está bien definido de junio a diciembre. Las condiciones termales se homogenizan de enero a mayo, propagándose desde el norte. Análogamente, la mayor similitud entre las composiciones bióticas de los sitios de análisis se dio en abril.

Es posible describir la respuesta biótica a dos límites termales: uno vertical correspondiente al gradiente meridional; y uno horizontal, determinado por la termoclina. Por su ubicación más expuesta en el límite norte, Punta Vicente Roca mostró variabilidad significativa en la composición de peces entre octubre y abril, pero no entre profundidades. Las diferencias en abundancia de macro-invertebrados fueron especie-específicas. Una termoclina (isoterma 20°C) con profundidad menor a 20 metros en los

sitios del Canal Bolívar y menor a 10 metros en Punta Moreno, se mantiene durante la mayor parte del año. Estos sitios exhibieron diferencias significativas entre profundidades en todos los tipos de organismos.

Los monitoreos submareales recopilan gran cantidad de información sobre la diversidad y abundancia de especies, pero con una capacidad limitada en tiempo y puntual en espacio, y que requiere precauciones en la construcción de hipótesis sobre las causas que originaron una observación dada. Por otro lado, las mediciones con sensores *in situ*, como las de temperatura del mar, proporcionan registros históricos continuos, relacionables con otros parámetros físico-químicos y que poseen la resolución espacial requerida para detectar particularidades de la circulación entre islas y de la sub-zonificación costera de la reserva. Sólo mediante el estudio conjunto de ambos tipos de datos (registros biológicos y series históricas continuas), es posible una interpretación más realista del comportamiento del ecosistema frente a distintos eventos y en diferentes escalas.

## 6. Agradecimientos

El presente trabajo es parte de la tesis de grado del autor para obtención del título de Oceanógrafa, auspiciado por una beca de la Fundación Charles Darwin y financiada por Galapagos Travel. Un agradecimiento especial al Departamento de Investigación Marino Costera "BIOMAR" de la FCD, a M.Sc. Stuart Banks, M.Sc. Verónica Ruiz y Blgo. Diego Ruiz.

## 7. Referencias

- Chavez, F. and R.C. Brusca, *The Galapagos Islands and their relation to oceanographic processes in the Tropical Pacific*, in *Galapagos Marine Invertebrates*, M.J. James, Editor. 1991, Plenum Press: New York.
- Podestá, G.P. and P.W. Glynn, *The 1997-98 El Niño Event in Panamá and Galápagos: an update of thermal stress indices relatives to coral bleaching*. Bulletin of Marine Science, 2001. **69**(1): p. 43-59.
- Barber, R. and F. Chavez, *Biological consequences of El Niño*. Science, 1983. **222**(4629): p. 1203-1210.
- Boersma, P.D., *Population Trends of the Galapagos Penguin: Impacts of El Nino and La Nina*. The Condor, 1998. **100**(2): p. 245-253.
- FCD, *Submarine Ecological Database*. 2009, Fundación Charles Darwin.
- Clarke, K. and R. Gorley, *PRIMER v6: User manual/tutorial: PRIMER E*. 2006, Plymouth. 192.
- Banks, S., *The use of AVHRR data in determining sea surface temperature zonation and variability across the Galápagos Marine Reserve*, in *Faculty of Science. School of Ocean and Earth Sciences*. 1999, University of Southampton. p. 46.
- Kuhn, A.M., *Incidencia de la Temperatura del Mar en las Comunidades Rocosas Submareales de la Reserva Marina de Galápagos*, in *Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar*. 2010, Escuela Superior Politécnica del Litoral: Guayaquil. p. 107.
- Feldman, G., *Satellites, seabirds and seals.*, in *El Niño in the Galápagos Islands: the 1982-1983 event*, G. Robinson and E.d. Pino, Editors. 1985, Charles Darwin Foundation: Quito - Ecuador.
- Schaeffer, B.A., et al., *Phytoplankton biomass distribution and identification of productive habitats within the Galapagos Marine Reserve by MODIS, a surface acquisition system and in-situ measurements*. Remote Sensing of Environment, 2008. **112**(6): p. 3044-3054.
- Steger, J.M., C.A. Collins, and P.C. Chu, *Circulation in the Archipiélago de Colón (Galápagos Islands)*. Deep-Sea Research II, 1998. **45**(6): p. 1093-1114.
- Trenberth, K.E., et al., *Observations: Surface and Atmospheric Climate Change.*, in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, et al., Editors. 2007, Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom - New York, NY, USA.
- Stenseth, N., et al., *Ecological Effects of Climate Fluctuations*. Science, 2002. **297**: p. 1292-1296.
- Sweet, W.V., et al., *Water Mass Seasonal Variability in the Galápagos Archipelago*. Deep-Sea Research I, 2007. **54**: p. 2023-2035.