

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas,  
Oceánicas y Recursos Naturales**

Diseño de una solución informática para el procesamiento y análisis de  
datos de una serie de tiempo oceanográfica y biológica de las Islas  
Galápagos 2000 - 2014

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Oceánico Ambiental**

Presentado por:

Alejandra Carolina Suasnavas Males

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres Pablo y Yadira, mis abuelitos Gloria y Manuel, a mis hermanos Pablo, Melissa y Estefanía y a mis tíos Luis, Graciela y Víctor por ser mi pilar fundamental, motivación y apoyo durante toda mi carrera estudiantil, sin duda sin ustedes no hubiera sido posible.

A mi persona especial por siempre cuidarme y estar presente en todo momento.

Mi amor hacia ustedes es infinito.

Con amor Alejandra.

## AGRADECIMIENTOS

Al programa Galapagos Marine Research and Exploration (GMaRE) y al proyecto “*Climate variability Interaction and recurrence of Harmful Bloom algae, and their impact in human health along an estuarine – coastal gradient*” por proporcionarme los datos necesarios para el desarrollo de este proyecto.

Mis más sinceros agradecimientos a la Dra. Mercy Borbor, al Dr. Rafael Bermúdez y al Ing. Gabriel Mantilla por la confianza, asesoramiento y apoyo incondicional que recibí durante este trabajo.

A mis profesores, amigos, compañeros y por supuesto a la ESPOL por abrirme las puertas al mundo del conocimiento.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Alejandra Carolina Suasnavas Males* y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

  
Alejandra Suasnavas Males

## EVALUADORES



MSc. Luis Altamirano

PROFESOR DE LA MATERIA



Dra. Mercy Borbor

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

La Reserva Marina de Galápagos (RMG) es caracterizada por ser el hábitat de especies endémicas de flora y fauna únicas en el mundo.

Este estudio tiene como objetivo usar R y RStudio para asociar datos biológicos tomados por la Fundación Charles Darwin mediante monitoreos submareales de especies ictiológicas en la RMG con el ensamblaje de la teledetección de sensores remotos Pathfinder, GOES, Aqua MODIS, Persiann, SeaWIFS y Terra MODIS para variables oceanográficas temperatura superficial del mar, precipitación, clorofila-a y radiación fotosintética activa. Las gráficas de contorno permitieron visualizar comportamientos espaciales y la presencia de fenómenos naturales tales como de El Niño y La Niña en las variables antes mencionadas.

En conclusión, con el desarrollo de este script se generó un paquete tecnológico como una herramienta útil para estudios oceanográficos y biológicos que, mediante gráficas de correlación permitieron evidenciar la gran biodiversidad bioregional, estacional e interanual de RMG debido al acople de las variables estudiadas.

**Palabras Clave:** RMG, teledetección, R, RStudios y variables oceanográficas.

## **ABSTRACT**

*The Galapagos Marine Reserve (GMR) is characterized as the habitat of endemic species of flora y fauna unique in the world.*

*This study has a goal use of R and RStudio to associate biological data taken by the Charles Darwin Foundation. Through subtidal monitoring of ichthyologic species in GMR with the use of remote sensing such as; Pathfinder, GOES, Aqua MODIS, Persian, SeaWIFS, and Terra MODIS. For oceanographic variables sea surface temperature, precipitation, chlorophyll-a, and photosynthetic active radiation. The contour graphs allowed to visualize spatial behaviors and the presence of natural phenomena such as El Niño and La Niña in the variables described above.*

*In conclusion, with the development of this script, a technological package was generated as a useful tool for oceanographic and biological. Through, correlation graphs to demonstrate the great bioregional, seasonal and interannual biodiversity of GMR due to the coupling of the variables studied.*

*Keywords: GMR, sensing remote, R, RStudio and oceanographic variables.*

**Keywords:** *GMR, sensing remote, R, RStudio and oceanographic variables.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS .....	V
SIMBOLOGÍA .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
CAPÍTULO 1 .....	11
1. Introducción .....	11
1.1 Descripción del problema .....	13
1.2 Justificación del problema .....	13
1.3 Objetivos .....	14
1.3.1 Objetivo General .....	14
1.3.2 Objetivos Específicos .....	14
1.4 Marco teórico .....	14
1.4.1 Características del área de estudio .....	14
1.4.1.1. Ubicación y generalidades geográfica .....	14
1.4.1.2. Meteorología .....	15
1.4.1.3. Corrientes oceánicas y convergencia .....	16
1.4.2 Sensores Remotos .....	17
1.4.2.4. Variables ambientales .....	17
1.4.5.1. Organización del buceo submareal .....	19
1.4.5.2. Zonas muestreadas .....	19
1.4.3 Índices de Shannon- Wiener .....	20

1.4.4	Software R y RStudios .....	20
	CAPÍTULO 2 .....	24
2.	Metodología .....	24
	CAPÍTULO 3 .....	32
3.	Resultados Y ANÁLISIS .....	32
	CAPÍTULO 4 .....	54
4.	Conclusiones Y RECOMENDACIONES .....	54
	Conclusiones.....	54
	Recomendaciones.....	55
	BIBLIOGRAFÍA .....	57
	ANEXOS .....	65

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
RMG	Reserva Marina de Galápagos
PAV	Pesca Artesanal Vivencial
FCD	Fundación Charles Darwin
GMaRE	Galapagos Marine Research and Exploration
GNU	Licencia Pública General
TSM	Temperatura Superficial del Mar
PAR	Radiación Activa Fotosintética
CHLA	Clorofila-a
PREC	Precipitaciones

## SIMBOLOGÍA

m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mm	Milímetros
km	Kilómetro
mg	Miligramo
°C	Grados Celsius

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Cinco bioregiones de la RMG, como lo describe Edgar [8]: Norte, Lejano Norte, Elizabeth, Sureste y Oeste. Elaborado por el autor. ....	15
Figura 1.2 Sistema de corrientes oceánicas presentes en las islas Galápagos [7] ..	16
Figura 1.3 Pantalla general de Rstudio. Fuente: Rstudio .....	21
Figura 2.1 Diagrama esquemático del procedimiento implementado para la elaboración del script. Elaborado por el autor .....	24
Figura 2.2 Directorio de trabajo y librería utilizadas ejecutada en r .....	25
Figura 2.3 script para el desarrollo de la primera parte del script ejecutado en Rstudio .....	26
Figura 2.4 Estructura de los datos, incluye la posición de la extracción en la que se encuentran .....	26
Figura 2.5 Script para determinar el índice de Shannon (índice de biodiversidad)...	27
Figura 2.6 Script para cargar datos satelitales (SST, PAR, CHLA y precipitaciones) extensión .rda .....	27
Figura 2.7 Script para establecer coordenadas espaciales .....	28
Figura 2.8 Script para extraer los valores de clorofila, SST, PAR y precipitaciones, ejemplo realizado para la CHLA .....	28
Figura 2.9 Estructura de la base de datos en formato excel .....	29
Figura 2.10 Diagrama de funciones necesaria para elaborar gráficas. Elaborado por el autor .....	29
Figura 2.11 Script para elaborar graficas de “filled.contour”, ejemplo realizado para la bioregión Elizabeth con la variable TSM .....	30
Figura 2.12 Script para determinar correlaciones entre el índice de Shannon y las variables de estudio ejemplo realizado para la estación lluviosa en la bioregión sureste con la variable precipitación .....	31
Figura 2.13 Script para realizar diagramas de paneles ejemplo realizado para la bioregión Elizabeth .....	31
Figura 3.1 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PREC, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	32

Figura 3.2 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de CHLA, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	33
Figura 3.3 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PAR, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	34
Figura 3.4 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de TSM, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	35
Figura 3.5 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PREC, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	36
Figura 3.6 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de CHLA, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	37
Figura 3.7 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PAR, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	38
Figura 3.8 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de TSM, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	39
Figura 3.9 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PREC, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	40
Figura 3.10 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de CHLA, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	41
Figura 3.11 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PAR, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	42

Figura 3.12 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de TSM, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	43
Figura 3.13 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PREC, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	44
Figura 3.14 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de CHLA, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	45
Figura 3.15 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PAR, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	46
Figura 3.16 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de TSM, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	47
Figura 3.17 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PREC, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	48
Figura 3.18 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de CHLA, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	49
Figura 3.19 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PAR, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	50
Figura 3.20 La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de TSM, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor. ....	51
Figura 3.21 Diagrama de cajas de los valores anuales y mensuales de índice de Shannon para las cinco bioregiones de la RMG. Elaboradas por el autor .....	52
Figura 4.2 Tabla de los colores únicos de por colores utilizados en la elaboración de las gráficas de contorno. Elaborados por el autor .....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características de las variables satelitales proporcionadas por el proyecto “HABs-ESPOL” .....	18
Tabla 2 Tabla de características de los criterios de recolección de datos de la RMG .....	19
Tabla 1.3 Operadores que usan en R estudio [19].....	22
Tabla 1.4 Librerías utilizadas para el diseño de este script .....	22

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Algunos organismos de cooperación y organizaciones no gubernamentales entre ellas la Fundación Charles Darwin (FCD) se dedican a proporcionar información con bases de investigación y asistencia técnicas para llevar en marcha un plan de conservación del ambiente y biodiversidad presente en Galápagos [1]. La Escuela Superior Politécnica de Litoral (ESPOL) desde el 2016 junto a FCD mantienen un acuerdo de cooperación llamado Galápagos Marine Research and Exploration Program (GMaRE), dentro de sus objetivos principales se encuentra la potencialización de la investigación científica conjunta para la conservación de la biodiversidad del sitio, asesoramientos a las autoridades estatales, así como programas de interés económicos y ambientales que vincule principalmente a la población [2].

Las Islas Galápagos se encuentran influenciada por un sistema de corrientes oceánicas, cuyo impacto e intensidad varían espacial y temporalmente, su creación se debe a un punto caliente (hot-spot) ubicado en el océano Pacífico que tiene una permanente actividad volcánica y tectónica, todos estos factores sumados a eventos naturales y anomalías climáticas han otorgado al Archipiélago una gran biodiversidad de flora y fauna. Gracias a la exuberante belleza natural las islas fueron declaradas Patrimonio Natural de la Humanidad en 1978 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) [3], por lo que, es primordial llevar a cabo un co-manejo de la actividades pesquera, turística, conservación y recreación que se realizan en las islas.

El turismo, pesca, comercio y agricultura son parte de las principales actividades económicas de Galápagos, entre los años 2000 – 2005 el aumento del número de turistas que arribaron a las islas fue 9.6% como promedio del crecimiento anual encabezando esta actividad como la más importante de Galápagos, la pesca con una orientación a la extracción de ciertas especies que en su mayoría se destinan para el consumo. El comercio va ligado con el turismo con la venta de elaboraciones artesanales, actividades recreacionales, alimentación y transporte para los visitantes, mientras la agricultura se

encuentra en decline por el déficit de rentabilidad y el elevado costo de operación de sus cultivos [4].

Se denomina pesca artesanal vivencial aquella modalidad turística y pesquera donde el pescador presta sus servicios a los visitantes para enseñarles todos sus conocimientos referentes al arte, cultura y experiencia pesquera de convivir en armonía con la naturaleza, esta actividad puede extraer una pequeña cantidad de recurso evitando así un desequilibrio en el ecosistema. [4]

El monitoreo de comunidades submareales de las islas ha permitido estudiar el comportamiento de especies marinas, entendiendo sus patrones estacionales, temporales, ambientales, oceanográficos y ante la extracción del recurso (actividad pesquera) de esta manera mejorar sus regulaciones, detectar zonas sensibles, implementaciones de planes de recuperación del recurso e incluso toma de decisiones ante especies invasoras.

Los programas estadísticos han impulsado a los investigadores a usarlos como soporte para el cálculo de sus trabajos facilitando el procesamiento de diferente información. Estos programas con el tiempo han ido incorporado herramientas para facilitar los cálculos, funciones y mejorando el interfaz.

La importancia de la teledetección ha ido creciendo con tiempo implementándose como una herramienta potente en el campo investigativo, hace mucho tiempo conocer los patrones de distribución de variables ambientales se había convertido en un verdadero reto por diversos factores [5].

## **1.1 Descripción del problema**

La Fundación Charles Darwin tiene desde el año 1998 un programa de monitoreo ecológico submareal en las islas Galápagos, que se remota hasta el 2014. El monitoreo consiste en la colecta visual de datos mediante buceos en transectos. Lo que ha permitido coleccionar una miríada de datos que necesitan ser validados y procesados, sin embargo, el volumen de datos y la complejidad de estos hacen que estos requieran un procesamiento particular.

La base de datos del monitoreo submareal contiene sólo información biológica, específicamente del recurso pesquero (especies ictiológicas), por lo que, la falta de información de variables físicas y químicas no permiten poder relacionarlas.

Para el programa GMaRE es de interés conocer cuál es dependencia existente entre el recurso pesquero y los factores ambientales espaciales y temporales para establecer su relación con cada una de ellas, puesto que, dentro de sus objetivos propuestos esta la protección y sostenibilidad de las Islas Galápagos.

## **1.2 Justificación del problema**

El estudio de este trabajo presenta la importancia de usar R Studio como herramienta para limpiar, arreglar, procesar y visualizar una base de datos de monitoreo submareal, incorporando el ensamblaje de imágenes satelitales que permite extraer información de variables ambientales (temperatura superficial del mar, radiación fotosintética activa, precipitaciones y clorofila-a) que resultan de gran utilidad para el estudio oceanográfico de los sitios de muestreos previamente establecidos, para así comprender los patrones estacionales que se han presentado en los últimos catorce años.

Con el desarrollo de este trabajo se espera beneficiar a varios sectores de la región insular Galápagos desde el punto de vista socioeconómico, turístico, pesquero, ambiental e incluso fomentando al fortalecimiento de la investigación científica relacionadas con el desarrollo y sostenibilidad de las Islas para futuras toma de decisiones.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar una solución informática en el programa estadístico R para el procesamiento de una base de datos de monitoreo biológico en las Islas Galápagos comprendida entre el 2000 – 2014.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Construir un diagrama de flujo del proceso informático acoplado a la metodología implementada para la visualización del producto final.
2. Desarrollar un script que permita la importación, depuración, procesamiento, visualización y exportación de datos biológicos y oceanográficos.
3. Establecer relaciones entre variables dependientes con las de mayor relevancia para el posterior análisis estadístico.

## **1.4 Marco teórico**

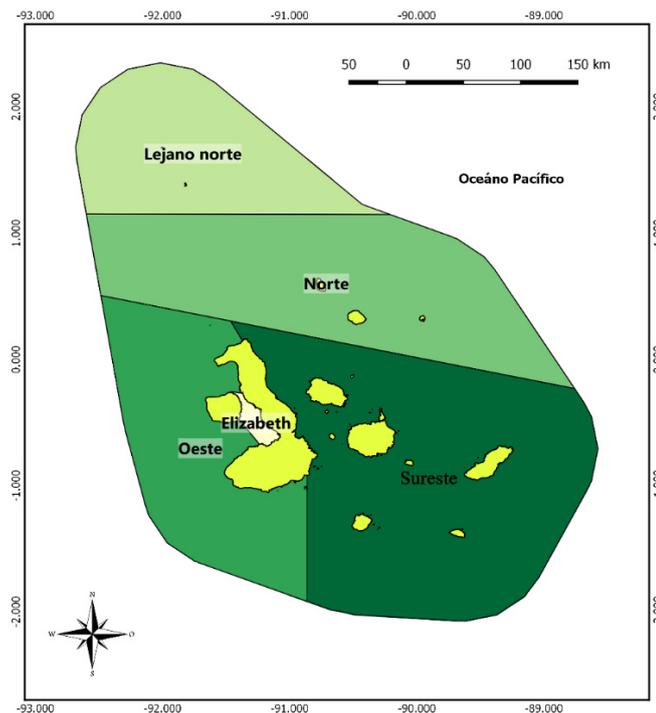
### **1.4.1 Características del área de estudio**

#### **1.4.1.1. Ubicación y generalidades geográfica**

Las Islas Galápagos se ubican al este del Océano Pacífico a 1000 km de Ecuador continental, está comprendida por un grupo de 19 islas grandes y alrededor de 107 islotes, las islas emergieron debido a procesos volcánicos al encontrarse encima de un punto caliente, siendo la erupción más reciente el volcán La Cumbre ubicado en Isla Fernandina [6], posee un gran número de volcanes jóvenes perteneciendo en su mayoría a una montaña submarina (Cordillera de Carnegie) extensión que se prolonga hacia el continente. La línea de costa y el área total Galápagos es de 1753 km y 8010 km<sup>2</sup> respectivamente.

Según el Plan de manejo de las áreas protegidas de Galápagos para el buen vivir el archipiélago está subdividido en cinco biorregiones [7], mismas poseen diferencias entre sí, categorizadas principalmente por la biodiversidad de especies marinas, las condiciones climáticas y oceanográficas [8].

1. La bioregión lejano norte, incluye las islas Wolf y Darwin catalogados como santuarios marinos.
2. La bioregión norte, incluye la isla Marchena, Genovesa y Pinta.
3. La bioregión este, incluye la isla Fernandina y la parte oeste de Isabela.
4. La bioregión Elizabeth, es una bioregión interna entre las islas Fernandina e Isabela, en donde se registra la presencia de un alto número de especies endémicas con afinidades peruanas.
5. La bioregión sureste, abarca la costa este de la isla Isabela, y entre otras islas e islotes, las especies de esta zona son de origen panameña con distribuciones hacia la parte norte de América Central.



**Figura 1.1** Cinco bioregiones de la RMG, como lo describe Edgar [8]: Norte, Lejano Norte, Elizabeth, Sureste y Oeste. Elaborado por el autor.

#### 1.4.1.2. Meteorología

En Ecuador Insular se presentan dos estaciones climáticas muy marcadas, la estación seca o fría que desarrolla entre los meses de junio a octubre y la estación lluviosa o cálida en los meses de diciembre a abril, mientras que los meses julio y noviembre son conocidos como meses de transición estacionaria. Por otra parte, con respecto a los

rangos de temperatura registrados en el archipiélago para la estación seca oscilan entre los 17°C y 19°C, mientras, para la parte oeste puede incluso descender hasta los 15°C, sin embargo, para la estación lluviosa se registran fluctuaciones entre 24°C y 28°C [9].

### 1.4.1.3. Corrientes oceánicas y convergencia

Frente a las Islas Galápagos existe una convergencia sistemas oceánicas entre cuatro corrientes predominantes: Humboldt, Cromwell, Panamá y la corriente Sur-Ecuatorial. La corriente de Humboldt transporta agua fría de la antártica hacia gran parte de la zona oeste de américa de sur, está corriente se caracteriza por ser un sistema de afloramiento de agua siendo muy productivo para especies biológicas. La corriente de Cromwell también se caracteriza por ser rica en nutrientes con alto contenido de oxígeno, fluye de la parte central del Océano Pacífico hacia el este del archipiélago de Galápagos, generando un sistema de surgencia en la zona favoreciendo a la actividad primaria de la región. La corriente de Panamá por su parte es un sistema de corriente de baja productividad al transportar aguas cálidas del Caribe y con bajo contenido de nutrientes. Finalmente, la corriente sur-ecuatorial por su parte, va hacia el oeste en contra la corriente de Cromwell que también transporta aguas frías con un alto oxígeno disuelto y nutrientes. [10]

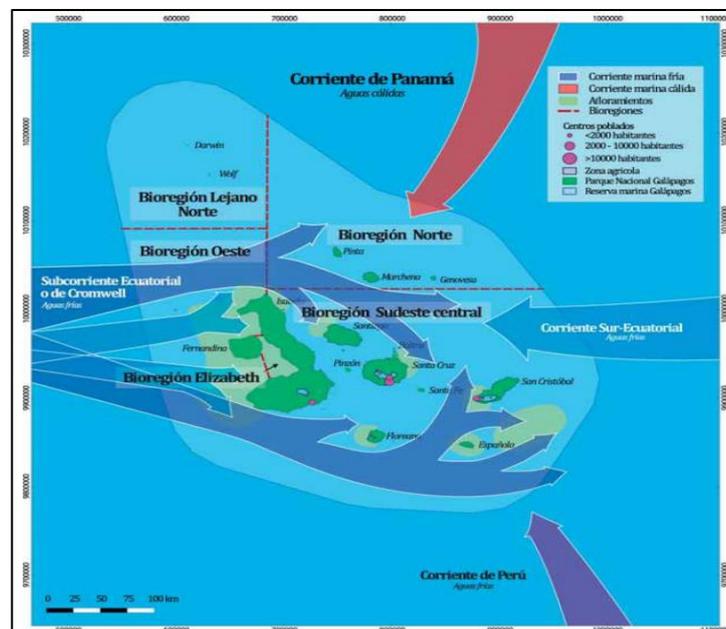


Figura 1.2 Sistema de corrientes oceánicas presentes en las islas Galápagos [7]

## **1.4.2 Sensores Remotos**

La teledetección remota comprende un conjunto de procesos y técnicas que permite capturar imágenes satelitales de la cubierta terrestre (superficie de la tierra) captada por sensores en drones, satélites o aviones para establecer cambios ambientales tanto estacionales como temporales [11]. No obstante, el acelerado desarrollo tecnológico ha facilitado acceder a este tipo de información que cuenta con una gran variedad de resolución remota: Espaciales, temporales, espectrales y radiométricas [5].

- La resolución espacial es medidas de nitidez o detalles de un objeto espacial
- La resolución temporal es la medida con periodicidad en la que un satélite llega a un sitio mostrando una serie imágenes tomadas por el mismo sensor a lo largo del tiempo.
- La resolución espectral es la medida de longitud de onda en intervalos específicos que el sensor llega a registrar.
- La resolución radiométrica es la medida de capacidad con la que cuenta el sensor para diferenciar dos objetos con una misma reflectancia realiza distinciones finas.

### **1.4.2.4. Variables ambientales**

La temperatura superficial del mar (TSM) es un indicador de la distribución energética de la tierra, ayuda a comprender el funcionamiento de sistema climático [12], resulta una variable importante para el recurso pesquero, debido a la migración de muchas especies en la búsqueda de ambientes idóneos para su alimentación y supervivencia. La TSM se asocia con masas de agua que determinan los flujos de calor por procesos de advección y difusión, intercambio océano-atmosfera e intercambio de calor con aguas profundas [13].

La clorofila-a es aquella pigmentación verdosa presente en las plantas influencia por variables ambientales locales e indirectamente por el uso del suelo (actividades agrícolas y ganaderas) [14], además de ser un suministro de biomasa de fitoplancton. Las aguas ricas en nutrientes son caracterizadas por poseer niveles altos de concentración de clorofila-a [15].

Los factores hidro-climáticos son combinado con patrones estaciones asociados con lluvias, descargas de ríos, fluctuaciones del nivel del mar, y derretimiento de glaciales. Las precipitaciones es un factor ambiental que favorece a la abundancia del zooplancton importante en la cadena trófica del ecosistema marino, además en el reclutamiento, inmigración y reproducción de peces, debido a que en meses de lluvias los peces suelen migran a zonas poco profundas y recientemente inundadas por consecuente reduce la captura de especies [16].

La radiación fotosintética activa (PAR, por sus siglas en inglés) es un indicador de disponibilidad de luz, siendo una variable vital para procesos fotosintéticos ligados al aumento de productividad. Sus estudios indican que la PAR presenta cambios estacionales, latitudinales y variaciones según la hora del día. [17].

**Tabla 1.1 Características de las variables satelitales proporcionadas por el proyecto “HABs-ESPOL”**

<b>Variable</b>	<b>Abreviación</b>	<b>Unidades</b>	<b>Sensor</b>	<b>Rango temporal</b>
Temperatura superficial del mar	TSM	°C	Pathfinder [18] [19]	Sep 1997 - Dec 2000
			GOES [20] [21]	Jan 2001 - Dec 2016
Precipitaciones	PREC	mm	Persiann [22] [23]	Jan 1997 - Aug 2016
Clorofila-a	CHL	mg/m <sup>3</sup>	Orbview-2 SeaWIFS [24] [25]	Sep 1997 - Dec 2002
			Aqua MODIS [26] [27]	Jan 2003 - Dec 2016
Radiación fotosintética activa	PAR	Einstein/m <sup>2</sup> /día	SeaWIFS [28] [29] [30] [31]	Sep 1997 - Jan 2000
			Terra MODIS [32] [33]	Feb 2000 - Dec 2016

#### 1.4.5.1. Organización del buceo submareal

La FCD decidió que el monitoreo submareal fuera replicado al menos dos veces al año y que se encuentre presente dentro de las dos estacionalidades (fría y caliente), donde los sitios tengan un área representativa de 500 metros con tres subzonas de manejo con la finalidad de aumentar la cobertura entre diferentes escalas (local, bioregional, estacional y temporal), así mismo reducir el error estadístico en los resultados obtenidos. [34]

#### 1.4.5.2. Zonas muestreadas

Para el año 2014 fueron 380 sitios de muestreos submareal realizados por buzos que se sumergieron hasta aproximadamente 40 metros, cuya información recolectada ha servido de respaldo en las mejoras de la Línea Base de Galápagos. Dentro de los objetivos del monitoreo submareal es aumentar el número de lugares muestreos para tratar de cubrir la mayor parte de RMG y establecer cuáles son las variaciones en diferentes escalas de tiempo. Este proyecto ha tenido un alcance potencialmente fuerte porque ha otorgado averiguar la heterogeneidad de las comunidades, mejorar las metodologías estadísticas implementadas para cubrir la mayor cantidad de biodiversidad posible y divisar cambios [34]. Debido a la complejidad que presentaron los datos se diseñaron criterios para conocer el estado biofísico de la RMG. Dentro de los índices trabajados para la RMG están:

**Tabla 2 Tabla de características de los criterios de recolección de datos de la RMG**

<b>Tipo de datos</b>	<b>Detalles</b>
Poblacionales	Censos visuales, marcaje y recaptura
Comunidades según su entorno	Censos visuales y modelaje
Pesqueros	Arte de pesca artesanal
Reclutamiento poblacional (censo)	Larvas y juveniles
Satelitales, submarinos y cruceros oceanográficos	Medio de recolección

### 1.4.3 Índices de Shannon- Wiener

Es uno de los índices más utilizados para estimar la biodiversidad de especies en un determinado lugar, midiendo la cantidad de individuos ( $N_i$ ) obtenidos de muestras al azar que provienen de una extensa comunidad, misma que se conoce el número total de especies ( $S$ ). Este índice es determinado mediante la siguiente ecuación:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i * \log_2 p_i) \quad (1.1)$$

Donde,

S: número total de especies

Pi: Abundancia relativa  $\frac{N_i}{S}$

Por lo tanto, si reemplazamos de la ecuación 1.1 la abundancia relativa  $p_i$  ( $\frac{N_i}{S}$ ), tenemos la siguiente expresión equivalente:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (\frac{N_i}{S} * \log_2 \frac{N_i}{S}) \quad (1.2)$$

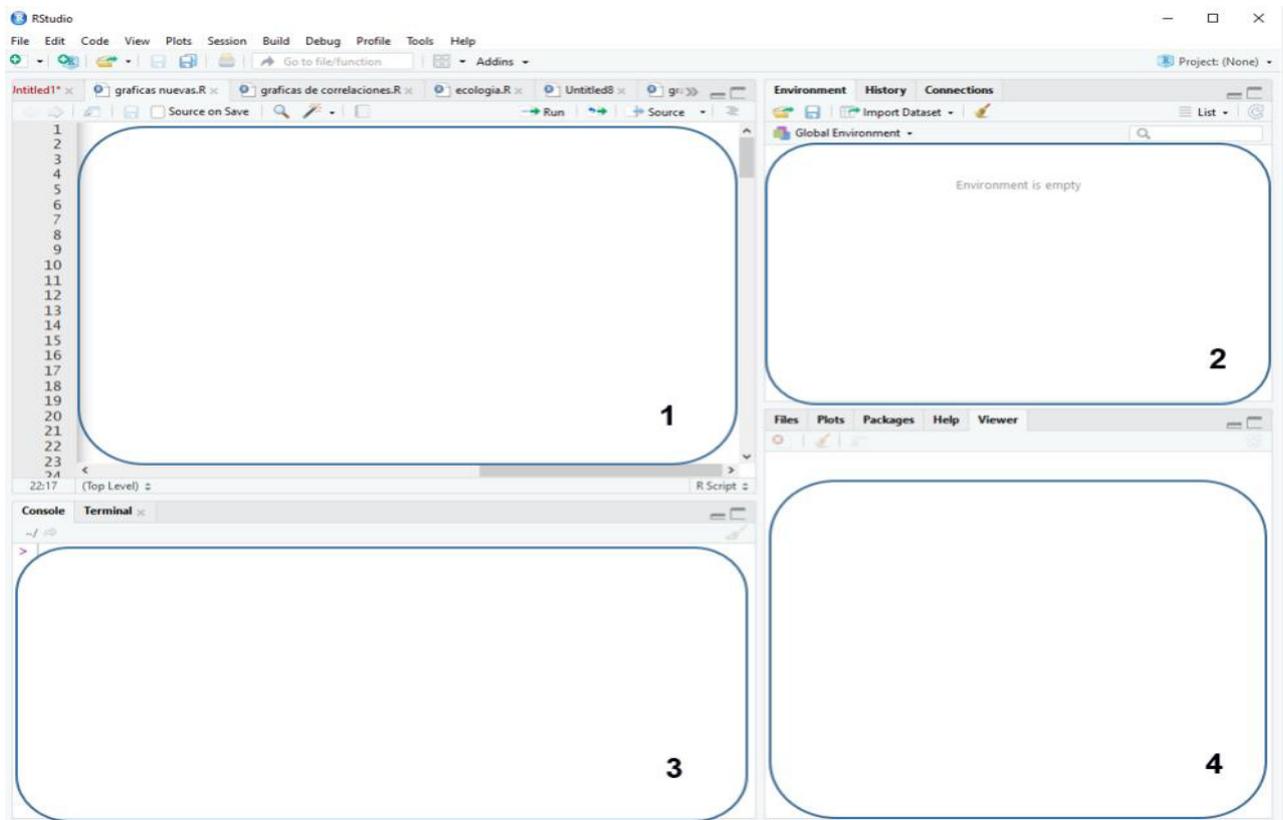
Cuando la muestra contiene un solo tipo de especie el valor de  $H'$  es el mínimo, mientras cuando todas las especies están representadas con la misma cantidad de individuos, es decir, exista la misma cantidad de abundancia  $H'$  obtiene el máximo valor. [35]

### 1.4.4 Software R y RStudio

R es un software libre creado por Ross Ihaka y Robert Gentleman en Nueva Zelanda en 1992, bajo la licencia pública general (GNU por sus siglas en inglés) y disponible para diferentes plataformas como Windows, Linux, PlayStation 3 y MacOS [36]. Este programa permite la manipulación de datos, cálculo estadístico, patrones de tendencias y gráficos sofisticado de datos y dentro de las características más relevantes se encuentran: La gratuidad, lectura de distintos formatos de datos y alta capacidad de soporte de información y gráficos [37].

Por otra parte, el entorno RStudio fue diseñado para programar en R, con la finalidad de hacer más productivo el entorno, desarrollado por IDE fundado por Joseph J. Allaire,

empezó a estar disponible desde febrero 2011, además permite crear documentos PDF, HTML y documentos Word, permite una ágil navegación de funciones y archivos, además su pantalla es distribuida 4 paneles que se integra en una sola ventana [38].



**Figura 1.3 Pantalla general de Rstudio. Fuente: Rstudio**

En el primer panel se desarrolla la programación (diseño del script), en el segundo se muestran objetos y archivos, el tercer panel es la consola en donde se ejecuta el script y en el cuarto se visualizan los gráficos y visor web [39]. Además, contiene una barra de menú, barra de iconos, historial de ejecución, instalación de paquetes y ayuda. A continuación, se mostrará las funciones y usos que se realizan dentro de RStudio.

- **Tipos de operadores**

R como otros lenguajes usa operadores lógicos para realizar comparaciones entre variables, operadores aritméticos para realizar cálculos y operadores sintaxis para establecer comparaciones y valores de verdad.

**Tabla 1.3 Operadores que usan en R estudio [40]**

Operadores lógicos		Operadores aritméticos		Operadores de sintaxis	
<	menor que	\	división	::	acceder a librerías
>	mayor que	*	multiplicación	\$ @	extracción
<=	menor igual que	-	resta	[[ [	indexación
>=	mayor igual que	+	suma	% any	operador
==	Igual	**	exponente	%	
!=	diferente	^	exponente	~	en función
!x	negación	%%	módulo	< -	asignación
	o	%/%	división entera	=	asignación
	unión				
&y	intersección				

### Directorio, lectura y guardado de datos

Previo a realizar cualquier tipo de trabajo en RStudio se debe establecer la ruta del directorio actual, mediante la función **getwd()** y **setwd()** para cambiar la ruta. La lectura de archivos requiere el uso de funciones y dependerá de la extensión o formato de este [41].

- Load, para archivos workspace de R (.rda)
- Read.table, para archivos de texto (.txt, .dat)
- Read.csv, para archivos delimitados por comas (.csv)
- Read\_excel, para archivos Excel (.xlsx) de la librería **readxl**

Para guardar archivos:

- Write(x, file= "Nombre del archivo.extensión") se utiliza para extensión .csv, .txt, .xlsx
- Save(x, y, z, file= "Nombre del archivo.RData")

### Librerías

**Tabla 1.4 Librerías utilizadas para el diseño de este script .**

Librerías	Características
Library (lubridate)	Función para trabajar con fechas (días, meses y años) y tiempos (segundos, minutos y horas) [42]
Library (plyr)	Divide bases de datos grandes, aplica función y combina resultados. [43]
Library (dplyr)	Facilita la manipulación y operación en data frames. Ofrece paquetes como: select, filter, arrange, rename, mutate, summarise, summarize, pipe (%>%) y group_by. [44]
Library (gdata)	Presenta varias herramientas de manipulación de datos. [45]
Library (tidyverse)	Ayuda en la manipulación y orden de datos. [46]
Library (zoo)	Genera infraestructura que se guardan internamente en una matriz o vector. [47]

Library (ggplot2)	Genera gráficos numéricos y categóricos con una o más variables que puede agruparlas por tamaño, color, figuras o transparencia. [48]
Library (reshape)	Remodela los datos antes de realizar algún tipo de análisis. [49]
Library (sp)	Suministra clases y métodos de datos espaciales para datos 2D o 3D. [50]
Library (maptools)	Manipulación y lectura de datos geográficos. [51]
Library (rgeos)	Interfaz para el motor de operaciones en geometría. [52]
Library (geosphere)	Brinda funciones que calcula áreas, distancias, dirección y más. [53]
Library (shapefiles)	Permite escribir y leer archivos ESRI ráster. [54]
Library (raster)	Permite manipular información de datos ráster como: lee, escribir, analizar y modelar. [55]
Library (ggthemes)	Brinda otros tipos tema adicionales, capas y escalas para ggplot. [56]
Library (stringr)	Presenta un conjunto de funciones para trabajar en cadena como: Contar patrones, localizar posiciones, detectar, extraer y reemplazar caracteres (letras, números y palabras), entre otros. [57]
Library (readxl)	Permite leer archivos en formato Excel o extensión .xlsx y .xls [58]
Library (openxlsx)	Permite abrir y edita los archivos en formato Excel o extensión .xlsx y .xls [59]
Library (magrittr)	Proporciona ayuda para encadenar comandos con el operador pipe (operador de reenvío). [60]
Library (rgdal)	Proporciona enlaces a la librería de abstracción de datos geoespaciales y accede a operaciones de proyección y transformación. [61]

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

La metodología que se implementó en el desarrollo de este proyecto fue resumida en el siguiente diagrama esquemático, que muestra los procedimientos claves para el ensamblaje de la base de datos que cumpla con los requerimientos del cliente.

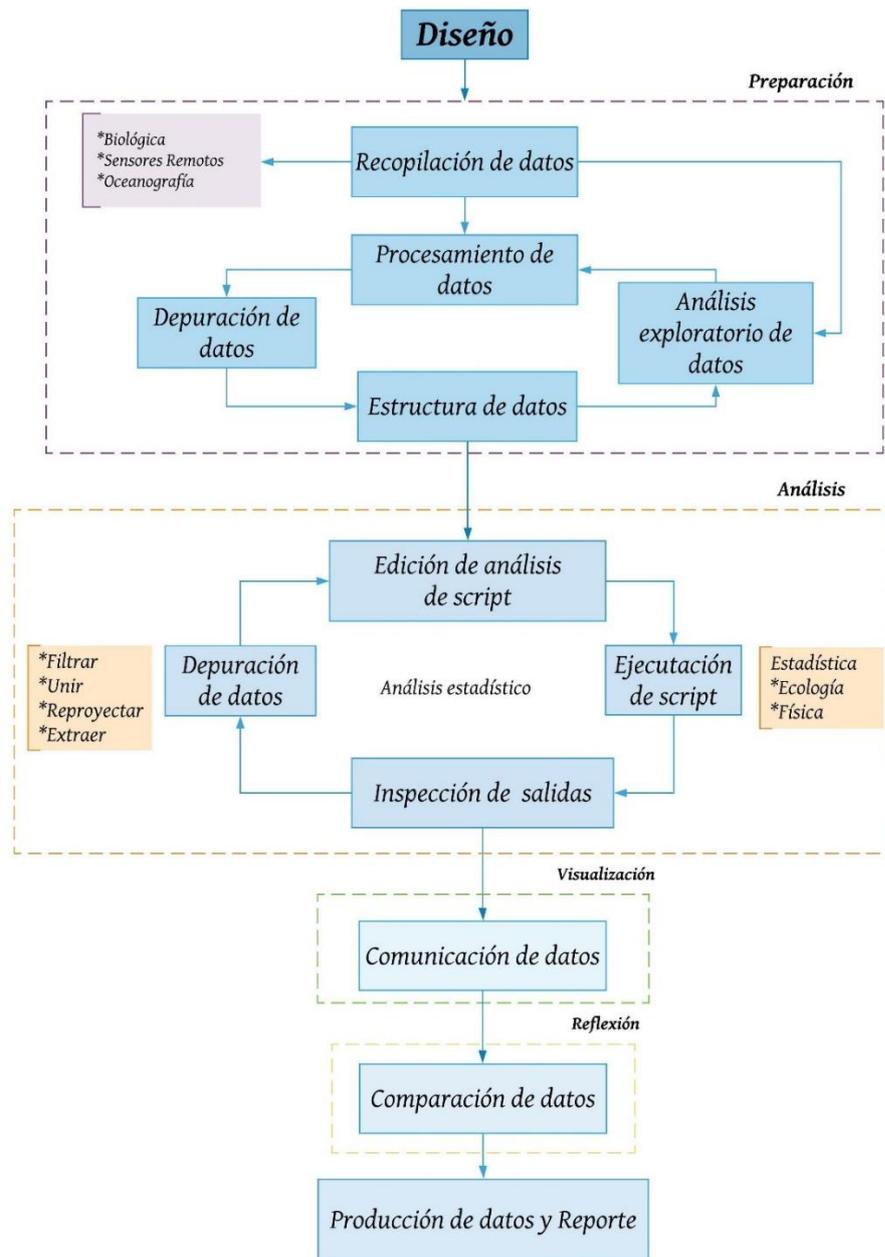


Figura 2.1 Diagrama esquemático del procedimiento implementado para la elaboración del script. Elaborado por el autor

RStudio fue la herramienta utilizada para el desarrollo completo del script, mismo que fue seccionado en tres partes para su mejor comprensión:

1. Extracción de información implícita de la base de datos y determinación del índice de Shannon.
2. Re-proyección y extracción información satelital.
3. Elaboración de gráficos de correlación y diagramas de caja.

Lo que correspondió a la primera parte fue llamar al directorio del trabajo que contiene los tres archivos en formato Excel con los nombres “Monitoreo\_submareal”, “Zonas” y “Coordenadas\_monitoreo” proporcionados por GMaRE, que se realizó mediante la función “setwd” que pertenece a la librería base [62], luego se instaló y ejecutó las librerías a utilizadas en todo el script.

```
setwd("~/Alejandra/Data R/Monitoreo Ecológico data set/Data/")  
  
library(lubridate)  
library(plyr)  
library(dplyr)  
library(gdata)  
library(tidyverse)  
library(zoo)  
library(ggplot2)  
library(reshape)  
library(sp)  
library(maptools)  
library(rgeos)  
library(geosphere)  
library(shapefiles)  
library(raster)  
library(ggthemes)  
library(stringr)  
library(readxl)  
library(openxlsx)  
library(magrittr)  
library(rgdal)  
library(RNetCDF)  
library(tibble)
```

**Figura 2.2** Directorio de trabajo y librería utilizadas ejecutada en r

## 1. Extracción de información de la base de datos original e Índice de Shannon

```

A= as.tibble(read_excel("Monitoreo_submareal.xlsx"))
A [is.na(d)]=0
A= A[, c(2,3,7,43)]
A= A %>% mutate(Code=as.character(substring(Site,1,4)))

B= as.tibble(read_excel("Zonas.xlsx"))
C= left_join(d,e,by="Code")

C= C %>% mutate(Site=as.character(substring(Site,6,40)))
C= C %>% mutate(Year=year(strptime(substring(TransCode_Corr,10,11,"%y")))) %>% arrange(Year) %>% filter(Year >= 2000)

D= C %>% mutate(Month=as.numeric(substring(TransCode_Corr,8,9)))
D= D %>% mutate(Island=substring(TransCode_Corr,1,2))
D= D %>% mutate(Smurf=substring(Site,1,6))
D= D %>% filter(Smurf != "Smurfs")

```

**Figura 2.3** script para el desarrollo de la primera parte del script ejecutado en Rstudio

Se crearon tres variables que leyeron los archivos de proporcionados por GMaRE:

**A=** Leyó la base de datos principal llamada "Monitoreo\_submareal.xlsx" que contiene un gran número de columnas, por lo que, por facilidad se trabajó únicamente con las columnas "TransCode\_Corr", "Site", "ScientificName" y "suma", cuyo orden correspondieron a las columnas 2, 3, 7 y 43 respectivamente.

	TransCode_Corr	Site	ScientificName	suma
1	SC21D061094(10)	SC21-Bahía Conway (Di)	Bodianus diplotaenia	1
2	SC21D061094(10)	SC21-Bahía Conway (Di)	Epinephelus labriformis	1
3	SC21D061094(10)	SC21-Bahía Conway (Di)	Halichoeres dispilus	1
4	SC21D061094(10)	SC21-Bahía Conway (Di)	Lepidonectes corallicola	1

**Figura 2.4** Estructura de los datos, incluye la posición de la extracción en la que se encuentran

La columna "TransCode\_Corr" incluye el código de sitio, fecha de monitoreo y profundidad de muestro, mientras la columna "Site" el código y nombre del sitio, por lo que, fue necesario extraer dicha información según la posición en la que se encontró y se guardó en **D**.

- El código de sitio, ubicado en las cuatro primeras posiciones de la columna Site.

- Las fechas que incluye día (sexta y séptima posición), mes (octava y novena posición) y año (décima y décima primera posición) de la columna “TransCode\_Corr”, además se filtró la base de datos para nuestro periodo de tiempo (2000 – 2014)
- El sitio, ubicado de la sexta posición en delante de la columna Site.

**B**= Contiene el archivo “Zonas.xlsx”, que incluye variables “Code”, “Provisional zonation”, “Zone” y “Bioregión”. En **C** se unieron los archivos antes mencionados (A y B) mediante la variable en común “Code”.

En la variable **Shannon** se determinó la biodiversidad de especies, para la cual se creó una columna con el mismo nombre, en donde se aplicó la ecuación simplificada de Shannon (ver ecuación 1.2).

```
indice=D %>% group_by(Site,Year,Month) %>% mutate(Prop=suma/sum(suma, na.rm = T)) %>%
summarise(Shannon=(sum(Prop*log(Prop),na.rm=T)*-1))
```

**Figura 2.5 Script para determinar el índice de Shannon (índice de biodiversidad)**

### 1. Re-proyección y extracción de información satelital

Para el procesamiento de imágenes satelitales [63], se cargó los archivos con extensión “.rda” de las variables de oceanográficas proporcionadas por el proyecto Habs: Temperatura superficial del mar, precipitaciones, clorofila-a y radiación fotosintética activa respectivamente.

```
>load("SSTF.rda")
>load("PRECF.rda")
>load("CHLF.rda")
>load("PARF.rda")
```

**Figura 2.6 Script para cargar datos satelitales (SST, PAR, CHLA y precipitaciones) extensión .rda**

**Coord**= contiene el archivo “Coordenadas\_monitoreo” que posee los 380 de monitoreos sitios escogidos por RMG con sus respectivas coordenadas, excluyendo los sitios que no contienen longitudes y latitudes, mediante la función `drop_na`. Con la función `coordinates` se estableció coordenadas especiales en el archivo y así mismo se estableció el sistema de referencia de coordenadas WGS84.

```
>coord=read.xlsx("Coordenadas_monitoreo.xlsx")
>coord=drop_na(coord)
>coordinates(coord)=c("Longitude","Latitude")
>proj4string(coord)=CRS("+proj=longlat +datum=WGS84 +ellps=WGS84 +towgs84=0,0,0")
```

**Figura 2.7 Script para establecer coordenadas espaciales**

La extracción de valores de clorofila fueron promedios mensuales que iniciaron en 1997 y se prolongaron hasta el 2017, con 252 meses en el tiempo establecido. Por lo tanto, se crearon dos funciones, la función “i” recorre los 380 sitios antes re-proyectos, mientras “j” los 252 promedios mensuales de clorofila y posteriormente se extrajo dichos valores para los sitios determinados. También se creó un vector, el cual redujo y combinó los valores de clorofila antes extraídos mediante la función `reduce`, para dicha información existió un orden previamente definido, facilitando añadir los nombres de los 380 sitios y la secuencia de las fechas correspondientes para nuestro periodo de estudio para lo que fue necesario filtrar la variable años. Se extrajeron los valores de precipitaciones, PAR y SST para la cual se usó la misma programación de clorofila.

```

SST
PAR
PREC → CHL=lapply(1:380, function(i) tibble(do.call(c,lapply(1:252, function(j)
extract(CHLF[[j]],coord[i,])))))

SSTS
PARS
PRECS → CHLS=reduce(CHL, cbind)
names(CHLS)=coord@data$Site[1:380]
CHLS=CHLS %>% mutate(Fecha=seq(as.Date("1997-01-01"),by="month",len=252))
%>% dplyr::select(Fecha, everything())
CHLS=CHLS %>% filter(year(CHLS$Fecha) %in% c(2000:2014))
write.xlsx(CHLS,"CHL.xlsx")

```

**Figura 2.8 Script para extraer los valores de clorofila, SST, PAR y precipitaciones, ejemplo realizado para la CHLA**

Siguiendo los pasos establecidos, hasta el momento se ha generado un archivo para cada variable, sin embargo, por ser una base de datos bastante extensa, uno de los requerimientos del cliente es generar una base más legible que contenga toda la información llamado “índice”, tal como se muestra en la siguiente figura.

Site	Year	Month	Shannon	CHLA	SST	PREC	PAR
Afuera Bahía Turismo	2001	11	1.953837096	0.377217093	21.34429932	0	41.00999884
Albany	2003	5	2.445958896	0.77442801	23.22669652	6.478156805	48.46399919
Albany Sur (1)	2000	12	2.79558568	0.65764302	21	0	40.41399881
Albany Sur (2)	2001	1	3.684743313	0.561664999	16.04999924	16.33218384	46.06799908
Albany Sur (2)	2003	5	2.445958896	0.77442801	23.22669652	6.478156805	48.46399919
Arco Darwin	2001	3	3.026116337	0.340386987	28.18700027	53.66173458	54.62199948
Arco Darwin	2002	5	2.763884085	0.239935994	26.48959923	10.75682652	48.76599921
Arco Darwin	2002	8	2.934130219	0.211021006	19.64719963	0.563392878	39.18999875
Arco Darwin	2003	3	3.16334855	0.259936005	27.75169945	92.28189224	51.20599932
Arco Darwin	2004	10	1.939912068	0.259808209	22.78470039	24.40730095	43.07999894

Figura 2.9 Estructura de la base de datos en formato excel

## 2. Elaboración de gráficos

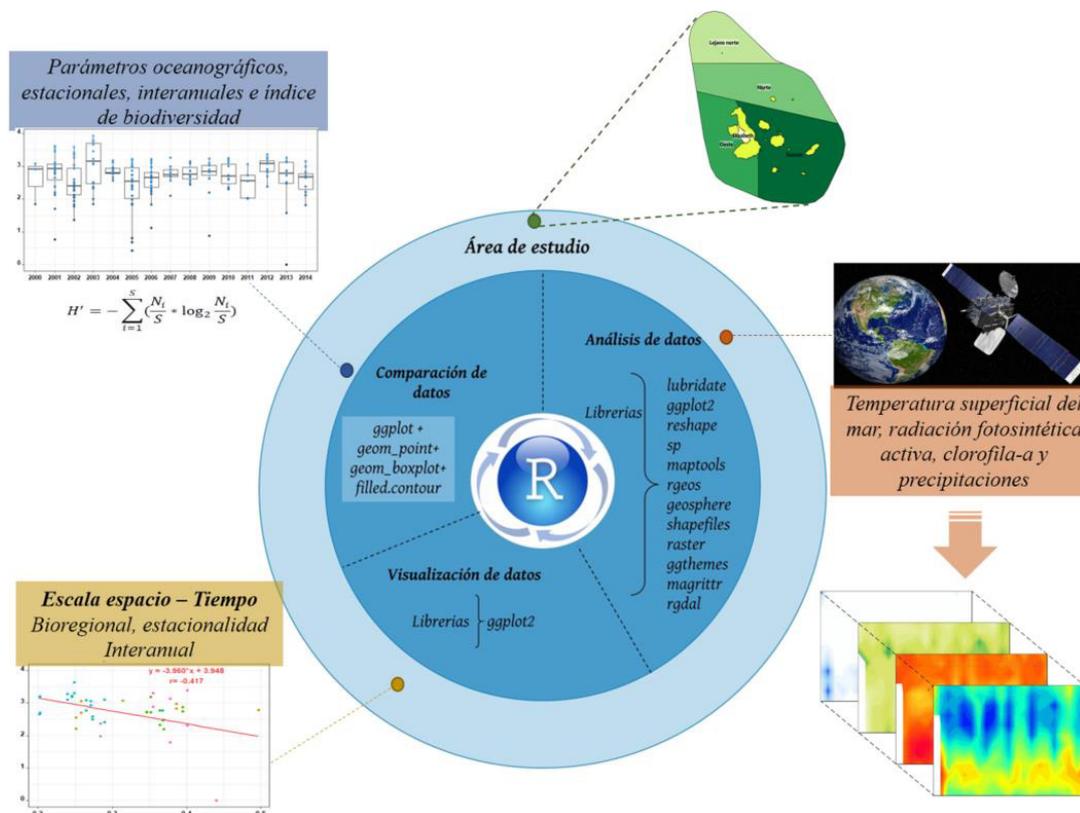
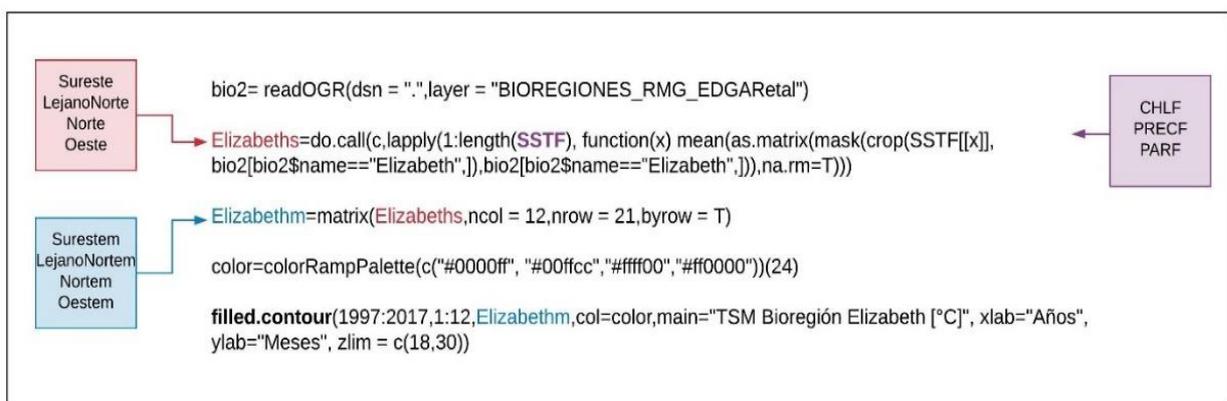


Figura 2.10 Diagrama de funciones necesaria para elaborar gráficos. Elaborado por el autor

Para poder establecer comportamientos estacionales e interanuales, se elaboraron gráficas de contorno por cada variable y bioregión. Primero se creó la variable “bio2” en la cual se cargó el shapefile que contiene las 5 bioregiones de la RMG, luego se creó una variable (Elizabeths) en la cual se promediaron los valores de clorofila para la bioregión sin tomar en cuenta los valores faltantes. En la variable Elizabethm se realizó una matriz con los promedios anteriormente generados en dónde en las columnas van los meses y en las filas los años.



**Figura 2.11 Script para elaborar graficas de “filled.contour”, ejemplo realizado para la bioregión Elizabeth con la variable TSM**

Se estableció una paleta de cuatro colores a través del código único, así como también los parámetros de la función “filled.contour” (secuencia de fechas, la matriz y la etiqueta respectiva). Esta programación fue replicada para el resto de las bioregiones y variables consideradas, además es importante mencionar que los colores asignados cambiaron según la variable (ver anexo II).

Para la determinación de la correlación entre el índice de Shannon y cada una de las variables por estacionalidad (seca y lluviosa) fue necesario por determinar la regresión lineal con la función “lm” relacionando las variables deseadas a través del signo ~, luego de la ejecución del código el programa proporcionó el valor de r.

Se determinó la correlación fue mediante la función “cor” que arrojó los términos (intercepto y pendiente) de la ecuación de la recta.

La función “ggplot” generó los gráfico precipitación versus índice de Shannon categorizados por la variable meses a partir de la función “geom\_point”, por último, para mejorar la estética de la graficas se usó la función “theme ()”.

```

lvs=as.numeric(levels(as.factor(lluviosa_sureste[,2])))
SHAN=as.numeric(lluviosa_sureste[,5])
PREC=as.numeric(lluviosa_sureste[,8])

rl=lm(SHAN ~ PREC)
cor(SHAN,PREC, method = "pearson") } Regresión lineal
                                     Correlación de Pearsonn

ggplot(data = lluviosa_sureste, aes(x=PREC, y=Shannon)) +
  geom_point(mapping= aes(x =PREC, y=Shannon, color=Year))+
  labs(title="Índice de Shannon vs Precipitaciones", subtitle="Estación Lluviosa - Bioregión Sureste",
  y="Índice de Shannon",x="Precipitaciones [mm]")+
  geom_smooth(method = "lm", se = FALSE,colour="#f04546")+
  annotate("text", x=100, y=4.5, label= 'bold("y = -0.002*x + 2.961")',color = "#f04546",parse=TRUE)+
  annotate("text",x=100, y=4.1, label='bold("r = -0.091")', color="#f04543",parse=TRUE)+
  theme_bw()+
  theme(axis.text.x = element_text(colour="black",size=10,angle=0,hjust=0.5,vjust=0,face="bold"),
  axis.text.y = element_text(colour="black",size=10,angle=0,hjust=0,vjust=0,face="bold"),
  axis.title.x=element_text(colour="black",size=14,angle=0,hjust=0.5,vjust=0,face="bold"),
  axis.title.y = element_text(colour="black",size=14,angle=90,hjust=0.5,vjust=0,face="plain"),
  plot.title = element_text(face="italic",size=14),
  legend.title=element_text(size=14),
  legend.text= element_text(colour="black", size=10, face="bold"))

```

**Figura 2.12 Script para determinar correlaciones entre el índice de Shannon y las variables de estudio ejemplo realizado para la estación lluviosa en la bioregión sureste con la variable precipitación**

Los gráficos de paneles fueron realizados al igual que los de correlación con la función ggplot, pero categorizados por las funciones “geom\_boxplot” que arrojó los diagramas de cajas relacionándose con el índice de Shannon versus los años. “geo\_point” por su parte, mostró en forma de puntos los meses en que se obtuvo el índice.

```

indice$Year=as.character(indice$Year)

Elizabeth=indice %>% filter(Bioregion=="Elizabeth")
ggplot(data=Elizabeth)+ aes(x=Year, y=Shannon)+
  geom_boxplot( aes(x=Year, y=Shannon))+
  geom_point(mapping = aes(x=Year, y=Shannon, color=Month))+
  labs(title="Diagrama de Panel", subtitle="Bioregión Elizabeth", y="Índice de Shannon",x="Años")+
  theme_bw()+
  theme(axis.text.x = element_text(colour="black",size=10,angle=0,hjust=0.5,vjust=0,face="bold"),
  axis.text.y = element_text(colour="black",size=10,angle=0,hjust=0,vjust=0,face="bold"),
  axis.title.x=element_text(colour="black",size=14,angle=0,hjust=0.5,vjust=0,face="bold"),
  axis.title.y = element_text(colour="black",size=14,angle=90,hjust=0.5,vjust=0,face="plain"),
  plot.title = element_text(face="italic",size=14),
  legend.title=element_text(size=14),
  legend.text= element_text(colour="black", size=10, face="bold"))+
  scale_color_discrete(name= "Meses")

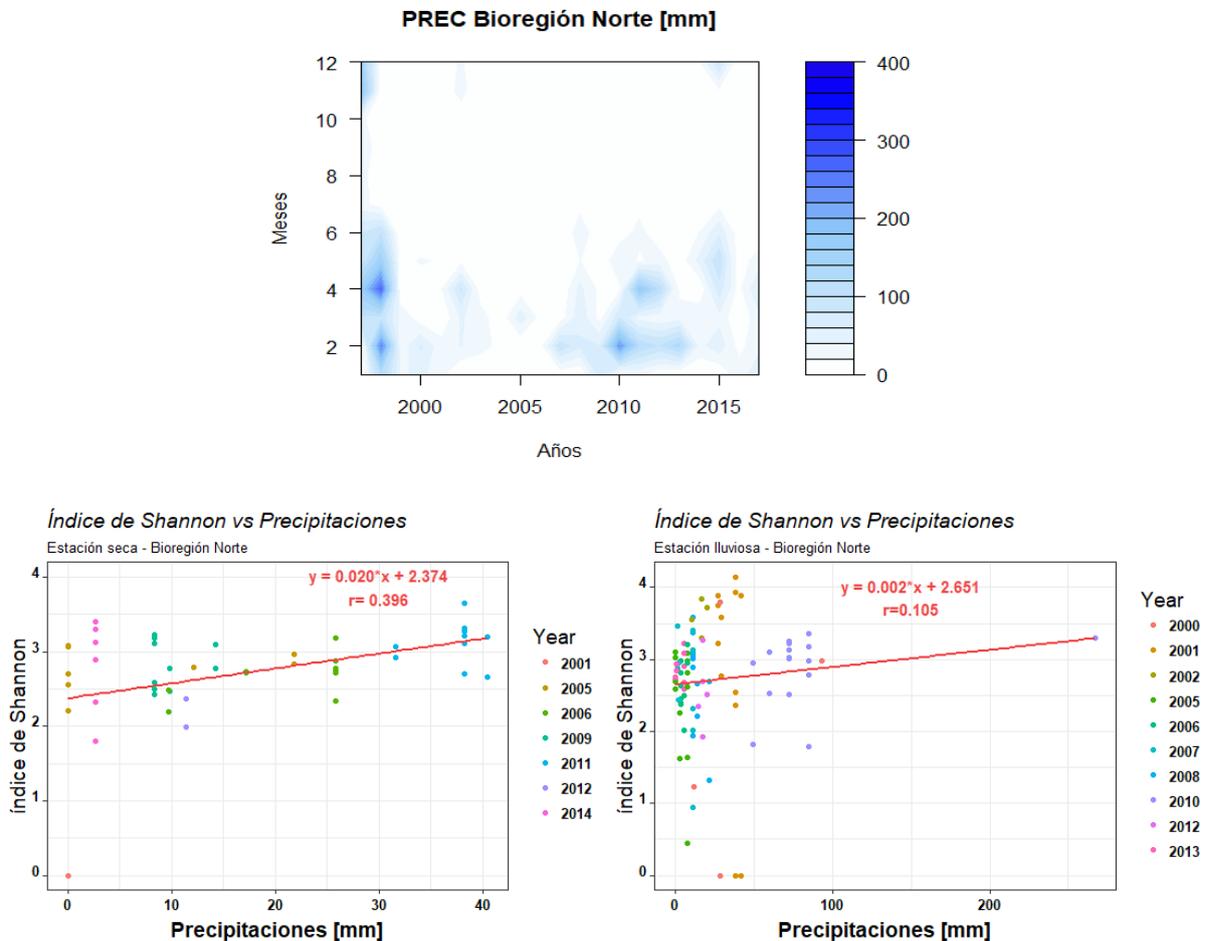
```

**Figura 2.13 Script para realizar diagramas de paneles ejemplo realizado para la bioregión Elizabeth**

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

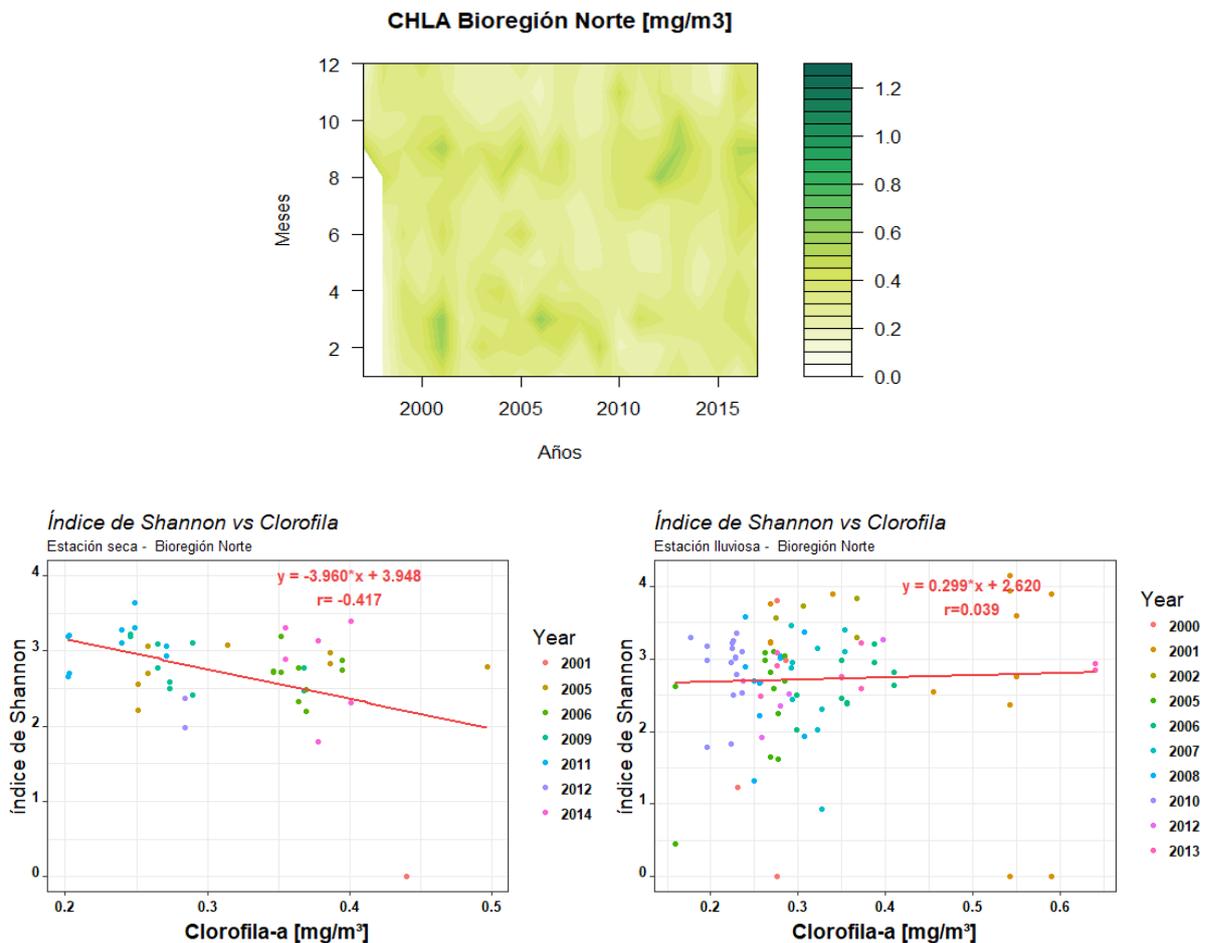
### Bioregión Norte



**Figura 3.1** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PREC, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

La grafica superior mostró el comportamiento de los promedios de precipitaciones registrados en la bioregión norte, presentó una marcada estacionalidad en el sitio. La estación seca comprendida entre los meses de junio a noviembre no registró la presencia de lluvia significativas, mientras que, para la estación lluviosa de diciembre a mayo su comportamiento fue diferente por la presencia de mismas. Sin embargo, para ciertos años la presencia de lluvia se intensificó como es el caso del evento de el Niño en el 2010 y 2014 - 2015 que se encuentra dentro de nuestro periodo de estudio.

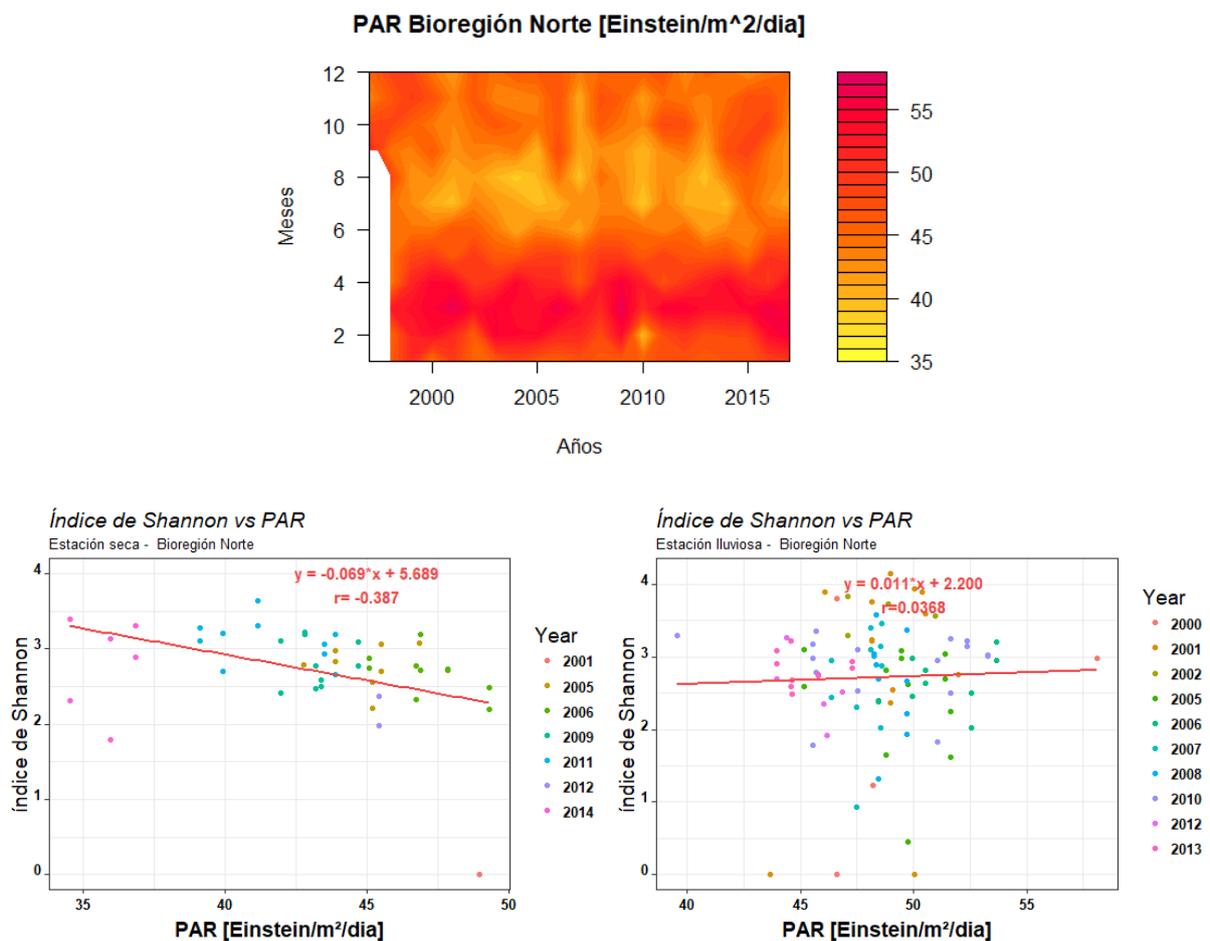
Con respecto a la biodiversidad de especie para esta bioregión, en la estación seca se obtuvo un índice de correlación moderadamente bajo y positiva lo que indicó que a mayores precipitaciones mayor el índice de Shannon obtenido, para la estación lluviosa el índice fue aún más bajo, pero positivo, por lo que también mostró el mismo comportamiento de aumento entre las precipitaciones y el índice de Shannon.



**Figura 3.2** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de CHLA, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

El promedio de la distribución de clorofila-a en la bioregión norte fue relativamente bajo y no presentó comportamientos ni interanuales ni estacionales, sin embargo, existió la presencia de ciertos picos de concentración en meses y años específicos.

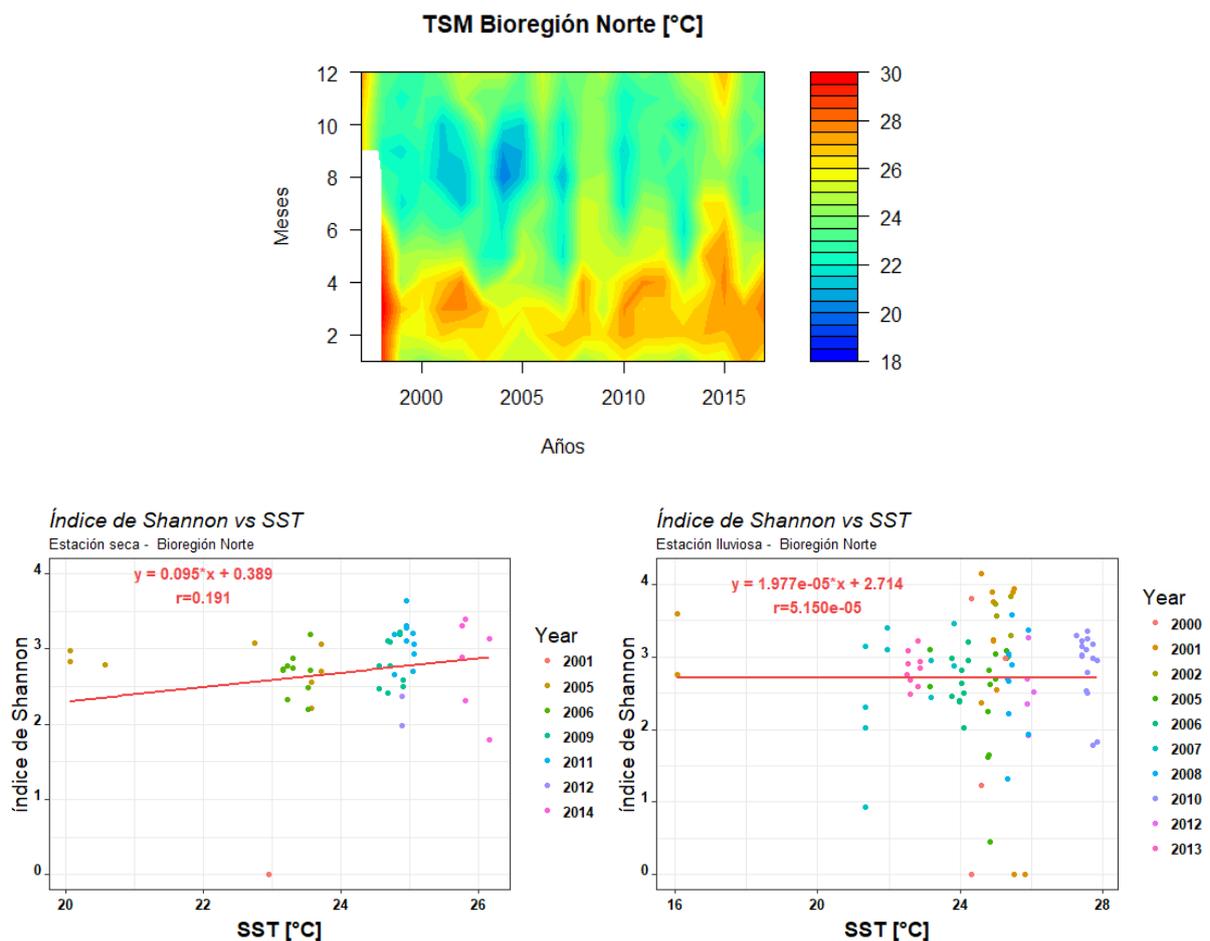
Los índice de correlación entre la variable clorofila-a y en índice de biodiversidad para la estación seca fue moderadamente bajo y negativo, puesto que, a medida que aumentó las concentraciones de clorofila-a disminuyó la biodiversidad de la bioregión, mientras tanto, en la estación lluviosa el índice de correlación fue bajo y positivo mostrando un comportamiento distinto a la estación seca.



**Figura 3.3** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PAR, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

Los promedios de PAR en esta biorregión presentaron patrones estaciones muy marcados, los meses comprendidos en la estación lluviosa son los que contenían mayores concentraciones, mientras que, al cambiar la estacionalidad (estación seca) las concentraciones decaían.

El índice de correlación para la estación seca fue moderadamente bajo y negativo indicando que la biodiversidad de la bioregión disminuía con el aumento de las concentraciones de PAR. No obstante, para la estación lluviosa en índice de correlación fue bajo y positivo atribuyéndose que el aumento de la biodiversidad se debía al aumento de las concentraciones de PAR.



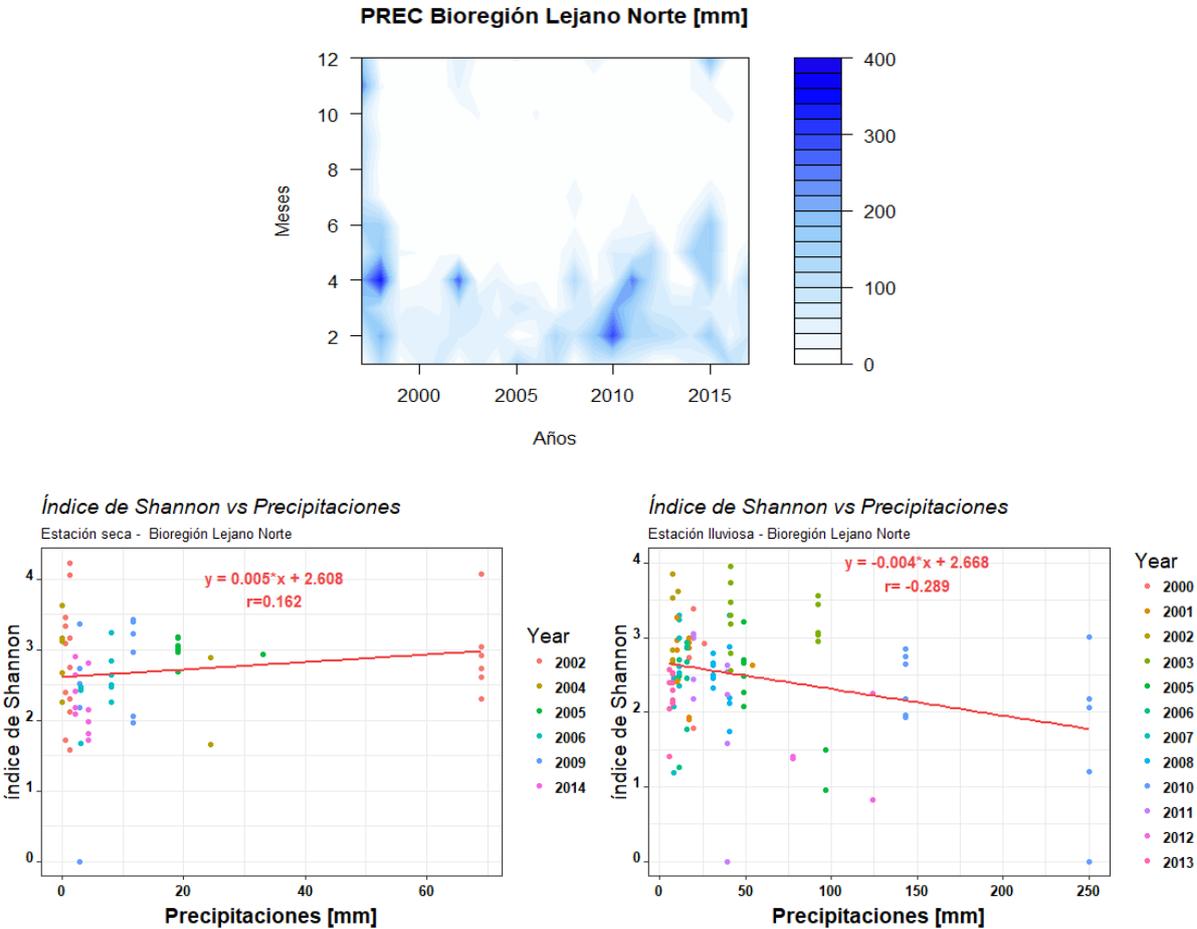
**Figura 3.4** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de TSM, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

La TSM es asociada con factores como corrientes oceánicas, estacionalidades y eventos naturales. En la estación lluviosa (diciembre - mayo) las aguas superficiales fueron más cálidas provocando mayores condensaciones y eventuales lluvias, un comportamiento diferente sucede en la época seca (junio - noviembre) donde las aguas superficiales se vuelven más frías, por lo que, rara vez se contemplan presencia de lluvias. Además la

bioregión norte tiene aportaciones de aguas cálidas provenientes de la corriente de Panamá y de aguas frías por la subcorriente de Cromwell y la corriente Sur-ecuatorial ambas ricas en nutrientes.

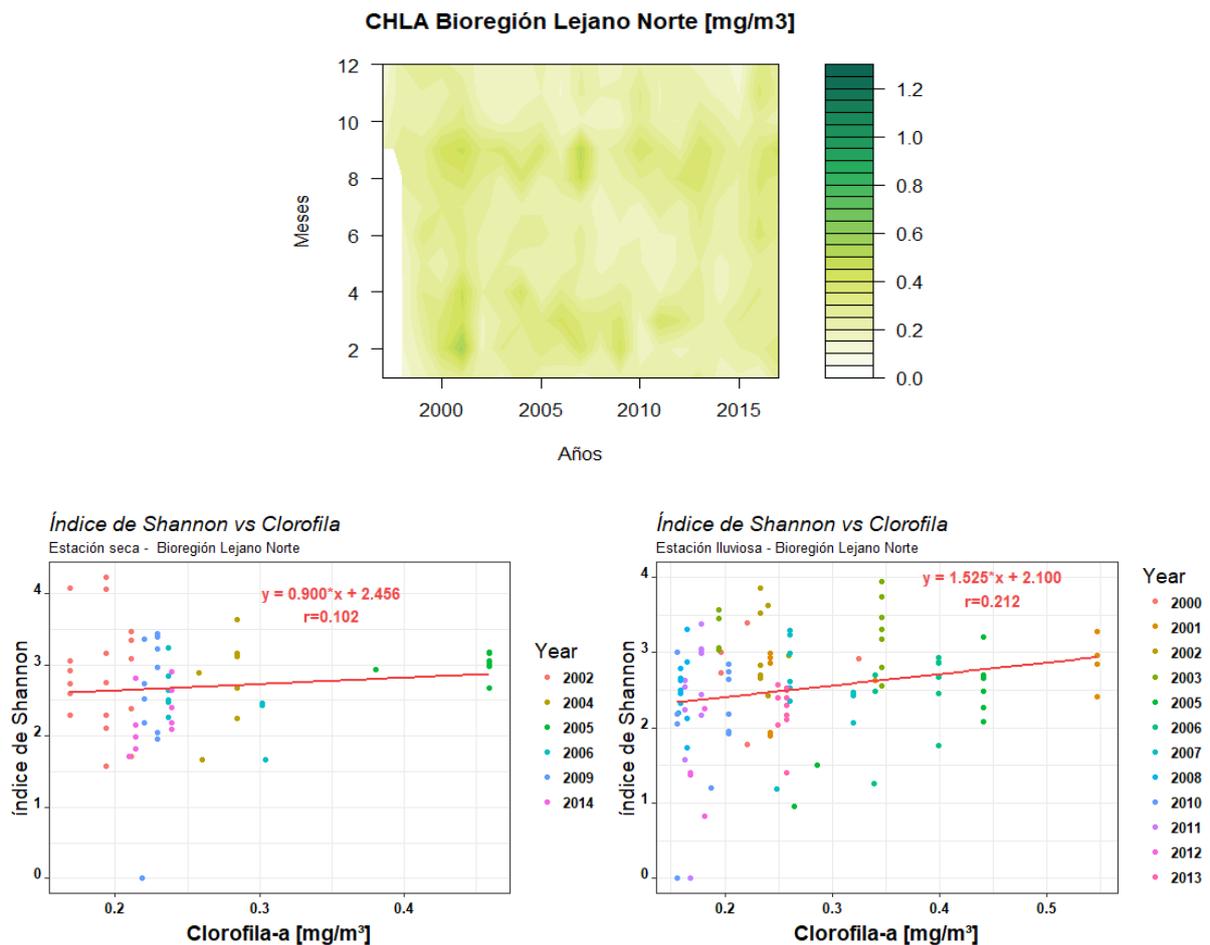
El índice de correlación entre la biodiversidad del sitio y la TSM para la estación seca fue bajo y positivo, indicando que el aumento de los valores del índice de Shannon se presentaban con el aumento de la TSM, convirtiéndose en un caso particular ya que las aguas cálidas son caracterizadas por tener bajos contenidos de oxigenos disuelto y nutrientes. La estación lluviosa por su parte, no mostró ningún tipo de relación entre dichas variables por tener un índice de correlación cercano a cero.

**Bioregión lejano norte**



**Figura 3.5** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PREC, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

Las precipitaciones siguieron mostrando comportamientos estacionales con presencia de lluvias en los meses de diciembre a mayo y ausente en los meses de junio a noviembre. La intensificación de las lluvias coincidió con algunos eventos Niños como en los años 2002, 2010 y 2014 – 2015. La correlación entre el índice de Shannon y las precipitaciones para ambas estaciones fueron bajas con tendencias diferentes, para la estación seca fue positivo, indicando que el índice de Shannon aumenta a mayores precipitaciones, mientras que en la estación seca se presentó todo lo contrario a medida que las precipitaciones aumentaron la biodiversidad del sitio era menor.

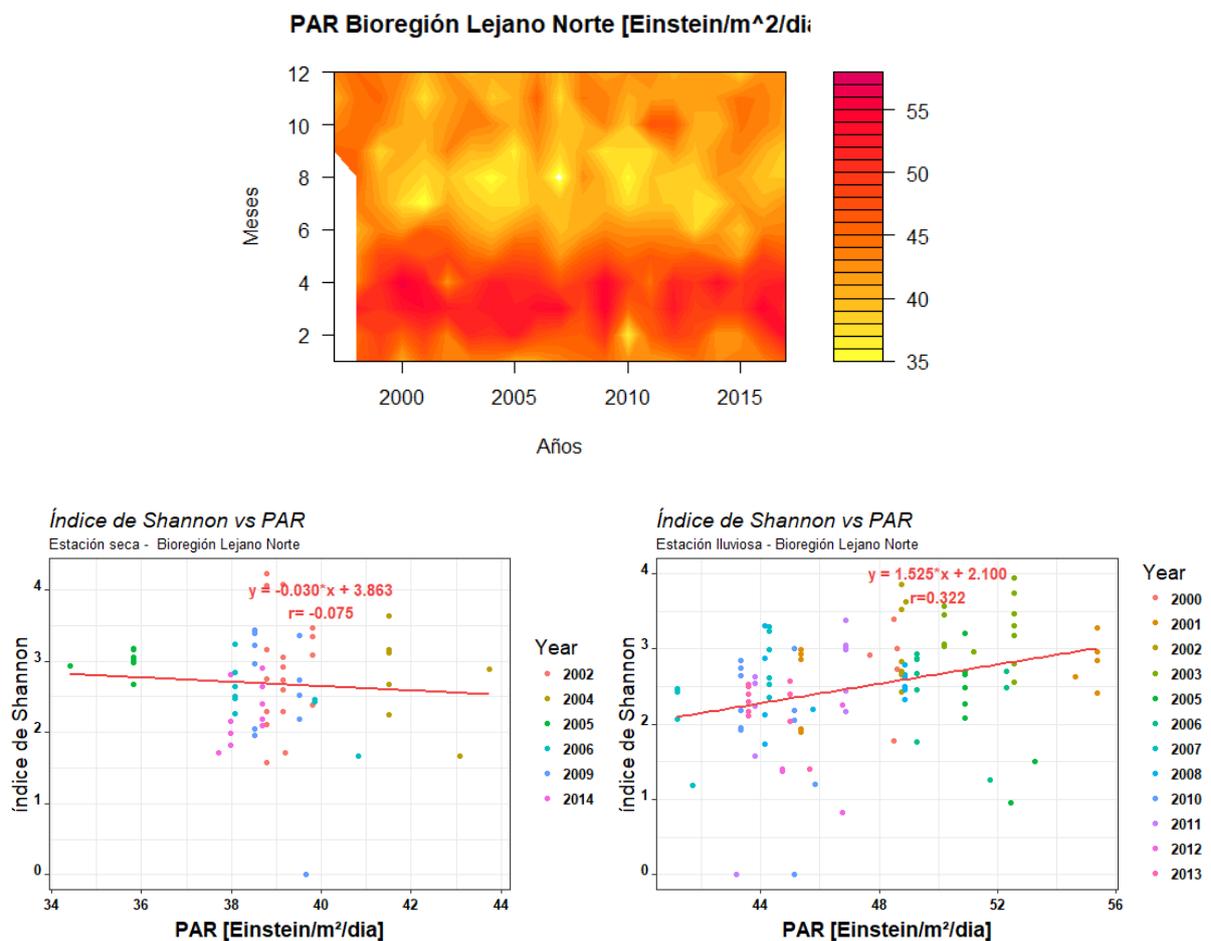


**Figura 3.6** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de CHLA, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

Los valores promedio de clorofila-a para la bioregión norte lejano estuvieron comprendidos entre 0.1 a 0.5 mg/m<sup>3</sup>, esta variable no presentó ningún patrón interanual

ni estacional para la bioregión, sin embargo, muestra cierta similitud con la distribución promedio de clorofila-a en la bioregión norte.

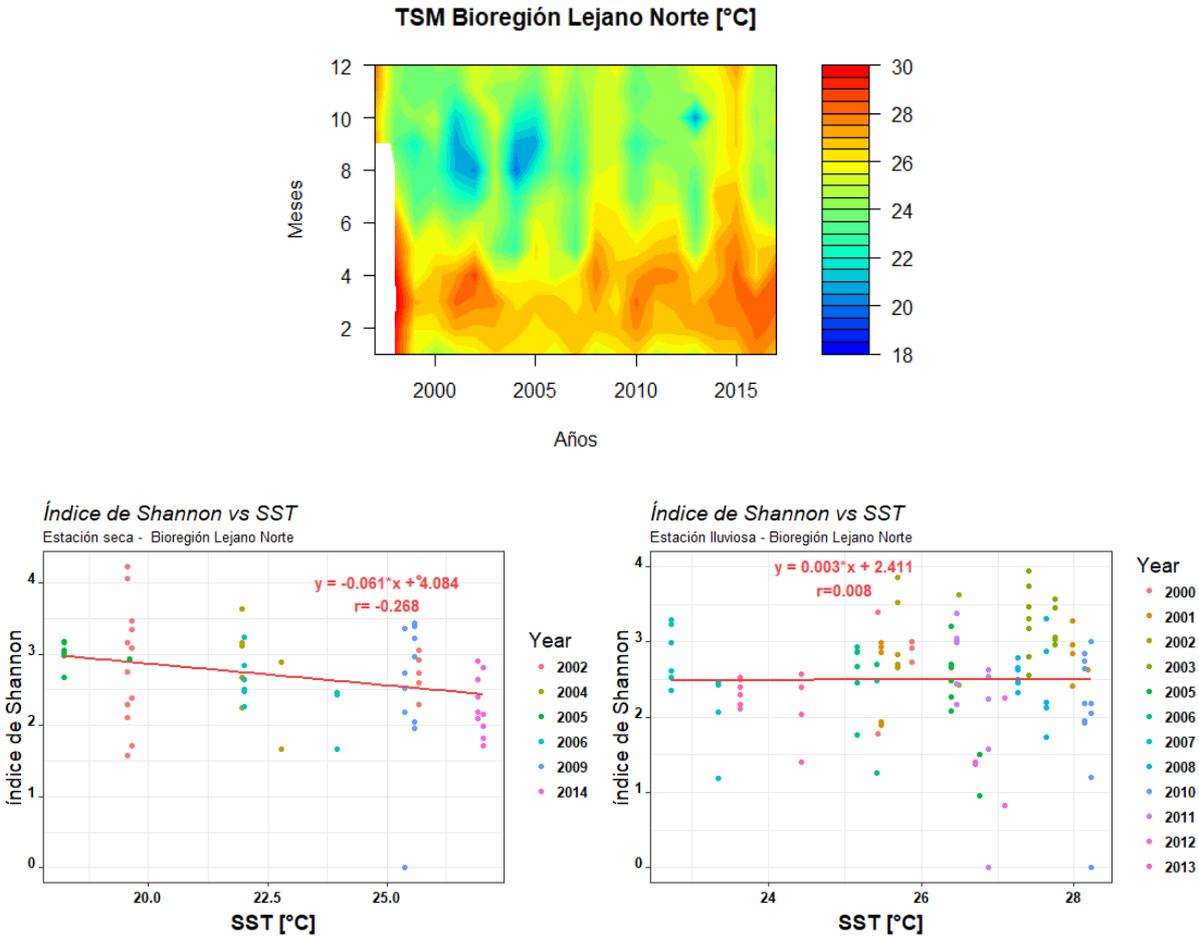
Para esta bioregión ambas estaciones presentaron un índice de correlación bajo y positivo, indicando que la biodiversidad del sitio se debió al aumento de las concentraciones de clorifila-a.



**Figura 3.7** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PAR, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

La PAR siguió mostrando el mismo comportamiento estacional que la bioregión norte, de manera general, para la estación lluviosa las concentraciones de PAR fueron más alta que en la estación seca. Por otro lado, con respecto a la relación entre el índice de Shannon y la PAR para ambas estaciones mostraron comportamientos diferentes.

Para la estación seca el índice de correlación fue bajo y negativo, por tanto, a mayores valores de PAR menos biodiverso fue el sitio, mientras que, en la época de lluvias por su parte, el índice fue bajo pero positivo, presentando un comportamiento distinto entre ambas variables en comparación con la estación seca.



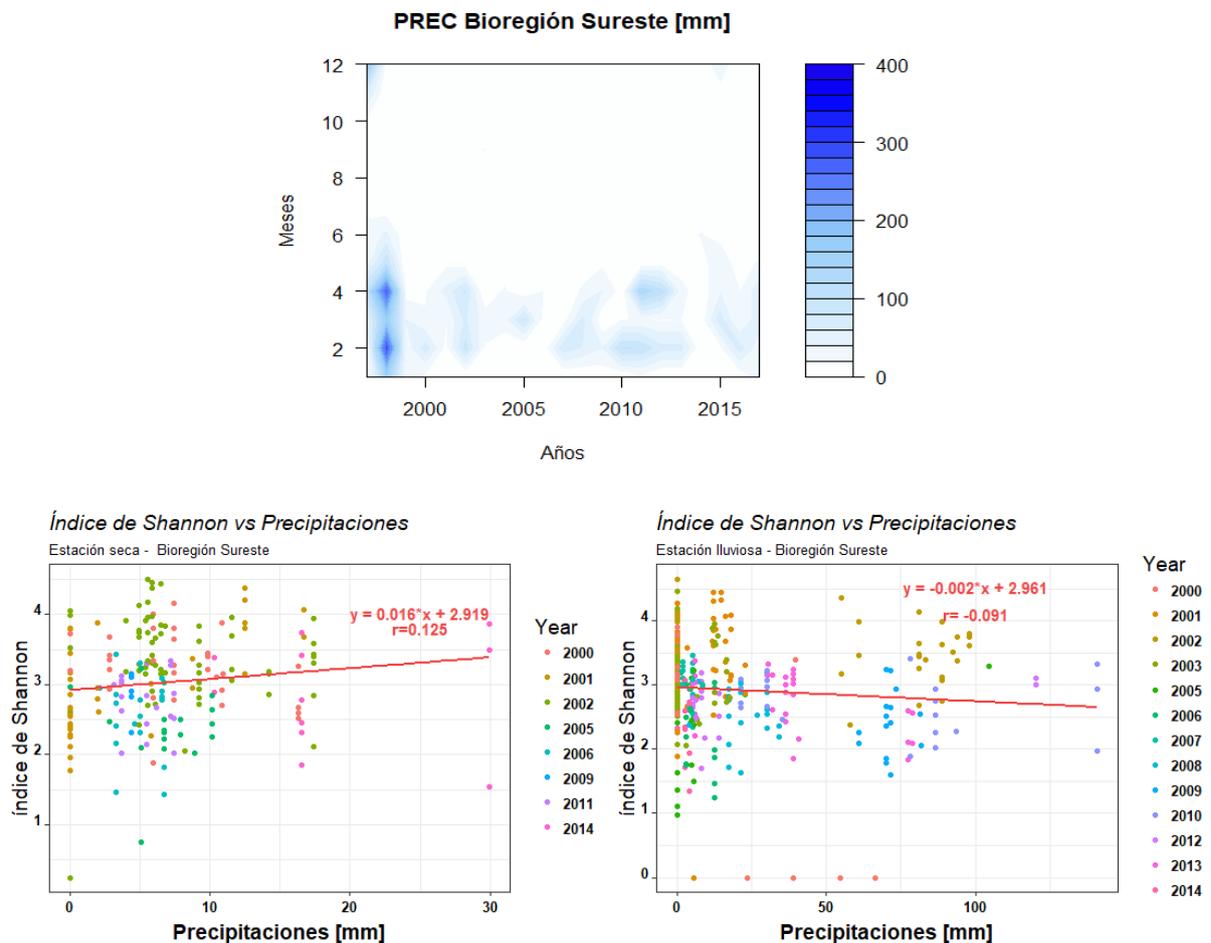
**Figura 3.8** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de TSM, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

La TSM en esta bioregión sigue los mismos comportamientos estacionales. Para la estación seca las aguas superficiales fueron más frías que en la estación lluviosa, no obstante, para esta bioregión la temperatura superficial del agua no fueron tan frías como en la estación norte, esto probablemente se debió a la influencia de corrientes en el sitio.

predominando principalmente la corriente de Panamá y en menos intensidad la subcorriente de Cromwell.

Con respecto al comportamiento de correlación entre Shannon y TSM para la estación seca fue bajo y negativo, por lo que, entre más cálida las aguas más bajo fueron los índices de biodiversidad, esta conducta probablemente se debio a que las aguas cálidas son caracterizadas por su bajo contenido de nutrientes. Por otra parte, en la estación lluviosa no presentó ningún tipo de relación entre ambas variables.

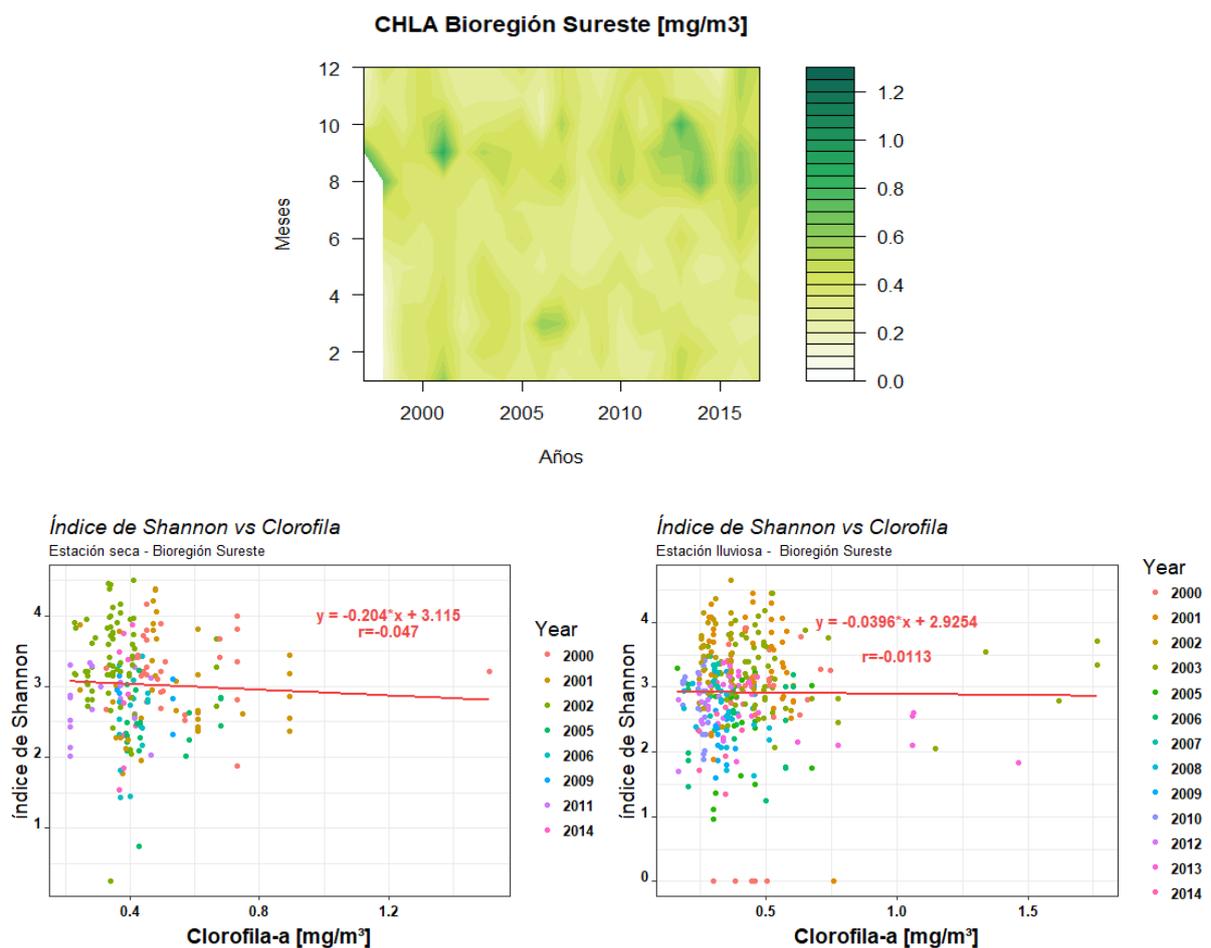
### Bioregión Sureste



**Figura 3.9** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PREC, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

Las precipitaciones siguieron presentando comportamientos estacionales en ambas estaciones, aunque para esta bioregión los rangos de precipitaciones fueron los más bajos sin presentar ningún tipo de intensificación dentro del periodo de estudio.

Para ambas estaciones la correlación entre el índice de Shannon y las precipitaciones fueron bajas, para la estación seca positiva en donde el aumento de la biodiversidad se presentó con el aumento de precipitaciones, mientras para la estación lluviosa la conducta entre las variables fue diferente, lo que significó que el comportamiento varió estacionamente.

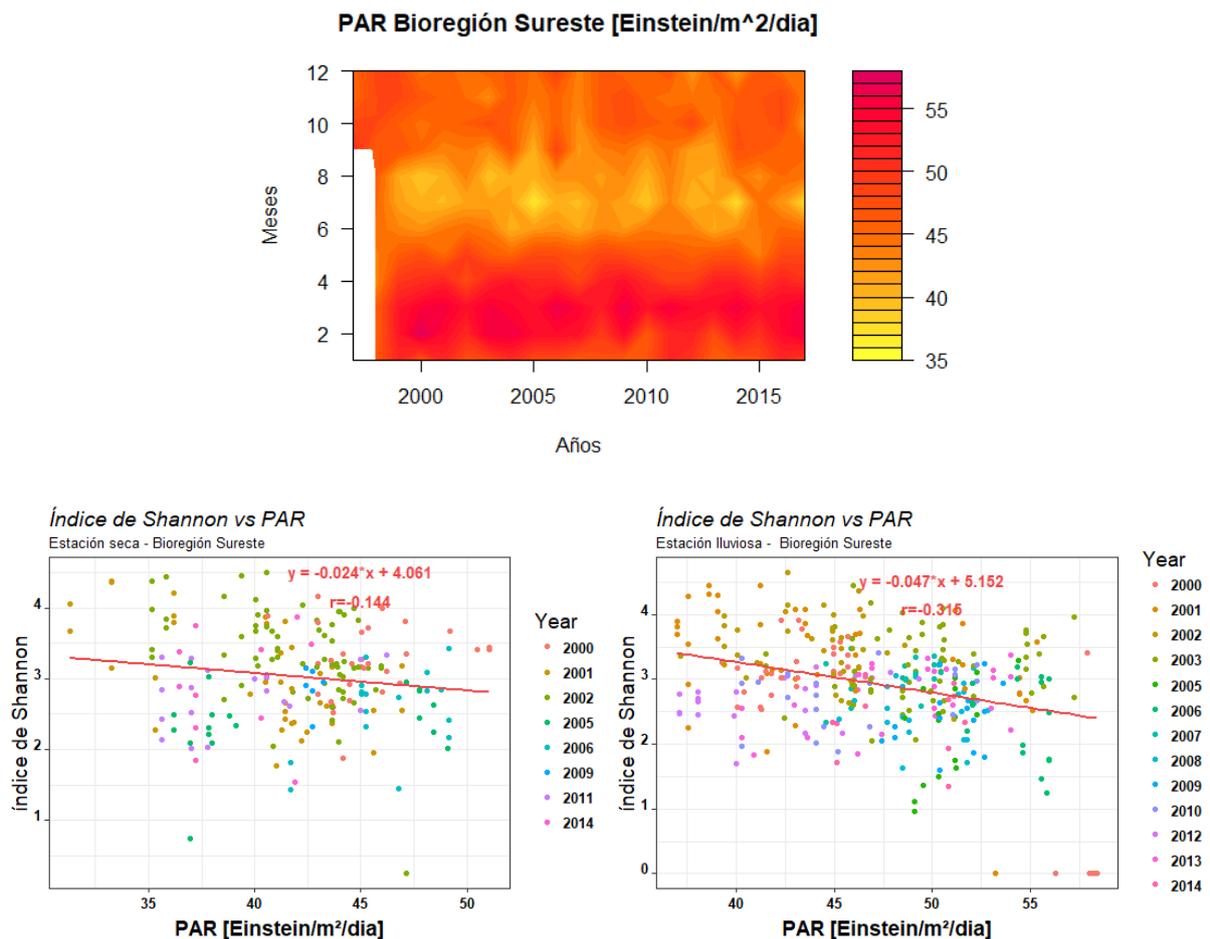


**Figura 3.10** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de CHLA, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

El promedio de la distribución de clorofila-a para la estación lluviosa fue relativamente constante con valores cuyos rangos variaron entre 0.2 a 1.0 mg/m<sup>3</sup> con un

comportamiento en particular para lo meses de agosto a octubre con concentraciones de clorofila más alta de 1.0 a 1.5 mg/m<sup>3</sup>.

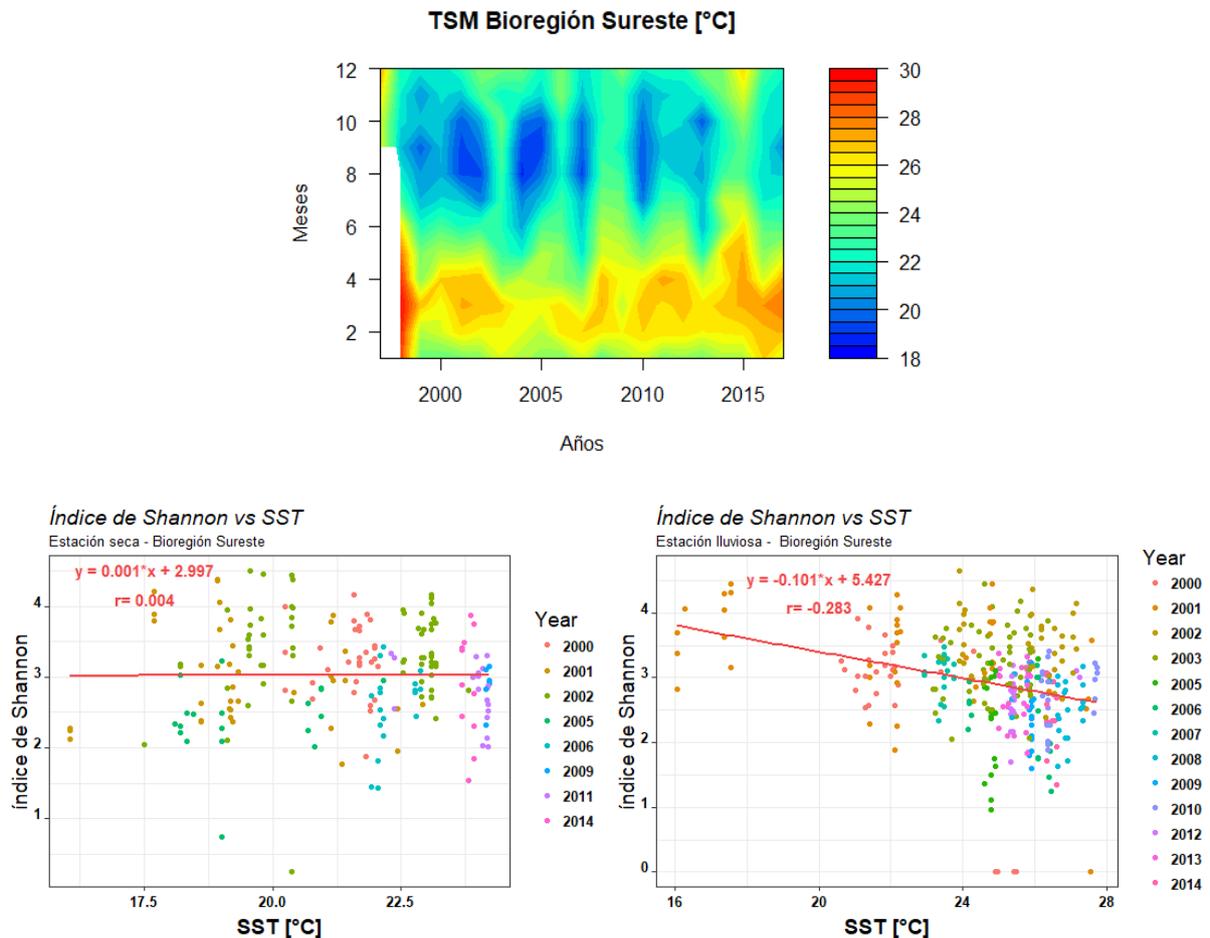
Para ambas estaciones la correlación entre clorofila y el índice de Shannon fue bajo y negativo, por lo que, a mayores valores de concentración de clorofila-a disminuyo la biodiversidad el sitio.



**Figura 3.11** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PAR, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

La PAR continuó mostrando tendencia estacionales, los valores de radiación fotosintética más altos correspondieron a la estación lluviosa específicamente a primeros cinco meses del año, para los meses de junio a agosto los valores de PAR fueron los más bajos registrados para la bioregión.

Asimismo, ambas estaciones presentaron índices de correlación bajos y negativos, es decir, a medida que aumentaba los valores de PAR disminuía los valores del índice de biodiversidad.

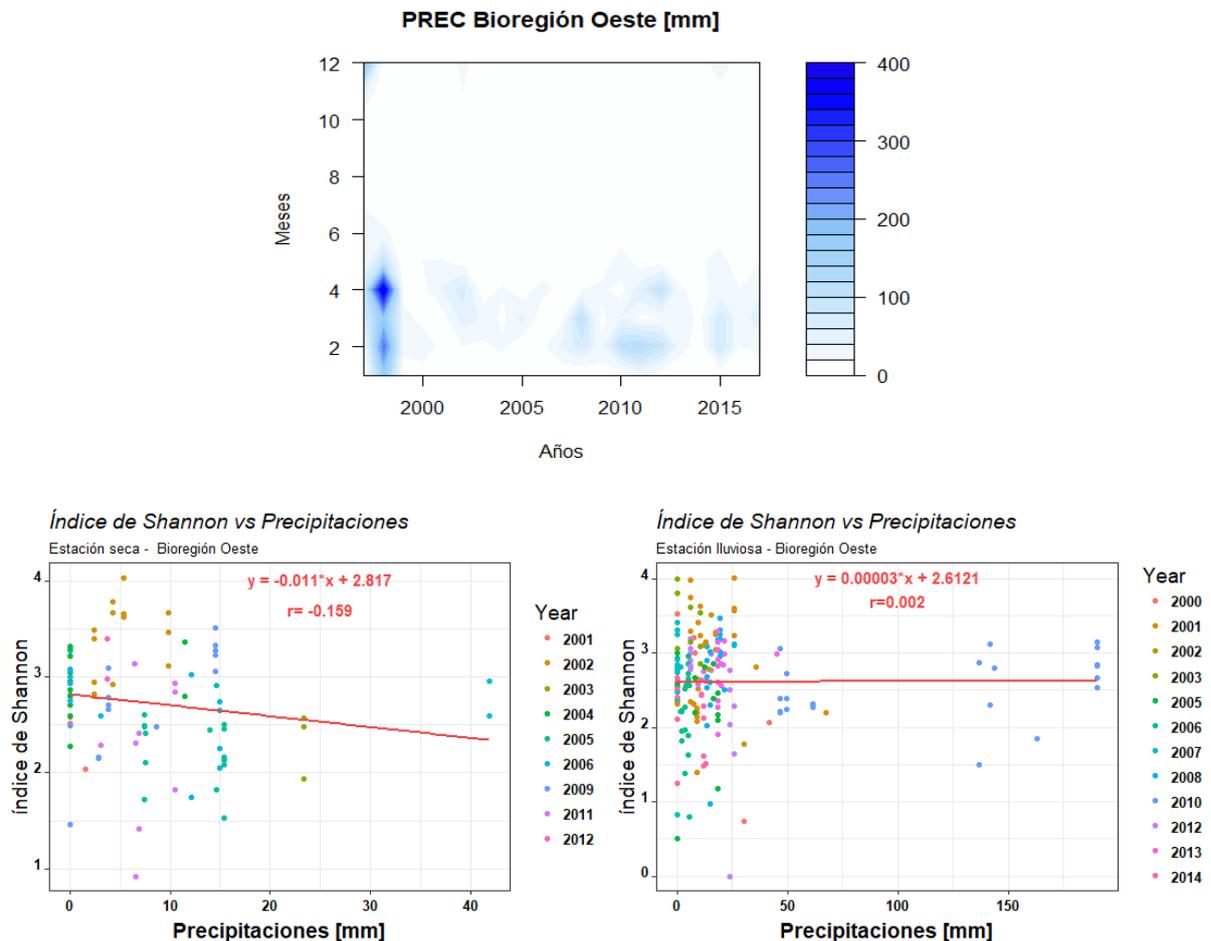


**Figura 3.12** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de TSM, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

Los promedios de TSM para la estación seca presentaron agua frías cuyos rangos variaban entre los 16°C a 24°C, mientras para la estación lluviosa en su mayoría fluctuaron entre los 16°C a 28°C para el tiempo de estudio establecido. De manera general, está bioregión presentó agua más frías debido a que predominan las corrientes de Perú y la corriente sur ecuatorial caracterizadas ambas transportan aguas frías. No se presentó ningún tipo de correlación entre el índice de Shannon y la TSM para la estación seca, sin embargo, para la estación lluviosa la correlación fue negativo y

moderadamente bajo, lo que mostró que entre más alto fue la TSM menor fue el índice de biodiversidad del sitio.

## Bioregión Oeste

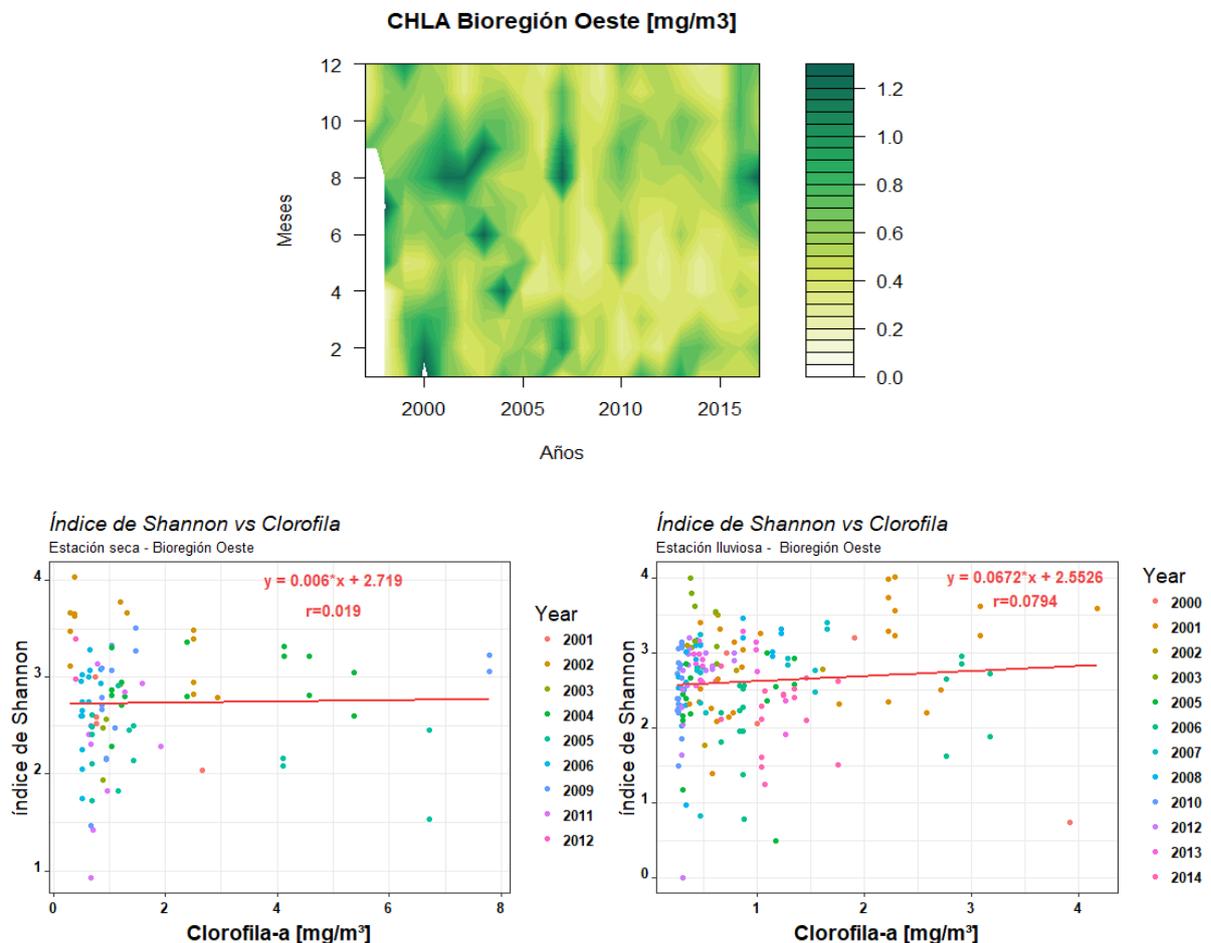


**Figura 3.13** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PREC, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

Los promedios de precipitaciones para la estación seca mostró claramente la ausencia de la mismas, mientras para la estación lluviosa los valores promedios de precipitaciones fueron mínimos indicando la presencia de lluvias leves e incluso para ciertos años en donde hubo la presencia de fenómenos del Niño dentro del periodo de estudio.

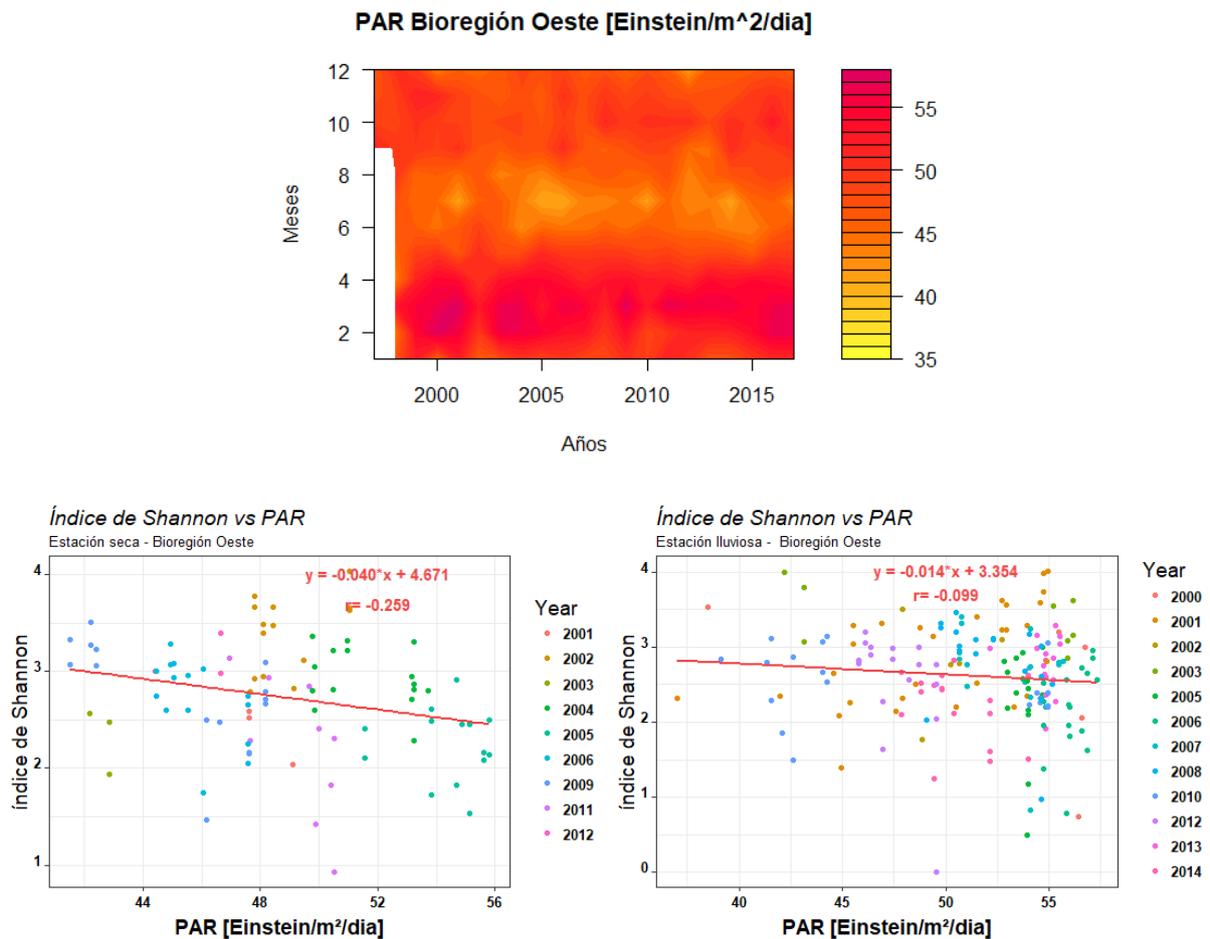
Con respecto a la correlación entre las precipitaciones e índice de Shannon para la estación seca fue bajo y negativo, es decir, a menores precipitaciones el índice de

biodiversidad era más alto. Por otro lado, la estación lluviosa no presentó ningún tipo de relación entre las variables, debido a que el índice de Shannon fue cercano a cero.



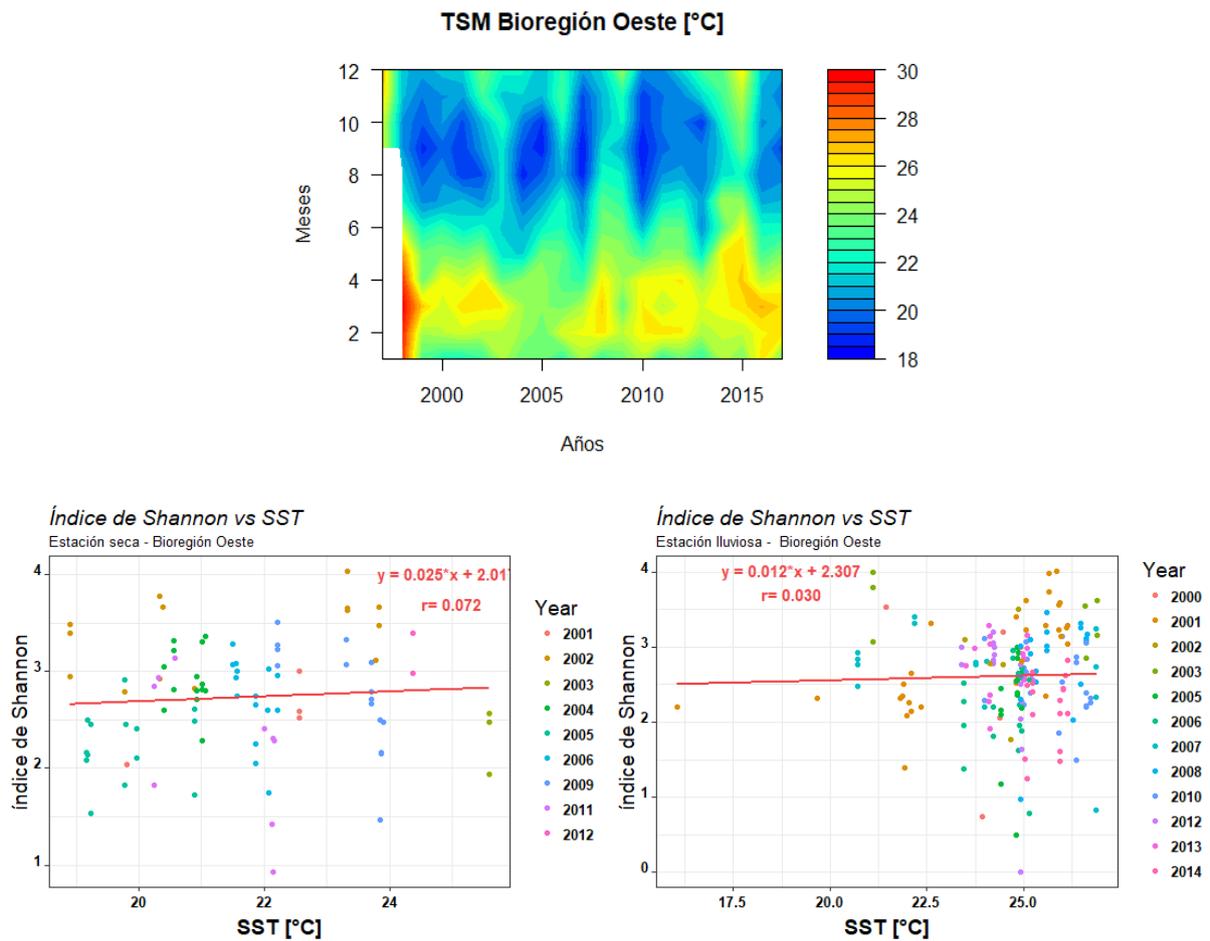
**Figura 3.14** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de CHLA, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

En esta bioregión la distribución de los promedios de clorofila-a mostró un comportamiento distinto, se visualizaron valores altos de concentraciones en los primeros años de interés y se redujo para los últimos. El valor de correlación entre los promedios de clorofila-a y el índice de Shannon para ambas estaciones fueron muy bajos y positivos indicando poca relación entre las variables.



**Figura 3.15** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PAR, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

La PAR para esta bioregión no presentarán comportamientos interanuales ni estacionales, sino mas bien valores altos en la mayoría los meses del años. Los mínimos valores fueron registrados entre los meses de junio a agosto y los máximos en los meses de febrero y marzo. Los datos registrados ambas estaciones se mostraron muy dispersos entre sí, aunque la correlación entre la PAR y el índice de Shannon para la estación seca fue negativo y moderadamente bajo indicando que probablemente la gran biodiversidad de la zona se deba a otros factores y no específicamente a la gran disponibilidad de luz para la especies marinas. En la estación lluviosa no se presentó mucha relación entre PAR y Shannon debido a que el valor de correlación fue muy bajo cercano a cero.

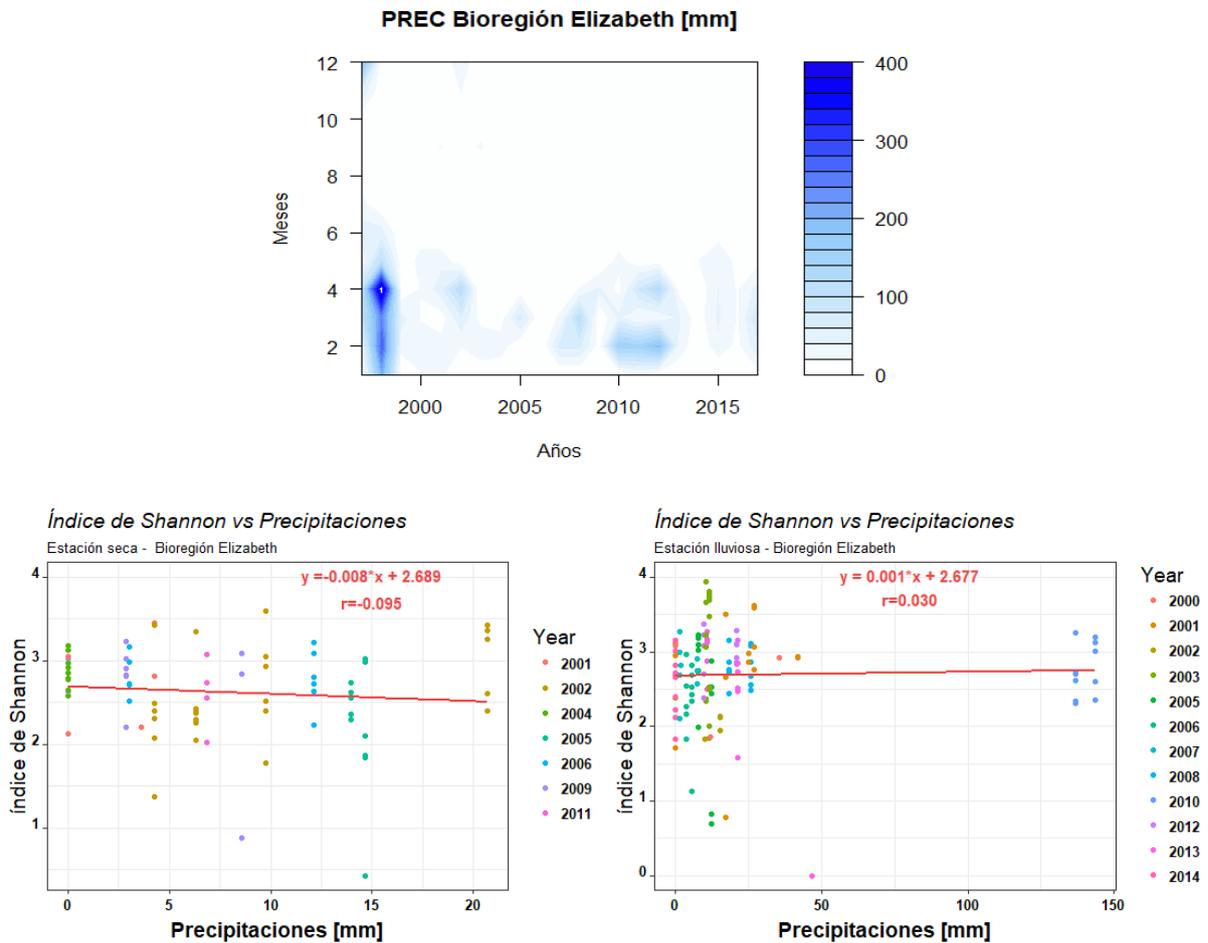


**Figura 3.16** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de TSM, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

El patrón de la TSM para esta bioregión estuvo marcado estacionalmente, pero en general presentó las aguas más frías en comparación al resto de las bioregiones, esto se debe principalmente a que en la zona solo predomina agua frías provenientes de la subcorriente de Cromwell.

La correlación entre el índice de Shannon y la SST para ambas estaciones fue bajo, por tanto, a medida que las aguas superficiales era más cálidas provocaba el aumento de la biodiversidad de especies en el sitio.

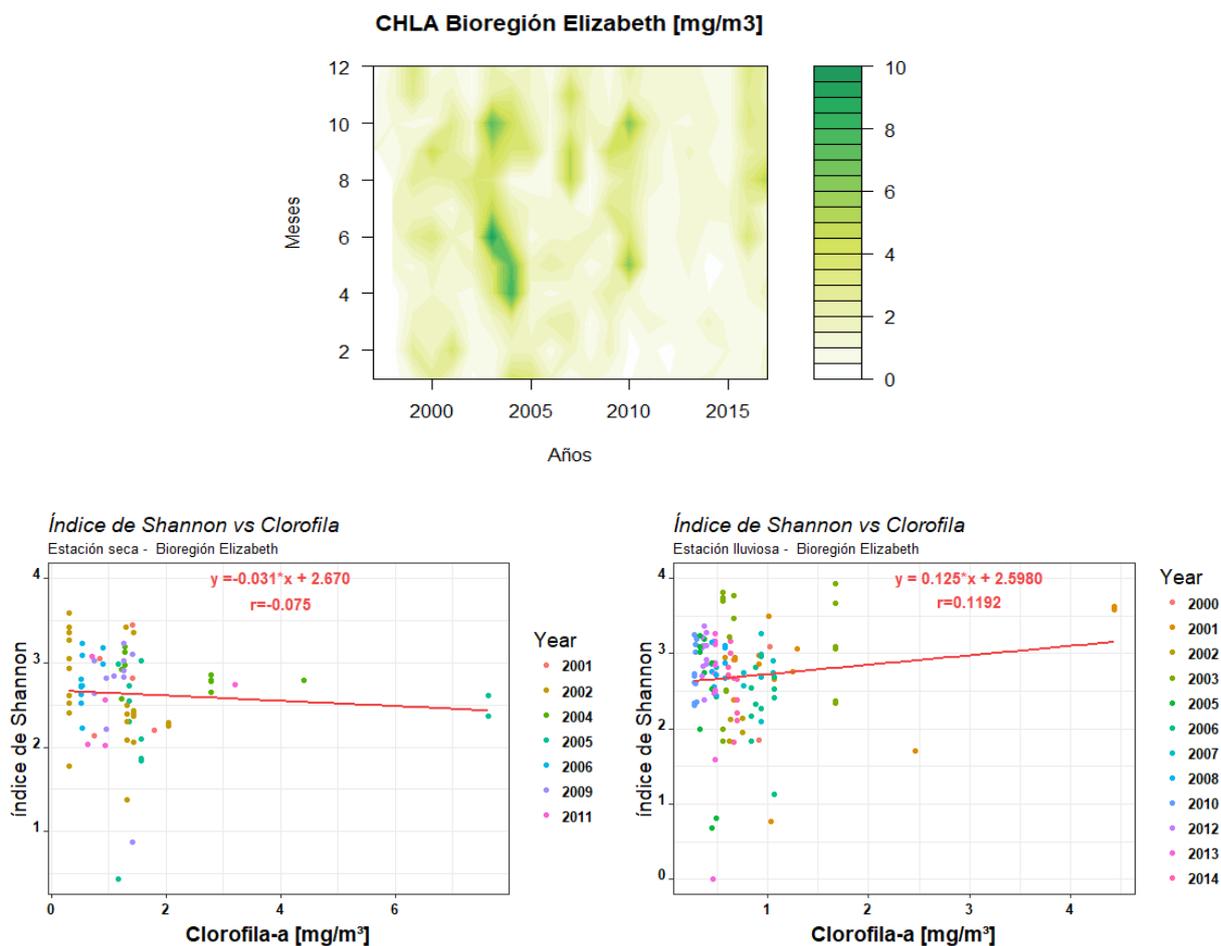
## Bioregión Elizabeth



**Figura 3.17** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PREC, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

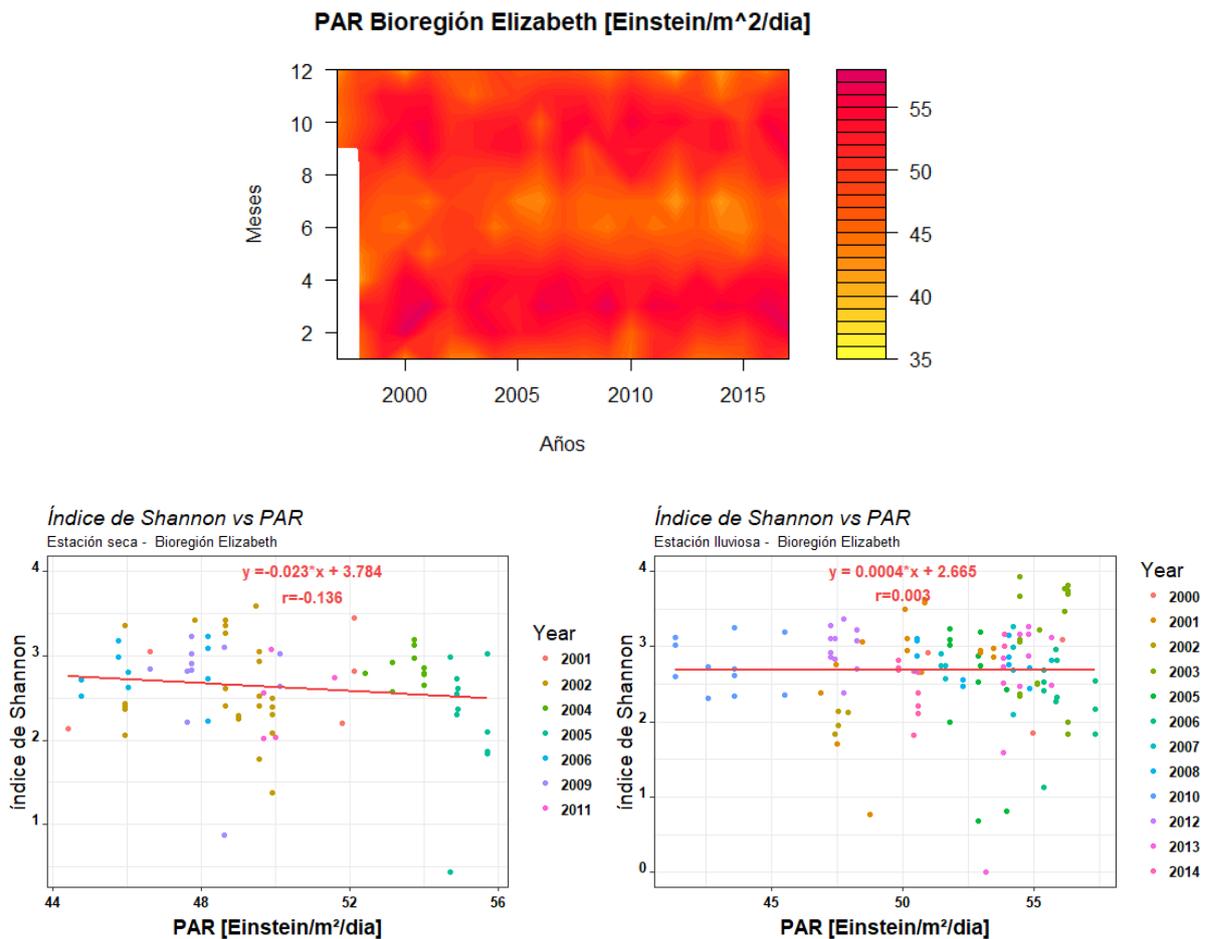
El patrón de precipitaciones siguió sin presentar ningún cambio diferente al resto de las bioregiones, con la presencia de precipitaciones en la estación lluviosa y ausente para la estación seca.

Ambas estaciones presentaron comportamientos diferentes con respecto a la biodiversidad de especies con un índice de correlación bajo, mientras que para la estación seca se registraron lluvias leves, cuyo índice disminuyó con el aumento de precipitaciones. Por otra parte, la estación lluviosa no mostró ningún tipo relación entre las precipitaciones y la biodiversidad de sitio.



**Figura 3.18** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de CHLA, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

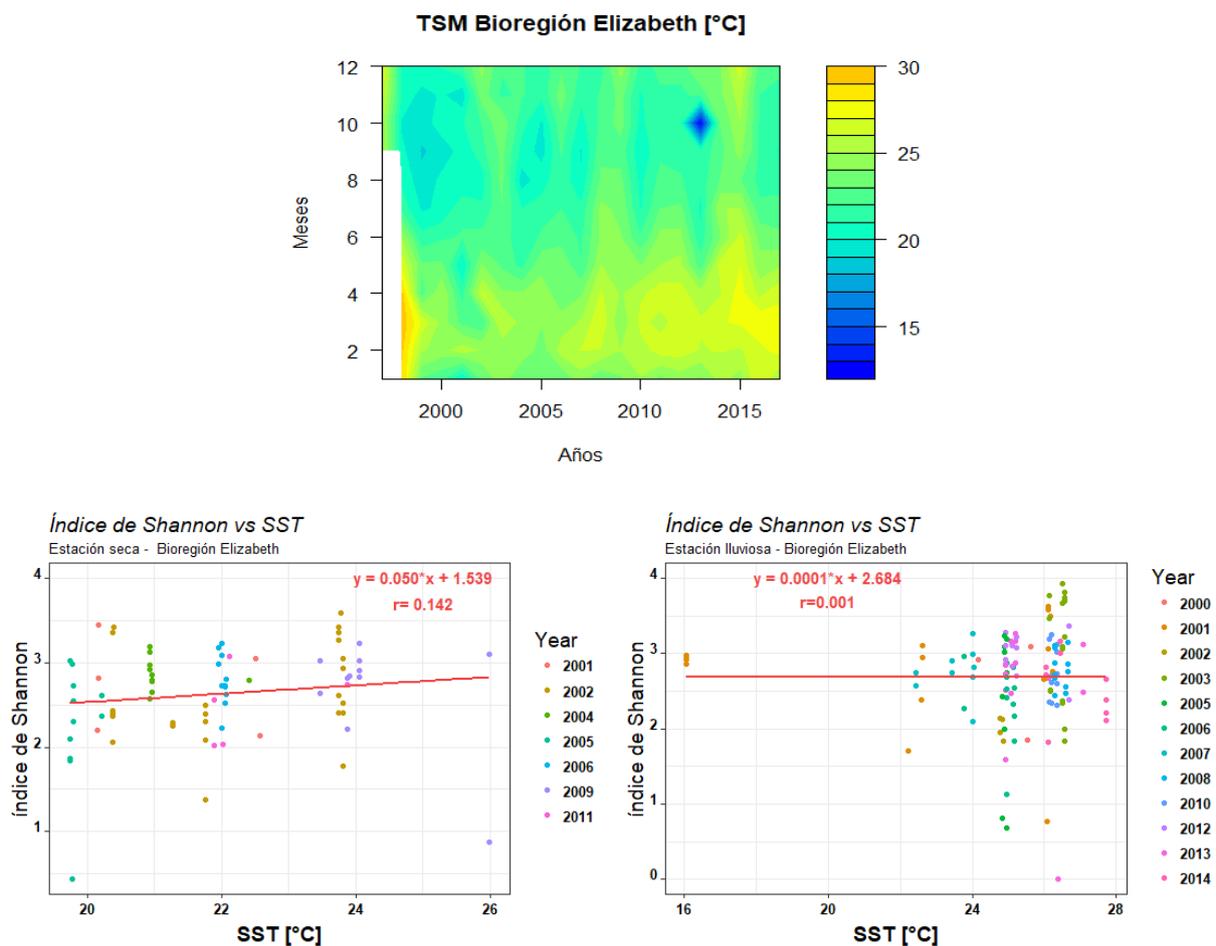
Esta bioregión registró los promedios de valores clorofila-a más altos de RMG generalmente entre los meses de junio a octubre en los primeros años de estudio, la ubicación geográfica y la delimitación costera hace esta que esta bioregión posea un comportamiento particular que marque el aumento de la distribución de clorofila. El índice de Shannon en época seca disminuyó a medida que aumentó las concentraciones de clorofila-a, sucediendo todo lo contrario en la estación lluviosa.



**Figura 3.19** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de PAR, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

La distribución de la PAR mostró un comportamiento similar que en la bioregión oeste, en general fue alta para todo el periodo de estudio, donde las máximas concentraciones se presentaron en los meses de febrero y marzo y las concentraciones más bajas para los meses de mayo a agosto.

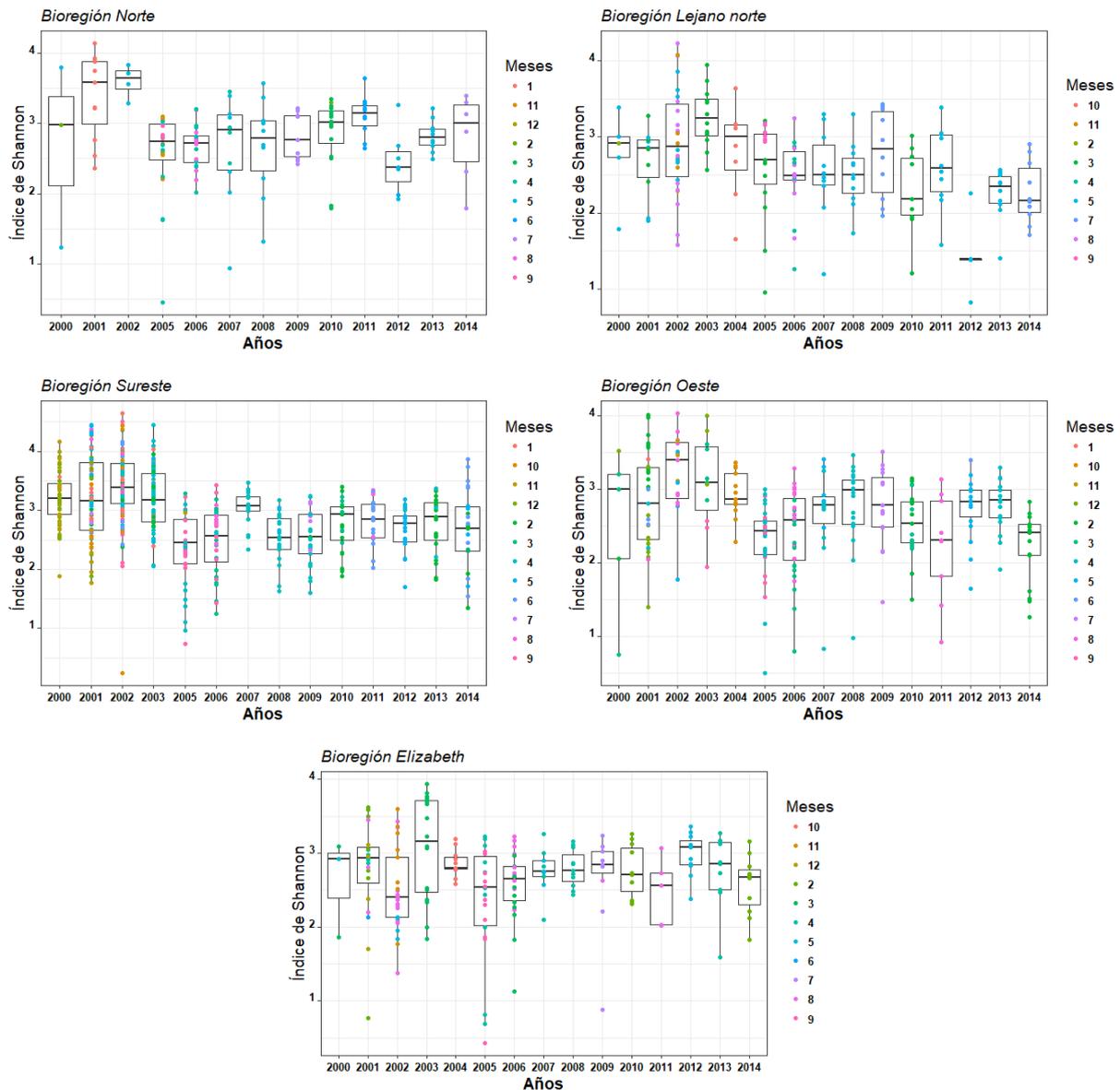
La relación entre el índice de Shannon y la PAR para la estación seca fue bajo y negativo por lo que, en entre mayor fue la PAR menor fue el índice de de Shannon, mientras para la estación seca la biodiversidad del sitio no se debió ni al aumento ni disminución de la concentración de la PAR.



**Figura 3.20** La gráfica superior muestra el comportamiento promedio de TSM, la gráfica inferior izquierda y derecha la correlación de la estación seca y lluviosa respectivamente. Elaboradas por el autor.

La TSM también presentó un comportamiento diferente al resto de las bioregiones, aunque si mostró una tendencia estacional. En general las aguas superficiales fueron más frías e incluso en la estación seca, esto se debió principalmente a el sistema de circulación de corrientes en esta zona ya que solo existe aportación de la subcorriente de Cromwell que transporta aguas frías.

En la estación seca la correlación entre índice de Shannon y TSM fue baja y positiva, por lo que, al aumentar la temperatura aumentó la biodiversidad de la bioregión. Por último, la estación lluviosa no presentó ningún tipo de relación en las variables, pero en su mayoría se encontraron promedios de TSM superiores a 22°C.



**Figura 3.21 Diagrama de cajas de los valores anuales y mensuales de índice de Shannon para las cinco bioregiones de la RMG. Elaboradas por el autor**

Los promedios de índice de Shannon en su mayoría para toda la RMG fueron superiores a dos, lo que permitió caracterizar a las cinco bioregiones como zonas altamente biodiversas.

Con respecto a los valores de biodiversidad máximos y mínimos registrados para la bioregión norte fueron en enero del 2001 y abril del 2005 respectivamente. En el año 2002 todo los valores del índice de biodiversidad fueron superiores a tres teniendo en

cuenta que en ese año se registró la presencia del fenómeno del Niño que se llegó a prolongar hasta febrero del 2003. Para los años comprendidos desde el 2005 hasta 2011 los promedios del índice de Shannon no presentaron altas variaciones, sin embargo, para junio del 2012 el promedio de biodiversidad bajó significativamente en comparación al año anterior y subió para los dos últimos años de interés.

Para la bioregión lejano norte el promedio máximo (superior a 4) de biodiversidad registrado fue en marzo 2003, mientras promedio y el valor mensual mínimo fue en mayo 2012. Del 2006 hasta el 2008 los promedios de biodiversidad fueron muy similares coincidiendo con un evento Niño desde 2006 hasta los primeros meses del 2007 y un evento Niña que inició en agosto del mismo año hasta el primer semestre del 2008.

En la bioregión sureste para el 2002 en el mes de octubre se presentó el valor de biodiversidad más bajo y para el mismo año en el mes de enero el valor más alto. Desde el 2008 hasta el 2014 los promedios del índice de Shannon no presentaron cambios significativos.

La bioregión oeste en los años 2001, 2002 y 2003 se registraron los máximos valores del índice de Shannon, mientras que, para el 2005 el mínimo. Por otro lado, para esta bioregión se presentaron muchos meses en su mayoría pertenecieron a la estación lluviosa en donde el índice de biodiversidad fue menor a dos. Y con respecto al promedio más bajo registrado fue en el septiembre del 2011 que coincidió con la presencia de un evento La Niña.

Finalmente, la bioregión Elizabeth al igual que el resto de las bioregiones también se caracterizó por ser altamente biodiversa en especies y no mostró cambios muy significativos con respecto a los promedios de índice de Shannon para la bioregión, además fueron pocos los meses de muestreo que registraron un índice inferior a dos.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Se logró integrar el entorno RStudio como una herramienta eficaz para el procesamiento, extracción y visualización de información oceanográfica y biológica mediante el uso de librerías y funciones.

El paquete tecnológico generado se desarrolló ensamblando un script con el cuál se pudo realizar análisis estacionales e interanuales para las cinco bioregiones de la RMG incluyendo los parámetros oceanográficos (temperatura superficial del mar, radiación fotosintética activa, clorofila-a y precipitaciones) haciendo el uso de sensores remotos para la extracción de datos en dichos sitios de muestreos.

A partir del archivo biológico proporcionado se generó una base de datos más legible para el cliente, con la cual se obtuvieron resultados preliminares que ayudaron a relacionar una serie de analogías espaciales y temporales que deben ser verificadas considerando el nivel de la cadena trófica en el que se trabajó, debido a que existen procesos intermedios que modifican los niveles tróficos superiores.

Las gráficas de contorno permitieron visualizar patrones estacionales (seca y lluviosa), así como también la presencia de eventos extremos El Niño y La Niña que estuvieron comprendidos entre los 20 años de estudios (1997 hasta 2017).

La biodiversidad presente en la RMG no se ve influenciada por un parámetro específico sino más bien al acople de cada uno de ellos, debido a los bajos índices de correlación que se obtuvieron para todas las variables y estacionalidades de este estudio. Probablemente la biodiversidad del sitio también se deba directa e indirectamente a otros parámetros oceanográficos que no se incluyeron en este trabajo.

Los sistemas de circulación de corrientes del archipiélago influyen con la TSM que no fue un patrón de la biodiversidad de especies dentro de la RMG, esto reflejó que sin importar la temperatura siempre hubo presencia de especies ictio.

Independiente de las fluctuaciones presentadas en las variables oceanográficas estudiadas, la RMG mostró ser un sitio biodiverso, incluso, considerando el tema de migraciones de los peces, que fue evidenciado por altos valores del índice de Shannon.

La distribución de los promedios satelitales de las variables TSM, precipitaciones y PAR permitió presenciar eventos extremos suscitados en las islas como es el caso del fenómeno El Niño 1997-1998 y 2015-2016 no incluidos en el periodo de estudio. A su vez en los años 2002-2003 y 2009-2010, que si constan en el tiempo de interés, mostraron rasgos muy marcados en dichos eventos.

La clorofila-a en general mostró niveles de concentración bajos ante eventos El Niño atribuyéndose a masas de aguas cálidas caracterizada por tener bajo contenido de nutrientes, esto explica la alta concentración de la bioregión Elizabeth, debido a que las aguas superficiales son más frías por recibir solo aportaciones de la corriente de Cromwell.

## **Recomendaciones**

Se recomienda guardar todos los archivos en una misma carpeta, de no ser así se presentarán una serie de errores al momento de la ejecución del script.

Tener conocimientos básicos acerca del entorno de RStudio para facilitar el entendimiento del desarrollo del paquete tecnológico.

Instalar y ejecutar las librerías en R antes de compilar el script desarrollado en este estudio, caso contrario se generarán errores.

Verificar que los datos generados al ejecutar los scripts tengan concordancia a los resultados esperados.

Se recomienda para futuros proyectos trabajar con el índice de Simpson, para conocer las especies representativas del lugar en periodos de tiempo establecidos, para así poder conocer qué tipo de especies migran ante cambios estacionales o interanuales, ya que, las especies podrían ser un buen indicador de la presencia de fenómenos La Niña y El Niño y a su vez de las estacionalidades de la RMG.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Charles Darwin Foundation, «Fundación Charles Darwin,» [En línea]. Available: <https://www.darwinfoundation.org/en/about>. [Último acceso: 16 06 2018].
- [2] GMaRE, «Galapagos Marine Research and Exploration Program,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.gmare.org/what-we-do/?p>. [Último acceso: 12 07 2018].
- [3] ECOGAL, «Aeropuerto Ecológico Galápagos,» ECOGAL S.A., [En línea]. Available: <http://www.ecogal.aero/galapagos>. [Último acceso: 16 06 2018].
- [4] F. Zapata, «Pesca artesanal vivencial en Galápagos: Sistematización del proceso,» Juan Dumas, Patricio Cabrera, Gabriela Villamarín, Quito-Ecuador, 2006.
- [5] V. Klemas, «Remote Sensing Techniques for Studying Coastal Ecosystems: An Overview,» *Journal of Coastal Research*, vol. 1, nº ISSN 0749-0208., pp. 1-16, 2011.
- [6] C. Enríquez, «Volcán La Cumbre, en Galápagos, entró en erupción,» *EL COMERCIO*, 16 06 2018.
- [7] Dirección del Parque Nacional Galápagos, «Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos,» Imprenta Mariscal, Puerto Ayora, Galápagos, 2014.
- [8] G. J. Edgar, S. Banks, J. M. Fariña, M. Calvopiña y C. Martínez, «Regional biogeography of shallow reef fish and macroinvertebrate communities in the Galapagos archipelago,» *Journal of Biogeography*, vol. 31, nº 7, pp. 1107-1124, 2004.
- [9] H. M. Catrejón Mendoza, «Características generales de las Islas Galápagos,» de *Co- Manejo Pesquero en la Reserva Marina de Galápagos*, México, Kanankil , 2011, pp. 39-66 .
- [10] P. Espinoza, A. Lorrain, F. Ménard y Col. *Mar Biol*, «Springer link,» 04 2017. [En línea]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00227-017-3119-8#citeas>. [Último acceso: 24 06 2018].

- [11] Universidad Nacional de Colombia, «unal.edu.co,» Facultad de Ciencias, 07 04 2015. [En línea]. Available: <http://ciencias.bogota.unal.edu.co/gruposdeinvestigacion/ecolmod/informacion-de-interes/que-son-los-sensores-remotos/>. [Último acceso: 28 07 2018].
- [12] I. Iglesias, M. Lorenzo y Gómez-Gesteira, «La temperatura superficial del mar como herramienta de predicción climática,» 12 2010. [En línea]. Available: [http://ephyslab.uvigo.es/files/7312/9189/6324/6ACT\\_I\\_Ilglesias.pdf](http://ephyslab.uvigo.es/files/7312/9189/6324/6ACT_I_Ilglesias.pdf). [Último acceso: 05 05 2018].
- [13] J. Quereda, A. B. Ruescas, E. Montón y J. Escrig, «La teledetección de la temperatura superficial del mar: Una validación de algoritmos en las aguas litorales del mediterráneo español,» vol. 80, pp. 1-5, 2006.
- [14] B. S. E. Martínez, J. M. Mora Rodríguez, M. d. C. Casado Muñoz, R. Díaz Aguilar y A. Díaz Aguilar, «Análisis de parámetros bioquímicos para la gestión nutricional del olivo,» 10-12 05 2017. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Maria\\_Del\\_Carmen\\_Casado\\_Munoz/publication/317684751\\_Analisis\\_de\\_parametros\\_bioquimicos\\_para\\_la\\_gestion\\_nutricional\\_del\\_olivo/links/5948c9c0aca272f02e0b0ec8/Analisis-de-parametros-bioquimicos-para-la-gestion-nutricional](https://www.researchgate.net/profile/Maria_Del_Carmen_Casado_Munoz/publication/317684751_Analisis_de_parametros_bioquimicos_para_la_gestion_nutricional_del_olivo/links/5948c9c0aca272f02e0b0ec8/Analisis-de-parametros-bioquimicos-para-la-gestion-nutricional). [Último acceso: 04 07 2018].
- [15] J. M. Gove, M. A. McManus, A. B. Neuheimer, J. J. Polovina, J. C. Drazen, C. R. Smith, M. A. Merrifield, A. M. Friedlander, J. S. Ehses, C. W. Young, A. K. Dillon y G. J. Williams, «Near-island biological hotspots in barren ocean basins,» *Nature Communications*, vol. 7, 2016.
- [16] A. E. Patrick, «Influence of rainfall and water level on inland fisheries production: A review,» Scholar Research Library, USA, 2016.
- [17] F. Staff, «Environmental monitor,» Fondriest.com, 12 08 2010. [En línea]. Available: <https://www.fondriest.com/news/photosyntheticradiation.htm>. [Último acceso: 05 08 2018].
- [18] NOAA CoastWatch, «AVHRR Pathfinder Oceans Project, 2010. SST, Pathfinder Ver 5.5, Day 4.4 Km, Global Quality,» 2010. [En línea]. Available: <https://catalog.data.gov/dataset/sst-pathfinder-ver-5-0-day-4-4-km-global-science-qualitybd3b9>.

- [19] J. Vazquez, A. Van Tran y R. Sumagaysay, «NOAA/NASA AVHRR Oceans Pathfinder Sea Surface Temperature Data Set User's Guide,» 1996.
- [20] NOAA CoastalWatch, «NOAA CoastalWatch, West Coast Node. SST, NOAA GOES Imagery, Day and Nigth, 0.05 degrees, Western Hemisphere,» 2015. [En línea]. Available: <https://catalog.data.gov/dataset/sst-noaa-goes-imager-day-and-night-0-05-degrees-western-hemisphere>.
- [21] Wu, Xiangqian, W. P. Menzel y G. S. Wade, «Estimation of Sea Surface Temperatures Using GOES-8/9 Radiance Measurements,» *Bulletin of the American Meteorological Society* 80, vol. 6, pp. 1127-38, 1999.
- [22] K.-I. Hsu, X. Gao, S. Sorooshian y H. V. Gupta, «Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks,» *Journal of Applied Meteorology*, 1997.
- [23] NOAA, «NOAA Climate Data Record (CDR) of Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN-CDR), Version 1,» 1996. [En línea]. Available: [https://www.ncei.noaa.gov/erddap/griddap/cdr\\_persiann\\_by\\_time\\_lon\\_lat.html](https://www.ncei.noaa.gov/erddap/griddap/cdr_persiann_by_time_lon_lat.html).
- [24] NOAA CoastWatch, «West Coast Node, NASA GSFC. Chlorophyll-a, Orbview-2 SeaWiFS, 0.1 degrees, Global.,» 2012. [En línea]. Available: <https://catalog.data.gov/dataset/chlorophyll-a-orbview-2-seawifs-0-1-degrees-global442f3>.
- [25] C. R. McClainGene, C. Feldman y S. B. Hooke, «An overview of the SeaWiFS project and strategies for producing a climate research quality global ocean bio-optical time series,» 2004.
- [26] NOAA CoastWatch, «West Coast Node 2. Chlorophyll-a, Aqua MODIS, NPP, 0.05 degrees, Global, Science Quality.,» 2013. [En línea]. Available: <https://catalog.data.gov/dataset/chlorophyll-a-aqua-modis-npp-0-05-degrees-global-science-quality>.
- [27] Ocean Biology Processing Group, «MODIS Aqua Level 3 Global Monthly Mapped 4 km Chlorophyll a v2014.0. Ver. 2014.0. PO.DAAC,» CA, USA, 2015.

- [28] NOAA CoastWatch, «West Coast Node. Photosynthetically Available Radiation, SeaWiFS level 3, 9km.,» 2012. [En línea]. Available: [https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3?per=MO&prd=PAR\\_par.nc&sen=S&res=9km&num=24&ctg=Standard&date=1Sep1997](https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3?per=MO&prd=PAR_par.nc&sen=S&res=9km&num=24&ctg=Standard&date=1Sep1997).
- [29] R. Frouin y R. T. Pinker, «Estimating Photosynthetically Active Radiation (PAR) at the earth's surface from satellite observations. Elseiver,» 1993.
- [30] G. Dedieu, P. Y. Deschamps y Y. H. Kerr, «Satellite Estimation of Solar Irradiance at the Surface of the Earth and of Surface Albedo Using a Physical Model Applied to Metcosat Data. American Meteorological Society.,» 1987.
- [31] J. W. Campbell, J. M. Blaisdell y M. Darzi, «Spatial and temporal binning algorithms.,» *SeaWiFS technical report series. Level-3 SeaWiFS data products*, vol. 32, 1995.
- [32] NASA Goddard Space Flight Center, «Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group: MODIS-Terra Ocean Color Data; NASA Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group,» Oct, 2014.
- [33] NOAA CoastWatch, «Photosynthetically Available Radiation, Terra MODIS, 4km.,» 2012. [En línea]. Available: [https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3?per=MO&prd=PAR\\_par.nc&sen=T&res=9km&num=24&ctg=Standard&date=1Feb2000](https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3?per=MO&prd=PAR_par.nc&sen=T&res=9km&num=24&ctg=Standard&date=1Feb2000).
- [34] S. Banks, D. Acuña, R. Calderon, L. Garske-Garcia, G. E. Edgar, I. Keith, A. Kuhn, R. Pépolas, D. Ruiz, J. Suárez, N. Tirado-Sánchez, M. Vera, L. Vinueza y E. Wakefield, «Manual de monitoreo submareal ecológico,» Fundación Charles Darwin, Puerto Ayora, Galápagos, 2014.
- [35] B. Mostacedo y T. Fredericksen, «Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal,» El país, Santa Cruz de la Sierra, 2000.
- [36] S. Sepúlveda, J. Sergio y E. Farfán, «El arte de programa en R: un lenguaje para la estadística,» de *El arte de programa en R: un lenguaje para la estadística*, México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua., 2014, pp. 7 - 10.
- [37] A. González, S. González, Venables, R. Gentleman y R. Ihaka, Introducción a R: Un entorno de programación para Análisis de Datos y Gráficos, copyright, 2000.

- [38] G. James, D. Witten, T. Hastie y R. Tibshirani, *An Introduction to Statistical Learning*, USA: Springer, 2014.
- [39] «Rstudio,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.rstudio.com/products/rstudio/features/>. [Último acceso: 09 08 2018].
- [40] DM, «Probabilidades y Estadísticas (C) 1 - Guía de R,» 01 2009. [En línea]. Available: [http://www.dm.uba.ar/materias/modelo\\_lineal/2009/1/guiar.pdf](http://www.dm.uba.ar/materias/modelo_lineal/2009/1/guiar.pdf). [Último acceso: 07 07 2018].
- [41] B. S. Baumer, D. T. Kaplan y N. J. Horton, «Texts in Statistical Science,» de *Modern Data Science with R*, FL, Printed on acid-free paper, 2016, pp. 9 - 150.
- [42] V. Spinu, G. Groleud, H. Wickham, I. Lyttle, I. Constigan, J. Law, D. Mitarotonda, J. Larmarange, J. Boiser y C. Hee Lee, «Package "lubridate",» 11 04 2018. [En línea]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/lubridate/lubridate.pdf>. [Último acceso: 01 07 2018].
- [43] H. Wickham, «RDocumentation,» 06 2016. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/plyr/versions/1.8.4>. [Último acceso: 01 07 2018].
- [44] H. Wickham, «Rdocumentation,» 27 06 2018. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/dplyr/versions/0.7.6>. [Último acceso: 07 2018].
- [45] G. R. Warnes, «RDocumentation,» 06 06 2017. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/gdata/versions/2.18.0>. [Último acceso: 07 2018].
- [46] H. Wickham, «RDocumentation,» 14 11 2017. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/tidyverse/versions/1.2.1>. [Último acceso: 07 2018].
- [47] A. Zeileis, «RDocumentation,» 16 07 2018. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/zoo/versions/1.8-3>. [Último acceso: 08 2018].

- [48] H. Wickham, «RDocumentation,» 03 07 2018. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/ggplot2/versions/3.0.0>. [Último acceso: 8 8 2018].
- [49] H. Wickham, «RDocumentation,» 06 08 2017. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/reshape/versions/0.8.7>. [Último acceso: 8 8 2018].
- [50] E. Pebesma, «RDocumentation,» 05 06 2018. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/sp/versions/1.3-1>. [Último acceso: 08 08 2018].
- [51] R. Bivand, «RDocumentation,» 31 07 2018. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/maptools/versions/0.9-3>. [Último acceso: 08 08 2018].
- [52] R. Bivand, «RDocumentation,» 08 06 2018. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/rgeos/versions/0.3-28>. [Último acceso: 08 08 2018].
- [53] R. Hijmans, «RDocumentation,» 15 06 2016. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/geosphere/versions/1.5-5>. [Último acceso: 08 08 2018].
- [54] B. Stabler, «RDocumentation,» 26 01 2013. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/shapefiles/versions/0.7>. [Último acceso: 08 08 2018].
- [55] R. Hijmans, «RDocumentation,» 13 11 2017. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/raster/versions/2.6-7>. [Último acceso: 08 08 2018].
- [56] J. B. Arnold, «RDocumentation,» 07 05 2018. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/ggthemes/versions/3.5.0>. [Último acceso: 08 08 2018].
- [57] H. Wickham, «RDocumentation,» 10 05 2018. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/stringr/versions/1.3.1>. [Último acceso: 08 08 2018].

- [58] J. Bryan, «RDocumentation,» 20 04 2018. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/readxl/versions/1.1.0>. [Último acceso: 08 08 2018].
- [59] A. Walker, «RDocumentation,» 26 05 2018. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/openxlsx/versions/4.1.0>. [Último acceso: 08 08 2018].
- [60] S. M. Bache, «RDocuemntation,» 22 11 2014. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/magrittr/versions/1.5>. [Último acceso: 08 08 2018].
- [61] R. Bivand, «RDocumentation,» 03 08 2018. [En línea]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/rgdal/versions/1.3-4>. [Último acceso: 08 08 2018].
- [62] admi R, «R Function of the Day,» 31 01 2012. [En línea]. Available: <http://rfunction.com/archives/1001>. [Último acceso: 01 08 2018].
- [63] G. Mantilla Saltos y M. J. Borbor Córdova, «Guía de documentación de códigos R-Script del proyecto Variabilidad Climática, Recurrencia Algas Nocivas y si impacto en la Salud Humana en comunidades Costeras (Habs),» 2017.
- [64] A. Machado Carrillo, «El seguimiento ecológico y ambiental,» 12 - 14 05 2003. [En línea]. Available: [http://www.oag-fundacion.org/content/pdf/doc3/machado2003\\_seguimiento\\_ecologico.pdf](http://www.oag-fundacion.org/content/pdf/doc3/machado2003_seguimiento_ecologico.pdf). [Último acceso: 17 06 2018].
- [65] A. Balmori, «Research Gate,» 10 02 2014. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Alfonso\\_Balmori/publication/266798188](https://www.researchgate.net/profile/Alfonso_Balmori/publication/266798188). [Último acceso: 18 06 2018].
- [66] D. Jimenez, «Análisis de datos para el desarrollo de indicadores con R Studio,» 2015. [En línea]. Available: [https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/114282\\_7214c26c160d4dc2be4f81d909480998.html#/1](https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/114282_7214c26c160d4dc2be4f81d909480998.html#/1). [Último acceso: 18 06 2018].
- [67] M. d. C. Jiménez Quiroz , «Indicadores climáticos. Una manera para identificar la variabilidad climática a escala global,» 2013. [En línea]. Available:

<https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/BOLETINES/hidroclimatico/INDICES-CLIMATICOS.pdf>. [Último acceso: 8 07 2018].

# ANEXOS

TSM		CHLA		PAR		Precipitación	
Código de color	color	Código de color	color	Código de color	color	Código de color	color
#0000FF		#FDFEFE		#FFFF33		#FDFEFE	
#00ffcc		#D4E157		#FF6600		#33ccff	
#ffff00		#27AE60		#FF0033		#0000FF	
#ff0000		#0E6655		#9900CC		#7B1FA2	

**Figura 4.1** Tabla de los colores únicos de por colores utilizados en la elaboración de las gráficas de contorno. Elaborados por el autor