



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

CARRERA DE BIOLOGÍA

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CONDICIONES DEL AMBIENTE
FÍSICO DEL ARRECIFE CORALINO EN BASE A TELEDETECCIÓN
ACTIVA EN LA RESERVA MARINA EL PELADO, ISLA LIZARD E ISLA
COZUMEL, PERIODO DE 2012 – 2021”.**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del Título de:

BIÓLOGO

AUTORA:

BURGOS EUGENIO KEYLA YADARY

TUTOR:

BLGA. ANA GABRIELA BALSECA VACA, M.SC.

CO- TUTOR

OC. FREDDY HERNÁNDEZ VACA, PhD.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2023

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

CARRERA DE BIOLOGÍA

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CONDICIONES DEL AMBIENTE
FÍSICO DEL ARRECIFE CORALINO EN BASE A TELEDETECCIÓN
ACTIVA EN LA RESERVA MARINA EL PELADO, ISLA LIZARD E ISLA
COZUMEL, PERIODO DE 2012 – 2021”.**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la Obtención del Título de

BIÓLOGO

AUTOR

BURGOS EUGENIO KEYLA YADARY

TUTOR

BLGA. ANA GABRIELA BALSECA VACA, M.SC.

CO- TUTOR

OC. FREDDY HERNÁNDEZ VACA, PhD.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2023

DECLARATORIA EXPRESA

La responsabilidad por las ideas, contenido y análisis de los resultados expuestos en este trabajo de integración curricular pertenece exclusivamente al autor, y el patrimonio intelectual de la misma, a la UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA (UPSE).


C.I: 0950222604

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres quienes han sido mi mayor soporte durante mi formación profesional y personal, por haberme apoyado en cada uno de mis pasos, por sus enseñanzas, por la motivación constante que me permitieron ser la persona que soy y por su amor incondicional.

A mis familiares, quienes me brindaron su apoyo en momentos difíciles, a su vez me dieron la oportunidad de continuar y terminar mi trayectoria universitaria.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, a los docentes de la Facultad Ciencias del Mar por haberme transmitido todos los conocimientos durante mi proceso de aprendizaje como estudiante, de la cual me preparó para mi vida profesional.

A mis amigos que se han convertido en familia, por siempre estar presente cuando necesité apoyo, gracias a ellos fue posible seguir adelante.

A la Blga. Ana Gabriela Balseca Vaca. M.Sc, tutora de tesis por su tolerancia, confianza y guía durante el desarrollo de la presente investigación. Al Doctor. Freddy Hernández Vaca, por su compromiso, tolerancia y tiempo invertido en la guía del componente oceanográfico del trabajo investigativo.

Al Australian Museum Research Institute (AMRI) y a los directores del Lizard Island Institute, PhD. Anne Hoggett y PhD. Lyle Vail, por brindarme la información base la cual se usó como referencia para continuar esta investigación.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Blgo. Richard Duque Marín, Mgtr.
DECANO DE LA FACULTAD



Ing. Jimmy Villón Moreno, M.Sc.
**DIRECTOR DE LA CARRERA
DE BIOLOGÍA**



Blga. Ana Gabriela Balseca Vaca, M.Sc.

DOCENTE TUTOR



Blgo. Jodie Darquea Arteaga, M.Sc.

DOCENTE DEL ÁREA



Abg. Luis Alberto Castro Martínez, Mgs.

SECRETARIO GENERAL

RESUMEN

A nivel mundial los arrecifes coralinos enfrentan grandes cambios causados por el cambio climático, por lo que esto influye en la distribución, resiliencia y adaptabilidad de las especies marinas específicamente los constructores de arrecifes, siendo así que las condiciones físicas oceanográficas representan un papel fundamental para el desarrollo de corales. El principal enfoque de esta investigación fue evaluar el ambiente físico marino de tres arrecifes coralinos “Islote el Pelado”, “Isla Cozumel” e “Isla Lizardo”, a través del análisis de la información obtenida de sensores remotos, estableciendo así, una comparación entre los tres arrecifes, durante el periodo 2012-2021. Mediante el uso de teledetección y sistemas de información geográfica (GIS), se estudió las variables de corriente geostrofica superficial; temperatura, salinidad superficial y subsuperficial, clorofila-*a* en un periodo de 10 años en cada arrecife coralino. Los resultados obtenidos demuestran que existe ciclos anuales marcados para cada sitio en todos los parámetros estudiados, a excepción de la salinidad superficial de Isla Cozumel misma que no presentó un ciclo marcado manteniéndose en el rango de 36 UPS, en cuanto a la temperatura superficial del mar fue la más relevante mostrando diferencias entre sus máximos y mínimos con rangos de amplitud de 7°C para Islote El Pelado, 6°C para Isla Lizardo, mientras que para Isla Cozumel presenta una amplitud de 3°C. Se determinó la productividad primaria de los tres arrecifes coralinos: el Islote El pelado presenta aguas con una alta productividad primaria, debido a que sus aguas se ven influenciadas por diversas corrientes, mientras que en Isla Lizardo posee aguas con productividad media, en contraste con Isla Cozumel que muestra aguas con baja productividad primaria. El análisis de componentes principales mostró que las variables de temperatura superficial y subsuperficial son proporcionales entre sí y que a su vez poseen una correlación positiva con los niveles de clorofila-*a* del medio. El registro de especies sumado al análisis de las variables mostró que la mayor diversidad de corales se evidencia en zonas con parámetros ambientales más estables y en aguas con bajas concentraciones de productividad primaria por lo que Islote El Pelado presenta pocas especies coralinas registradas. Sin embargo, en un contexto de cambio climático dónde el aumento de la temperatura podría generar cambios en las condiciones del mar, el Islote El Pelado tendría una gran posibilidad de aumentar su ecosistema arrecifal coralino.

Palabras clave: Ciclo anual, arrecifes coralinos, teledetección, productividad primaria.

ABSTRACT

Worldwide, coral reefs face great changes, caused by climate change, which is why this influences the distribution, resilience, and adaptability of marine species, specifically reef builders, while physical conditions play a fundamental role for development of corals. The focus of this research was to evaluate the marine physical environment of three coral reefs “El Pelado Islet”, “Lizard Island” and “Cozumel Island”, through the management of information based on analysis obtained from remote sensors, establishing a comparison among them, during the period 2012-2021. Using remote sensing technique and geographic information systems (GIS), the surface geostrophic current variables were studied; temperature, surface and subsurface salinity, chlorophyll-a in a period of 10 years in each coral reef. The results obtained show that there are marked annual cycles for each site in all the parameters studied, except for the surface salinity of Cozumel Island itself, which did not present a marked cycle, remaining in the range of 36 UPS, in terms of sea surface temperature was the most relevant, showing differences between its maximums and minimums with amplitude ranges of 7°C for Islet, 6°C for Lizard Island, while for Cozumel Island it presents an amplitude of 3°C. The primary productivity of the three coral reefs was determined in which El Pelado Islet presents waters with high primary productivity, because its waters are influenced by various currents, while in Lizard Island it has waters with medium productivity, in contrast to Cozumel Island showing waters with low primary productivity. Principal component analysis showed that the surface and subsurface temperature variables are proportional to each other and that, in turn, they have a positive correlation with the levels of chlorophyll-a in the medium. The record of species added to the analysis of the variables showed that the greatest diversity of coral is evident in areas with more stable environmental parameters and in waters with low concentrations of primary productivity, which is why El Pelado Islet has few recorded coral species. However, in a context of climate change where the increase in temperature could generate changes in sea conditions, making areas considered marginal for reef development optimal PLUS the analysis of the parameters evaluated, it could be considered that in the future El Pelado Islet would have the possibility of maintaining an active coral reef ecosystem.

Keywords: Annual cycle, coral reefs, remote sensing, primary productivity.

ÍNDICE

RESUMEN	V
ABSTRACT.....	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
3. JUSTIFICACIÓN	7
4. OBJETIVOS.....	9
5. HIPÓTESIS.....	10
6. MARCO TEÓRICO	11
6.1. ECOSISTEMAS ARRECIFALES.....	11
6.1.1. TIPOS DE ARRECIFES CORALINOS.....	13
6.2. IMPORTANCIA DE LOS ARRECIFES	14
6.3. ARRECIFES CORALINOS EN REGIONES TROPICALES	15
6.3.1. GRAN BARRERA DE CORAL AUSTRALIANA	15
6.3.1.1. ISLA LIZARD	17
6.3.1.2. CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS EN LA GRAN BARRERA DE CORAL	18
6.3.1.3. CLIMATOLOGÍA DE LA GRAN BARRERA DE CORAL.....	20
6.3.2. SISTEMA ARRECIFAL MESOAMERICANO (SAM)	21
6.3.2.1. ISLA COZUMEL	21
6.3.2.2. CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS EN ISLA COZUMEL.....	23
6.3.2.3. CLIMATOLOGÍA DEL GOLFO DE MÉXICO	24
6.4. ARRECIFES CORALINOS EN EL PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL (POT)	24
6.4.1. ARRECIFES EN ECUADOR	26
6.4.2. CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS EN ECUADOR	28
6.4.3. CLIMATOLOGÍA DEL ECUADOR	30
6.5. FACTORES QUE AMENAZAN A LOS ECOSISTEMAS ARRECIFALES	31
6.5.1. CAMBIO CLIMÁTICO	31
6.5.2. BLANQUEAMIENTO CORALINO	32
6.5.3. CONTAMINACIÓN MARINA.....	34

6.5.4.	ACIDIFICACIÓN DEL OCÉANO.....	34
6.5.5.	FENÓMENO DEL NIÑO (ENOS).....	36
6.5.6.	FENÓMENO DE LA NIÑA	37
6.6.	ASPECTOS FÍSICOS DEL OCÉANO.....	38
6.6.1.	TEMPERATURA.....	38
6.6.2.	SALINIDAD	39
6.6.3.	CORRIENTES MARINAS.....	39
6.6.4.	VIENTOS ALISIOS.....	40
6.7.	CLOROFILA-A COMO PRODUCTIVIDAD PRIMARIA	41
6.8.	TELEDETECCIÓN O PERCEPCIÓN REMOTA (PR).....	42
6.8.1.	PERCEPCIÓN REMOTA DE ARRECIFES CORALINOS.....	43
6.8.2.	SENSORES REMOTOS.....	44
7.	MARCO METODOLÓGICO.....	47
7.1.	ÁREA DE ESTUDIO	47
7.2.	FUENTE DE DATOS	48
7.3.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	51
7.4.	DETERMINACIÓN DE PRODUCTIVIDAD PRIMARIA	52
7.5.	MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS.....	52
8.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	54
8.1.	CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO	54
8.1.1.	CIRCULACIÓN GEOSTRÓFICA.....	54
8.1.2.	TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR.....	56
8.1.3.	SALINIDAD SUPERFICIAL DEL MAR	58
8.1.4.	TEMPERATURA Y SALINIDAD SUBSUPERFICIAL.....	59
8.2.	DETERMINACIÓN DE PRODUCTIVIDAD PRIMARIA	65
8.3.	COMPROBACIÓN DE LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS.....	67
8.3.1.	CORRIENTES	67
8.3.2.	TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR.....	68
8.3.3.	ESTRUCTURA TÉRMICA Y HALINA.....	71
8.3.4.	CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA- <i>a</i>	72
8.3.5.	COMPOSICIÓN DE ESPECIES POR PUNTO DE ESTUDIO	74

8.3.6. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS AMBIENTALES DE LOS TRES PUNTOS DE ESTUDIO.....	79
9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	82
10. CONCLUSIONES.....	86
11. RECOMENDACIONES	88
Bibliografía	89

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Ciclo anual de la corriente geostrófica; a) Dirección b) Magnitud de la corriente en los tres sitios seleccionado de la figura 1. Ciclo anual de la corriente geostrófica; a) Dirección, b) Magnitud de la corriente en los tres sitios seleccionados. Periodo de análisis 2012-2021.	55
Gráfico 2. Serie de tiempo de la Temperatura Superficial del Mar correspondiente a los tres sitios de estudio: P1 (Isla Lizard), P2 (Islote El Pelado), P3 (Isla Cozumel). Periodo 2012-2021. Fuente de información Ostia (Copérnico).	56
Gráfico 3. Ciclo anual de la Temperatura Superficial del Mar correspondiente a los tres sitios de estudio: P1 (Isla Lizard), P2 (Islote El Pelado), P3 (Isla Cozumel). Periodo 2012-2021. Fuente de Información Ostia (Copérnico).	57
Gráfico 4. Ciclo anual de la Salinidad Superficial correspondiente a los tres sitios de estudio: P1 (Isla Lizard), P2 (Islote El Pelado), P3 (Isla Cozumel). Fuente de información Ostia (Copérnico).	58
Gráfico 5. Ciclo anual Temperatura correspondiente a P1 (Isla Lizard). Fuente de información Ostia (Copérnico).	59
Gráfico 6. Ciclo anual de Salinidad en P1 correspondiente a Isla Lizard. Fuente de información Ostia (Copérnico).	60
Gráfico 7. Ciclo anual de Temperatura en P2 correspondiente al Islote El Pelado. Fuente de información Ostia (Copérnico).	61
Gráfico 8. Ciclo anual de Salinidad en P2 correspondiente al Islote El Pelado. Fuente de Información Ostia (Copérnico).	62
Gráfico 9. Ciclo anual de Temperatura en P3 correspondiente a Isla Cozumel. Fuente de información Ostia (Copérnico).	63
Gráfico 10. Ciclo anual de la estructura Halina (Salinidad) en P3 correspondiente a Isla Cozumel. Fuente de información Ostia (Copérnico).	64

Gráfico 11. Figura Ciclo anual de la Clorofila Superficial del Mar correspondiente a los tres sitios de estudio: P1 (Isla Lizard), P2 (Islote El Pelado), P3 (Isla Cozumel). Periodo 2012-2021.....	66
Gráfico 12. Valores promedios de componente escalar U por punto de muestreo. Todos los resultados obtenidos se presentan a manera de barras las cuales representan la Media \pm DS. Las letras desiguales señalan que existe diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de 1 vía ($p < 0.05$) y test de Tukey.....	67
Gráfico 13. Valores promedios de componente escalar V por punto de muestreo. Todos los resultados obtenidos se presentan a manera de barras las cuales representan la Media \pm DS. Las letras desiguales señalan que existe diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de 1 vía ($p < 0.05$) y test de Tukey.....	68
Gráfico 14. Valores promedios de Temperatura superficial del mar por mes por punto de muestreo: Azul (P1), Naranja (P2) y Plomo (P3). Todos los resultados obtenidos se presentan a manera de barras las cuales representan la Media \pm DS.	69
Gráfico 15. Valores promedios de Temperatura superficial del mar por punto de muestreo. Todos los resultados obtenidos se presentan a manera de barras las cuales representan la Media \pm DS. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de 1 vía ($p < 0.05$) y test de Tukey. ...	70
Gráfico 16. Valores promedios de las estructuras térmicas y halinas por punto de muestreo. Todos los resultados obtenidos se presentan a manera de barras las cuales representan la Media \pm DS. Las letras desiguales señalan que existen diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de 1 vía ($p < 0.05$) y test de Tukey. ...	71
Gráfico 17. Valores promedios de clorofila-a por mes por punto de muestreo: Azul (P1), Naranja (P2) y Plomo (P3). Todos los resultados obtenidos se presentan a manera de barras las cuales representan la Media \pm DS.	72
Gráfico 18. Valores promedios de clorofila-a por punto de muestreo. Todos los resultados obtenidos se presentan a manera de barras las cuales representan la Media \pm DS. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de 1 vía ($p < 0.05$) y test de Tukey.	73

Gráfico 19. Representación del número de especies por familias registradas en Isla Lizard (P1).	75
Gráfico 20. Representación del número de especies por género registradas en Islote El Pelado (P2).	76
Gráfico 21. Representación del número de especies por género registradas en Isla Cozumel (P3).	78
Gráfico 22. Análisis de Componentes Principales con variables ambientales de los tres puntos de estudio: P1 (Isla Lizard), P2 (Islote El Pelado), P3 (Isla Cozumel).	80
Gráfico 23. Dendrograma de similitud entre parámetros ambientales de los sitios de estudio: P1 (Isla Lizard), P2 (Islote El Pelado), P3 (Isla Cozumel).	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Corrientes superficiales medias alrededor de Australia (modificado de (Wijeratne et al, 2018).....	18
Figura 2. Esquema de la división de la Corriente Ecuatorial del Sur (SEC) en varios chorros, adaptado de (Ganachaud et al, 2007).	19
Figura 3. Arrecifes de Coral del Pacífico Tropical Oriental.	26
Figura 4. Principales corrientes oceanográficas que atraviesan la costa ecuatoriana. Corrientes cálidas (rojas) ubicadas al norte de la zona de convergencia intertropical (ITCZ) y corrientes frías (azul) al sur.	29
Figura 5. Representación de los tipos de sensores remotos y su proceso de obtención de fatos.	46
Figura 6. Ubicación geográfica del Área de estudio en 3 sectores de ambiente coralinos de diferentes cuencas oceánicas. P1 - Isla Lizard (Arrecife australiano), P2 - Islote el Pelado (Reserva Marina El Pelado), P3 - Isla Cozumel (Arrecife mesoamericano), QGIS versión 3.28.4.....	47

INDICE DE TABLA

Tabla 1. Áreas de estudio.....	48
Tabla 2. Características de los datos obtenidos.....	50
Tabla 3. Escala de Clorofila a: Productividad Primaria, expresado en mg/m ³ (Tapia, 2006).	52

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Lista de presencia de corales y octocorales registrados en la Reserva Marina El Pelado.	100
Anexo 2. Lista de especies de corales y octocorales registradas en Isla Cozumel. ...	102
Anexo 3. Datos de estructura Térmica de P1 entre 2012-2021.	102
Anexo 4. Datos de estructura Térmica de P2 entre 2012-2021.	103
Anexo 5. Datos de estructura Térmica de P3 entre 2012-2021.	103
Anexo 6. Datos de estructura Halina de P1 entre 2012-2021.	104
Anexo 7. Datos de estructura Halina de P2 entre 2012-2021.	104
Anexo 8. Datos de estructura Halina de P3 entre 2012-2021.	105
Anexo 9. Prueba de normalidad de datos de componente U m/s - Corrientes en P1.	105
Anexo 10. Prueba de normalidad de datos de componente U m/s - Corrientes en P2.	106
Anexo 11. Prueba de normalidad de datos de componente U m/s - Corrientes en P3.	106
Anexo 12. Test de Bartlett del componente U m/s - Corrientes de los 3 puntos de estudio.	106
Anexo 13. Prueba de normalidad de datos de Estructura térmica de P1.	107
Anexo 14. Prueba de normalidad de datos Estructura térmica de P2.	107
Anexo 15. Prueba de normalidad de datos de Estructura térmica de P3.	107
Anexo 16. Test de Bartlett de las estructuras térmicas de los 3 puntos de estudio... ..	108
Anexo 17. Prueba de normalidad de datos de salinidad de P1.	108
Anexo 18. Prueba de normalidad de datos de salinidad de P2.	108
Anexo 19. Prueba de normalidad de datos de salinidad de P3.	109
Anexo 20. Test de Bartlett de normalidad de salinidad de los 3 puntos de estudio.. ..	109
Anexo 21. Prueba de normalidad de datos de SST de P1.	109
Anexo 22. Prueba de normalidad de datos de SST de P3.	110

Anexo 23. Prueba de normalidad de datos de SST de P2.....	110
Anexo 24. Test de Bartlett de normalidad de SST de los 3 puntos de estudio.....	110

ABREVIATURAS

GBRMPA: Autoridad del Parque Marino de la Gran Barrera de Coral

GBR: Gran Barrera de Coral

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

SAM: Sistema Arrecifal Mesoamericano

POT: Pacífico Oriental Tropical

EAC: Corriente de Australia Oriental

SEC: Corriente Ecuatorial del Sur

NCJ: North Caledonian Jet

SCJ: South Caledonian Jet

NVJ: North Vanuatu Jet

SVJ: South Vanuatu Jet

NQC: Corriente del norte de Queensland

LC: Corriente de Leeuwin

GLOSARIO

Ciclo anual: Se define como una serie de 365 días por las que pasa un fenómeno hasta que el proceso vuelve a comenzar.

Resolución espacial: Distancia que puede detectar un sensor de imágenes digitales como los satélites o radares.

Píxel: Es un punto cuadrado o rectangular utilizado en el lenguaje informático, para definir la parte más pequeña que compone una imagen.

Copérnico: Programa de Observación de la tierra de la Unión Europea que ofrece servicios de información basados en datos de observación de la tierra por satélite.

Corriente Geostrofica: Es un flujo oceánico en el que las fuerzas del gradiente de presión y de Coriolis se encuentran en equilibrio.

Isoterma: Línea que representan la misma temperatura.

Isohalina: Línea que representa la misma salinidad.

Climatología: Estudio del clima, su funcionamiento, cambios y eventos extremos, así como sus efectos en diversos eventos como recursos hídricos, salud y seguridad humana.

Teledetección: Detección de información a gran escala de un objeto o fenómenos que se producen en la superficie de la tierra.

Sensores: Equipo que permite adquirir información a distancia.

1. INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos constituyen uno de los ecosistemas marinos más destacados debido a su alta diversidad biológica, aportando gran valor ecológico y socioeconómico al planeta (Glynn, 1990; Ponce, 2017) brindando alimento, refugio, área para el desarrollo y reproducción de numerosas especies, manteniendo estrechas relaciones con diferentes organismos que habitan en ellos (Macías, 2015).

Estos ecosistemas se ven influenciadas por diversos parámetros ambientales siendo una de ellas las corrientes marinas. Su efecto transportador de calor hace que la presencia de arrecifes coralinos se prolongue a lo largo de las costas orientales de los grandes continentes hacia el Norte y hacia el Sur, pero en las costas Occidentales su presencia se restringe a una zona cercana al Ecuador o faltan por completo (Ramírez, 2006).

En el mundo existen cerca de ocho formaciones de arrecifes coralinos de gran importancia debido a su alta diversidad, complejidad estructural y de gran extensión; siendo estos: la Gran Barrera de Coral Australiana, Barrera de Coral Mesoamericano, Lagunas de nueva Caledonia, La barrera de Coral de Andros, el Mar Rojo, las Maldivas, el triángulo de Coral y el arrecife de Pulley Ridge. Por lo que, para este

estudio se ha considerado dos de las zonas más importantes en el desarrollo de arrecifes de coral, como son: La Gran Barrera de Coral Australiana que presenta variedad en diversidad de corales con características propicias para el desarrollo de arrecifes coralinos (Swain, 2011) y la Barrera de Coral Mesoamericana, segundo arrecife más grande del mundo, albergando especies en peligro de extinción volviéndolo uno de los ecosistemas más importantes del hemisferio occidental (Molina, 2020).

En el Pacífico Oriental Tropical (POT) los arrecifes coralinos son reconocidos como los más periféricos y aislados a escala global debido a que están separados por 6,000 km de las comunidades geográficamente más cercanas, situadas en las islas del Pacífico central y la región Indo-Occidental (Stranges et al, 2019; Baums et al, 2012). En el POT, las características climáticas y oceanográficas tienen influencia en las condiciones de crecimiento de los corales, debido a que se ven limitadas por las fluctuaciones estacionales de temperatura, las altas concentraciones de nutrientes y turbidez de surgencias, además, a los bajos valores de pH naturales (Manzello et al, 2008); como resultado, los arrecifes son pequeños, estructuralmente simples y constituidos por pocas especies (Stranges et al, 2019). Sin embargo, estos cuentan con una gran diversidad específica a causa de sus complejos sistemas estructurales y variedad de hábitats (Glynn, 2003).

En el POT, Ecuador se ubica en una zona singular de transición a causa de las diferentes corrientes y sus diversas características, causando influencia en la distribución biogeográfica de las especies presentes en el país. Por un lado, esta influenciado por la corriente de aguas tropicales en la zona norte (Corriente de Panamá), mientras en la zona sur se tiene la influencia de una corriente templada con aguas más frías (Corriente de Humboldt), caracterizado por un fuerte gradiente termohalino (Nazca, 2005).

Estas condiciones oceanográficas influyen de una forma directa en la alta biodiversidad, crecimiento, comportamiento y la supervivencia de organismos en los ecosistemas marinos como los arrecifes coralinos (Johansen, 2014), que en la actualidad se ven afectados por el cambio climático, provocando alteraciones a nivel de temperatura que reduce el desarrollo de la cobertura coralina, de modo que, surge la necesidad de implementar técnicas eficientes de monitoreo que mejoren el alcance espacio temporal de la observación de datos como la teledetección.

La teledetección permite monitorear la tierra y sus océanos a una escala global, proporcionando importantes registros ambientales que permiten un seguimiento constante de variables en tiempo real sobre atributos biofísicos (Lyons et al, 2020), llegando de esta manera a lugares donde el acceso para el ser humano es limitado, representando una herramienta valiosa para diversos estudios como biodiversidad, cambio climático, fenómenos meteorológicos, degradación de hábitats, etc. Por ello, el

uso de esta herramienta en el estudio de parámetros oceanográficos en ecosistemas coralinos de diferentes partes del mundo hace posible monitorear el estado de estas áreas en tiempo real, en base a variables como la Temperatura Superficial del Mar (TSM), salinidad, las corrientes y la concentración de clorofila-*a*.

En Ecuador existe un limitado conocimiento sobre las condiciones de los parámetros físicos en zonas arrecifales, por lo que es importante caracterizar estos sitios de importancia ecológica. Por consiguiente, la propuesta de estudio tiene como objetivo, evaluar el ambiente físico marino en el “Islote el Pelado”, a través del análisis de información obtenida de sensores remotos (teledetección); y establecer diferencias con los ambientes coralinos de “Isla Lizard” en la Gran Barrera de Coral e “Isla Cozumel” en el arrecife Mesoamericano, para lo cual se emplea información del periodo 2012 – 2021.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el mundo existen grandes formaciones coralinas en regiones tropicales de gran importancia debido a su alta complejidad estructural y diversidad de especies, como el arrecife mesoamericano y la gran barrera de coral australiana; así también en el Pacífico Oriental, donde Ecuador posee colonias coralinas que se distribuyen a lo largo del perfil costero alrededor de islas e islotes, como en la región insular de las Islas Galápagos, donde el ambiente de estas formaciones coralinas se ven expuestos a cambios en los parámetros físicos ambientales a causa de diversos factores como las corrientes o el cambio climático.

Dada la sensibilidad que tienen los arrecifes coralinos a las perturbaciones ambientales como la elevada temperatura del mar, bajas salinidades, altas concentraciones de clorofila-*a* entre otros factores, el crecimiento, abundancia y diversidad de especies coralinas se ven limitadas, siendo así que en Ecuador existan parches coralinos como lo hay en el Islote El Pelado y no grandes formaciones de arrecife como en la Gran Barrera de Coral y el arrecife Mesoamericano. Sin embargo, en un contexto de cambio climático donde la temperatura, así como otros parámetros oceanográficos son determinantes en la adaptación y resiliencia de animales acuáticos, específicamente los constructores de arrecifes, las condiciones físicas juegan un papel fundamental.

Es por ello, por lo que se requiere contemplar un análisis de las condiciones oceanográficas del Islote El Pelado realizando una comparación con áreas arrecifales de la Gran Barrera de Coral y el Arrecife Mesoamericano que nos permitan evaluar sus condiciones determinando sus similitudes o diferencias, otorgando así una visión más específica del estado del ambiente físico a las que está sujeta el arrecife del Islote El Pelado, determinando si las condiciones físicas permitirán mantener un arrecife coralino de mayor extensión.

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad los océanos están experimentando cambios importantes debido a los efectos del calentamiento global, donde el aumento de las temperaturas hace que los océanos se calienten y por lo tanto se vuelvan más ácidos, lo que afecta directamente la distribución y abundancia resultantes en el entorno marino, uno de los cuales son los arrecifes de coral.

Dado que las grandes formaciones de corales se desarrollan en zonas tropicales donde las variables ambientales se encuentran en rangos óptimos, el presente estudio se centró en la investigación de las condiciones oceanográficas físicas de tres arrecifes coralinos, dos de los cuales son considerados los más importantes debido a la abundancia y diversidad de especies que albergan, siendo estos Isla Lizard de la Gran Barrera de coral e Isla Cozumel en el arrecife Mesoamericano; el tercero forma parte de las áreas protegidas del Ecuador: La Reserva Marina El Pelado en el Pacífico Oriental Tropical.

Existen amplias investigaciones en los arrecifes de coral de Isla Lizard e Isla Cozumel, donde se registran la cobertura, diversidad y crecimiento de los corales duros (hermatípicos), así como de las variables ambientales realizadas por instituciones y organizaciones internacionales dedicadas al monitoreo de los arrecifes coralinos, por lo contrario, en el Islote el Pelado las investigaciones relacionadas al área coralina se

han basado en el registro de especies y en las propiedades químicas de octocorales y otros organismos sésiles, además, el monitoreo de las variables oceanográficas, por parte de institutos de investigación nacionales, no se enfocan en la influencia de estos parámetros en los corales. Siendo esto un justificativo importante de la investigación, dado que según Glynn et al (2018) las distintas partes oceanográficas fortalecen los ecosistemas marinos, dando forma y reflejando los hábitats locales de arrecifes de coral a través de procesos oceánicos de micro y meso escala que son controlados e impulsados por señales oceánicas amplias.

De tal manera, resulta de especial interés evaluar los parámetros físicos del medio marino del Islote el Pelado, y con la presente investigación se da a conocer el estado del ambiente físico alrededor de formaciones coralinas, mediante una comparación con las condiciones del ambiente físico de los ecosistemas coralinos en Isla Lizard de la Gran Barrera de Coral e Isla Cozumel en el arrecife Mesoamericano, por medio de datos en tiempo real tomados a través de teledetección activa, la cual dispone de información satelital registrada por grandes periodos de tiempo.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el ambiente físico marino en el “Islote el Pelado”, a través del análisis de información obtenida de sensores remotos, estableciendo una comparación con los ambientes coralinos de “Isla Lizard” en la Gran Barrera de Coral e “Isla Cozumel” en el arrecife Mesoamericano, durante el periodo 2012 – 2021.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el ciclo anual del ambiente físico marino en base a la corriente geostrófica superficial; temperatura, salinidad superficial y subsuperficial en los tres ambientes coralinos, con información de sensores remotos entre 2012-2021.
- Determinar la productividad primaria mediante las concentraciones de clorofila- *a* en los tres ambientes coralinos, entre 2012-2021.
- Comparar los ciclos anuales en base a parámetros físicos de tres ecosistemas coralinos, estableciendo las diferencias significativas.

5. HIPÓTESIS

H1: Las características físicas en base a los parámetros de corriente geostrófica superficial; temperatura, salinidad superficial y subsuperficial, así como de clorofila-*a* del ambiente coralino de la reserva marina El Pelado no son similares a las condiciones físicas del ambiente de los arrecifes Mesoamericano y Australiano.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. ECOSISTEMAS ARRECIFALES

Los arrecifes pueden ser formaciones geológicas, compuestas por partículas no biológicas que sustentan gran parte del medio; así como arrecifes biológicos, formados por materia con características biogénicas que están en constante crecimiento (Santander, 2018). Uno de los principales arrecifes biológicos son los arrecifes coralinos, mismos que se dividen en 4 tipos, de barrera, costero, parche y atolón. En los arrecifes coralinos podemos encontrar dos tipos; corales blandos (octocorales) y corales duros (con esqueleto calcáreo), los cuales son considerados unos de los ecosistemas marinos más importantes donde los corales constituyen la base física y dinámica de estos hábitats por medio de la segregación de material calcáreo llamado carbonato de calcio. Esta sustancia se produce principalmente por los pólipos de corales formadores de arrecifes de la subclase Hexacoralia (corales duros), sustancia el cual está conformado el esqueleto del animal (CONABIO, 2022). Los corales pueden formar grandes estructuras a medida que crecen y cubren el fondo marino, afectando la morfología costera incluyendo ambientes o ecosistemas adyacentes (Rodríguez, A., & Tortolero, J, 2014). Por otro lado, los Octocorales son denominados corales blandos debido a que poseen un esqueleto de aragonito y no calcáreo (CONABIO, 2022), se les puede ver formando densas comunidades de “árboles” en el fondo del océano, también conocidas como “bosques de animales” (Abad et al, 2022).

Los arrecifes coralinos son considerados ambientes con gran valor ecosistémico, puesto que dispone de una amplia riqueza de especies que desempeñan complejas relaciones a nivel ecológico, a pesar de cubrir tan solo el 0,2% del área total del océano (Rabelo, 2012). Su distribución se limita exclusivamente a regiones en las que imperan agua marinas tropicales y subtropicales, entre las latitudes 30°N y 30°S en los trópicos de Cáncer y Capricornio, pero su distribución en este rango de espacio es desigual (Santander, L., & Propin, E., &, 2009).

Estos entornos arrecifales constituyen ambientes productivos y centros de la vida marina (EPA, 2022) dado que albergan al 25% de las especies marinas, gracias a que este ecosistema presenta diversos biotopos y hábitats asociados con diferencias entre sí, como por la naturaleza del sustrato (sedimento, rocas, escombros), sus componentes bióticos (algas, esponjas, abanicos de mar) (Santander, 2018) y por la presencia de animales con tipos de crecimiento como: sésiles, de vida libre o mixta, también con distintas asociaciones coloniales o aislados (Leão, 2016); constituyendo importantes zonas de reproducción y criaderos de especies dando gran relevancia a los tipos de sustrato como factor determinante en el desarrollo de las comunidades de animales (Barreiro, S., & García, R., 2022).

6.1.1. TIPOS DE ARRECIFES CORALINOS

De acuerdo con lo propuesto por Alcolado (2004) clasifica a los arrecifes coralinos bajo los criterios de origen, forma y localización con respecto a la línea de costa, diferenciándolos en tipo costero, de plataforma, barrera, atolón y arrecifes de parches.

ARRECIFE COSTERO

Su crecimiento tiene lugar en las cercanías de la línea costera de islas formando una franja coralina compuesta por una laguna poco profunda con fondos arenosos. La estructura de la parte oceánica del arrecife depende de la pendiente la cual puede ser gradual o abrupta hasta llegar al fondo marino (Alcolado, 2004).

ARRECIFE DE BARRERA

Se distingue por presentar laguna ancha y profunda con pendientes en ambos costados (externo e interno) de la barrera, separada de la costa por un amplio canal. Su formación se puede dar a partir de arrecifes de bordes producidos por fenómenos de subsidencia o aumento del nivel del mar (CONABIO, 2022).

ATOLONES

Se originan paulatinamente a partir del hundimiento de una isla volcánica, distinguiéndose por tener forma de un anillo, circular u oval que rodea un arrecife coralino con una laguna central poco profunda que acumula arena sobre su corona, originando islas separadas por profundos canales (Crudo, 2019).

ARRECIFES DE PARCHE

Según lo dicho por Alcolado (2004), los arrecifes de parche son estructuras conglomeradas de corales que desarrollan estructuras o parches con formas variadas que se extienden cerca de los 10 m. Se consideran parte de los fondos arrecifales de tipo borde o barrera distribuidos en las lagunas arrecifales y en la plataforma marina.

6.2. IMPORTANCIA DE LOS ARRECIFES

Los arrecifes de coral son ecosistemas claves para el planeta debido a que proporcionan diversos servicios de importancia para el ser humano como la protección de las comunidades costeras, sirviendo como barrera ante fuertes oleajes producto de tormentas, modificando la dirección de las olas y el transporte de sedimento, absorbiendo y disipando su energía, lo cual ayuda a evitar la erosión costera e inundaciones (Secaira et al, 2017). Además de la protección, otra función importante

de los arrecifes es su capacidad de capturar el dióxido de carbono de la atmósfera y fijarlo en sus esqueletos; otorgándole la propiedad de ser sumideros de carbono en el medio marino (Upegui, 2020).

Los arrecifes coralinos gozan de una gran diversidad de especies debido a que representa un hábitat de refugio, crianza y alimentación de innumerables especies que desempeñan roles importantes como productores primarios, constructores del mismo arrecife, filtradores y depredadores (Juárez, 2021), así mismo para peces, crustáceos y otros invertebrados de importancia comercial como son las langostas (*Panulirus spp*), meros (*Epinephelus spp*), pargos (*Lutjanus spp*), entre otros recursos destinados a la pesca (Croquer et al, 2021), las cuales constituyen una fuente de ingresos y alimento para millones de personas.

6.3. ARRECIFES CORALINOS EN REGIONES TROPICALES

6.3.1. GRAN BARRERA DE CORAL AUSTRALIANA (GBR)

La Gran Barrera de Coral (GBR) sustenta uno de los ecosistemas marinos megadiverso conocido por el hombre, está ubicada frente a la costa noreste de Australia en la plataforma continental entre los 9°S y 24°S, tiene una longitud de 2300 km a lo largo de la costa y cubre un área de 330 km de ancho (McKinnon et al, 2013), posee una

laguna poco profunda (<50m) y las partes principales del sistema incluyen 3000 arrecifes de coral que abarca 760 barreras arrecifales, 300 islas o cayos, cerca de 600 islas altas o continentales, 4300 km² de pastos marinos y 3900 km² de manglares costeros (Brodie et al, 2007; GESAMP, 1999).

La Gran Barrera está reconocida como un área de gran belleza a nivel mundial dado a su ambiente único, su tamaño y diversidad. La GBR alberga una variedad de vida como arrecifes de coral, mamíferos marinos, seis especies de tortugas marinas, más de 1500 especies de peces, 400 tipos de moluscos, 500 especies de algas marinas, así como más de 200 tipos de aves (Swain, 2011).

Su formación data hace más de 500.000 años en la plataforma continental nororiental de Australia (GESAMP, 1999). La protección de la GBR se decretó en 1975 con el establecimiento del Parque Marino GBR siendo administrado por la Autoridad del Parque Marino de la Gran Barrera de Coral (GBRMPA). Gracias a su diversidad excepcional, funciones ecológicas y ecosistémicas, así también la presencia de especies únicas que forman parte de la GBR, en 1981 fue declarada Patrimonio de la Humanidad siendo añadida a la Lista del Patrimonio Mundial por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (Swain, 2011).

6.3.1.1. ISLA LIZARD

En la zona norte de la Gran Barrera de Coral se encuentra Isla Lizard a 270 kilómetros al norte de Cairns, en 30 km de la costa. Alrededor se encuentran tres islas más pequeñas, Palfrey, South Island y Bird, juntas forman el grupo de Isla Lizard, las cuales se caracterizan por ser islas de granito del Pérmico tardío que forman parte del conjunto de islas altas continentales de tendencia norte sur de GBR (Saunders et al, 2015). Está rodeada por un paisaje marino de aguas poco profundas, generalmente a menos de 30 metros que se encuentran protegidas por el Parque Nacional Marino, Conservación e Investigación Científica. Las pequeñas islas están rodeadas por arrecifes de coral y un arrecife delgado rodea la mayor parte de la isla principal. (McWilliam et al, 2017).

El área terrestre comprende el parque nacional con un único desarrollo costero abarcado por la Estación de investigación de Lizard Island operada por el Museo Australiano y un complejo pequeño de lujo (Saunders et al, 2015).

6.3.1.2. CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS EN LA GRAN BARRERA DE CORAL

En el continente insular australiano se presentan corrientes limítrofes superficiales y subsuperficiales preponderantes de sur a norte que descienden por la plataforma continental y el talud, impulsadas por los vientos predominantes del sureste (Wijeratne et al, 2018). En la costa este las corrientes limítrofes transportan aguas cálidas a través de la corriente Australiana Oriental (EAC) que fluye hacia el sur (al sur de 16°S), Leeuwin (LC) y la corriente de Hiri fluye hacia el norte (al norte de 16°S) (Figura 1) (Brinkman et al, 2002). Estas corrientes limítrofes son reforzadas por los flujos de las cuencas del pacífico meridional y del sur del Océano Índico (Pattiaratchi, C., & Siji, P., 2020).

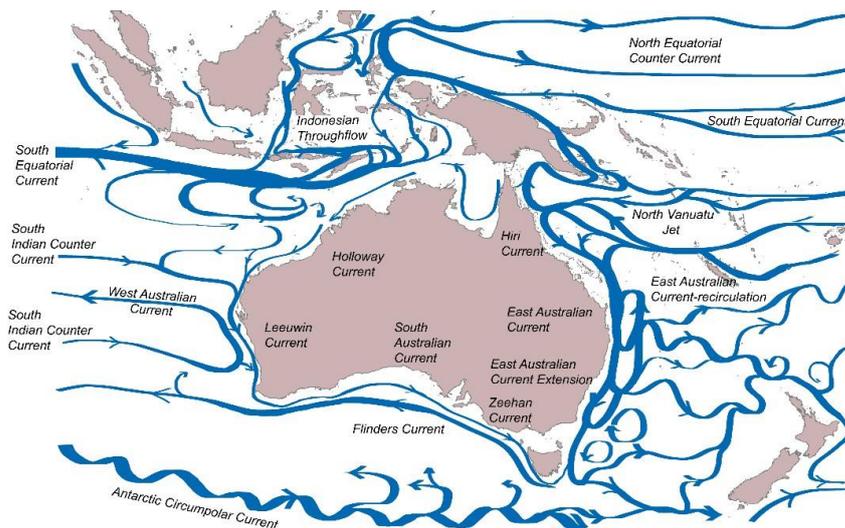


Figura 1. Corrientes superficiales medias alrededor de Australia (modificado de (Wijeratne et al, 2018).

Fuente: Pattiaratchi & Siji, 2020.

La corriente oceánica más grande de las costas australianas es la llamada corriente de Australia Oriental (EAC), es caracterizada como una corriente cálida que fluye hacia el sur. La EAC es alimentado por la Corriente Ecuatorial del Sur (SEC) que cruza el Mar de Coral y llega a la costa de Australia. La SEC se divide por complejas vías alrededor de los 15°S formando complejas vías hacia el North Vanuatu Jet (NVJ) y el South Vanuatu Jet (SVJ). El SVJ a su vez se divide en dos chorros en el North y South Caledonian Jet (NCJ/SCJ) (Figura 2). La entrada de estos chorros lleva agua oceánica dentro de la GBR. Cuando la NCJ llega a la costa de Queensland, aproximadamente entre los 14.5°S y 20°S se divide en una rama norte que forma la corriente del norte de Queensland (NQC) y una rama sur que ingresa a la GBR a través de áreas de arrecifes. Los demás chorros se dirigen hacia el sur convirtiéndose en la EAC (Mao, Y., & Luick, J., 2014).

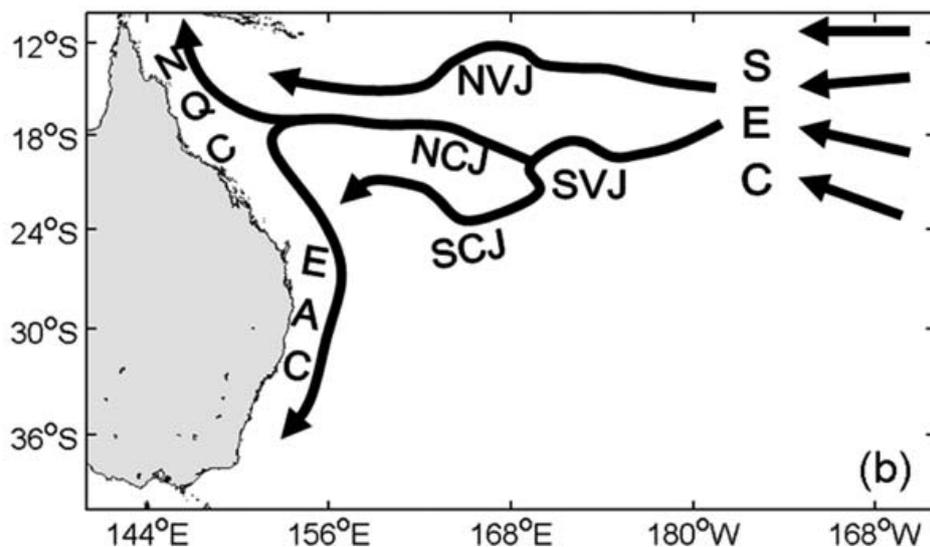


Figura 2. Esquema de la división de la Corriente Ecuatorial del Sur (SEC) en varios chorros, adaptado de (Ganachaud et al, 2007).

Fuente: Mao & Luick, 2014.

La EAC es una corriente superficial cálida impulsada y controlada por los vientos del Pacífico Sur, mismos que controlan el comportamiento de la corriente durante los diferentes ciclos del año. La EAC tiene su origen en la parte occidental del giro del Pacífico Sur, donde reúne aguas cálidas y baja en nutrientes transportado fauna marina tropical de las regiones subtropicales desde el Ecuador hacia el sur hasta la costa sudeste de Australia. Las características de estas aguas contribuyen a que prospere la Gran Barrera de Coral dada las condiciones fisicoquímicas (Padilla, 2020).

6.3.1.3. CLIMATOLOGÍA DE LA GRAN BARRERA DE CORAL

La GBR y su conjunto de islas al estar ubicadas dentro de los trópicos muestra un clima tropical con presencia de monzones en el que exhibe una estación húmeda (diciembre – abril) y una estación seca (mayo – octubre) (Brodie et al, 2007), con dominancia de los fuertes vientos del sureste durante los meses secos de invierno y vientos variables y débiles en el transcurso de la estación húmeda de verano. Las temperaturas del aire, así como la del mar pueden exhibir variaciones según la estación. Para las zonas costeras la temperatura media del mar se encuentra en un rango de 21°C en meses como julio y agosto, en cambio para enero y febrero a 30°C. En contraste, para las zonas arrecifales la temperatura es menos fluctuante encontrándose en los rangos de 23°C en invierno a 28°C en verano (Swain, 2011).

6.3.2. SISTEMA ARRECIFAL MESOAMERICANO (SAM)

Considerado el segundo ecosistema arrecifal más grande del mundo, se localiza en el Caribe y comprende desde la Isla Contoy al norte de la península de Yucatán hasta la isla Bahía en Honduras. El SAM contribuye al equilibrio y protección de los paisajes costeros, proporcionando fuentes de alimentación y sirviendo de hábitat para la crianza de mamíferos marinos, peces, reptiles e invertebrados, muchos de ellos de importancia comercial y relevancia socioeconómica al proporcionar empleo y ser fuente de ingresos para las personas que viven en las áreas costeras cercanas (Villanueva et al, 2010).

En la sección norte del SAM se encuentra el sistema arrecifal del Caribe Mexicano, donde la formación de arrecifes se extiende a lo largo de 400 km de la costa en el estado de Quintana Roon. Esta área se compone de intersecciones entre áreas de arrecifes de coral, lechos de algas y pastos marinos interconectadas en términos de flujo de energía por medio del movimiento de las especies (Rioja, R., & Álvarez, L, 2018).

6.3.2.1. ISLA COZUMEL

Isla Cozumel se encuentra a 22 kilómetros de la costa este de la Península de Yucatán, México. La isla se caracteriza por una firma ovalada con una zona de mayo longitud

que corre de suroeste a noreste con 46 km, mientras que la parte más pequeña posee 16 km de longitud (Reyes-Bonilla et al, 2014).

Los arrecifes en Cozumel se distribuyen primordialmente en el litoral occidental conformado por estructuras de varios metros sobre la plataforma, siendo los arrecifes más desarrollados en la zona suroeste de Cozumel. En contraste, la costa oriental no conforma grandes extensiones de arrecifes, sin embargo, existen colonias con estructuras de arrecifes distintas (Rioja-Nieto et al, 2018; Reyes-Bonilla et al, 2014). De acuerdo con Quiroga (2019) Isla Cozumel alberga uno de los más importantes arrecifes en el caribe y en el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), dado que conserva en buen estado su ecosistema, el cual provee de servicios ecosistémicos de turismo recreativo.

Isla Cozumel presenta gran belleza paisajística y biodiversidad en las diferentes zonas protegidas por lo que fue designado sitio RAMSAR para la conservación de los humedales (Quiroga, 2019).

6.3.2.2. CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS EN ISLA COZUMEL

La circulación marina en la línea costera de la región del caribe Mexicano está definida por la Corriente Ecuatorial del Norte y la de Guayana, siendo esta la extensión de la corriente Ecuatorial del Sur (SEC). Estas entran al Mar Caribe por medio del Estrecho de las Antillas Menores misma que se convierte en la Corriente del caribe y pasa por el estrecho de Yucatán la cual da origen a diversos giros de importancia en el Golfo de México (Carabias et al, 1998).

El ambiente marino de la isla Cozumel se destaca en gran medida porque en sus costas fluye la Corriente de Yucatán, dotado por un ambiente marino caracterizado por un constante movimiento de las masas de agua en sentido sur a norte con bajo contenido de nutrientes y temperaturas que fluctúan entre los 23 y 30 °C con promedios de 27.5 °C, y salinidad de la columna de agua en promedio de 34.5 ppm. Por otro lado, las corrientes locales predominan de norte a sur, con velocidades que van desde 1 a 3 nudos con una media de 1.5 nudos (Lazcano, 2007), mismas que continúan hasta formar parte de la corriente de Yucatán y posteriormente llegar al golfo de México. Este patrón de circulación favorece a la formación, la extensión y desarrollo de arrecifes gracias a la propagación de sus larvas (Dahlgren, J., & Rodríguez, R., 2003). Los vientos alisios (sursureste) dominan durante gran parte del año, exceptuando en época de invierno cuando hay presencia de vientos fuertes provenientes del norte (Álvarez et al, 2007).

6.3.2.3. CLIMATOLOGÍA DEL GOLFO DE MÉXICO

Dada la ubicación geográfica del Golfo de México, está regido por diferentes estaciones climáticas: tropical, subtropical y templada; de manera que posee un clima que cambia a lo largo del año, dividiéndose en “húmedo” (verano-otoño) en los meses de junio-octubre, “norte o septentrional” (invierno-primavera) y “secas” (primavera) en los meses de noviembre-mayo (De la Lanza Espino, G. & Gómez-Rojas, J. C, 2004). Debido a esto, se registran en verano fenómenos típicos de estas zonas como tormentas tropicales, ciclones y huracanes en el país (Jasso, 2012).

6.4. ARRECIFES CORALINOS EN EL PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL (POT)

En el POT los arrecifes coralinos son comunidades considerados singulares debido a que son relativamente pequeños a comparación con el resto del Pacífico, presentan una baja diversidad de especies coralinas y algunas especies consideradas endémicas. Dado a su estructura física, el tamaño reducido, poca profundidad (5 a 6 metros) en la que se desarrollan, son considerados simplemente comunidades coralinas (Laborda, 2018), representados por los géneros de *Pocillopora*, *Porites* y *Pavona spp.* Sin embargo, cuentan con una gran diversidad de especies con redes alimentarias complejas y una larga historia de crecimiento (Cortés, 2011).

La zona del Pacífico Oriental Tropical comprende ocho países con formaciones coralinas desde el sur del Golfo de California, México (23-25°N), Nicaragua, El Salvador, Costa Rica, Panamá, Colombia hasta el golfo de Guayaquil, Ecuador (2-4°S). Por otro lado, la costa del Pacífico americano está dividida en seis provincias biogeográficas que abarcan regiones tropicales como subtropicales, tales son: Provincia de California, Mexicana, Panámica, Galapaguense y Peruano-Chilena (Cortés, 2011; Guzmá, H., & Cortés, J, 1993). Sin embargo, a criterio de Glynn y Ault (2000) dividen esta región en tres provincias conformadas por arrecifes coralinos: 1) Costa Rica continental a Ecuador, incluyendo las islas de Coco y Galápagos; 2) Norte de México continental e Islas Revillagigedo; por último 3) El grupo de islas de Malpeo junto al atolón Clipperton y las islas Johnston y Fanning en Hawái (Figura 3).

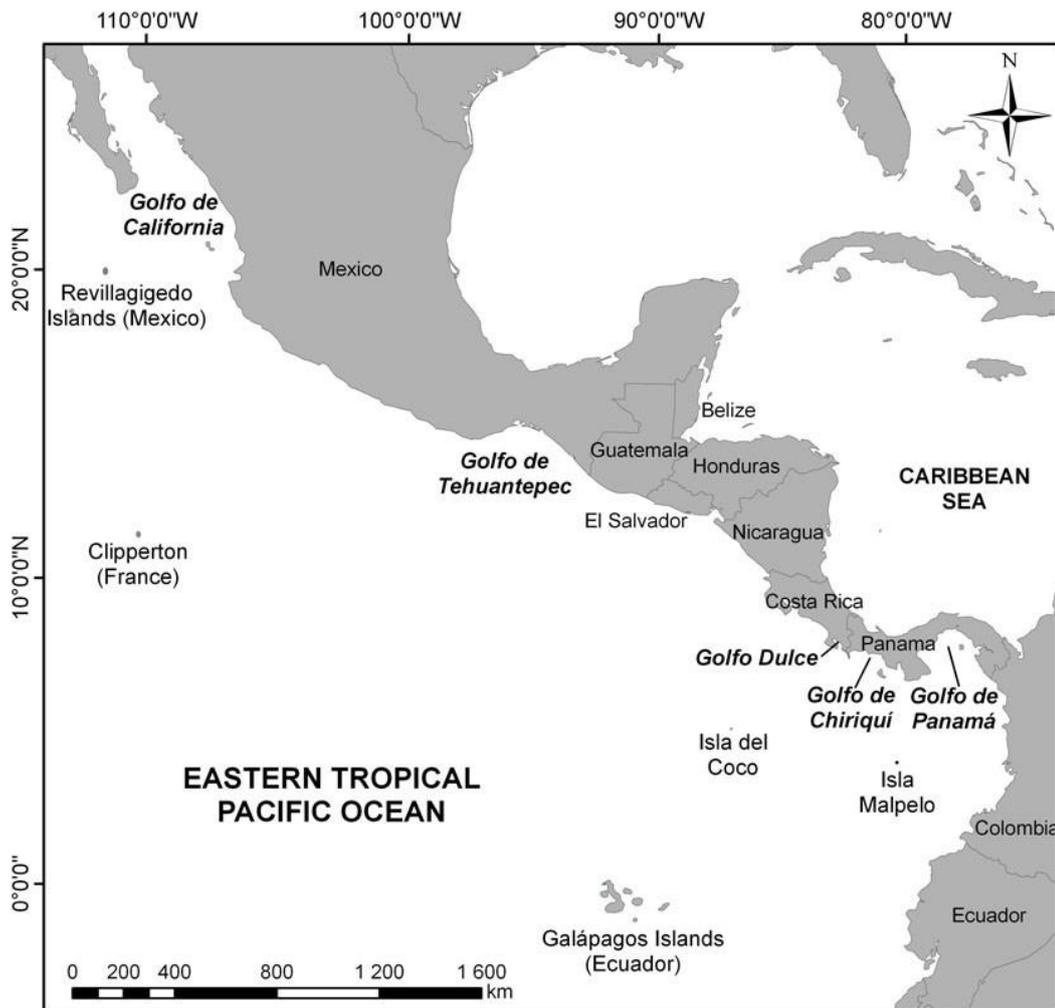


Figura 3. Arrecifes de Coral del Pacífico Tropical Oriental.

Fuente: Taylor, 2011.

6.4.1. ARRECIFES EN ECUADOR

Ecuador es considerado una zona con alta riqueza de especies a lo largo de sus 2.900 kilómetros de costa continental, dado a su ubicación en la vasta región Panámica-Pacífico, misma que se extiende desde el sur de Costa Rica hasta el norte de Perú, en

los que se destacan características geológicas como acantilados, crestas y llanuras, así como estuarios y lagos (Boothroyd et al , 1994; Olson, 1961).

En la costa ecuatoriana se distribuyen colonias coralinas en diversas zonas continentales, así como en las Islas Galápagos. En el continente los arrecifes se distinguen por una constitución rocosa más los corales presentes, dado esto se los denomina arrecifes rocosos, mismo que presentan especies de corales duros y suaves albergando gran variedad de especies tanto peces e invertebrados en los diferentes sustratos. Su disposición va desde el norte empezando en Muisne y Atacames (Provincia de Esmeraldas), en Manabí se presentan en Jaramijó, Manta, Salango, Ayampe, Puerto López, por último, en Ayangue (Santa Elena) (Ponce B. , 2017).

Los diversos reportes acerca de pequeños arrecifes rocosos en varias zonas de la costa ecuatoriana destacan a los octocorales como formas distintivas que dan la compleja estructura en las comunidades bentónicas sobre sustratos rocosos (Sascha et al, 2018).

De acuerdo con los reportes de (Cárdenas, M., y Triviño, M., 2013; Cárdenas et al, 2018; Cárdenas et al, 2018), en la Reserva Marina El pelado se han registrado especies de corales duros o hermatípicos en menor proporción como los del orden Scleractinia destacándose los *Pocillopora* reconocidos como el género predominante en el POT, así también se registran Octocorales resaltando dos familias con mayor presencia

Gorgoniidae y Plexauridae en los diferentes bajos, siendo el orden más abundantes en el Islote el Pelado (Anexo 1).

6.4.2. CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS EN ECUADOR

La costa ecuatoriana se caracteriza por la presencia del Frente Ecuatorial (FE), compuesto por corrientes marinas que dotan de peculiaridad las aguas, además de provocar una zona de singular transición debido a las características físicas, químicas y biológicas que poseen, mismas que otorgan condiciones favorables para el desarrollo de las comunidades marinas (Figueroa, 2015), determinando los patrones de distribución geográficas de las especies en la región (Terán et al, 2004).

Las corrientes que dominan el frente ecuatorial son las aguas superficiales cálidas de la corriente de Panamá que se ubica al norte de la región y aguas frías de la corriente costera de Perú (Humboldt) que se extiende desde el sur del Ecuador hacia las Islas Galápagos (Figura 4), otorgando características en los meses de transición en el que la influencia de la zona de convergencia disminuye dado que los meses de junio hasta noviembre el frente ecuatorial se traslada hacia el norte produciendo aguas con temperaturas bajas de 15°C - 19°C con salinidades de 35 UPS, mientras que en los meses de diciembre a abril el frente se desplaza hacia el sur resultando en la presencia de aguas >25°C y salinidades bajas de 33.5 UPS, dotando de marcadas variaciones

climáticas a la costa ecuatoriana (Okuda et al, 1983), causadas por las diferentes características de temperatura, salinidad y nutrientes que posee cada corriente.

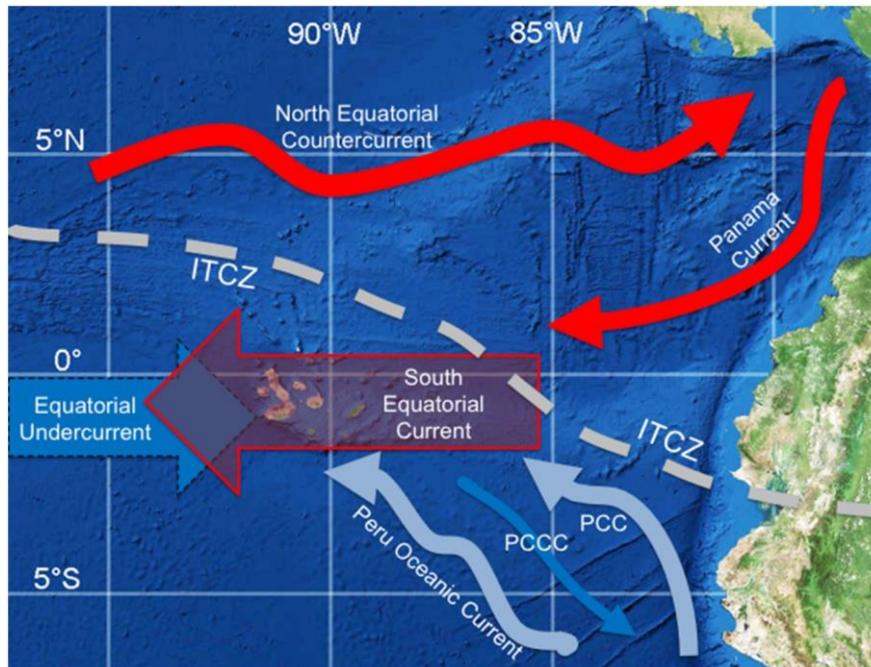


Figura 4. Principales corrientes oceanográficas que atraviesan la costa ecuatoriana. Corrientes cálidas (rojas) ubicadas al norte de la zona de convergencia intertropical (ITCZ) y corrientes frías (azul) al sur.

Fuente: Glynn et al ,2018.

6.4.3. CLIMATOLOGÍA DEL ECUADOR

Ecuador está ubicado en el noreste de América del sur, siendo bañadas sus costas por el Océano Pacífico. Lo cruza la línea equinoccial o ecuatorial (de ahí su nombre), por lo que geográficamente se encuentra en la zona intertropical en la que se extiende entre las latitudes $1^{\circ}30'N$ y $5^{\circ} S$ y longitudes $75^{\circ} 20'W$ y $91^{\circ} W$ (Barros, J., & Troncoso, A., 2010).

Dada su ubicación geográfica, las costas ecuatorianas tienen la presencia de corrientes marinas con diferencias notables en sus parámetros fisicoquímicos, así como la presencia de las cordilleras Oriental y Occidental en altitudes superiores a los 6000 m en sentido norte - sur, que otorgan condiciones geográficas con gran relevancia que inciden en el clima del Ecuador (Barros, J., & Troncoso, A., 2010).

En consecuencia, Ecuador presenta poca estacionalidad en el año, resaltando solo dos estaciones climáticas: húmeda o invierno y seca o verano, los cuales se ven fuertemente influenciado por la topografía y su rango altitudinal (0 a 6300 m) lo que genera un vasto gradiente de temperaturas que van de ~ 0 a 26 grados centígrados de promedio anual. La duración de la temporada tiene variaciones según la región. En la costa la estación lluviosa inicia de diciembre a mayo; y la temporada seca ocurre de junio a noviembre. En contraste, la región Andina presenta la estación lluviosa de octubre a mayo y una

época seca de junio a septiembre. Para la Amazonía existe una diferencia siendo para el norte (provincia de Sucumbíos), una temporada de lluvias que dura de marzo a noviembre mientras que la seca de diciembre a febrero, siendo para el resto de la región el mismo patrón estacional al Andino (Valera, A., & Ron, S., 2018).

6.5. FACTORES QUE AMENAZAN A LOS ECOSISTEMAS ARRECIFALES

6.5.1. CAMBIO CLIMÁTICO

El clima mundial cambia constantemente debido a las frecuentes acciones del ser humano, mismas que han causado el llamado cambio climático que resulta del incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera las cuales amenazan gravemente a distintos ecosistemas y los procesos biológicos en animales (Pratchett et al, 2008).

El cambio climático ocupa los primeros lugares en los problemas que están afectando cada vez más a los ecosistemas marinos, causando cambios drásticos en la composición de especies y estructura comunitaria que son altamente sensibles (Pratchett et al, 2008), incluidos los organismos sésiles formadores de hábitats (Poloczanska et al, 2013) como las algas marinas, manglares, pastos marinos y corales los cuales son considerados

ingenieros de ecosistemas clave y particularmente vulnerables a las olas de calor (Babcock et al, 2019).

Un efecto del cambio climático es el incremento de la temperatura global, puesto que según (IPCC, 2022) estima que la temperatura en los próximos 20 años experimentará un aumento de 1.5°C, afectando a los océanos debido a que estos han sido el gran sumidero global de carbono y calor del cambio climático (Samaniego, 2022).

El calentamiento de las aguas sumado a otros factores estresantes como la acidificación, cambios en los niveles de nutrientes y poco oxígeno en los sistemas marinos ha provocado cambios en la fisiología, crecimiento, diversidad y distribución de especies en los ecosistemas (IPCC, 2022), debido a que destruyen los arrecifes de coral produciendo el llamado blanqueamiento coralino, y consigo alteran a las comunidades de organismos que dependen directa o indirectamente de los arrecifes lo que conlleva al cambio en las cadenas tróficas (WWF, 2006).

6.5.2. BLANQUEAMIENTO CORALINO

La mayoría de los corales viven en una relación simbiótica con algas unicelulares llamadas zooxantelas, mismas que pertenecen al grupo de dinoflagelados que se alojan en el tejido del coral. Estas zooxantelas son la principal fuente de alimento del coral,

dado que producen compuestos energéticos de procesos fotosintéticos (Gómez et al, 2011).

Las altas temperaturas del mar combinadas con la intensa luz solar provocan estrés térmico en los corales. Este estrés puede causar la interrupción de los procesos fotosintéticos normales de las zooxantelas del coral, lo que conlleva al blanqueamiento coralino (Conservancy, 2022). El proceso se da cuando el alga endosimbiótica (Zooxantela) y sus pigmentos fotosintéticos se reducen o degradan dentro del coral siendo incapaces de proveer alimento, lo que resulta en la ruptura de la relación coral-alga, esto conduce a la disminución del crecimiento y la mortalidad (Strychar et al, 2004).

El blanqueamiento coralino se ha convertido en uno de los grandes problemas que enfrentan estos ecosistemas a nivel mundial (Strychar et al, 2004), afectando a un sin número de especies que dependen de estos hábitats para desarrollarse. La temperatura es uno de los factores ambientales clave para el correcto funcionamiento de los corales que forman y construyen los arrecifes. De acuerdo con la bibliografía, un aumento de 1-2°C por encima del rango tolerante de los arrecifes es suficiente para provocar el fenómeno del blanqueamiento (Villanueva et al, 2010).

6.5.3. CONTAMINACIÓN MARINA

La contaminación es la principal causante de grandes daños al medio marino y sus recursos, productor de enfermedades, por lo que se ven afectadas las plantas y animales de los que vive el ser humano, y de esa parte del proceso natural que mantiene la vida en los océanos, su autorregulación y mantenimiento.

En Ecuador, sus playas a lo largo de la costa tienen una extensa variedad de flora y fauna marina, mismas que son las bases del turismo siendo este gran parte de su economía sumado a las actividades marinas como la pesca (Puente-Padilla et al, 2020). Sin embargo, estas actividades se ven afectadas por la contaminación y los efectos negativos sobre la vida marina debido al aumento de las actividades humanas, la mala gestión de los desechos y el agua, la pesca excesiva, así como las aguas residuales sin tratar, afectando tanto a zonas costeras con playas y zonas rocosas como a los arrecifes de coral (Acosta, 2022).

6.5.4. ACIDIFICACIÓN DEL OCÉANO

Los cambios a nivel global causados por el calentamiento afectan los procesos físicos, químicos y biogeoquímicos de océanos y costas, puesto que modifica su estructura

ecológica y funciones principales, de tal manera que afectan los servicios ambientales y los beneficios que brindan los ecosistemas marinos (Rojas, P., & Pabón, J., 2015).

Las constantes emisiones de gases de efecto invernadero, en especial el dióxido de carbono por parte del ser humano está provocando el continuo aumento del calor en la atmosfera lo que provoca un incremento de la temperatura de la tierra. Como consecuencia, los océanos al ejercer su función de reductor natural de carbono mediante mecanismos de captura y almacenamiento de este elemento están causando un proceso que cambia su estructura química conocido como acidificación.

Esto representa una amenaza para los organismos acuáticos que elaboran sus conchas y esqueletos a partir de carbonato de calcio, como los corales, almejas y cangrejos (Harrould, E., & Savitz, J., 2009), dado que, en el océano, el incremento de CO₂ reduce el nivel de saturación de carbonato de calcio (CaCO₃), incluyendo muestras de aragonito, la cual representa una forma biogénica utilizada de CaCO₃ misma que es liberada por los corales (Pisapia et al, 2019).

6.5.5. FENÓMENO DEL NIÑO (ENOS)

Se denomina El Niño a los ciclos climáticos irregulares que se producen por la interacción entre el océano y la atmósfera, que se manifiesta mediante cambios en los patrones normales de comportamiento de las corrientes oceánicas, flujos de viento y distribución de la precipitación y temperatura (Martelo, 1998). El nombre “El Niño” se debe a que las observaciones de las temporadas más cálidas de temperatura en América del Sur se dan en torno a la Navidad.

El fenómeno de El Niño se ha manifestado periódicamente a lo largo de los últimos miles de años causando consecuencias meteorológicas directas del impacto provocado por las variaciones climáticas destacándose condiciones de baja presión con convecciones y precipitaciones en el Pacífico Occidental, lo cual incluye Indonesia y el norte de Australia, así como un aumento de las precipitaciones en las costas de América del Sur provocando el riesgo de sufrir grandes inundaciones y deslizamiento de tierras. En la zona de África Oriental y Meridional, El Niño causa sequías, por lo contrario que en Centroamérica y el Caribe se manifiestan estados de humedad (Meteorology, 2014).

Ecuador ha experimentado varios eventos negativos de El Niño durante el siglo XX. En particular, los más notables en orden de magnitud descendente han sido los de 1982-

1983, 1957-1958 y 1972-1973 (Paladines et al, 2015). Los efectos drásticos de El Niño suelen darse en la costa y en las Islas Galápagos, trayendo consigo no solo consecuencias económicas y humanitarias, sino también graves impactos a la biodiversidad terrestre y marina con resultados devastadoras para los arrecifes de coral (Ponce, I., & León, J, 2015).

Los eventos de calentamiento han provocado grandes daños a los arrecifes de coral en todo el Pacífico Oriental Tropical (ETP). En Ecuador los primeros registros del impacto del fenómeno de El Niño en los ecosistemas coralinos fueron en 1982-1983 para las Islas Galápagos y las zonas costeras de Cabuya, Los Frailes, Isla de la Plata y Machalilla, los cuales exhibieron gran parte de corales muertos y erosionados a lo largo del marco del arrecife llegando a representar el 95-99% de la cobertura coralina degradada severamente (Glynn, 2017). Cuando las anomalías térmicas son prolongadas y aumentan rápidamente provocan un mayor impacto sobre las comunidades de coral y por consecuencia en todo el arrecife (Cortés, 2011).

6.5.6. FENÓMENO DE LA NIÑA

La Niña se lo considera como el fenómeno climático opuesto a El Niño, mismos que forman parte del componente oceánico del ENOS (Oscilación del Sur). Son la principal causa de la variabilidad climática en la franja tropical del Océano Pacífico (SIAC,

2022). La Niña puede llegar a durar de 9 meses hasta 3 años con características de aguas superficiales relativamente más frías de lo normal para la zona del Pacífico tropical central y oriental (Zarza, 2022).

6.6. ASPECTOS FÍSICOS DEL OCÉANO

6.6.1. TEMPERATURA

La temperatura del agua es un factor que ejerce gran influencia en procesos físicos, químicos, geoquímicos y biológicos, siendo una característica esencial en el ambiente marino debido a que controla las reacciones químico-biológicas vitales en organismos, además, regula de forma parcial las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono (CO₂), lo que otorga diversas características al ecosistema puesto que determina la distribución global de especies marinas (Alvarado, J., & Aguilar, J., 2009). Este parámetro está determinado por las diferentes corrientes oceánicas las cuales tienen implicación en el clima mundial, dando rasgos distintivos a las zonas geográficas donde fluyen, mismas que intervienen en el desarrollo de la vida marina (Cenzano, P., & Torres, Y., 2011).

6.6.2. SALINIDAD

Así como la temperatura, la salinidad es un factor fundamental en los procesos vitales de organismos acuáticos, puesto que su interacción influye en las funciones fisiológicas al regular el balance osmótico, interviniendo en la capacidad de mantener un equilibrio dinámico con el medio (Alpuche et al , 2005). La combinación de temperatura y salinidad da la característica de densidad a las masas de agua, la cual influye en el movimiento vertical y horizontal afectando la distribución de animales marinos en la columna de agua (Alvarado, J., & Aguilar, J., 2009).

6.6.3. CORRIENTES MARINAS

Las corrientes marinas son consideradas elementos indispensables del océano, mismas que se encuentran influenciadas por diversos factores como el sol, luna y viento que producen el constante movimiento de las masas de agua que transportan nutrientes a través de su constante intercambio, lo que hace posible la vida en todo el planeta (Ramírez, 2010).

Las corrientes oceánicas juegan un papel importante como factor regulador del clima, moderando la temperatura de la atmósfera mediante el traslado de ingentes cantidades

de agua y energía en forma de calor, incidiendo no solo directamente en los cambios estacionales de la temperatura del mar, la salinidad y de las concentraciones de nutrientes (Vaz, 2022), sino también contribuyendo al cambio climático. Las corrientes también poseen una fuerte influencia en la vida marina, ya que transportan fitoplancton (productores primarios), zooplancton (alimento base de la cadena trófica) y larvas de organismos acuáticos (Pattiaratchi, C., & Siji, P., 2020), lo que resulta en zonas marinas más productivas que otras influyendo directamente en la distribución de la fauna marina en función del alimento presente.

6.6.4. VIENTOS ALISIOS

La distribución desigual del calor solar a través de la superficie de la tierra crea diferencias de presión entre el Ecuador (zonas de baja presión) y los polos (zonas de alta presión). A medida que el aire cálido y menos denso se eleva desde el Ecuador y fluye hacia los polos, donde se enfría y desciende, una capa de aire frío de alta densidad se mueve fuera de los polos hacia el Ecuador, reiniciando el ciclo. Esta diferencia de temperatura provoca el efecto denominado “Circulación general de la atmósfera” (Barea, 2022).

Este movimiento implica los procesos principales que actúan sobre la superficie del agua (precipitación, olas, evaporación y corrientes marinas), atmosféricos (vientos y

flujos de aire), lo que produce la distinción en el movimiento de los vientos, siendo para el hemisferio sur con dirección a la izquierda y hacia la derecha en el hemisferio norte. A partir de estas propiedades se generan varios sistemas de vientos atmosféricos, uno de ellos los vientos alisios (Lima, C., & Soares, A., 2007). Los vientos alisios ocurren entre el 0° y 30° de latitud soplando masas de aire caliente y húmedo ocurriendo hacia áreas de baja presión en las zonas ecuatoriales, con dirección de este a oeste (Lima, C., & Soares, A., 2007).

6.7. CLOROFILA-A COMO PRODUCTIVIDAD PRIMARIA

La clorofila es un pigmento fotorreceptor responsable del primer paso para convertir la energía solar en energía química y, por lo tanto, la molécula responsable de la existencia de vida superior en la tierra (Benito, 2010). Es usualmente considerada indicadora de la productividad primaria en el océano puesto que representa el principal recurso nutricional para los organismos marinos como el fitoplancton, el cual lo sintetiza como resultado de la fotosíntesis (Tapia, M., & Naranjo, C., 2019).

La concentración de clorofila-*a* en el océano es un distintivo en la distribución y abundancia de productores primarios, por lo que su determinación representa un importante índice de calidad de agua (Tapia, M., & Naranjo, C., 2019), que ha contribuido al análisis de la productividad biológica dado que al ser absorbido por el

fitoplancton provoca un cambio de color en el mar que puede ser detectado por medio de la teledetección oceánica, lo cual trae beneficios al mejorar la identificación de las zonas potenciales de pesca (Poddar et al, 2019), así como determinar la productividad en zonas arrecifales.

6.8. TELEDETECCIÓN O PERCEPCIÓN REMOTA (PR)

La teledetección o percepción remota (PR) se puede definir como la tecnología creada con la finalidad de identificar objetos en la superficie terrestre desde un punto de vista remoto (Konecny, 2014); haciendo referencia a todo instrumento ubicado en el espacio a kilómetros de distancias, orbitando alrededor de la tierra (Purkis, 2018). Estas características tienen la capacidad para monitorear los arrecifes de coral y sus propiedades biofísicas, así como los procesos asociados a escalas regionales y globales (Goodman et al, 2013).

Estas plataformas hacen uso de herramientas llamadas sensores, los cuales detectan, miden y traducen la radiación electromagnética procedente de algún objeto (Jong et al, 2004). Estas interacciones entre la materia y las ondas electromagnéticas son registradas en imágenes por sensores remotos para interpretar sus propiedades (Eakin et al, 2010).

El procesamiento de las imágenes satelitales por medio del uso de los sistemas de información geográfica (GIS) han permitido que la información obtenida a través de la teledetección sea de fácil análisis e interpretación, dado que han demostrado cubrir áreas de difícil acceso y almacenamiento de grandes datos lo cual mejora la comprensión de los fenómenos naturales frente al cambio climático (Ramos, 2020).

6.8.1. PERCEPCIÓN REMOTA DE ARRECIFES CORALINOS

El uso cada vez mayor de diversos sensores de observación de la tierra no solo están produciendo abundante información, sino también una nueva forma de estudiar la superficie terrestre. La teledetección, junto con los métodos añadidos de almacenamiento y proceso de información geográfica, hace posible tener una gran cantidad de información ambiental, parte de la cual esta disponibles en tiempo real (Chuvieco, 2008).

La teleobservación de los arrecifes coralinos comenzó en la década de 1980 utilizando imágenes satelitales de la misión de Landsat 1 que se lanzó al espacio a mediados de década de 1970 (Ramos, 2020). Progresivamente los satélites se han vuelto más sofisticados, sumado que los sistemas de gestión de la superficie cambian, los datos recopilados por sensores remotos se vuelven cada vez más precisos y esto ha llevado a

la integración del conocimiento de los ecosistemas arrecifales (Andréfouet, S., & Payri, C., 2004).

Durante las últimas tres décadas, la utilización de las imágenes satelitales y los sistemas de información geográfica (SIG) han aumentado cada vez más para estudiar los sistemas de arrecifes de coral (Rioja-Nieto, R., & Álvarez-Filip, L, 2018).

Los avances en teledetección y la integración de información sobre los arrecifes de coral han permitido analizar cosas como la distribución espacial y la cobertura, mapas de la población de bentos (diferenciando el coral vivo entre otros organismos del sustrato), registro de blanqueamiento de coral, estudios de batimetría, cambios a través del tiempo, así como localización de arrecifes coralinos en zonas remotas de difícil acceso (Purkis, 2018; Goodman et al ,2014).

6.8.2. SENSORES REMOTOS

Los satélites tienen el potencial de mejorar nuestra comprensión de las amenazas a los arrecifes de coral al proporcionar información global a corto plazo sobre las condiciones ambientales y facilitar información relevante para la gestión espacial y transitoria que no se puede detectar solo con la observación (Eakin et al, 2010).

La adquisición de información implica el uso de dispositivos llamados sensores que pueden detectar o capturar la dirección y ubicación relativas de objetos que estén cerca o lejos de ellos por medio de la radiación electromagnética proveniente de la superficie terrestre o por su propia fuente de radiación en diferentes rangos de longitudes de onda (Pérez, 2007).

Con el desarrollo de estos dispositivos, la ciencia ha logrado tener una expectativa global de las relaciones entre ecosistemas, por medio del avance de herramientas que cubran más terreno desde una perspectiva espacial, permitiéndonos entender los procesos climáticos y sus implicaciones en la tierra (Moreno, 2017).

Las aplicaciones de la teledetección espacial abarcan cada vez más campos (Kogut, 2021), los sensores remotos funcionan bajo distintas condiciones para obtener la mayor información posible. Por lo que se crearon dos tipos de sensores remotos; los capaces de emitir su propia radiación conocidos como sensores activos, a diferencia de aquellos que hacen uso de la radiación solar como fuente de energía, conocidos como sensores pasivos (Figura 5). Gracias a estas herramientas la obtención de información atmosférica ha permitido al hombre modelar con mayor precisión los diversos eventos a nivel global (Moreno, 2017).

Existen diversas aplicaciones en las que se utilizan sensores para obtener información detallada sobre objetos en la superficie terrestre tales como; geología, minería, petróleo, gas, oceanografía, agricultura, seguimiento de desastres naturales como rotura de oleoductos, deforestación e incendios (Pérez, 2007).

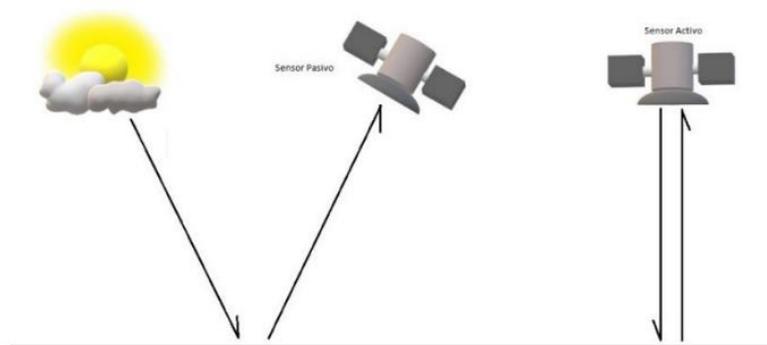


Figura 5. Representación de los tipos de sensores remotos y su proceso de obtención de datos.

Fuente: Moreno, 2017.

7. MARCO METODOLÓGICO

7.1. ÁREA DE ESTUDIO

Para este estudio se considero tres áreas ubicadas en diferentes cuencas oceánicas (Figura 6). La primera localidad es la Isla Lizard que forma parte de la Gran Barrera de Coral Australiana, siendo sus coordenadas geográficas 14°41'08"S 145°26'31'E, el segundo lugar de estudio corresponde al Islote el Pelado ubicado en 1°55'59"S 80°47'20"O en el Pacífico Oriental Tropical, por último la tercer área es la Isla de Cozumel localizada en el Sistema Arrecifal Mesoamericano 20°20'17"N 87°01'41"W. Estas áreas fueron demoninadas como puntos de muestreo (Tabla 1).

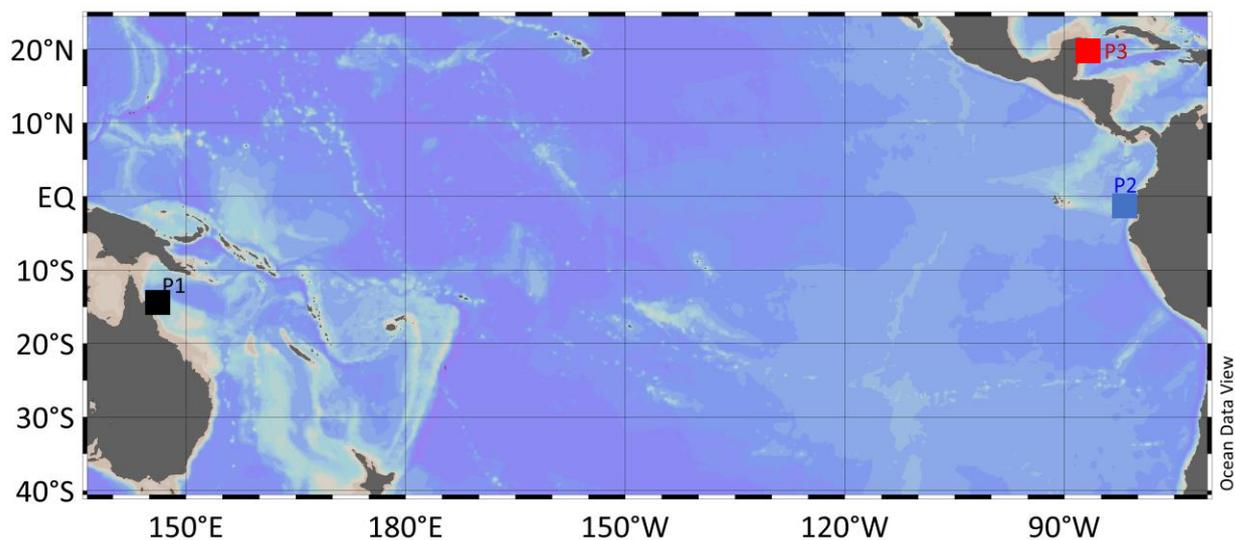


Figura 6. Ubicación geográfica del Área de estudio en 3 sectores de ambiente coralinos de diferentes cuencas oceánicas. P1 - Isla Lizard (Arrecife australiano), P2 - Islote el Pelado (Reserva Marina El Pelado), P3 - Isla Cozumel (Arrecife mesoamericano), QGIS versión 3.28.4.

Fuente: Burgos, 2022.

Tabla 1. Áreas de estudio.

Punto	Arrecife
P1	Isla Lizard (Gran Barrera de Coral)
P2	Islote El Pelado (Reserva Marina El Pelado)
P3	Isla Cozumel (Arrecife Mesoamericano)

Fuente: Burgos, 2022.

7.2. FUENTE DE DATOS

Los conjuntos de datos ambientales de corriente geostrófica superficial, clorofila *a* (CHL-*a*), temperatura, salinidad superficial y subsuperficial fueron obtenidos del Servicio Marítimo perteneciente al Programa Copérnico (<https://resources.marine.copernicus.eu/products>) del período comprendido 2012-2021.

Mediante el visualizador de datos del Servicio Marítimo de Copérnico se seleccionaron las variables, posteriormente se insertó la ubicación geográfica, luego se estableció el periodo de estudio y se descargaron los datos correspondientes a cada sitio y variable.

Los productos obtenidos de Copérnico están dispuestos en formato NetCDF-4 (Common Network Data From por sus siglas en inglés) el cual es un formato destinado al almacenamiento de datos científicos multidimensionales representados en extensiones de archivos NC. El formato de datos se caracteriza por presentar un procesamiento nivel 4 (L4), con una resolución espacial de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ de Latitud y Longitud, con resolución temporal semanal y mensual.

7.2.1. TEMPERATURA SUPERFICIAL EL MAR (TSM)

Los datos de TSM fueron obtenidos del servicio marítimo de Copérnico (URL en la Tabla 2). El conjunto de datos comprende una compilación de 51 archivos NC con imágenes nivel 4 y resolución espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ y temporal de un mes para el periodo comprendido del 2012-2021.

7.2.2. CORRIENTE GEOSTRÓFICA

El conjunto de datos sobre magnitud y dirección de la corriente superficial geostrófica para las tres zonas de estudio fue obtenido del servicio marítimo de Copérnico (Tabla 2) correspondiente al periodo de estudio 2012-2021. La información de corriente geostrófica tiene nivel de procesamiento L4, y resolución espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ con extensión espacial global del océano (Lat -82.13° a 89.88° , Lon 0.13° a 359.98°).

7.2.3. SALINIDAD SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL

Se seleccionaron el conjunto de datos de salinidad superficial y subsuperficial del servicio marítimo de Copérnico por medio del set data llamado “Observación múltiple océano global Temperatura 3D y; salinidad (ups), con características de resolución espacial $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, nivel de elevación 50 y nivel de procesamiento L4.

7.2.4. CLOROFILA A (CHL-A)

Los datos de concentración superficial de clorofila-*a* obtenidos del servicio marítimo de Copérnico (ver Tabla 2), poseen un nivel de procesamiento 4 (L4) con una resolución espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, extensión espacial del océano global (Lat. -82.13° a 89.88° , Lon -179.88° a 179.88°) y temporal mensual.

Tabla 2. Características de los datos obtenidos.

Tipo de producto	Resolución espacial	Escala temporal	Número de imágenes	Sitio Web
Temperatura superficial del mar (T°)	$0,25^\circ \times 0,25^\circ$	Mensual; Enero 2012- Diciembre 2020	51	10.48670/moi-00052
Corriente geostrófica	$0,25^\circ \times 0,25^\circ$	Mensual; Enero 2012- Diciembre 2020	51	10.48670/moi-00052

Salinidad				
superficial y	0,25° x 0,25°	Mensual; Enero 2012-	51	10.48670/moi-
subsuperficial		Diciembre 2020		00052
Clorofila a (mg/m3)	0,25° x 0,25°	Mensual; Enero 2012-	51	10.48670/moi-
		Diciembre 2020		00046

Fuente: Burgos, 2022.

7.3. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Descargadas los datos satelitales, se procedió a su lectura de la siguiente manera. El conjunto de datos de temperatura superficial del mar, salinidad superficial y subsuperficial, corriente geostrofica y clorofila – *a*, se procesaron mediante la herramienta Matlab versión R2022b, donde se obtuvieron matrices que representan a cada sitio en los que se indican los valores para cada variable del periodo seleccionado. Una vez obtenidas las matrices de salida por medio del programa utilizado, se exportaron a hojas de cálculo (Excel), donde se dispusieron en archivos destinados para cada variable. En cada matriz resultante correspondiente a cada sitio, se obtuvo la climatología de los datos para cada variable; la climatología está definida por los promedios mensuales de todos los datos de enero, febrero, marzo, sucesivamente, con el fin de obtener su respectivo ciclo anual de cada una de las variables durante el periodo de estudio (2012-2021) (OMM, 2018).

7.4. DETERMINACIÓN DE PRODUCTIVIDAD PRIMARIA

Para determinar la productividad primaria mediante las concentraciones de clorofila *a* proporcionada por información satelital, se tomó como referencia los rangos de concentraciones propuestos por Tapia (2006).

Tabla 3. Escala de Clorofila *a*: Productividad Primaria, expresado en mg/m³ (Tapia, 2006).

Rangos	Productividad
< 0.20 mg/m ³	Clorofila = Aguas de baja productividad
0.20 – 0.50 mg/m ³	Clorofila = Aguas ligeramente productivas
> 0.50 mg/m ³	Clorofila = Aguas productivas

7.5. MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS

Después de obtenidos los datos por variables (corriente geostrófica; temperatura, salinidad superficial y subsuperficial, clorofila-*a* superficial), se determinó la normalidad de los datos utilizando una prueba de Anderson-Darling. Luego, se realizó una prueba de igualdad de varianzas (homocedasticidad de Levene). De igual manera, para comparar las medias en los distintos puntos de muestreo se aplicó ANOVA de una vía, con $p < 0.05$ como valor de significancia y un test a posteriori de Tukey.

Para verificar la correlación entre las variables y los puntos de muestreo se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP), además de un Dendrograma de Correlación. Todas las pruebas estadísticas se realizaron usando los programas MINITAB versión 19.0 y STATGRAPHICS CENTURION versión 16.1.03.

8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

8.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

En referencia al primer objetivo se describe el ciclo anual del ambiente físico marino en base a la corriente geostrófica superficial; temperatura, salinidad superficial y subsuperficial de los tres sitios de estudio.

8.1.1. CIRCULACIÓN GEOSTRÓFICA

En la gráfica 1, se muestran las características de dirección y magnitud de la circulación geostrófica con respecto a los tres puntos de estudio (P1, P2, P3) correspondiente al ciclo anual del periodo de análisis 2012-2021.

Se puede observar que la dirección de las corrientes (gráfico 1a) varían siendo para P1 (flecha color negro) en sentido noroeste (NO) desde enero hasta agosto presentando un ligero cambio en dirección al noreste (NE) desde septiembre a diciembre.

Para el sitio P2 (flecha color azul) la dirección se presenta en sentido sur (S), contrariamente para el sitio P3 (flecha color rojo) el sentido de la corriente se presenta con una fuerte orientación hacia el noreste (NE).

En cuanto a la característica de magnitud notamos que existe gran diferencia entre los sitios de estudio, siendo P1 representado por corrientes que oscilan entre 0.1 a 0.3 m/s en los meses de marzo a mayo. Para el sitio P2 las corrientes muestran una magnitud de 0.1 m/s durante todo el ciclo anual del periodo de análisis, en contraste con lo reflejado para el sitio P3, el cual muestra magnitudes mayores de 0.6 a 0.7 m/s.

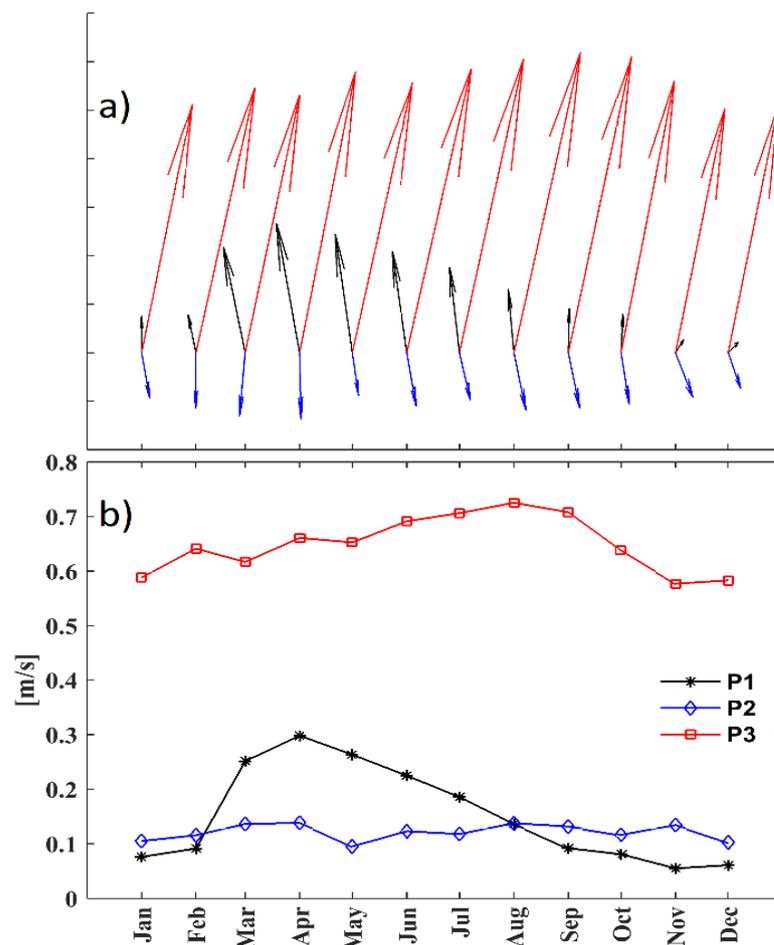


Gráfico 1. Ciclo anual de la corriente geostrofica; a) Dirección b) Magnitud de la corriente en los tres sitios seleccionados de la figura 1. Ciclo anual de la corriente geostrofica; a) Dirección, b) Magnitud de la corriente en los tres sitios seleccionados. Periodo de análisis 2012-2021. Fuente de información DT merged all satellites Global Ocean Gridded SSALTO/DUACS Sea Surface Height L4 (Copérnico, 2022).

Fuente: Burgos, 2022.

8.1.2. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR

La gráfica 2 expone la serie de tiempo de la TSM donde se puede observar que existe ciclo anual de TSM en los tres puntos de estudio donde resaltan los máximos y mínimos de cada punto, siendo para P1 máximos hasta de 30°C y mínimos de 24°C con una amplitud del ciclo anual de 6°C, a diferencia del P2 el cual su máximo llega a 28°C y su mínimo es de 22°C con una amplitud de 7°C. Por lo que evidenciamos que no existe mucha diferencia en la amplitud de los ciclos entre P1 y P2 dado que sus aguas experimentan cambios de temperatura por épocas. Por otro lado, P3 muestra un ciclo anual con máximos hasta los 30°C al igual que P1, sin embargo, sus mínimos llegan hasta los 26°C con una amplitud del ciclo de 3°C, por lo que sus aguas se mantienen cálidas y muestran menor amplitud que los ciclos de P1 y P2.

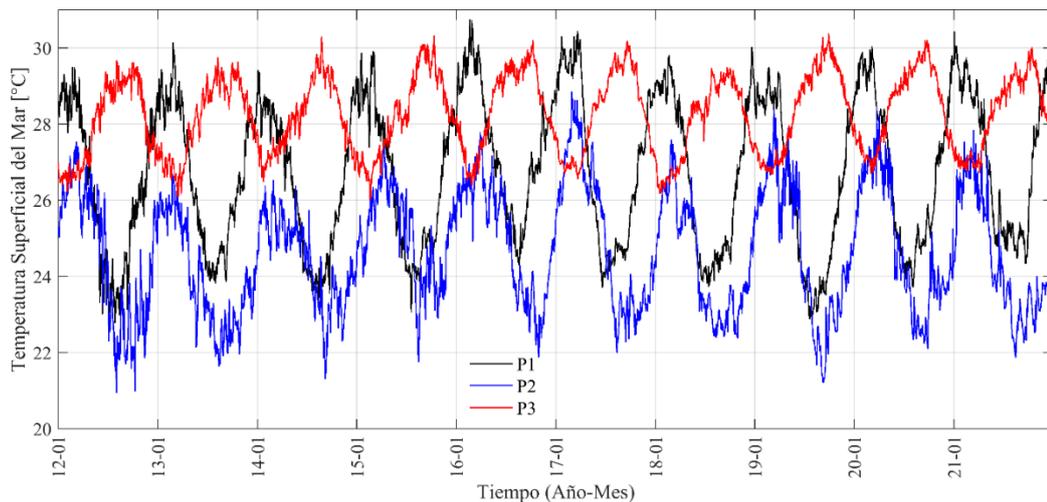


Gráfico 2. Serie de tiempo de la Temperatura Superficial del Mar correspondiente a los tres sitios de estudio: P1 (Isla Lizard), P2 (Islote El Pelado), P3 (Isla Cozumel). Periodo 2012-2021. Fuente de información Ostia (Copérnico, 2022).

Fuente: Burgos, 2022.

En el gráfico 3 exhibe el ciclo anual de la temperatura superficial del mar de los tres sitios estudiados, donde se puede observar notables diferencias.

En el sitio P1 muestra que de enero a marzo la temperatura oscila en los 29°C en comparación con los meses de abril a agosto donde la temperatura desciende hasta los 25.5°C, seguido de un ascenso hasta los 28.5°C en los siguientes meses del año.

Para el sitio P2 se observa que la temperatura varía notablemente siendo para los primeros seis meses del año una temperatura que oscila entre los 26.5°C a 25°C, continuo de los 6 siguientes meses en el que la temperatura baja hasta los 22.5°C con ligeras variaciones hasta los 24°C en diciembre.

Correspondiente a P3 se contemplan temperaturas superiores que van desde los 27°C en los tres primeros meses del año, con un ascenso de hasta 29.5°C en los siguientes meses hasta octubre donde se observa un descenso a 28°C hasta diciembre.

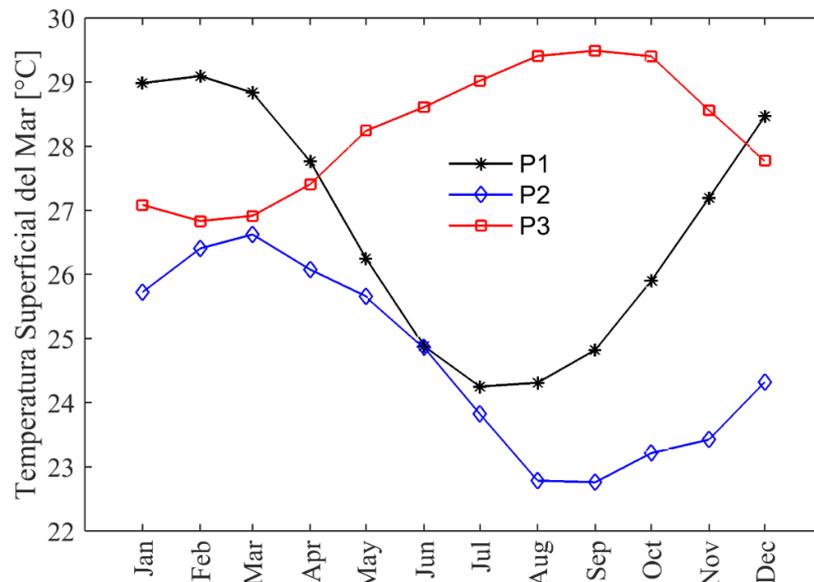


Gráfico 3. Ciclo anual de la Temperatura Superficial del Mar correspondiente a los tres sitios de estudio: P1 (Isla Lizard), P2 (Islote El Pelado), P3 (Isla Cozumel). Periodo 2012-2021. Fuente de Información Ostia (Copérnico, 2022).

Fuente: Burgos, 2022.

8.1.3. SALINIDAD SUPERFICIAL DEL MAR

El gráfico 4 muestra el ciclo anual de la salinidad superficial donde se observa diferencias marcadas entre los ciclos y grados UPS.

Para P1 notamos un ciclo anual poco marcado debido a que sus valores oscilan entre los 35 UPS, siendo para los primeros meses rangos de 34.70 UPS y los últimos en 35.14 UPS.

En P2 observamos un ciclo anual marcado, con diferencias entre sus valores, correspondiendo para los primeros meses valores que van desde 33.72 UPS (enero) a 34.41 UPS (mayo) siendo el mes con el máximo valor. Los siguientes meses los valores decrecen hasta llegar a los 33.67 UPS en diciembre.

P3 muestra un ciclo anual poco marcado, teniendo sus valores poca variación que van desde los 35.95 UPS mínimos a los 36.16 UPS como máximos.

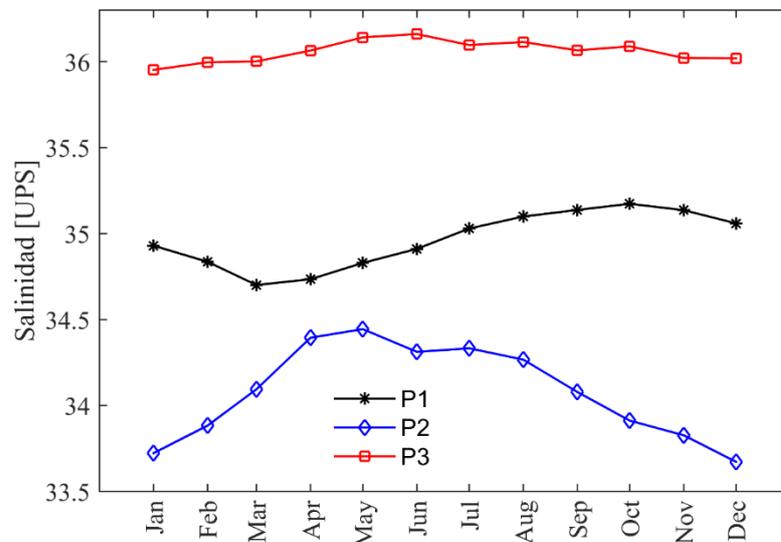


Gráfico 4. Ciclo anual de la Salinidad Superficial correspondiente a los tres sitios de estudio: P1 (Isla Lizard), P2 (Islote El Pelado), P3 (Isla Cozumel). Fuente de información Ostia (Copérnico).

Fuente: Burgos, 2022.

8.1.4. TEMPERATURA Y SALINIDAD SUBSUPERFICIAL

En la gráfica 5 se observa la estructura térmica de P1 en la que se destaca cinco isotermas a diferentes profundidades y variación en el tiempo. En los primeros 50 metros de profundidad se encuentran tres isotermas, una de 22°C que presenta ligeras variaciones, pero siendo constante desde enero a diciembre, a excepción de la isoterma de 25°C ubicada en la superficie a 5m la cual es constante solo en los primeros meses del año de enero a junio, en contraste, a los 40m aproximadamente se encuentra la isoterma de 19°C con iguales variaciones en la columna de agua, pero sin profundizar o llegar hasta la superficie. Pasando los 50m se muestra que en los primeros meses del año la isoterma de 16°C se profundiza hasta los 150m en los meses de abril a junio, pero va perdiendo profundidad en los meses de septiembre a diciembre. En la máxima

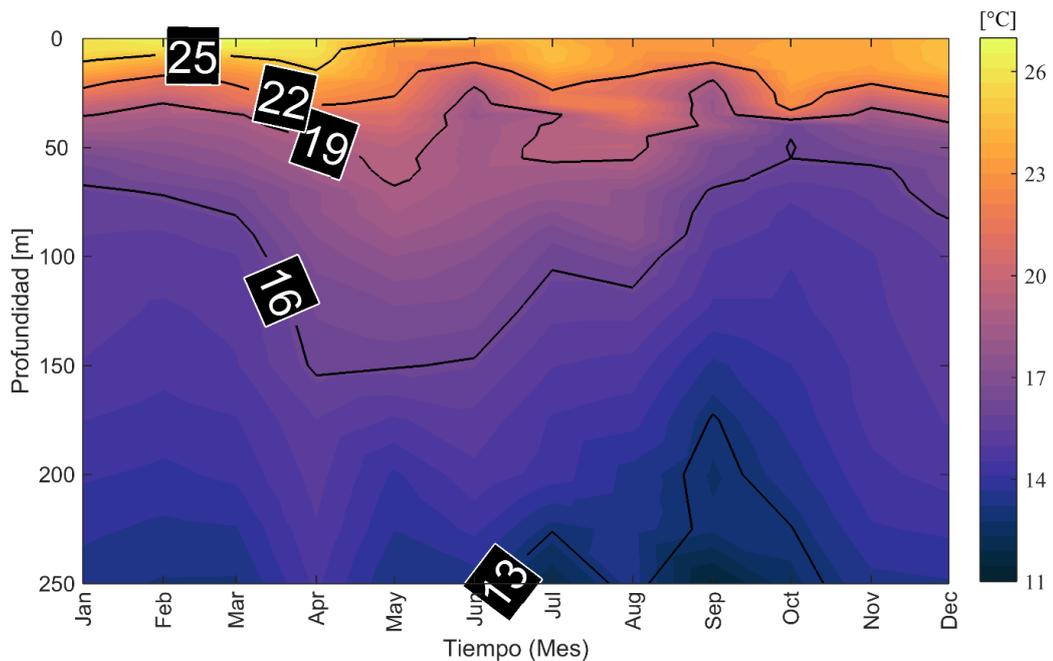


Gráfico 5. Ciclo anual Temperatura correspondiente a P1 (Isla Lizard). Fuente de información ARMOR3D NRT – TSHUVMId Global Ocean Observation (Copérnico, 2022).

Fuente: Burgos, 2022.

profundidad analizada se encuentra una isoterma que se presenta a mediados de junio hasta mediados de octubre a una temperatura de 13 °C.

El gráfico 6 presenta la estructura Halina de P1 en la que exhibe la presencia de dos isohalinas a diferentes profundidades. En los primeros 50m en la columna de agua se presenta la isohalina de 35 UPS en los meses de enero hasta julio; superando los 50m de profundidad se puede observar que la salinidad va aumentando con una isohalina de 35.4 UPS constante en todos los meses, así mismo se puede destacar que a mayor profundidad la estructura halina se mantiene en las tonalidades de verde a amarilla, mismas que pueden llegar hasta los 35.8 UPS según muestra la escala de color.

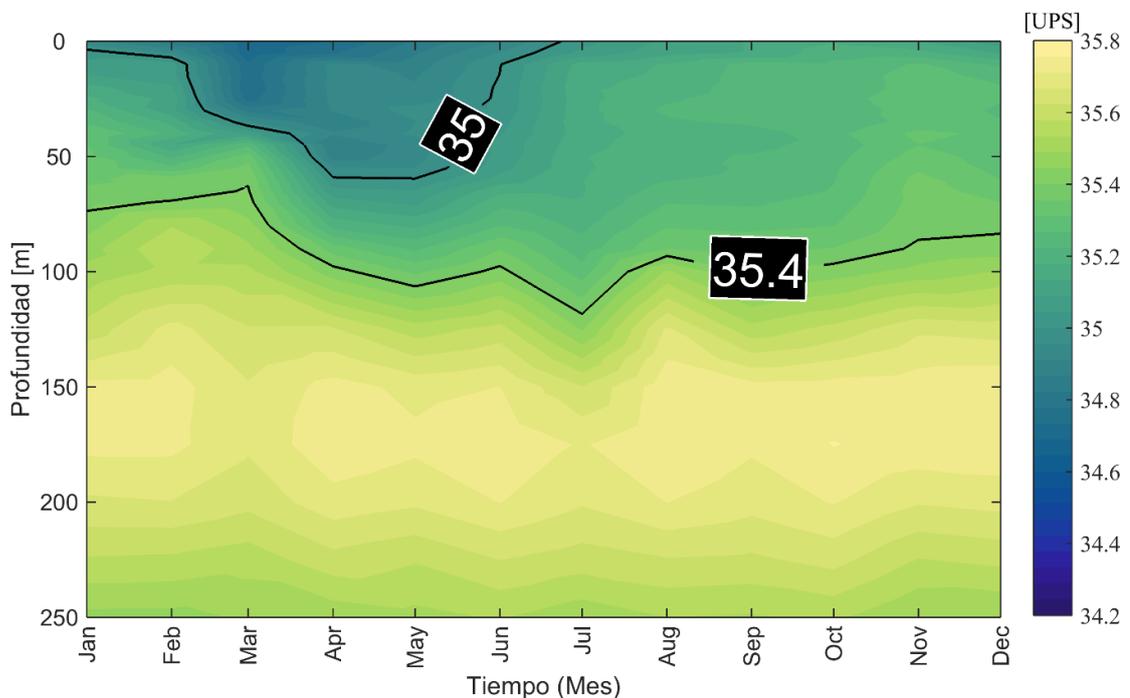


Gráfico 6. Ciclo anual de Salinidad en P1 correspondiente a Isla Lizard. Fuente de información ARMOR3D NRT – TSHUVMId Global Ocean Observation (Copérnico, 2022).

Fuente: Burgos, 2022.

El gráfico 7 corresponde al ciclo anual de la estructura térmica de P2 en el que se observa cinco isotermas. En los primeros 50m de profundidad se presentan tres isotermas de 25°C la más superficial destacando su presencia los primeros meses del año desde enero a julio, a los 25m aproximadamente se encuentra una isoterma de 22°C con variaciones en la profundidad pero sin llegar a la superficie o a más profundidad, se la puede observar constante desde enero a diciembre, bajando en la columna de agua a los 40m se presencia una isoterma de 19°C con una marcada variación en los meses de mayo, julio y septiembre en los que se nota que ascendió pero sin llegar a la superficie, en contraste superando los 50m se contempla una isoterma de 16°C que se profundiza hasta los 150m en los meses abril a junio y va ascendiendo desde julio a diciembre hasta llegar a los 60 a 70m de profundidad. Por último, a los 250m se observa que en los meses de junio a octubre hay presencia de una isoterma de 13°C con variaciones que ascienden hasta los 180m aproximadamente.

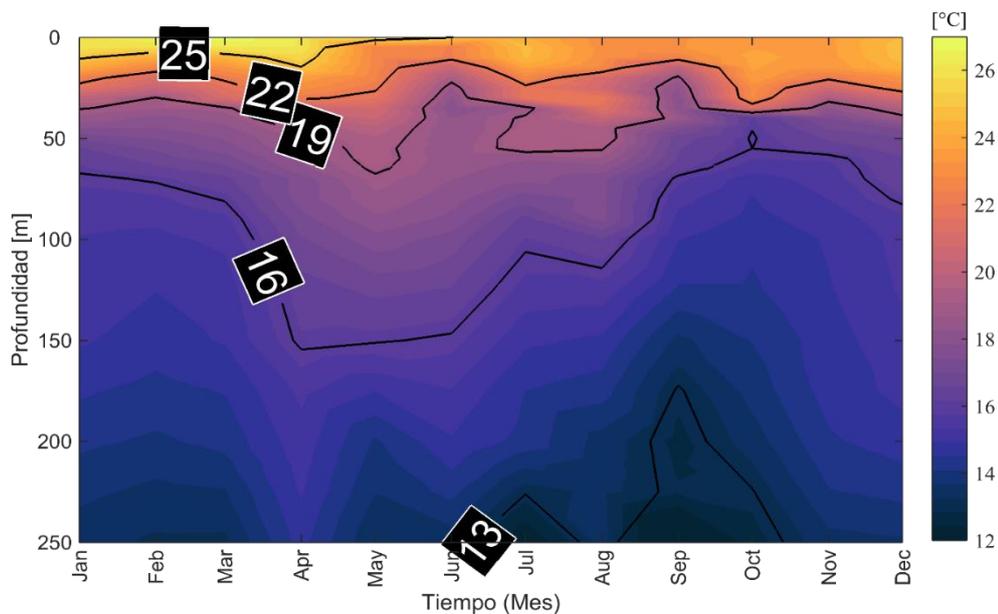


Gráfico 7. Ciclo anual de Temperatura en P2 correspondiente al Islote El Pelado. Fuente de información ARMOR3D NRT – TSHUVMId Global Ocean Observation (Copérnico, 2022).

Fuente: Burgos, 2022.

En el gráfico 8, se expone la estructura Halina de P2 en la que se puede observar diferentes isohalinas. En los primeros meses de enero a abril destaca una isohalina superficial de 34.3 UPS, seguida de una isoterma de 33.8 UPS en los últimos meses. A la profundidad de 40m aproximadamente se muestra una isohalina con valor de 34.9 UPS contante desde enero a diciembre con una variación en los meses de mayo a junio donde asciende casi a la superficie, en contraste con la isohalina de 35.1 UPS misma que toma una estructura a mediados del mes de mayo donde desciende hasta los 150m y va ascendiendo en los siguientes meses hasta septiembre. Desde los 50m hasta los 250m de profundidad podemos notar que la estructura halina presenta tonalidades verdes lo que corresponde a 35 UPS hasta los 35.5 en tonalidad amarilla según la escala de color presentada.

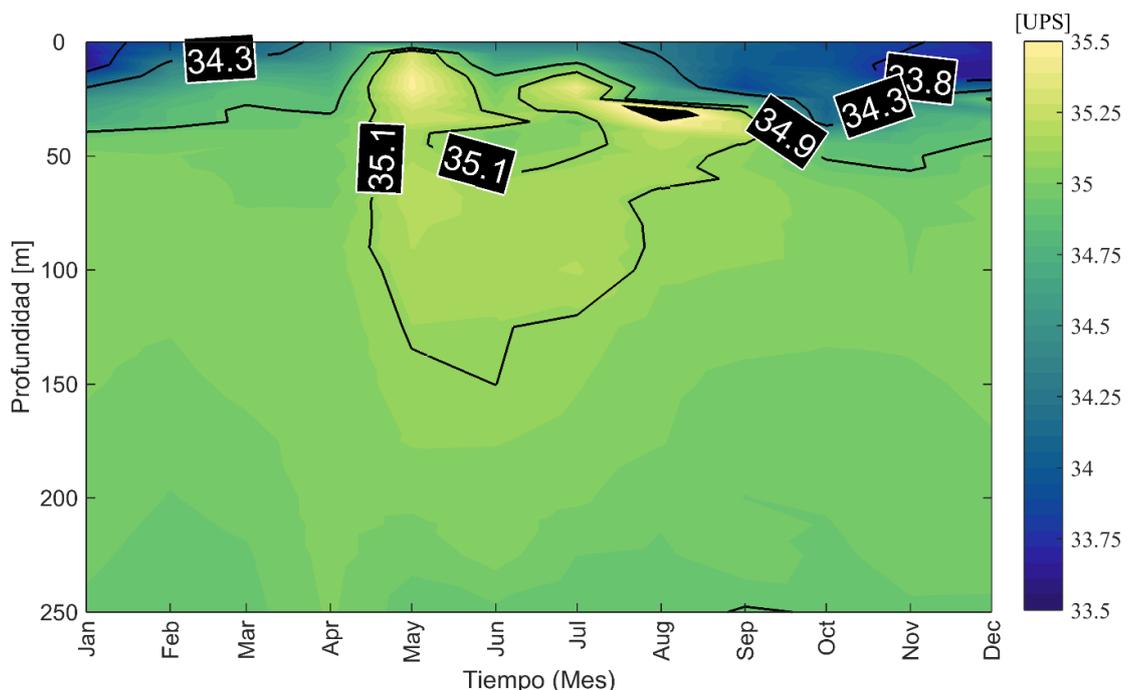


Gráfico 8. Ciclo anual de Salinidad en P2 correspondiente al Islote El Pelado. Fuente de Información ARMOR3D NRT – TSHUVMId Global Ocean Observation (Copérnico, 2022).

Fuente: Burgos, 2022.

El gráfico 9 presenta la estructura térmica de P3 donde se observan varias isotermas, siendo la más superficial la correspondiente a 28°C la cual se presenta desde mediados de abril a diciembre a profundidades de 0 a 50m, pasando los 100m se muestra una isoterma de 25°C constante desde enero a diciembre, seguido de una isoterma a los 150m con 22°C que presenta variaciones en agosto ascendiendo a los 125m aproximadamente hasta noviembre, descendiendo a más de 150m en diciembre, para los 200m se registra presencia de una isoterma de 19°C con una constancia desde enero a diciembre, con excepción de junio que desciende hasta casi los 250m de profundidad según muestra la gráfica.

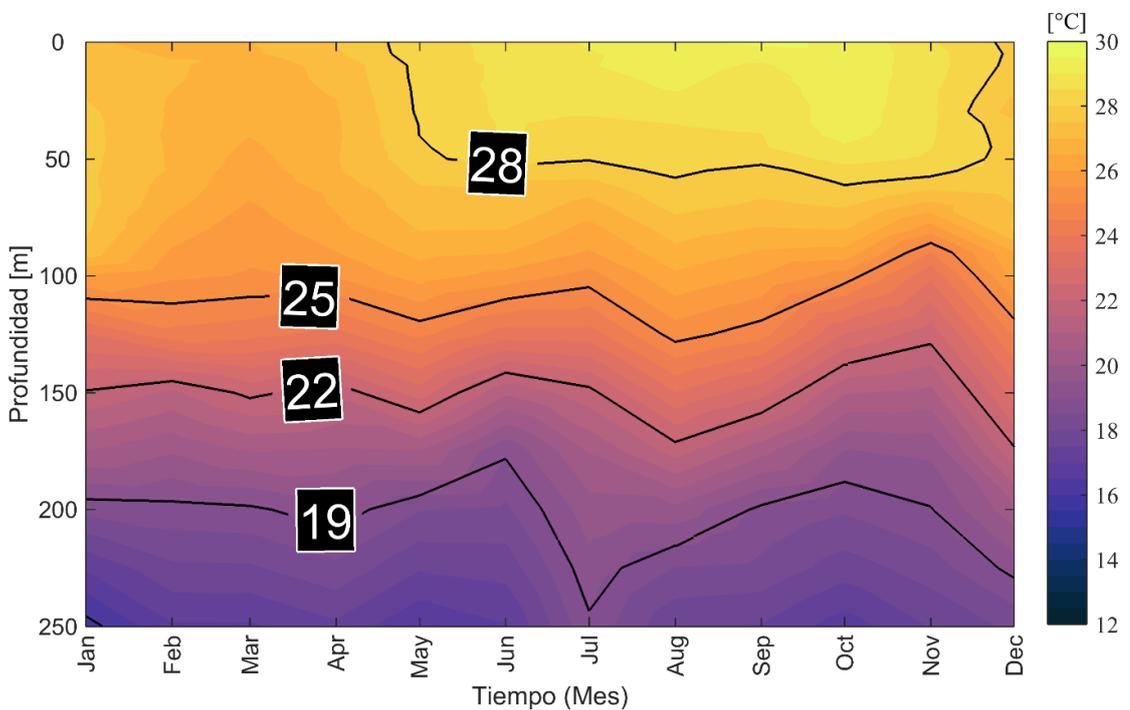


Gráfico 9. Ciclo anual de Temperatura en P3 correspondiente a Isla Cozumel. Fuente de información ARMOR3D NRT – TSHUVMld Global Ocean Observation (Copérnico, 2022).

Fuente: Burgos, 2022.

La gráfica 10 expone la estructura Halina de P3 en la que se observan isohalinas con valores superiores a 36 UPS, la primera isohalina se origina casi a los 100m de profundidad desde enero, luego va ascendiendo a los 50m hasta junio donde se observa otro ascenso casi hasta la superficie con un valor de 36.2 UPS, la siguiente isohalina se exhibe a los 100m con 36.4 UPS misma que tiene pequeñas variaciones en profundidad en los meses de mayo a septiembre ascendiendo hasta casi los 50m. Por otro lado, se presentan isohalinas con formas peculiares que solo abarcan ciertos meses del ciclo anual, estas poseen valores de 36.7 ups originándose a los 100m desde enero con un descenso en marzo hasta casi los 200m, seguido se muestra una isohalina cuyo valor baja a 36.4 ups originándose a los 225m con variaciones notables en meses como junio y octubre donde desciende y asciende la isohalina.

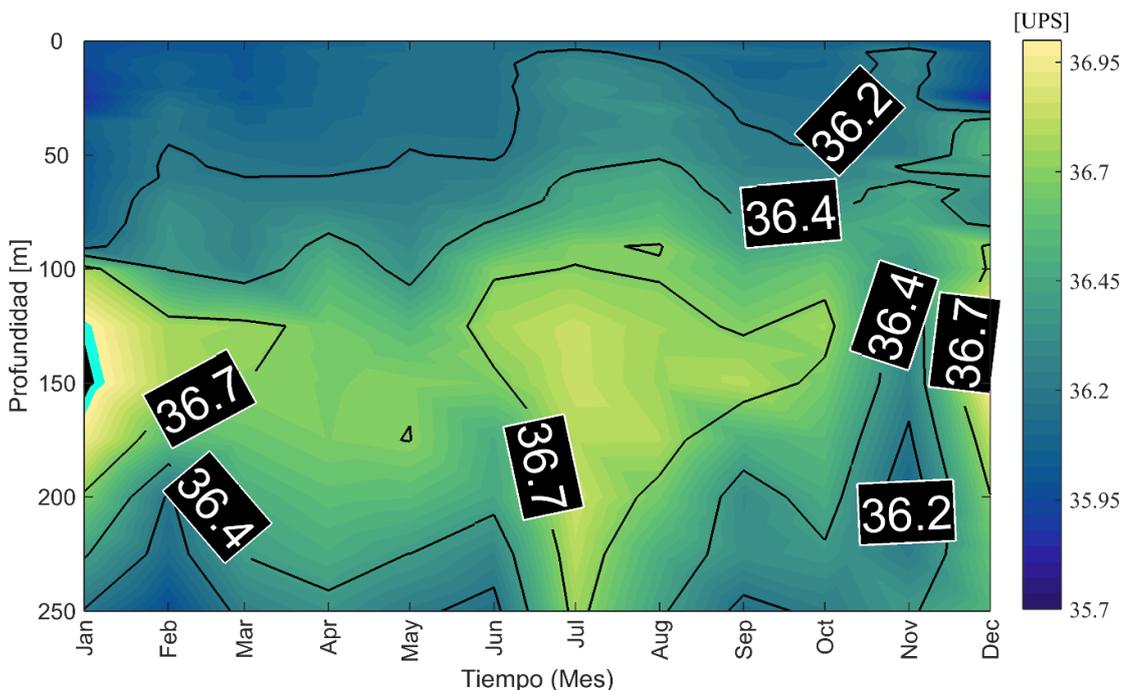


Gráfico 10. Ciclo anual de la estructura Halina (Salinidad) en P3 correspondiente a Isla Cozumel. Fuente de información ARMOR3D NRT – TSHUVMId Global Ocean Observation (Copérnico, 2022).

Fuente: Burgos, 2022.

Para el mes de julio se presenta una isohalina de 36.7 ups con una forma irregular que va desde los 100m hasta pasado los 250m de profundidad.

8.2. DETERMINACIÓN DE PRODUCTIVIDAD PRIMARIA

Se analizaron los resultados obtenidos respecto al segundo objetivo, donde se observaron concentraciones de clorofila-*a* en los tres sitios de estudio. En el área para P1 (Gráfica 11), se presentaron aguas ligeramente productivas con concentraciones de clorofila-*a* durante todo el periodo de estudio, siendo los primeros meses del año con concentraciones que van desde los 0.31 a 0.41 mg/m³, este último correspondiente al mes de marzo; las menores concentraciones se registraron para los siguiente seis meses con valores de 0.23 a 0.29 mg/m³ respectivamente.

Al contrario, para la localidad de P2 las concentraciones de clorofila-*a* son mayores a los demás sitios, destacando sus aguas con alta productividad primaria en los meses de marzo a mayo con valores que van desde 1.29 a 2.96 mg/m³, para los meses desde septiembre a diciembre las concentraciones de clorofila-*a* disminuyen a rangos de 0.43 a 0.45 mg/m³, esto puede deberse al paso de la corriente cálida de Panamá cuyas características indican la presencia de pocos nutrientes, altas concentraciones de salinidad y temperatura superficial del mar.

En contraste, para el sitio P3 de acuerdo con los rangos establecidos por Tapia (2006), sus aguas muestran baja productividad primaria, debido a que las concentraciones de clorofila-*a* no superan los 0.18 mg/m^3 , llegando a representar menores valores los meses de marzo y agosto con 0.10 mg/m^3 y para el mes de enero correspondiendo a la mayor concentración de 0.18 mg/m^3 .

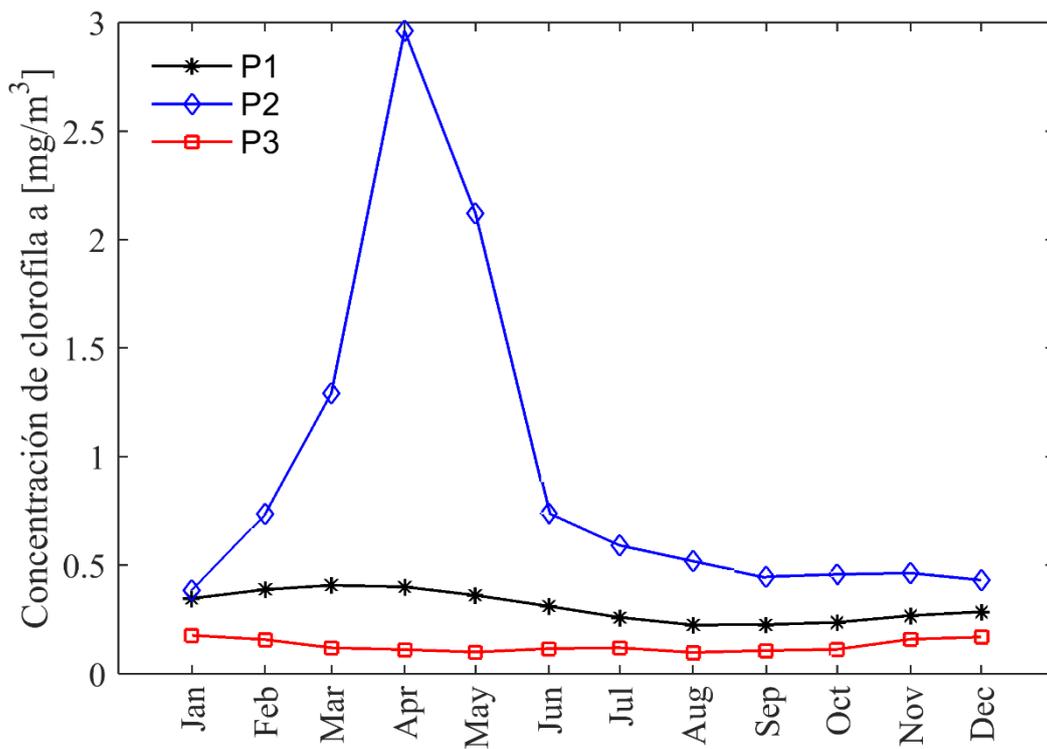


Gráfico 11. Figura Ciclo anual de la Clorofila Superficial del Mar correspondiente a los tres sitios de estudio: P1 (Isla Lizard), P2 (Islote El Pelado), P3 (Isla Cozumel). Periodo 2012-2021. Fuente de información: dataset-oc-glo-bio-multi-l4-chl_interpolated_4km_daily-rt (Copérnico, 2022).

Fuente: Burgos, 2022.

8.3. COMPROBACIÓN DE LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS

8.3.1. CORRIENTES

En el Gráfico 12 se muestran los promedios escalares de componente U (en plano geográfico corresponde a componente norte), donde los valores para cada punto varían siendo para P3 el mayor valor con 0.33 ± 0.035 m/s, mientras que P1 y P2 muestran menor valor con -0.04 ± 0.063 m/s y 0.04 ± 0.036 m/s respectivamente; mostrando diferencias significativas entre los puntos.

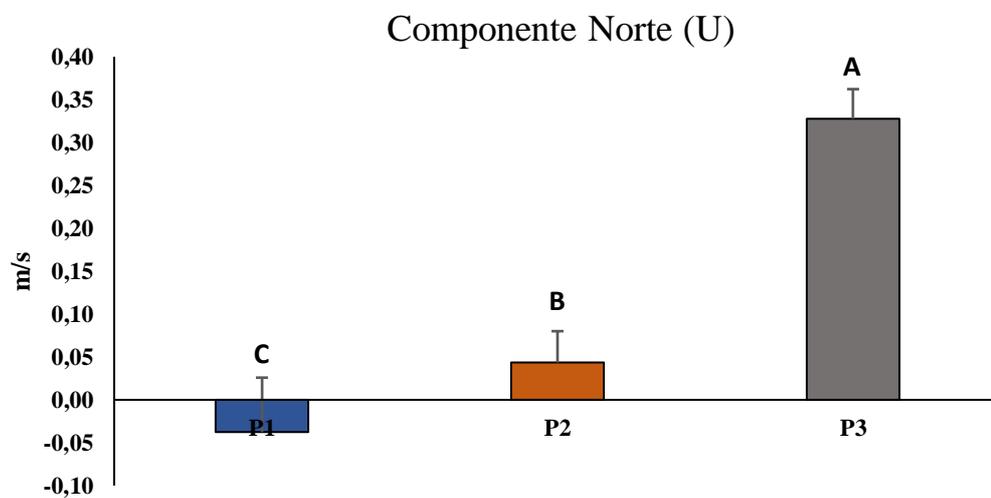


Gráfico 12. Valores promedios de componente escalar U por punto de muestreo. Todos los resultados obtenidos se presentan a manera de barras las cuales representan la Media \pm DS. Las letras desiguales señalan que existe diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de 1 vía ($p < 0.05$) y test de Tukey.

Fuente: Burgos, 2022.

El Gráfico 13 exhibe los promedios escalares de componente V (en plano geográfico corresponde a componente este), donde se evidencia una variación siendo para P3 el mayor valor con 0.56 ± 0.041 m/s, mientras que P1 presenta 0.14 ± 0.085 m/s, al contrario, P2 muestra el valor de -0.11 ± 0.019 m/s, siendo el menor valor reportado. Todos los puntos presentan diferencias significativas entre sí.

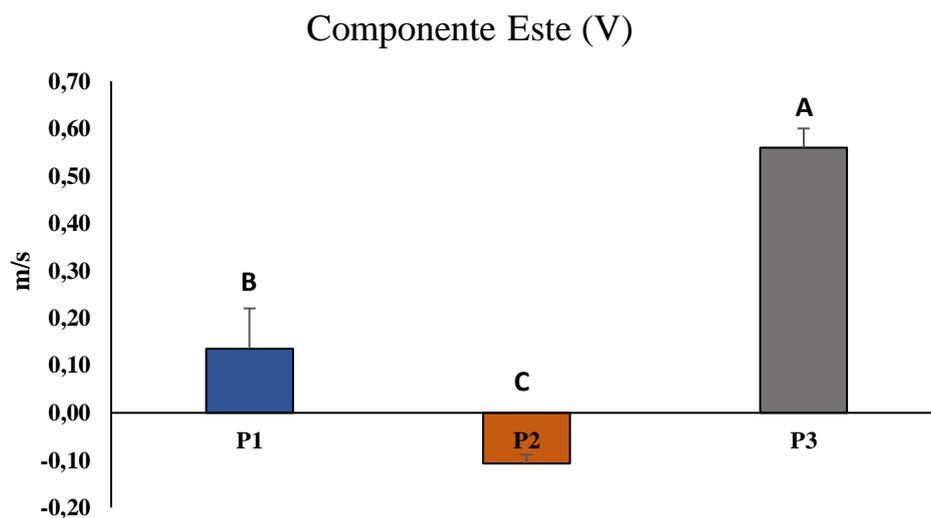


Gráfico 13. Valores promedios de componente escalar V por punto de muestreo. Todos los resultados obtenidos se presentan a manera de barras las cuales representan la Media \pm DS. Las letras desiguales señalan que existe diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de 1 vía ($p < 0.05$) y test de Tukey.

Fuente: Burgos, 2022.

8.3.2. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR

La Gráfica 14 muestra los promedios de temperatura superficial del mar totales del ciclo anual del periodo de estudio representados por mes para cada punto de muestreo, donde se puede observar que los valores varían por mes y por punto

siendo para P1 (barras azules) y P3 (barras grises) mayores valores en todos los meses llegando casi a los 30°C, mientras que P2 (barras naranjas) se mantiene en un rango hasta los 25°C.

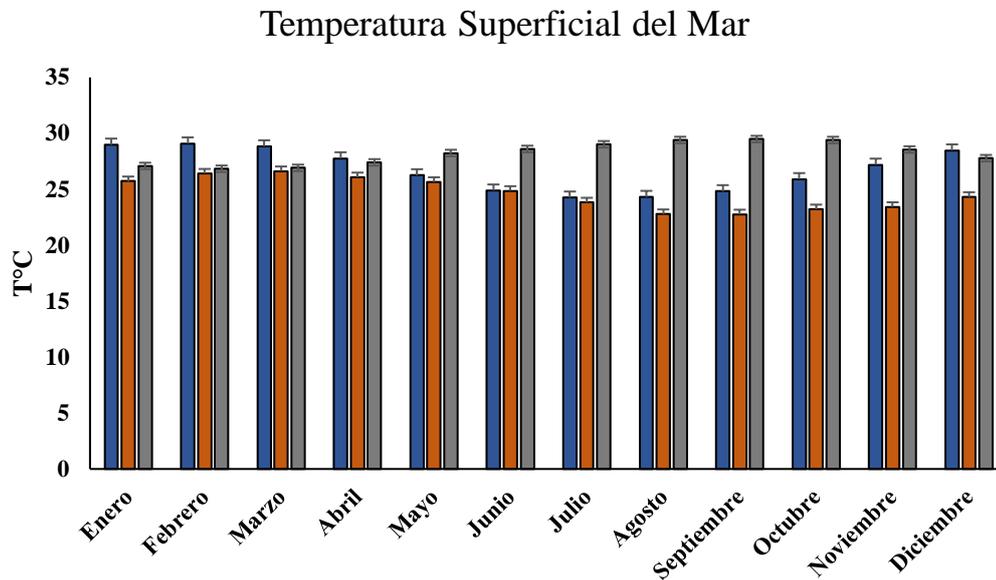


Gráfico 14. Valores promedios de Temperatura superficial del mar por mes por punto de muestreo: Azul (P1), Naranja (P2) y Plomo (P3). Todos los resultados obtenidos se presentan a manera de barras las cuales representan la Media \pm DS.

Fuente: Burgos, 2022.

Mediante los promedios obtenidos de temperatura superficial del mar (TSM) muestran que P3 presentó el mayor valor ($28.2 \pm 1,0$ °C), seguido de P1 con (26.7 ± 1.9 °C), a diferencia de P2 con (24.6 ± 1.4 °C), siendo esta donde encontramos los menores promedios de temperatura en el periodo de estudio como se observa en el Gráfico 15. Sin embargo, la gráfica muestra que existen diferencias estadísticamente significativas en todos los puntos de muestreo.

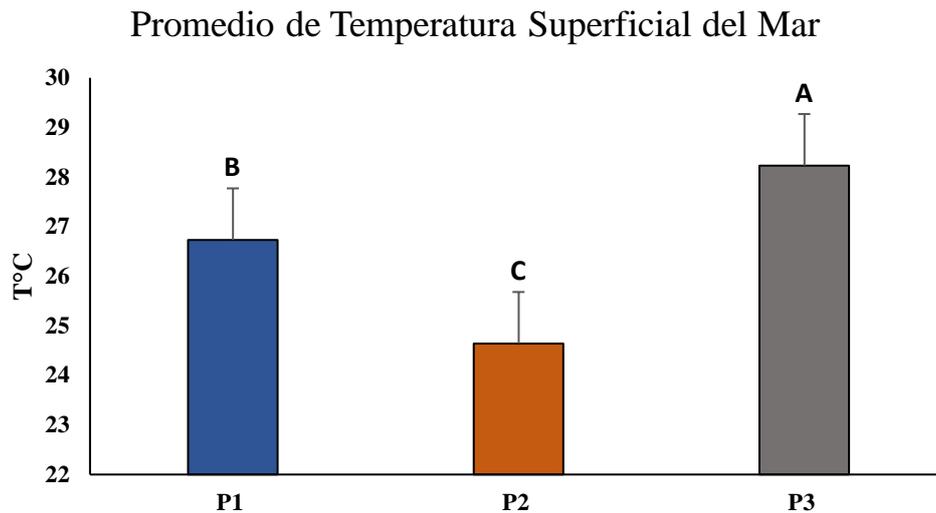


Gráfico 15. Valores promedios de Temperatura superficial del mar por punto de muestreo. Todos los resultados obtenidos se presentan a manera de barras las cuales representan la Media \pm DS. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de 1 vía ($p < 0.05$) y test de Tukey.

Fuente: Burgos, 2022.

Según (Anderson et al, 2017), los arrecifes de la Gran Barrera de Coral experimentan temperaturas cálidas dado que la temperatura superficial del mar se encuentra en el rango de 26.8°C desde Isla Lizard al norte y 24.1°C al sur en Heron Island.

En las costas Ecuatorianas las condiciones en las que se desarrollan los corales varían dependiendo de la estacionalidad. De acuerdo con (Zeas, 2015) el promedio de temperatura a la que se ven expuestos los corales en la época húmeda es de 22.9°C. En contraste, para la temporada cálida la temperatura llega a un promedio de 26.6°C, lo que entra en el rango óptimo para el desarrollo de comunidades coralinas de acuerdo con (Budd et al, 2006).

8.3.3. ESTRUCTURA TERMICA Y HALINA

En base a los análisis estadísticos realizados, se obtuvo como resultados que para las estructuras térmicas y halinas hubo normalidad de datos de acuerdo con el test de Bartlett, el cual mostró un $p\text{-value} > 0.05$, sin embargo, los tres puntos de estudio presentan diferencias estadísticamente significativas representando para cada variable un grupo diferente, siendo estos grupos P1 (A), P2 (B) y P3 (C) como se muestra en el Gráfico 16.

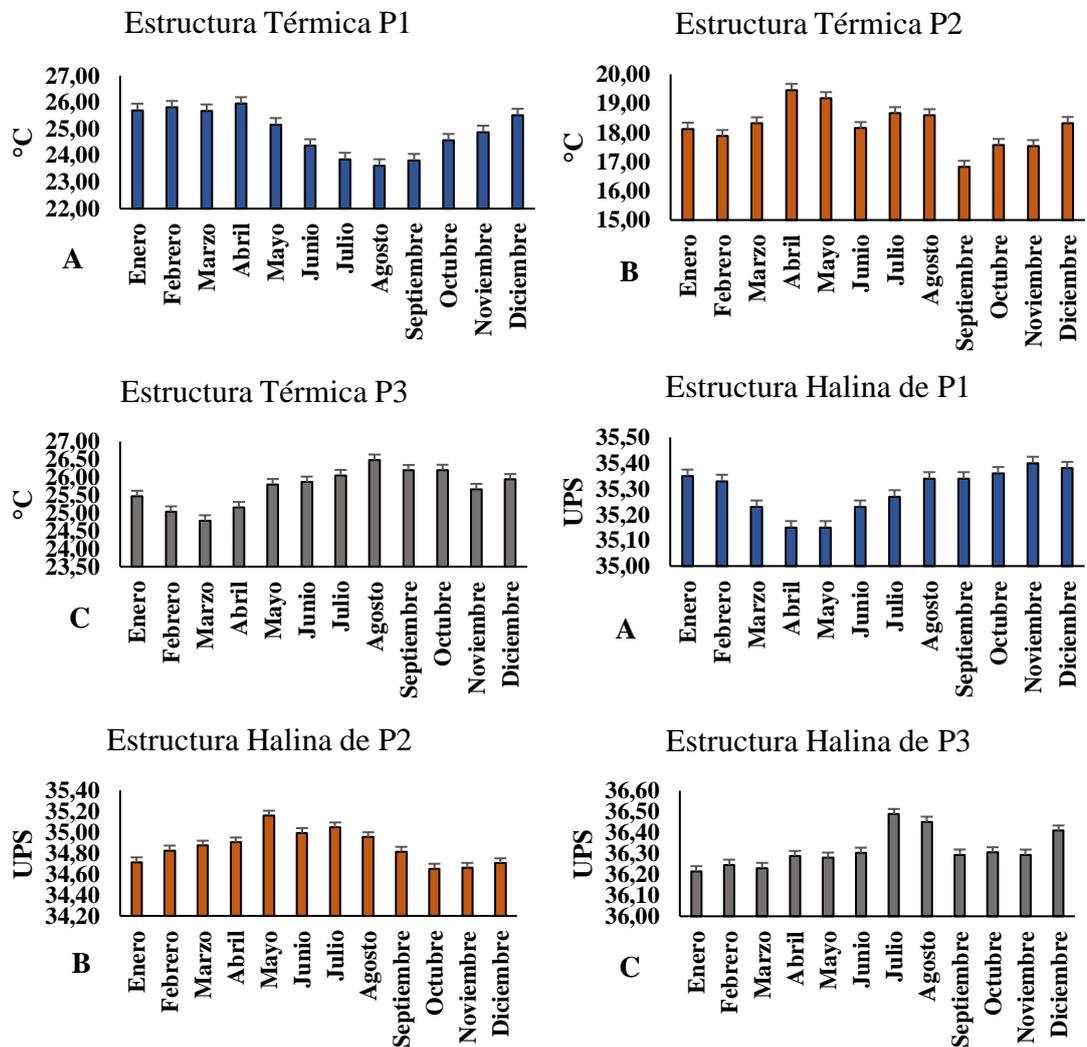


Gráfico 16. Valores promedio de las estructuras térmicas y halinas por punto de muestreo. Todos los resultados obtenidos se presentan a manera de barras las cuales representan la Media \pm DS. Las letras desiguales señalan que existen diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de 1 vía ($p < 0.05$) y test de Tukey.

8.3.4. CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA-*a*

Las concentraciones de clorofila-*a* totales que se obtuvieron de los ciclos anuales representados por mes para cada punto de estudio mostraron los mayores promedios para P2 destacando el mes de abril con el máximo valor (2.96 mg/m³) siendo el más representativo del ciclo anual, a diferencia de los sitios P1 y P3 los cuales muestran menores concentraciones que no superan los 0.50 mg/m³ como se observa en el Gráfico 17, presentando P1 el mayor valor (0.41 mg/m³) en el mes de marzo, mientras que P3 con (0.18 mg/m³) en enero. Sin embargo, los valores de P1 y P2 superan el rango de 0.20 mg/m³ propuesto por Tapia (2006), lo que indica que son aguas con productividad primaria media y alta, en contraste con P3 que no muestra aguas productivas.

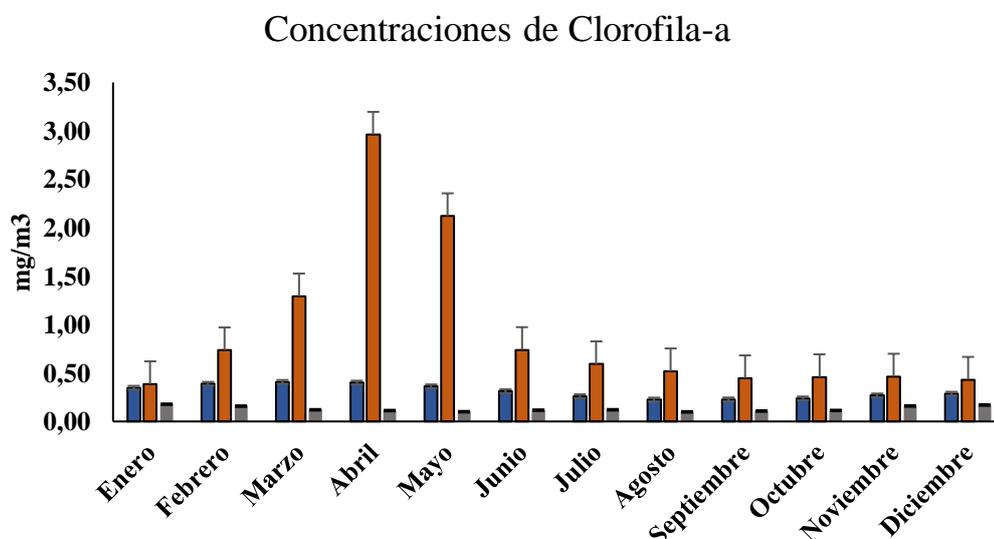


Gráfico 17. Valores promedios de clorofila-*a* por mes por punto de muestreo: Azul (P1), Naranja (P2) y Plomo (P3). Todos los resultados obtenidos se presentan a manera de barras las cuales representan la Media \pm DS.

Fuente: Burgos, 2022.

Los promedios obtenidos de concentración de clorofila-*a* indican que P2 presento el valor más alto con $(0.93 \pm 0.81 \text{ mg/m}^3)$, seguido de P1 con $(0.31 \pm 0.07 \text{ mg/m}^3)$, a diferencia de P3 con $(0.13 \pm 0.03 \text{ mg/m}^3)$, siendo esta donde se haya la menor concentración de clorofila-*a* en el periodo de estudio, ver el Gráfico 18. Sin embargo, la gráfica muestra que solo existen diferencias estadísticamente significativas en P2.

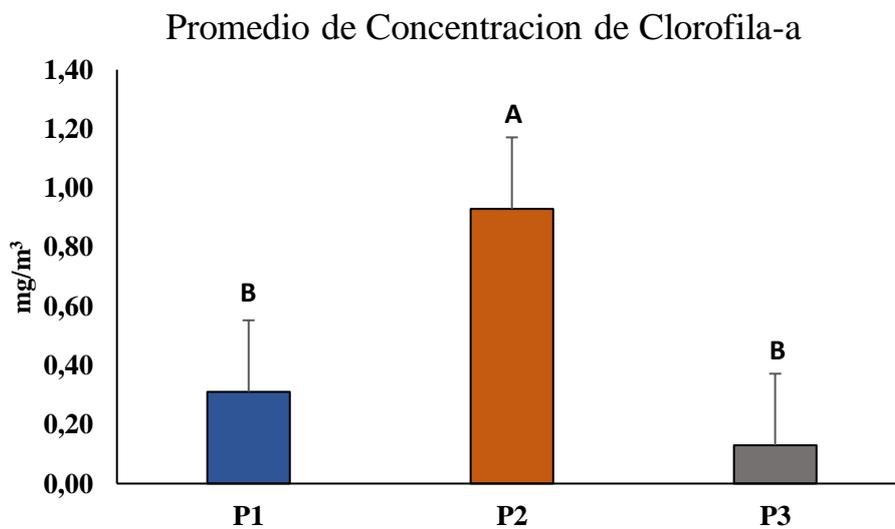


Gráfico 18. Valores promedios de clorofila-a por punto de muestreo. Todos los resultados obtenidos se presentan a manera de barras las cuales representan la Media \pm DS. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de 1 vía ($p < 0.05$) y test de Tukey.

Fuente: Burgos, 2022

8.3.5. COMPOSICIÓN DE ESPECIES POR PUNTO DE ESTUDIO

En base a registro de diversos autores se analizó el componente biológico de los tres puntos de estudio.

De acuerdo con los registros de corales publicado por (Richards et al, 2021) en Isla Lizard y sus arrecifes adyacentes, la isla cuenta con un total de 368 especies, en 75 géneros, distribuidos en 17 familias, destacando el orden Scleractinia como predominante con el 100%. Las familias con mayor cantidad de especies son: Acroporiidae con 117 especies, Merulinidae 88, seguido de Fungiidae con 29 y las familias Lobophyllidae y Poritidae con 28 especies cada una, por último, Agariciidae con 21 especies. Por otro lado, las familias con menos especies son: Pocilloporidae y Scleractinea insertae sedis con 12 especies presentes; Dendrophyllidae con 11 especies; Euphyllidae con 7; Psammocoridae presenta 5 especies; Coscinaraeidae presenta 4; seguido de Astrocoeniidae con 2 especies y las familias Siderastreidae, Plesiastreidae, Oulastreidae, Caryophylliidae con 1 sola especie cada uno como lo podemos observar en el Gráfico 19.

Total de Especies por Familia en "Isla Lizard"

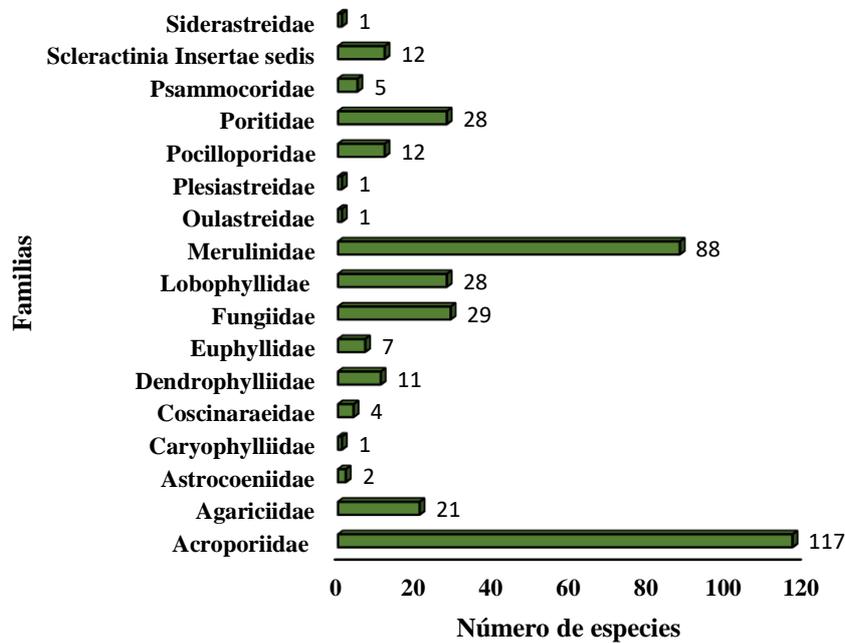


Gráfico 19. Representación del número de especies por familias registradas en Isla Lizard (P1).

Fuente: Richards et al, 2021; modificado por: Burgos, 2022.

En la Gráfica 20 se presentan los corales registrados por (Cárdenas et al, 2018; Cárdenas, M., & Triviño, M., 2013; Sascha et al, 2018), donde se muestra que cualitativamente El Islote El Pelado cuenta con 31 especies en 13 géneros, con 8 familias y 3 órdenes presentes. Los órdenes con mayor frecuencia son Alcyonacea con 3 familias: Gorgoniidae (10) con los géneros Pacifigorgia y Leptogorgia; seguido de Plexauridae (9) con los géneros Muricea, Heterogorgia y Psammogorgia de las cuales cuentan con la mayor cantidad de especies registradas en el área, siendo Clavulariidae con 1 especie. Por lo contrario, los órdenes que presentan los

menores registro de especies por familia son: Antipatharia con las familias Antipathidae y Myriopathidae registrando 1 especies cada una, seguido del orden Scleractinia con las familias: Dendrophylliidae que incluye los géneros Cladopsammia con 2 especies y Tubastraea con 1; Rhizangiidae con Astrangia y Oulangia con 1 especie cada uno y Pocilloporidae con el género Pocillopora que registra 4 especies.

En el Islote los Octocorales del orden Alcyonacea destacan como los dominantes en el sustrato, dado que según (Sascha et al, 2018) las especies de octocorales son las que dan la distintiva complejidad estructural a las comunidades de invertebrados sésiles en el sustrato rocoso.

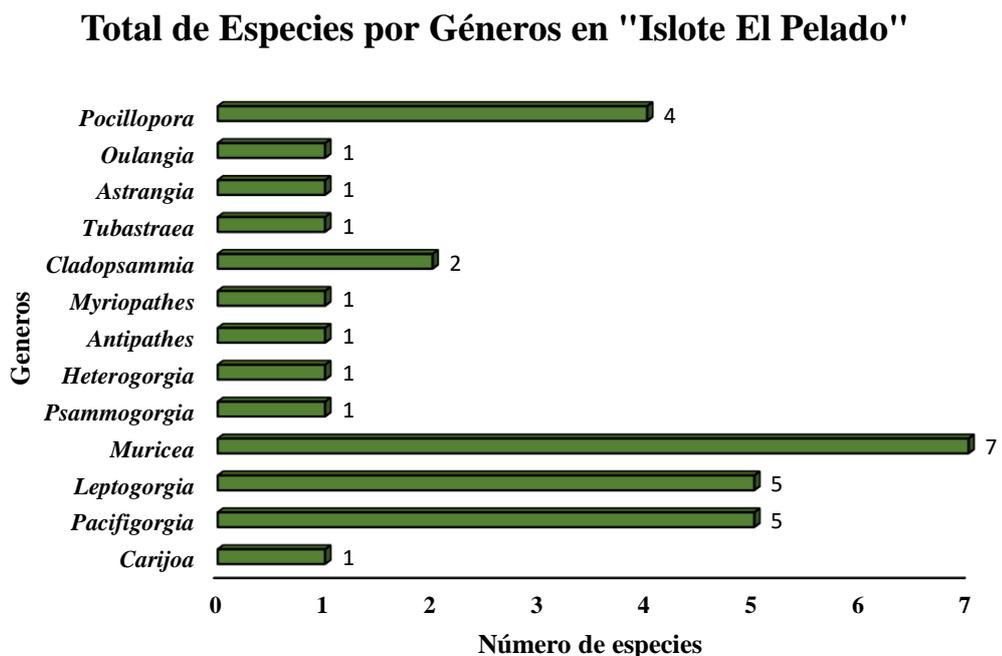


Gráfico 20. Representación del número de especies por género registradas en Islote El Pelado (P2).

Fuente: Cárdenas et al, 2018; Cárdenas, M., & Triviño, M., 2013; Sascha et al, 2018; modificado por: Burgos, 2022

En base a los datos recopilados por diferentes autores de la bibliografía (González et al, 2020; Reyes-Bonilla et al, 2014; CONANP, 2013), en la Gráfica 21 se muestran las especies registradas para Isla Cozumel en la que cuenta con 45 especies distribuidas en 26 géneros con 15 familias en 2 órdenes. En la Isla se destaca el orden Scleractinia con la presencia de 13 familias de las cuales las que presentan mayor cantidad de género son: Mussidae con 14 especies, seguido de Agariciidae con la presencia de 6 especies. Por el contrario, las familias con las menores cantidades son: Meandrinidae con 4 especies; Poritidae y Montastraeidae con 3 especies; Acroporidae, Astrocoeniidae, Milleporidae, Plexauridae y Siderastreae con 2 especies cada uno, por último, las familias Merulinidae, Pocilloporidae y Faviidae con 1 especie de cada uno. Para el orden Alcyonacea se presentan 2 familias: Gorgoniidae y Briareidae con 1 especie cada una.

Total de Especies por Género en "Isla Cozumel"

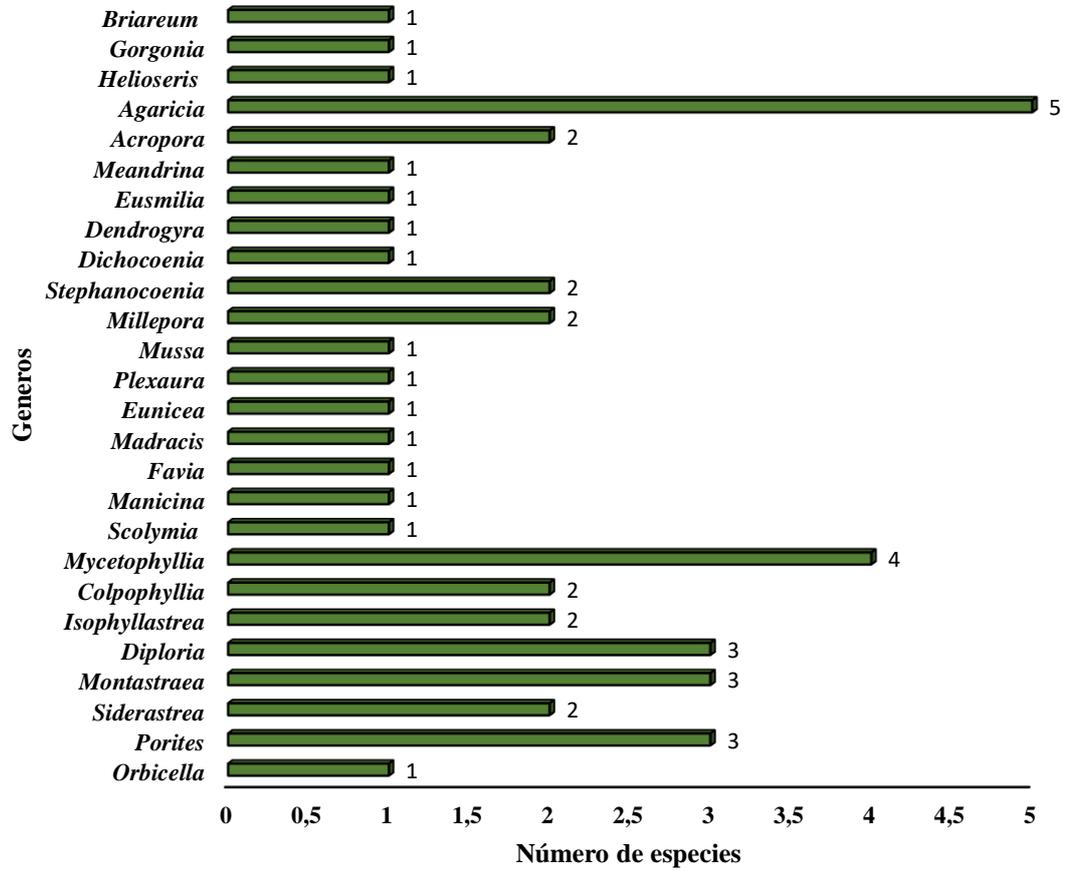


Gráfico 21. Representación del número de especies por género registradas en Isla Cozumel (P3).

Fuente: González et al, 2020; Reyes-Bonilla et al, 2014; CONANP, 2013; modificado por:

Burgos, 2022.

8.3.6. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS AMBIENTALES DE LOS TRES PUNTOS DE ESTUDIO

Se realizó un análisis de componentes principales (Gráfico 22) para verificar si existía relación entre las variables estudiadas y se evidenció una correlación moderada entre la temperatura superficial y la estructura térmica de la primera estación (P1), no así con las variables de salinidad y de corrientes. Por lo que, las temperaturas son proporcionales entre sí, de igual manera la variable clorofila-*a* evidencia una correlación positiva con la temperatura superficial del mar y estructura térmica.

Con respecto a corales la gráfica muestra una correlación moderada entre los datos de corales de C1 con la temperatura y la clorofila-*a* de P1, así mismo C2 presentó una correlación positiva moderada con la temperatura y la clorofila-*a*, evidenciando una influencia de estos parámetros con la presencia de corales en los sitios de estudio.

Sin embargo, para la tercera estación (P3) las variables de estructura térmica, salinidad y temperatura superficial no muestran correlación entre sí. Por otro lado, los valores escalares de las corrientes de los tres puntos de estudio muestran que no se correlacionan con los parámetros antes mencionados.

En la segunda estación (P2) se observa que existe una correlación moderada entre las variables de estructura térmica, salinidad, temperatura superficial del mar y clorofila-*a*, por lo que se evidencia que las variables son proporcionales entre sí.

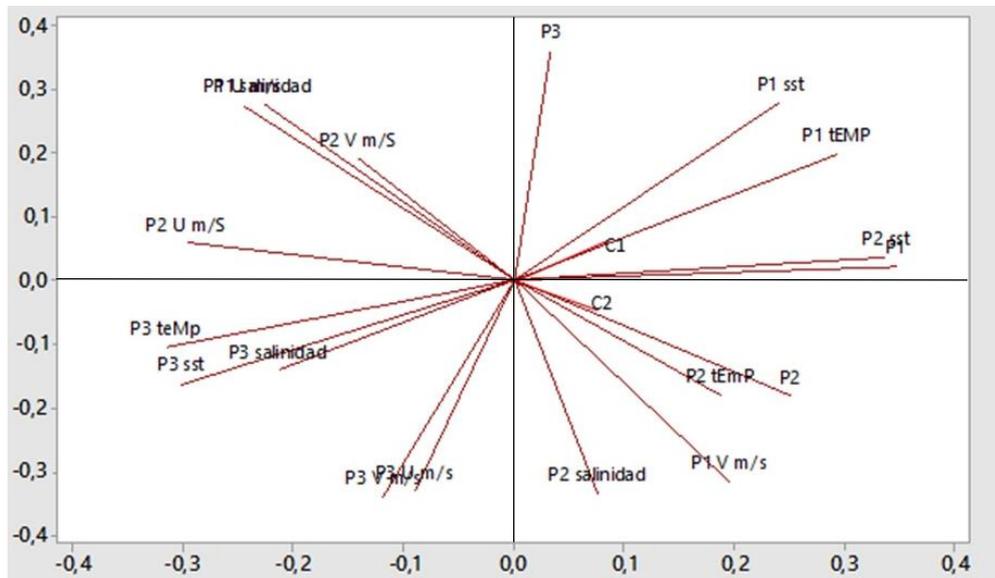


Gráfico 22. Análisis de Componentes Principales con variables ambientales de los tres puntos de estudio: P1 (Isla Lizard), P2 (Islote El Pelado), P3 (Isla Cozumel).

Fuente: Burgos, 2022.

Se realizó un dendrograma de correlación de variables trabajando al 95% de confiabilidad con un grado de separación entre los grupos similares y no similares del 50%, verificando lo obtenido a través del análisis de componentes principales corroborando que los parámetros mencionados como: Clorofila-*a* de P1 y la temperatura superficial del mar de P2 presentan similaridad del (99.33), al igual que los parámetros de temperatura superficial del mar y estructura térmica de P1 resultando en una relación del (97.04), lo que se puede comprobar con el análisis de componentes principales previamente descrito, en el que se observa

correlaciones moderadas entre las variables anteriormente mencionadas. Sin embargo, más adelante se pudo observar que existe una disimilaridad entre los parámetros de clorofila-*a* con corrientes y salinidad del (77.98), evidenciando también un clara disimilaridad en las variables de estructura térmica, temperatura superficial del mar, salinidad y corrientes entre todos los puntos de estudio de (23.11), siendo el más destacado de (1.70) como lo observamos en el Gráfico 23.

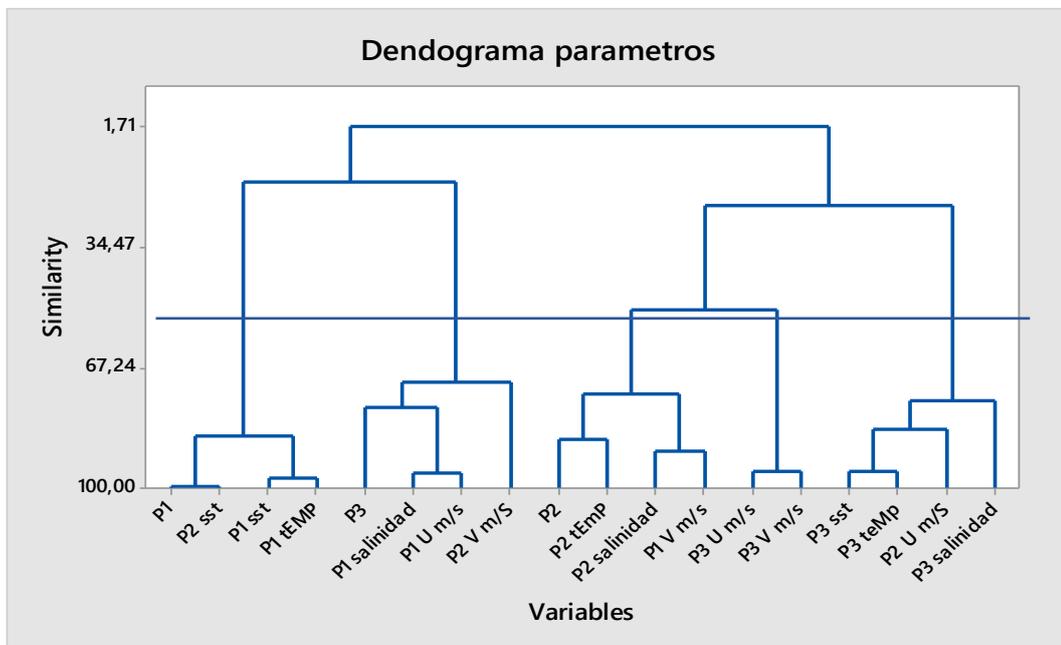


Gráfico 23. Dendrograma de similitud entre parámetros ambientales de los sitios de estudio: P1 (Isla Lizard), P2 (Islote El Pelado), P3 (Isla Cozumel).

Fuente: Burgos, 2022.

9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una vez obtenidos los datos que reflejan los ciclos anuales de los parámetros de corrientes, temperatura y salinidad superficial y subsuperficial, así como clorofila-*a* de los tres puntos de estudio, se puede considerar como aceptada la hipótesis planteada, donde se evidencia que las características físicas del ambiente coralino de la reserva marina El Pelado no son similares a las condiciones físicas del ambiente de los arrecifes Mesoamericano y Australiano según los datos obtenidos por el servicio marítimo de Copérnico.

Por su parte, los resultados demuestran que los entornos oceanográficos de cada punto varían para todos los parámetros analizados siendo notorios que para Isla Cozumel en el Arrecife Mesoamericano, presenta temperaturas más cálidas de 28°C con salinidad de 36 UPS, lo que de acuerdo con (Voolstra et al, 2009) el Mar Caribe la temperatura del agua de mar es de 29,0°C en verano, con un promedio mensual de 25.1°C – 29.9°C (Rodríguez-Martínez et al, 2016), a diferencia del Islote El Pelado en Ecuador, cuyas aguas son frías parte del año con temperaturas mínimas de 22°C y máximas de 26°C y rangos de salinidad hasta de 34 UPS . En contraste, Isla Lizard en la Gran Barrera de Coral tiene aguas cálidas con un promedio de 26.7°C y salinidad de 35 UPS. Esta información permite compararla con los datos que obtuvo (Anderson et al, 2017) quienes, en su estudio, por medio del análisis de datos de SST reflejan que la Isla presenta un promedio de 26.8°C, mostrando aguas

cálidas en el rango óptimo para el desarrollo de corales formadores de arrecifes según (Voolstra et al, 2009).

Con relación a la corriente geostrófica superficial, esta mostró diferencias significativas en las magnitudes de los tres sitios, en la que para Isla Cozumel en el Arrecife Mesoamericano presentó una corriente más fuerte de 0.6 m/s, puesto que según Lazcano (2007) las corrientes locales se ven influenciadas por la corriente de Yucatan que alcanza velocidades de hasta 1.5 m/s, a comparación de sus contrapartes que mostraron magnitudes más bajas producto de corrientes leves de 0.1 m/s tanto de Islote el Pelado en Ecuador y hasta los 0.3 m/s en Isla Lizard de la Gran Barrera de Coral, dado que esta se ve expuesta a diversos chorros oceánicos que derivan de la Corriente Australiana Oriental (Mao, Y., & Luick, J., 2014).

Al calcular los niveles de productividad primaria se evidenció que el Islote El Pelado presenta las mayores concentraciones de clorofila-*a*, a diferencia de sus contrapartes Isla Lizard y Cozumel las cuales según los análisis estadísticos no presentan diferencias significativas, reflejando que el entorno oceanográfico de las dos zonas confiere condiciones oligotróficas, siendo este ambiente el idóneo para el desarrollo de arrecifes coralinos, lo que no refleja el ambiente del Islote El Pelado. De acuerdo con De'ath y Fabricius (2010) a mayores concentraciones de clorofila-*a* pueden causar alteraciones a los grupos bentónicos provocando cambios de acuerdo con sus requerimientos tróficos; es decir que las comunidades de corales

fototróficos pueden disminuir su riqueza puesto que la calidad de agua es baja, siendo todo lo contrario al ambiente idóneo para los corales que requieren de aguas más cristalinas donde los rayos solares puedan alcanzar una mayor profundidad.

Con respecto al aspecto biológico el análisis realizado en base a los registros de especies coralinas en los tres puntos de estudio dio como resultado que en las Islas Lizard y Cozumel la presencia de corales es mayor que en el Islote El Pelado, destacando sobre todo al orden Scleractinia con un total de 368 especies para Isla Lizard y 45 especies aproximadamente para Isla Cozumel. Por lo contrario, para el Islote El Pelado existen 31 especies de las cuales destaca el orden Alcyonoacea con Octocorales como el primer grupo con mayor abundancia de especies, por lo que se evidencia que las poblaciones coralinas en el Pacífico Oriental Tropical son pequeñas, estructuralmente menos complejas debido a la menor diversidad de especies que presentan según (Glynn, 2001) a diferencia de sus contrapartes en el Indo-Pacífico y el Caribe. Demostrando que el desarrollo de corales se evidencia con mayor abundancia en zonas con temperaturas más estables y cálidas como se observa en las Islas Lizard y Cozumel (26°C – 29°C).

En referencia a los datos antes mencionados, estos indican que la distribución de corales está relacionada en gran proporción con la temperatura superficial del mar, dado que se han registrado una mayor cantidad de especies en zonas con temperaturas cálidas y rangos de salinidad estables. Sin embargo, en el contexto de

cambio climático la elevación de la temperatura se puede traducir a futuro en la aparición de condiciones más adecuadas para el desarrollo de formaciones coralinas en zonas consideradas marginales para el desarrollo de corales. De acuerdo con los resultados de (Stranges et al, 2019), donde en escenarios de estabilización de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, el modelo de nicho ecológico dio como resultado una mayor distribución de corales en las costas de Ecuador y Galápagos debido a que estas zonas tendrían las características de un hábitat adecuado para los corales, siendo de esta forma una posibilidad que en el islote El Pelado pueda mantener un sistema arrecifal activo dada las condiciones físicas del ambiente marino. No obstante, el cambio en las condiciones físicas de Isla Lizard en la Gran Barrera de Coral e Isla Cozumel en el Arrecife Mesoamericano podrían repercutir en el desarrollo de corales dado que un aumento excesivo de los parámetros como temperatura causaría fenómenos como el blanqueamiento o la aparición de enfermedades, provocando la mortalidad de especies coralinas en el arrecife.

Estos resultados, sumados a los de la presente investigación representan un supuesto en la expansión de corales en base a la transformación de las condiciones en óptimas para su colonización en los diferentes sustratos.

10. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos demuestran que existe ciclos anuales marcados para cada sitio en todos los parámetros estudiados, con excepción de la variable de salinidad superficial en Isla Cozumel, la cual se mantuvo en el rango de 35-36 UPS a diferencia de sus contrapartes mostrando variaciones periódicas.
- En referencia a la productividad primaria se evidenció que las concentraciones de clorofila-*a* variaron por sitio, con la mayor concentración en “Islote El Pelado” (P2) donde se encontraron aguas con alta productividad primaria puesto que en sus costas convergen distintas corrientes con diferentes características fisicoquímicas, mientras que en “Isla Lizard” (P1) sus aguas se caracterizan por ser ligeramente productivas dado que por sus costas pasan corrientes que derivan de la EAC que se caracteriza por presentar aguas oligotróficas, en contraste “Isla Cozumel” (P3) presentó aguas con baja productividad dado que sus aguas son muy cálidas presentando bajos nutrientes.
- De acuerdo con los análisis estadísticos se pudo comprobar que existen diferencias significativas entre cada sitio por cada variable, a excepción de

la concentración de clorofila-*a* entre Isla Lizard e Isla Cozumel que mostraron ser iguales.

- A partir del análisis de componentes principales se pudo demostrar que en Isla Lizard e Islote El Pelado las variables de temperatura superficial y los niveles de clorofila-*a* presentan correlación moderada con los corales, lo que estaría influyendo en la presencia de corales en los sitios de estudio.
- La mayor diversidad de corales se evidencia en zonas donde los parámetros como temperaturas y salinidad son más estables, sumado a una baja concentración de clorofila-*a* por lo que las Islas Lizard y Cozumel presentan mayores concentraciones de especies coralinas formadoras de arrecifes. Lo que no se evidencia en el Islote El Pelado.

11. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una investigación separando los datos por estaciones climáticas húmeda y seca.
- Se recomienda se realice una investigación similar comparando los aspectos químicos del agua en los tres lugares.
- Se recomienda monitorear in situ el Islote El Pelado para mantener actualizado el registro de corales en los bajos.

Bibliografía

- Abad, R., Jaramillo, K.B., Castro, D., Sánchez, J.A., & Rodríguez, J. (2022). Octocoral Distribution Patterns at the Equatorial Front. *Oceans*, 3, 218-230. doi:10.3390/oceans3020016
- Acosta, S. (10 de 12 de 2022). *Las principales amenazas que acechan a los océanos*. Obtenido de National Geographic España: https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/principales-amenazas-que-acechan-a-oceanos_15586
- Alcolado, P. (2004). *Manual de capacitación para el monitoreo voluntario de alerta temprana en arrecifes coralinos*. Instituto de Oceanología y MINTUR. Obtenido de https://www.cytcd.org/sites/default/files/manual_de_capacitacion_voluntarios_alcolado_2004.pdf
- Alpuche, J., Pereyra, A., y Angundis, C. (2005). Respuestas bioquímicas de camarones marinos a factores ambientales. *Revista Electrónica de Veterinaria*, VI(5), 1-10. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/636/63617216008.pdf>
- Alvarado, J., & Aguilar, J. (2009). Batimetría, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en aguas del Parque Nacional Marino Ballena, Pacífico, Costa Rica. *Biología Tropical*, 57, 19-29.
- Álvarez, J., Ordóñez, U., Valdés, D., Almaral, A., y Uicab, A. (2007). Estudio anual del zooplancton: composición, abundancia, biomasa e hidrología del norte de Quintana Roo, mar Caribe de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78, 421-430.
- Ambiente, M. d. (2015). *Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador*. Obtenido de Reserva Marina El Pelado: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/areas-protegidas/reserva-marina-el-pelado>
- Anderson, K., Cantin, N., Heron, S., Pisapia, C., Pratchett, M. (2017). Variation in growth rates of branching corals along Australia's Great Barrier Reef. *Scientific Reports*, 7(2920), 1-13. doi:10.1038/s41598-017-03085-1
- Andréfouet, S., & Payri, C. (2004). Remote sensing: A key tool for interdisciplinary assessment of coral reef processes. *Coral Reefs*.
- Babcock, R., Bustamante, R., Fulton, E., Fulton, D., Haywood, M., Hobday, A., Kenyon, R., James, R., Plagányi, E., Ricardson, A., & Vanderklift, M. (2019). Severe Continental-Scale Impacts of Climate Change Are Happening Now: Extreme Climate Events Impact Marine Habitat Forming Communities Along 45% of Australia's Coast. *Frontiers in Marine Science*, 6, 1-14. doi:10.3389/fmars.2019.00411

- Barea, L. (05 de 09 de 2022). *Definición de vientos alisios – Qué es, Significado y Concepto*. Obtenido de <https://lacienciadejaun.com/definicion-de-vientos-alisios-que-es-significado-y-concepto/>
- Barreiro, S., & García, R. (2022). *Evaluación de la Interacción entre Zoantidos y Poríferos en base a su nivel de cobertura espacial en Anconcito y San Lorenzo Provincia de Santa Elena*. Tesis de Grado, Santa Elena, Ecuador.
- Barros, J., & Troncoso, A. (2010). *Atlas climatológico del Ecuador*. Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1720/1/CD-2755.pdf>
- Baums, I. B., Boulay, J. N., Polato, N. R. y Hellberg, M. E. (2012). No gene flow across the Eastern Pacific Barrier in the reef building coral *Porites Lobata*. *Molecular Ecology*, 21, 5418-5433. doi:10.1111/j.1365-294X.2012.05733.x
- Benito, F. E. (2010). *Análisis de la clorofila a en el agua a partir de una imagen multiespectral Quickbird en la zona costera de Gandia*. Gandia.
- Boothroyd, J., Ayón, H., Robadue, D., Vásconez, J., y Noboa, R. (1994). *Características de la línea costera del Ecuador y recomendaciones para su manejo*. Reporte técnico 2076, Programa de manejo de Recursos Costeros.
- Brinkman, R., Wolanski, E., Deleersnijder, E., McAllister, F., & Skirving, W. (2002). Oceanic inflow from the Coral Sea into the Great Oceanic inflow from the Coral Sea into the Great. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54, 655-668. doi:10.1006/ecss.2001.0850
- Brodie, J., Deáth, G., Devlin, M., Furnas, M., & Wright, M. (2007). Spatial and temporal patterns of near-surface chlorophyll a in the Great Barrier Reef lagoon. *Marine and Freshwater Research*, 342-353.
- Budd, A., McNeill, D., Klaus, J., López, A., & Gerald, F. (2006). *Paleoecology and Sedimentology of Fossil Coral Reefs in the Dominican Republic*.
- Carabias, J., Provencio, E., Maza, J., Carvajal, E., Alarcón, G. y Maldonado, G. (1998). *Plan de Manejo del Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel*. Quintana Roo, México: Coordinación de Publicaciones y Participación Social del INE.
- Cárdenas, M., Triviño, M., Ginatta, G., y Velásquez, M. (2018). Comunidades Bentónicas Presentes en Sitios de Buceo en la Reserva Marina El Pelado. *Investigativo*, 11, 67-88. Obtenido de <https://revistas.uees.edu.ec/index.php/IRR/article/view/199>
- Cárdenas, M., Triviño, M., Rubira, K., y Troccoli, L. (2018). Variación espacial de la diversidad del macrobentos en la reserva marina el pelado. *Lasallista de Investigación*, 15(2), 390-404. doi: 10.22507/rli.v15n2a30
- Cárdenas, M., y Triviño, M. (2013). *Caracterización Bioecológica de siete sitios de buceo situados alrededor del islote el pelado en ayangue*. Proyecto Piloto: Plan de

autoregulación del turismo de buceo para la conservación de la biodiversidad marina del Islote El Pelado Ayangue, BIOELITE S.A., Santa Elena.

- Cenzano, P., & Torres, Y. (29 de abril de 2011). *Tispain*. Obtenido de Corrientes marinas y oceánicas, fundamentales para el clima y la vida: <https://www.tispain.com/2011/04/corrientes-marinas-y-oceanicas-fundamentales.html>
- Chuvienco, E. (2008). *Teledetección Ambiental*. Barcelona, España: Ariel S. A.
- CONABIO. (27 de 01 de 2022). *Arrecifes*. Obtenido de <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/arrecifes>
- CONANP. (2013). *Guía de identificación de Corales para el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel*.
- Conservancy, T. N. (19 de noviembre de 2022). *Biología del blanqueamiento*. Obtenido de Reef Resilience Network: <https://reefresilience.org/es/stressors/bleaching/bleaching-biology/>
- Cortés, J. (1997). *Biología y Geología de los arrecifes de coral del Pacífico Oriental*. .
- Cortés, J. (2011). EASTERN TROPICAL PACIFIC CORAL REEFS. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, 351-358. doi:10.1007/978-90-481-2639-2_72
- Croquer, A., Zambrano, S., Irazabal, I., y Torres, R. (2021). Factores globales y locales que inciden sobre la degradación de los arrecifes coralinos: Una revisión para la República Dominicana. *AULA Revista de Humanidades y Ciencias Sociales*, 68(1), 1-30. doi:<http://doi.org/1033413/aulahcs.2022.68i1.194>
- Crudo, E. (2019). *Arrecifes de coral, ¿qué son y qué tipos hay? El pilar del ecosistema marino*. Obtenido de <https://www.enestadocrudo.com/arrecifes-coral-ecosistema-marino/>
- Dahlgren, J., & Rodríguez, R. (2003). Los arrecifes coralinos atlánticos de México. En *Arrecifes de Coral Latinoamericanos*, ed. J. Cortés. *Elsevier*, 131-158.
- De la Lanza Espino, G. & Gómez-Rojas, J. C. (2004). *Características Físicas y Químicas del Golfo de México*. En *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, ed. M. Caso, 1. Instituto Nacional de Ecología, México, D.F.
- De'ath, G., & Fabricius, K. (2010). La calidad del agua como impulsor regional de la biodiversidad de corales y macroalgas en la Gran Barrera de Coral. *Aplicaciones ecológicas*, 20(3), 840-850.
- Eakin, C. M., Nim, C., Brainard, R., Aubrecht, C., Elvidge, C., Gledhill, D., Muller-Karger, F.; Mumby, P. J.; Skirving, W. J.; Fuerte, A. E.; Wang, M.; Semanas, S.; Wentz, F., & Ziskin, D. (2010). Monitoring Coral Reefs From Space. *Oceanography*, 23(4), 1086. Obtenido de https://scholarcommons.usf.edu/msc_facpub/1086

- EPA. (14 de 12 de 2022). *Información básica sobre los arrecifes de coral*. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-los-arrecifes-de-coral#importantes>
- Figueroa, J. (2015). *Contribución al conocimiento de la Fauna de Octocorales (Octocorallia: Gorgoniidae) en el Arrecife Rocoso del Islote los Ahorcados, Manabí-Ecuador*. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Ganachaud, A., et al. (2007). Southwest Pacific Ocean Circulation and Climate Experiment (SPICE): Part I: Scientific Background, International CLIVAR Project Office. *CLIVAR Publ. Ser. 111, NOAA OAR Spec. Rep., NOAA/OAR/PMEL, 37*. Obtenido de www.pmel.noaa.gov/pubs/PDF/gana3070/gana3070.pdf
- GESAMP. (1999). *La Contribución de la Ciencia al Manejo Costero Integrado*. (Grupo Mixto de Expertos OMI/FAO/UNESCO-COI/OMM/OMS/OIEA/Naciones Unidas/PNUMA sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino).
- Glynn, P. (1990). Coral Mortality and Disturbances to Coral Reefs in the Tropical Eastern Pacific. *In Elsevier oceanography series, 52, 55-126*.
- Glynn, P. (2001). *Ecosistemas de arrecifes de coral del Pacífico del oriente*. En: Seeliger, U., Kjerfve, B. (Eds.), *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*. Estudios Ecológicos.
- Glynn, P. (2003). Coral communities and coral reefs of Ecuador. In Latin American coral reef. *Elsevier Science, 449-472*. doi:10.1016/B978-044451388-5/50020-5
- Glynn, P. (2017). Historia de la investigación de los arrecifes de coral del Pacífico oriental. *Springer Science*. doi:10.1007/978-94-017-7499-4
- Glynn, P., Feingold, J., Baker, A., Baums, I., Cole, J., Colgan, M., Fong, P., Glynn, P. J., Keith, I., Manzello, D., Riegl, B., Ruttenberg, B., Smith, T., Vera. (2018). State of corals and coral reefs of the Galápagos Islands (Ecuador): Past, present and future. *Marine Pollution Bulletin, 717-733*. doi:10.1016/j.marpolbul.2018.06.002
- Glynn, P.W. & Ault, J.S. (2000). A biogeographic analysis and review of the far eastern Pacific coral reef region. *Coral Reef, 19(1), 1-23*. doi:10.1007/s003380050220
- Gómez, K., López, T., Gil, L., Navas, R., Rojas, J., y Garzón, J. (2011). Blanqueamiento coralino, amenaza para el futuro de los arrecifes de coral de los archipiélagos Nuestra Señora del Rosario y San Bernardo. *ResearchGate, 11*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/284731889>
- González, A., Torruco, D., & Torruco, A. (2020). Coral diversity and its relationship with diving in protected natural areas reefs: Mexico, Belize and Honduras. *Intropica, 15(2), 94-115*. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.21676/23897864.3526>

- Goodman, J.A., Purkis, S.J., Phinn, S.R., (2013). Coral Reef Remote Sensing: A Guide for Mapping, Monitoring and Management. *Springer*.
- Guzmán, H., & Cortés, J. (1993). Arrecifes coralinos del Pacífico Oriental Tropical: Revisión y perspectivas. *Biología Tropical*, 535-557.
- Harrould, E., & Savitz, J. (2009). *Acidificación: ¿Cómo afecta el CO2 a los Océanos?* Obtenido de <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/51163595/Acidificacion-oceanos-libre.pdf>
- IPCC. (2019). El Informe Especial del IPCC sobre el océano y la criósfera en un clima cambiante ¿Qué significa para América Latina? Obtenido de www.ipcc.ch/srocc
- IPCC. (2022). *Technical Summary. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* doi:10.1017/9781009325844.002.
- Jasso, J. (2012). *Variación de los parámetros oceanográficos alrededor del Arrecife Verde en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (Golfo de México Occidental)*. Tesis, Universidad Veracruzana .
- Johansen, J. (2014). *Quantifying Water Flow within Aquatic Ecosystems Using Load Cell Sensors: A Profile of Currents Experienced by Coral Reef Organisms around Lizard Island, Great Barrier Reef, Australia.*
- Jong, S. M. De., Meer, F. D., Van Der., & Clevers, J. G. P. . (2004). Basics of Remote Sensing. En *Remote Sensing Image Analysis: Including the Spatial Domain.* Springer, 1-15.
- Juárez, D. (2021). *PRINCIPALES AMENAZAS DE LOS ARRECIFES DE CORAL.* Oxaca. Obtenido de <https://lum.chiapas.gob.mx/>
- Kogut, P. (10 de diciembre de 2021). *Teledetección Satelital: Tipos, Usos Y Aplicaciones.* Obtenido de EOS Data Analytics: <https://eos.com/es/blog/teledeteccion/>
- Konecny, G. (2014). *Geoinformation: remote sensing, photogrammetry and geographic information systems.* CRC Press.
- Laborda, A. (2018). Los arrecifes del Pacífico Oriental Tropical, “los otros arrecifes de coral”. *AmbioCiencias*, 16, 49-68.
- Lazcano, M. (2007). *Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área de Protección de Flora y Fauna Isla de Cozumel, Quintana Roo, México.* Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Leão, M. (2016). Brazilian coral reefs in a period of global change. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64, 97-116.

- Lima, C., & Soares, A. (2007). *Circulación en océanos, corrientes oceánicas y cuerpos de agua*. Universidad Federal del Fluminense, Río de Janeiro. Obtenido de <http://www.uff.br/ecosed/Correntes.pdf>.
- Lyons, M., Roelfsema, C., Kennedy, M., Kovacs, E., Borrego, R., Markey, K., Roe, M., Yuwono, D., Harris, D., Phinn, S., Asner, G., Li, J., Knapp, D., Fabina, N. (2020). *Mapeo de los arrecifes de coral del mundo utilizando un marco global de observación de la tierra a múltiples escalas*. Universidad de Queensland, Escuela de la tierra y Medio Ambiente.
- Macías, L. (2015). *Diversidad de peces asociados a parches de coral en la Isla De La Plata*. Universidad San Francisco de Quito USFQ, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales, 9, Quito.
- Manzello, D., Kleypas, J., Budd, D., Glynn, P. & Langdon, C. (2008). Poorly cemented coral reefs of the eastern tropical Pacific: Possible insights into reef development in a high-CO₂ world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(30), 10450-10455.
doi:doi:<https://doi.org/10.1073/pnas.0712167105>
- Mao, Y., & Luick, J. (2014). Circulation in the southern Great Barrier Reef studied through an integration of multiple remote sensing and in situ measurements. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119, 1621-1643.
doi:10.1002/2013JC009397
- Martelo, M. (1998). *EL FENOMENO DE EL NIÑO*. Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología (CONICIT) de Venezuela. Obtenido de <http://repiica.iica.int/DOCS/B1760E/B1760E.PDF>
- McKinnon, A., Logan, M., Castine, S., & Duggan, S. (2013). Pelagic metabolism in the waters of the Great Barrier Reef. *Limnology and Oceanography*, 58(4), 1227-1242. doi:10.4319/lo.2013.58.4.1227
- McWilliam, J., McCauley, R., Erbe, C & Parsons, M. (2017). Soundscape diversity in the Great Barrier Reef: Lizard Island, a case study. *Bioacoustics*.
doi:10.1080/09524622.2017.1344930
- Meteorology, A. B. (2014). *El fenómeno de El Niño y sus impactos asociados*. Informe Nexus, N.º 2, Universidad de Columbia, International Research Institute for Climate and Society. Obtenido de <https://zoinet.org/wp-content/uploads/2018/02/Nexus.brief-elnino-sp-7dec2017-1.pdf>
- Molina, S. (2020). *Estado de conservación y cambios en el arrecife de Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos ante las amenazas antropogénicas*. Universidad Iberoamericana Puebla, Repositorio Institucional. Obtenido de <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/eid2009/CD0053667.pdf>

- Moreno, M. (2017). *Sensores Remotos y Cambio Climático: Perspectivas de Aplicación para el Monitoreo de Ecosistemas Altoandinos*. En González-Pinto, A. L. (Ed). *Biodiversidad y cambio climático en Colombia: Avances, perspectivas y reflexiones*. Bogotá, D.C., Colombia: Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Obtenido de file:///C:/Users/HP/Downloads/BiodiversidadyCambioClimticoenColombia.Avan cesPerspectivasyReflexiones.pdf
- Nazca, I. d. (2005). *Áreas prioritarias para la Conservación Marina en el Ecuador Continental*.
- Nazca, I. d. (2005). *Áreas Prioritarias para la Conservación Marina en el Ecuador Continental*.
- Okuda, T., Trejos, R., Valencia, M., y Rodriguez, A. (1983). Variación estacional de la Posición del Frente Ecuatorial y su Efecto sobre la Fertilidad de las Aguas Superficiales Ecuatorianas. *Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR, 2(1)*. Obtenido de file:///C:/Users/HP/Downloads/OCE201_4.pdf
- Olson, A. (1961). *Moluscos del Pacífico Oriental Tropical. Particularmente desde el sur del Panámico-Pacífico. Provincias Faunísticas (Panamá a Perú)*. Paleontological Research Institution , Ithaca, USA.
- OMM. (2018). *Guía de prácticas climatológicas*. Organización Meteorológica Mundial.
- Padilla, N. (2020). *Bases Naturales de Oceanía*. Universidad Nacional de Mar del Plata. Obtenido de <http://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/3689/1/u7-padilla-2022.pdf>
- Paladines, G., Paladines, N., Paltán, V., Pazmiño, V., Pedroza, W., Portilla, P., Rivera, C., y Acuario, F. (2015). *Fenómeno del Niño Historia y Perspectivas*. Obtenido de file:///C:/Users/HP/Downloads/dfernandocobos-articulo12-100-109.pdf
- Pattiaratchi, C., & Siji, P. (2020). Variability in ocean currents around Australia. *ResearchGate*. doi:10.26198/5e16a2ae49e76
- Pérez, D. (2007). *Introducción a sensores remotos - Aplicaciones en Geología*. Buenos Aires, Argentina. Obtenido de http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso_SR/Guia_Curso_sr_2007.pdf
- Pisapia, Ch., Hochberg, E., y Carpenter, R. (2019). Multi-Decadal Change in Reef-Scale Production and Calcification Associated With Recent Disturbances on a Lizard Island Reef Flat. *Frontiers, 1-10*. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2019.00575/full>
- Poddar, S., Chacko, N., & Swain, D. (2019). Chlorophyll-a estimation on the north coast of the Bay of Bengal using Landsat-8 OLI and Sentinel-2 MSI sensors. *Physical Oceanography in Marine Science, 1-18*. doi:10.3389/fmars.2019. 00598

- Poloczanska, E. S., Brown, C. J., Sydeman, W. J., Kiessling, W., Schoeman, D. S., Moore, P. J., et al. . (2013). Huella global del cambio climático en la vida marina. . *NAT. Clim. Cambio* 3, 919–925. doi:10.1038/nclimate1958
- Ponce, B. (2017). *Caracterización de arrecifes rocosos de la costa del Pacífico de Ecuador usando la metodología Reef Check*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Ponce, B. (2017). *Caracterización de arrecifes rocosos de la costa del Pacífico de Ecuador usando la metodología Reef Check*. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.
- Ponce, I., & León, J. (2015). *Ese efecto de El Niño del que nadie habla: su impacto en la biodiversidad* . Obtenido de <https://gk.city/2015/12/21/ese-efecto-el-nino-del-que-nadie-habla-su-impacto-la-biodiversidad/>
- Pratchett, M., Munday, F., Wilson, S., Graham, N., Cinner, J., Bellwood, D., Jones, G., Polunin, N. & McClanahan, T. (2008). Efecto del blanqueamiento de corales inducido por el clima en los peces de arrecifes de coral. Consecuencias ecológicas y económicas. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 1-47. doi:10.1201/9781420065756.ch6
- Puente-Padilla, G., Quintana-Zambrano, G., González-Bedoya, J. (2020). Contaminación marina, un enfoque desde el contexto latinoamericano Marine pollution, an approach from the Latin American context. *HAYKA*, 2(3), 1-8. Obtenido de <https://sociedades.org/index.php/hayka/article/view/7/23>
- Purkis, S. J. (2018). Remote Sensing Tropical Coral Reefs: The View from Above. *Annual Review of Marine Science*, 10(1), 149-168.
- Quiroga, B. (2019). *Situación de los Arrecifes en Cozumel*. Reporte Técnico, México. Obtenido de https://issuu.com/arrecifescosumel/docs/situacion_de_los_arrecifes_en_el_pna_c_2019
- Rabelo, E. (2012). *Diversidade de micro-organismos associados à zoantídeos (CNIDARIA, ZOANTHIDAE)*. Tese, Universidade Federal do Ceará , Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza.
- Ramírez, J. (2006). *Corrientes Oceánicas*. Obtenido de Revista de Investigación en Ciencias y Matemáticas: <http://centros.edu.xunta.es/iesastelleiras/depart/bioxeo/lgazon/docs/bac2/ct/ormar.htm>
- Ramírez, J. (2010). *Corrientes Oceánicas* .
- Ramos, J. (2020). *Estimación de la Captura de Carbono en arrecifes coralinos mediante la Teledetección de cobertura arrecifal, Parque Nacional Archipiélago Espíritu Santo, BCS*. Tesis de Grado.

- Reyes-Bonilla, H., Millet-Encalada, M., & Álvarez-Filip, L. (2014). Estructura comunitaria de corales escleractinios fuera de áreas protegidas en la Isla de Cozumel, México. *Boletín de Investigación del Atolón*(601).
- Richards, Z., Juskiewicz, D., & Hoggett, A. (2021). Spatio-temporal persistence of scleractinian coral species at Lizard Island, Great Barrier Reef. *Coral Reefs, Springer, 40*, 1369-1378. doi:<https://doi.org/10.1007/s00338-021-02144-4>
- Rioja, R., & Álvarez, L. (2018). Sistemas arrecifales del Caribe Mexicano: Estado, tendencias recientes y conservación. *ELSEVIER*. doi:10.1016/j.marpolbul.2018.07.005
- Rioja-Nieto, R., & Álvarez-Filip, L. (2018). Sistemas Arrecifales del Caribe Mexicano: Estado, tendencia recientes y conservación. *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.005>
- Rodríguez, A., & Tortolero, J. (2014). *Corales: organismos base constructores de los ecosistemas arrecifales*. Guadalajara, México. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Jose-Cornejo-Ortega-2/publication/271205104_Implicaciones_en_la_observacion_de_la_ballena_jorobada/links/54c143450cf2d03405c511f1/Implicaciones-en-la-observacion-de-la-ballena-jorobada.pdf#page=34
- Rodríguez-Martínez, R., Van Tussenbroek, B., & Jordán-Dahlgren, E. (2016). Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe Mexicano (2014-2015). *ResearchGate*, 353-365. Obtenido de <https://redmaq.mx/images/maquina/documento/redmaq-b51e7718.pdf>
- Rojas, P., & Pabón, J. (2015). Sobre el calentamiento y la acidificación del océano mundial y su posible expresión en el medio marino costero colombiano. *Revista Académica Colombiana, 39*(151), 201-217. doi:<http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.135>
- Samaniego, J. (2022). *Climática*. Obtenido de El océano es una esponja de CO₂, pero, ¿cómo funciona este sumidero?: <https://www.climatica.lamarea.com/oceano-sumidero-de-carbono-como-funciona/>
- Santander, J. (2018). *Regionalización de los ecosistemas arrecifales de México para su conservación y manejo*. Universidad Autónoma del Estado de Baja California, Ensenada, Baja California. Obtenido de <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20.500.12930/190/1/ENS089062.pdf>
- Santander, L., & Propin, E., &. (2009). Impacto Ambiental del Turismo de Buceo en Arrecifes de Coral. *Cuadernos de Turismo*(24), 207-227.
- Sascha, C., Steiner, C., Bernhard, R., Lovorato, A., y Rodríguez, J. (2018). Community structure of shallow water Alcyonacea (Anthozoa: Octocorallia) from the

- southern Tropical Eastern Pacific. *Ecol Res*, 33(2), 457–469. doi:10.1007/s11284-018-1567-3
- Saunders, M., Bayraktarov, E., Roelfsema, C., León, J., Samper, J., Phinn, S., Lovelock, C., & Mumby, P. (2015). Spatial and temporal variability of seagrasses on Lizard Island, Great Barrier Reef. *Marine Botany*, 58(1), 35-49. doi:10.1515/bot-2014-0060
- Secaira, F., Reguero, B., y Acevedo, C. (2017). *Protección costera proporcionada por los arrecifes y dunas en el Caribe Mexicano - resumen*. doi:10.13140/RG.2.2.32337.74089
- SIAC. (12 de 12 de 2022). *Fenómenos del Niño y la Niña*. Obtenido de Sistema de Información Ambiental de Colombia: <http://www.ideam.gov.co/web/siac/ninoy Nina#:~:text=El%20efecto%20de%20%E2%80%9CLa%20Ni%C3%B1a,mientras%20que%20en%20la%20zona>
- Stranges, S., Cuervo-Robayo, A., Martínez-Meyer, E., Morzaria-Luna, H. y Reyes-Bonilla, H. (2019). Distribución potencial bajo escenarios de cambio climático de corales del género Pocillopora (Anthozoa: Scleractinia) en el Pacífico Oriental Tropical. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 1-16. doi:https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2696
- Stranges, S., Cuervo-Robayo, A., Martínez-Meyer, E., Morzaria-Luna, H., & Reyes-Bonilla, H. (2019). Potential changes in the distribution of the genus Pocillopora (Anthozoa: Scleractinia) in the Eastern Tropical Pacific under climate change scenarios. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 1-19. doi:10.22201/ib.20078706e.2019.90.2696
- Strychar, K., Coates, M., y Sammarco, P. (2004). Pérdida de Symbiodinium de corales escleractinios australianos (*Acropora hyacinthus*, *Favites complanata* y *Porites solida*). *Investigación marina y de agua dulce*, 35, 135-144. Obtenido de www.publish.csiro.au/journals/mfr
- Swain, L. (2011). Great Barrier Reef. *Environmental Encyclopedia*, 782-785.
- Tapia, M. (2006). Variabilidad temporal del fitoplancton en áreas costeras del mar ecuatoriano y su interrelación con el evento “La Niña 1999-2000”. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 14 (1), 37-48.
- Tapia, M., & Naranjo, C. (2019). La clorofila a como un indicador biológico en las estaciones fijas durante el evento La Niña 1999-2000. *Acta Oceanográfica del Pacífico ISSN: 1390-129X*, 1(1), 40-48.
- Taylor, F. (2011). Earthquakes and Emergence or Submergence of Coral Reefs. *Encyclopedia of Modern Coral Reefs*, Springer. doi:10.1007/978-90-481-2639-2,
- Terán, M., Campos, F., Clark, K., Ruiz, D., Guarderas, P., Jiménez, P., Denking, J., Ortiz, E., Suárez, C. (2004). *Portafolio de Sitios Prioritarios para la Conservación dentro*

de la Unidad de Planificación Ecorregional Pacífico Ecuatorial: Componente Marino. The Nature Conservancy, Quito, Ecuador.

- Upegui, S. (2020). *El papel de los arrecifes de coral en el ciclo del carbono ¿Fuentes o sumideros*. Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co>
- Valera, A., & Ron, S. (2018). *Geografía y Clima del Ecuador*. (P. U. Ecuador, Editor) Recuperado el 11 de 12 de 2022, de Bioweb: <<https://bioweb.bio/geografiaClima.html/>>
- Vaz, T. (04 de 11 de 2022). *Cómo Influyen las Corrientes Marinas en el Clima*. Obtenido de EnergiaToday: <https://energiatoday.com/como-influyen-las-corrientes-marinas-en-el-clima/>
- Villanueva, S., Ponce, G., García, C., y Presa, J. (2010). *Vulnerabilidad de la zona costera. Ecosistemas costeros*. Universidad Autónoma de Campeche.
- Voolstra, C., Schnetzer, J., Peshkin, L., Randall, C., Szmant, A., & Medina, M. (2009). Effects of temperature on gene expression in embryos of the coral *Montastraea faveolata*. *BMC Genomics*, 10, 1-9. doi:10.1186/1471-2164-10-627
- Wijeratne, S., Pattiaratchi, C., & Proctor, R. (2018). Estimaciones del transporte de corrientes límite superficiales y subterráneas alrededor de Australia. *Revista de Investigación Geofísica-Océanos*, 123(5), 3444-3466. doi:10.1029/2017jc013221
- WWF. (2006). *Mejores prácticas de pesca en arrecifes coralinos. Guía para la colecta de información que apoye el Manejo de Pesquerías Basado en Ecosistemas*. WWF México/Centroamérica.
- Xu, J., & Zhao, D. (2014). Review of coral reef ecosystem remote sensing. *Acta Ecologica Sinica*, 34(1), 19-25.
- Zarza, L. (12 de 12 de 2022). *¿Qué es La Niña?* Obtenido de Iagua: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-nina>
- Zeas, S. (2015). *Diversidad y Abundancia de Octocorales en el Bajo "La Pared", de la Reserva Marina El Pelado, Ayangue-Santa Elena*. Tesis de Grado, Santa Elena. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/2134/1/UPSE-TBM-2015-016.pdf>

ANEXOS

Reserva Marina El Pelado (REMAPE)				
Clase	Orden	Familia	Especie	
Anthozoa	Alcyonacea	Clavulariidae	<i>Carijoa riisei</i> (Duchassaing & Michelotti, 1860)	
			<i>Pacifigorgia firma</i> (Breedy & Guzman, 2003)	
			<i>Pacifigorgia irene</i> (Bayer, 1951)	
			<i>Pacifigorgia rubicunda</i> (Breedy & Guzman, 2003)	
			<i>Pacifigorgia adamsii</i> (Verrill, 1868)	
			<i>Pacifigorgia darwinii</i> (Hickson, 1928)	
		Gorgoniidae	<i>Leptogorgia cf. alba lila</i> (Duchassaing & Michelotti, 1864)	
			<i>Leptogorgia cuspidata</i> (Verrill, 1865)	
			<i>Leptogorgia alba</i> (Duchassaing & Michelotti, 1864)	
			<i>Leptogorgia pumila</i> (Verrill, 1868)	
			<i>Leptogorgia taboguilla</i> (Hickson, 1928)	
			<i>Muricea austera</i> (Kukenthal, 1911)	
		Plexauridae	<i>Muricea fruticosa</i> (Verrill, 1869)	
			<i>Muricea appressa</i> (Verrill, 1864)	
			<i>Heterogorgia hickmani</i> (Breedy & Guzman, 2005)	
			<i>Plexaura homomalla</i> (Esper, 1794)	
			<i>Muricea crassa</i> (Verrill, 1868)	
			<i>Muriceopsis flavida</i> (Lamarck, 1815)	
			<i>Muricea plantaginea</i> (Valenciennes, 1846)	
			<i>Muricea purpurea</i> (Verrill, 1868)	
			<i>Muricea squarrosa</i> (Verrill, 1869)	
			<i>Psammogorgia cf. arbuscula</i> (Verrill, 1866)	
		Antipatharia	Antipathidae	<i>Antipathes galapagensis</i> (Deichmann, 1941)
			Myriopathidae	<i>Myriopathes panamensis</i> (Pallas, 1766)
		Scleractinia	Dendrophylliidae	<i>Cladopsammia eguchii</i> (Wells, 1982)
				<i>Cladopsammia gracilis</i> (Milne Edwards & Haime, 1848)
Rhizangiidae	<i>Tubastraea coccinea</i> (Lesson, 1829)			
	<i>Astrangia browni</i> (Palmer, 1928)			
Pocillopora	Pocillopora	<i>Oulangia bradleyi</i> (Verrill, 1866)		
		<i>Pocillopora damicornis</i> (Linnaeus, 1758)		
	Pocillopora	<i>Pocillopora eydouxi</i> (Milne Edwards, 1860)		
		<i>Pocillopora elegans</i> (Dana, 1846)		
		<i>Pocillopora cf. capitata</i> (Verrill, 1864)		

Anexo 1. Lista de presencia de corales y octocorales registrados en la Reserva Marina El Pelado.

Fuente: Burgos, 2022.

Isla de Cozumel			
Clase	Orden	Familia	Especie
Anthozoa	Scleractinia	Merulinidae	<i>Orbicella annularis</i> (Ellis & Solander, 1786)
			<i>Porites astreoides</i> (Lamarck, 1816)
		Poritidae	<i>Porites porites</i> (Pallas, 1766)
			<i>Porites colonensis</i> (Lamarck, a8
		Siderastrea	<i>Siderastrea siderea</i> (Ellis & annularis, 1786)
			<i>Siderastrea radianes</i> (Pallas, 1766)
			<i>Montastraea cavernosa</i> (Linnaeus, 1767)
		Montastraeidae	<i>Montastraea faveolata</i> (Ellis & annularis, 1786)
			<i>Montastraea annularis</i> (Ellis & annularis, 1786)
			<i>Diploria clivosa</i> (Ellis & annularis, 1786)
			<i>Diploria strigosa</i> (Dana, 1846)
			<i>Diploria labyrinthiformis</i> (Linnaeus, 1758)
			<i>Isophyllastrea rigida</i> (Dana, 1846)
			<i>Isophyllia sinuosa</i> (Ellis & Solander, 1786)
			<i>Colpophyllia breviserialis</i> (Milne Edwards & Haime, 1849)
		Mussidae	<i>Mycetophyllia aliciae</i> (Wells, 1973)
			<i>Mycetophyllia daniana</i> (Milne Edwards & Haime, 1849)
			<i>Mycetophyllia ferox</i> (Wells, 1973)
			<i>Mycetophyllia lamarckiana</i> (Milne Edwards & Haime, 1849)
			<i>Scolymia sp</i> (Haime, 1852)
			<i>Manicina areolata</i> (Linnaeus, 1758)
			<i>Favia fragum</i> (Esper, 1793)
			<i>Colpophyllia natans</i> (Houttuyn, 1772)
		Pocilloporide	<i>Madracis decactis</i> (Lyman, 1859)
			<i>Eunicea sp.</i> (Lamouroux, 1816)
		Plexauridae	<i>Plexaura homomalla</i> (Esper, 1792)
		Faviidae	<i>Mussa angulosa</i> (Pallas, 1766)
	<i>Millepora alcicornis</i> (Linnaeus, 1758)		
Milleporide	<i>Millepora complanata</i> (Lamarck, 1816)		
	<i>Stephanocoenia intersepta</i> (Esper, 1795)		
Astrocoeniidae	<i>Stephanocoenia michelini</i> (Milne Edwards & Haime, 1849)		
	<i>Dichocoenia stokesii</i> (Milne Edwards & Haime, 1849)		
	<i>Dendrogyra cylindrus</i> (Ehrenberd, 1834)		
Meandrinidae	<i>Eusmilia fastigiata</i> (Pallas, 1766)		
	<i>Meandrina meandrites</i> (Linnaeus, 1758)		
	<i>Acropora palmata</i> (Lamarck, 1816)		
Acroporidae	<i>Acropora cervicornis</i> (Lamarck, 1816)		
Agariciidae	<i>Agaricia tenuifolia</i> (Dana, 1846)		

		<i>Agaricia agaricites</i> (Linnaeus, 1758)
		<i>Helioseris cucullata</i> (Ellis & Solander, 1786)
		<i>Agaricia fragilis</i> (Dana, 1846)
		<i>Agaricia lamarcki</i> (Milne Edwards & Haime, 1851)
		<i>Agaricia undata</i> (Ellis & Solander, 1786)
Alcyonacea	Gorgoniidae	<i>Gorgonia ventalina</i> (Linnaeus, 1758)
	Briareidae	<i>Briareum asbestinum</i> (Pallas, 1766)

Anexo 2. Lista de especies de corales y octocorales registradas en Isla Cozumel.

Fuente: Burgos, 2022.

Profundidad	ESTRUCTURA TERMICA DE P2											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	26,08	26,65	26,87	26,14	25,86	25,02	24,17	23,04	23,20	23,48	23,58	24,59
5	26,02	25,84	26,09	26,10	22,68	22,40	24,65	23,09	23,20	23,64	23,54	24,78
10	25,14	24,08	24,37	25,58	22,65	22,38	24,57	23,05	22,56	23,77	23,51	24,73
15	24,03	22,60	23,15	24,94	22,68	20,43	23,78	22,76	19,92	23,71	23,35	24,40
20	22,48	21,10	22,20	23,53	22,55	19,32	22,69	21,02	18,84	23,61	22,25	23,17
25	21,60	20,33	21,56	23,00	22,17	18,62	21,75	20,72	18,27	23,00	20,70	22,63
30	20,06	18,94	21,04	22,22	21,63	18,23	21,82	21,92	17,98	22,89	19,43	20,92
35	19,06	18,72	18,84	20,55	20,81	17,91	18,66	21,47	18,07	21,34	18,27	19,64
40	18,52	18,09	18,48	19,86	20,43	18,26	19,14	20,40	18,69	16,16	17,44	18,74
45	17,84	17,81	18,15	19,15	19,78	18,25	19,20	19,33	17,48	16,01	17,05	17,46
50	17,06	17,45	17,88	18,72	19,46	18,27	19,44	19,52	16,76	15,96	16,66	16,97
55	16,55	17,07	17,62	18,64	19,25	18,34	19,41	19,07	16,62	16,00	16,34	16,77
60	16,20	16,80	17,25	18,33	19,29	18,39	18,28	18,60	16,55	15,76	15,80	16,55
65	16,12	16,49	16,86	18,12	19,14	18,33	18,15	18,05	16,29	15,51	15,63	16,56
70	15,86	16,08	16,48	17,61	18,86	18,27	17,97	17,56	15,86	15,13	15,54	16,49
80	15,59	15,68	16,05	17,61	18,56	18,01	17,19	17,54	15,47	14,90	15,34	16,13
90	15,45	15,40	15,65	17,26	18,18	17,71	16,46	17,57	15,20	14,81	15,10	15,65
100	15,31	15,23	15,43	16,96	17,67	17,23	16,14	16,55	14,94	14,59	14,97	15,47
125	15,20	14,93	15,12	16,37	16,69	16,55	15,58	15,58	14,45	14,44	14,88	15,39
150	14,98	14,71	14,96	16,13	16,05	15,91	15,02	14,84	13,56	14,11	14,73	15,22
175	14,57	14,37	14,53	15,44	14,94	15,30	14,50	14,28	12,93	13,84	14,68	15,04
200	14,18	14,01	14,22	15,17	14,04	14,87	14,36	13,49	12,71	13,47	14,44	14,72
225	13,78	13,55	13,64	14,97	13,69	14,22	13,05	13,38	12,87	12,97	14,06	14,21
250	13,44	13,17	13,16	14,66	13,25	13,41	11,97	13,43	11,30	12,65	13,51	13,62

Anexo 3. Datos de estructura Térmica de P1 entre 2012-2021.

Fuente: Burgos, 2022.

ESTRUCTURA TERMICA DE P1												
Profundidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	28,96	29,21	28,91	27,73	26,24	25,01	24,31	24,36	24,91	25,86	27,30	28,65
5	28,88	29,23	28,99	27,92	26,33	25,13	24,35	24,50	24,90	25,88	27,35	28,63
10	28,73	29,04	28,72	27,91	26,24	25,11	24,41	24,56	24,78	25,90	27,16	28,31
15	28,62	28,89	28,70	27,90	26,23	25,09	24,39	24,51	24,76	25,88	27,09	28,21
20	28,49	28,77	28,72	27,89	26,23	25,08	24,39	24,48	24,76	25,89	27,02	28,14
25	28,29	28,57	28,62	27,88	26,21	25,07	24,36	24,41	24,74	25,89	26,92	28,01
30	28,17	28,30	28,46	27,89	26,23	25,10	24,35	24,41	24,71	25,89	26,82	27,95
35	28,04	28,15	28,41	28,07	26,35	25,20	24,64	24,45	24,71	25,85	26,63	27,65
40	27,91	28,03	28,05	28,15	26,52	25,36	24,72	24,48	24,71	25,89	26,48	27,53
45	27,73	27,67	27,51	28,27	26,70	25,47	25,05	24,57	24,64	25,82	26,34	27,29
50	27,49	27,28	27,05	28,26	26,89	25,59	25,04	24,58	24,62	25,78	26,21	27,02
55	27,12	27,01	26,71	27,99	27,03	25,72	25,01	24,58	24,61	25,78	26,02	26,73
60	26,84	26,51	26,44	27,67	27,08	25,83	25,01	24,58	24,59	25,75	25,85	26,43
65	26,63	26,16	26,17	27,44	27,12	25,94	25,01	24,58	24,58	25,68	25,70	26,16
70	26,19	25,95	25,93	27,19	27,02	25,94	25,03	24,60	24,58	25,59	25,56	25,90
80	25,73	25,67	25,39	26,59	26,63	25,72	25,06	24,66	24,60	25,37	25,27	25,48
90	25,19	25,35	24,94	25,88	26,03	25,42	25,00	24,69	24,62	25,19	24,95	24,86
100	24,67	24,69	24,47	25,16	25,40	25,09	24,84	24,36	24,60	24,96	24,51	24,39
125	23,40	23,61	23,24	24,02	23,90	23,80	23,98	23,20	24,03	23,93	23,34	23,51
150	22,22	22,42	22,29	22,89	22,74	22,78	22,96	22,29	22,87	22,72	22,26	22,47
175	21,07	21,48	21,20	21,78	21,62	21,85	21,83	21,28	21,67	21,59	21,14	21,36
200	19,86	20,13	20,07	20,56	20,62	20,75	20,67	20,65	20,52	20,52	20,09	20,29
225	18,84	19,45	19,11	19,43	19,72	19,83	19,59	19,47	19,49	19,50	19,17	19,20
250	17,75	17,75	18,06	18,24	18,75	18,89	18,54	18,45	18,49	18,42	17,95	18,07

Anexo 4. Datos de estructura Térmica de P2 entre 2012-2021.

Fuente: Burgos, 2022.

ESTRUCTURA TERMICA DE P3												
Profundidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	27,08	26,83	26,98	27,52	28,30	28,66	29,07	29,43	29,61	29,42	28,56	27,83
5	27,25	26,92	26,91	27,43	28,29	28,62	28,95	29,34	29,29	29,41	28,69	27,89
10	27,42	27,08	26,76	27,15	28,15	28,62	28,97	29,23	28,92	29,38	28,71	27,83
15	27,45	27,06	26,76	27,12	28,14	28,62	28,84	29,16	28,77	29,39	28,69	27,72
20	27,49	27,01	26,73	27,07	28,11	28,66	28,74	29,05	28,65	29,39	28,61	27,62
25	27,51	26,96	26,66	27,00	28,10	28,61	28,66	28,84	28,55	29,38	28,61	27,42
30	27,61	26,94	26,61	26,96	28,08	28,61	28,61	28,66	28,55	29,31	28,59	27,27
35	27,66	26,93	26,61	26,93	28,02	28,56	28,30	28,51	28,54	29,31	28,57	27,65
40	27,68	26,89	26,52	26,92	28,00	28,56	28,23	28,38	28,49	29,19	28,55	27,74
45	27,67	26,92	26,41	26,95	27,92	28,55	28,19	28,39	28,46	28,92	28,51	27,81
50	27,64	26,93	26,30	26,98	27,83	28,37	28,03	28,30	28,19	28,68	28,43	27,77
55	27,62	26,95	26,19	26,95	27,66	27,72	27,81	28,11	27,81	28,33	28,12	27,75
60	27,61	26,82	26,15	26,80	27,53	27,48	27,42	27,93	27,66	28,04	27,88	27,67
65	27,68	26,73	26,10	26,57	27,41	27,50	27,07	27,85	27,56	27,87	27,34	27,54
70	27,68	26,63	25,94	26,55	27,31	27,37	26,82	27,67	27,41	27,55	26,81	27,50
80	27,59	26,30	25,67	26,38	27,04	27,01	26,33	27,25	26,96	27,02	25,75	27,53
90	27,29	25,93	25,57	25,99	26,65	26,53	25,95	26,84	26,45	26,35	24,49	26,50
100	25,97	25,60	25,46	25,55	26,23	25,83	25,30	26,41	25,98	25,30	23,64	26,17
125	23,50	24,33	24,18	23,84	24,64	23,75	23,75	25,22	24,70	23,00	22,22	24,59
150	21,94	21,42	22,15	21,67	22,77	21,09	21,81	23,49	22,71	21,05	20,86	23,24
175	20,50	20,06	20,53	20,43	20,50	19,09	20,55	21,72	20,67	19,47	19,60	21,90
200	18,68	18,83	18,90	19,31	18,53	18,40	19,77	19,84	18,86	18,57	18,97	20,32
225	17,06	17,89	17,93	18,38	17,55	17,71	19,31	18,48	18,38	17,75	18,25	19,18
250	15,77	16,94	16,93	17,39	16,55	16,95	18,89	17,57	17,46	16,72	17,54	18,13

Anexo 5. Datos de estructura Térmica de P3 entre 2012-2021.

Fuente: Burgos, 2022.

ESTRUCTURA HALINA DE P1												
Profundidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	34,93	34,84	34,70	34,73	34,83	34,91	35,03	35,10	35,14	35,17	35,14	35,06
5	35,03	34,95	34,70	34,77	34,86	34,96	35,06	35,12	35,14	35,20	35,19	35,13
10	35,06	35,07	34,74	34,93	34,89	35,00	35,15	35,18	35,24	35,23	35,27	35,21
15	35,09	35,06	34,75	34,92	34,91	35,00	35,16	35,19	35,24	35,24	35,28	35,25
20	35,15	35,10	34,74	34,93	34,91	35,01	35,17	35,20	35,24	35,24	35,28	35,27
25	35,19	35,12	34,76	34,92	34,94	35,01	35,16	35,22	35,25	35,25	35,29	35,27
30	35,23	35,11	34,85	34,92	34,97	35,01	35,17	35,23	35,25	35,24	35,28	35,26
35	35,26	35,17	34,96	34,87	34,95	35,03	35,16	35,21	35,23	35,23	35,29	35,27
40	35,31	35,21	35,08	34,92	34,96	35,04	35,16	35,20	35,19	35,26	35,32	35,30
45	35,31	35,14	35,26	34,87	34,93	35,06	35,16	35,21	35,21	35,24	35,31	35,29
50	35,33	35,21	35,34	34,88	34,94	35,06	35,18	35,21	35,23	35,25	35,33	35,29
55	35,33	35,28	35,37	34,96	34,96	35,07	35,17	35,21	35,23	35,26	35,35	35,30
60	35,35	35,38	35,39	35,01	35,00	35,11	35,18	35,22	35,23	35,26	35,37	35,31
65	35,37	35,38	35,40	35,06	35,05	35,17	35,17	35,24	35,24	35,27	35,38	35,34
70	35,39	35,41	35,42	35,11	35,08	35,21	35,18	35,26	35,26	35,28	35,37	35,36
80	35,43	35,53	35,46	35,21	35,17	35,27	35,21	35,31	35,30	35,31	35,39	35,39
90	35,47	35,58	35,50	35,33	35,26	35,35	35,24	35,36	35,34	35,36	35,41	35,42
100	35,50	35,55	35,55	35,42	35,35	35,42	35,29	35,50	35,39	35,42	35,46	35,49
125	35,60	35,68	35,63	35,63	35,56	35,60	35,44	35,68	35,55	35,59	35,66	35,65
150	35,73	35,73	35,67	35,73	35,70	35,71	35,62	35,74	35,73	35,73	35,74	35,75
175	35,72	35,72	35,67	35,75	35,72	35,74	35,71	35,76	35,72	35,76	35,74	35,75
200	35,66	35,67	35,64	35,69	35,67	35,71	35,67	35,71	35,68	35,71	35,67	35,68
225	35,57	35,57	35,55	35,61	35,58	35,62	35,60	35,62	35,61	35,64	35,58	35,59
250	35,47	35,47	35,50	35,50	35,52	35,54	35,50	35,53	35,53	35,54	35,49	35,49

Anexo 6. Datos de estructura Halina de P1 entre 2012-2021.

Fuente: Burgos, 2022.

ESTRUCTURA HALINA DE P2												
Profundidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	33,72	33,88	34,09	34,39	34,44	34,31	34,33	34,27	34,08	33,91	33,83	33,67
5	33,63	34,10	34,16	34,50	35,32	34,57	34,57	34,28	34,02	33,97	33,77	33,71
10	33,57	34,39	34,55	34,61	35,36	34,72	34,96	34,34	34,01	33,97	33,67	33,63
15	33,95	34,48	34,73	34,70	35,46	34,91	35,18	34,43	33,93	34,10	33,62	33,65
20	34,30	34,63	34,88	34,78	35,47	34,97	35,42	34,67	33,86	34,18	33,96	34,12
25	34,56	34,78	34,88	34,84	35,38	35,03	35,28	34,61	34,59	34,11	34,40	34,94
30	34,67	34,84	34,92	34,88	35,28	35,06	35,13	35,70	35,06	34,08	34,68	34,59
35	34,71	34,84	34,92	34,96	35,25	35,20	34,97	35,50	35,27	34,13	34,72	34,85
40	34,93	34,96	34,96	34,96	35,13	34,98	35,05	35,21	35,27	34,63	34,82	34,87
45	34,97	34,99	35,00	34,99	35,13	34,98	35,05	35,19	35,09	34,88	34,83	34,93
50	35,02	35,00	34,97	34,96	35,16	35,03	35,10	35,14	35,07	34,88	34,89	34,97
55	35,02	35,01	34,97	34,96	35,18	35,08	35,11	35,14	35,05	34,93	34,88	34,98
60	35,03	35,04	34,98	34,99	35,21	35,11	35,15	35,13	35,09	34,98	34,95	34,99
65	35,04	35,04	34,99	34,97	35,21	35,12	35,16	35,09	35,09	35,02	34,96	35,01
70	35,03	35,04	34,99	34,99	35,21	35,14	35,15	35,07	35,09	35,03	34,98	35,02
80	35,03	35,03	35,02	35,02	35,18	35,14	35,14	35,09	35,07	35,03	35,00	35,00
90	35,03	35,03	35,03	35,04	35,17	35,12	35,15	35,09	35,07	35,04	35,00	35,02
100	35,03	35,03	35,04	35,03	35,14	35,14	35,18	35,07	35,05	35,04	35,00	35,02
125	35,01	35,00	35,04	35,02	35,11	35,11	35,08	35,03	35,02	35,01	35,01	35,02
150	35,01	34,98	35,01	35,02	35,08	35,10	35,06	35,02	34,98	34,98	34,99	35,01
175	34,99	34,96	34,98	35,03	35,06	35,06	35,04	35,00	34,95	34,96	34,99	35,00
200	34,98	34,94	34,97	35,02	35,01	35,02	35,01	34,96	34,94	34,95	34,99	34,99
225	34,96	34,92	34,94	35,02	34,96	35,02	34,94	34,94	34,98	34,93	34,97	34,97
250	34,93	34,90	34,92	35,01	34,92	34,93	34,91	34,93	34,89	34,91	34,93	34,93

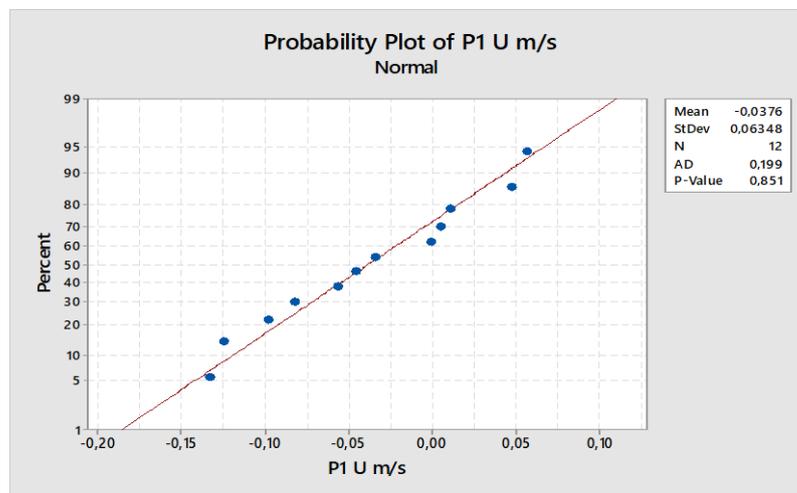
Anexo 7. Datos de estructura Halina de P2 entre 2012-2021.

Fuente: Burgos, 2022.

ESTRUCTURA HALINA DE P3												
Profundidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	35,95	36,00	36,00	36,06	36,14	36,16	36,10	36,11	36,07	36,09	36,02	36,02
5	35,96	36,03	36,02	36,13	36,14	36,16	36,24	36,15	36,16	36,11	36,30	36,00
10	35,96	36,07	36,02	36,11	36,14	36,16	36,31	36,21	36,08	36,09	36,26	35,98
15	35,92	36,09	36,01	36,11	36,15	36,16	36,31	36,26	36,08	36,11	36,28	35,96
20	35,91	36,07	36,03	36,11	36,16	36,16	36,35	36,28	36,13	36,12	36,24	35,94
25	35,86	36,15	36,01	36,11	36,16	36,15	36,33	36,28	36,16	36,12	36,25	35,80
30	35,91	36,19	36,09	36,12	36,16	36,16	36,29	36,37	36,17	36,15	36,25	36,12
35	36,08	36,19	36,09	36,13	36,16	36,16	36,30	36,33	36,19	36,15	36,26	36,47
40	36,07	36,18	36,12	36,14	36,17	36,16	36,31	36,33	36,22	36,16	36,26	36,52
45	36,05	36,20	36,14	36,14	36,19	36,17	36,30	36,35	36,23	36,18	36,24	36,54
50	36,03	36,22	36,17	36,14	36,21	36,18	36,35	36,37	36,24	36,22	36,25	36,55
55	36,04	36,22	36,18	36,17	36,21	36,23	36,37	36,45	36,24	36,24	36,43	36,46
60	36,03	36,22	36,20	36,21	36,23	36,24	36,44	36,48	36,28	36,27	36,36	36,39
65	36,04	36,28	36,21	36,22	36,22	36,28	36,46	36,49	36,31	36,30	36,50	36,34
70	36,04	36,32	36,24	36,24	36,23	36,30	36,47	36,53	36,35	36,35	36,46	36,31
80	36,05	36,35	36,27	36,36	36,27	36,42	36,54	36,59	36,39	36,44	36,51	36,36
90	36,14	36,36	36,26	36,46	36,30	36,54	36,69	36,71	36,44	36,53	36,43	36,73
100	36,78	36,39	36,29	36,53	36,34	36,68	36,70	36,69	36,55	36,63	36,38	36,72
125	37,02	36,76	36,74	36,65	36,55	36,77	36,84	36,75	36,68	36,76	36,27	36,98
150	37,07	36,78	36,70	36,67	36,69	36,67	36,84	36,74	36,80	36,65	36,26	37,00
175	36,95	36,56	36,61	36,67	36,70	36,49	36,79	36,79	36,50	36,56	36,17	36,82
200	36,67	36,18	36,49	36,59	36,57	36,46	36,85	36,65	36,31	36,48	36,07	36,69
225	36,42	36,12	36,41	36,49	36,40	36,27	36,81	36,49	36,33	36,37	36,23	36,60
250	36,19	35,96	36,25	36,35	36,23	36,15	36,75	36,43	36,15	36,24	36,38	36,54

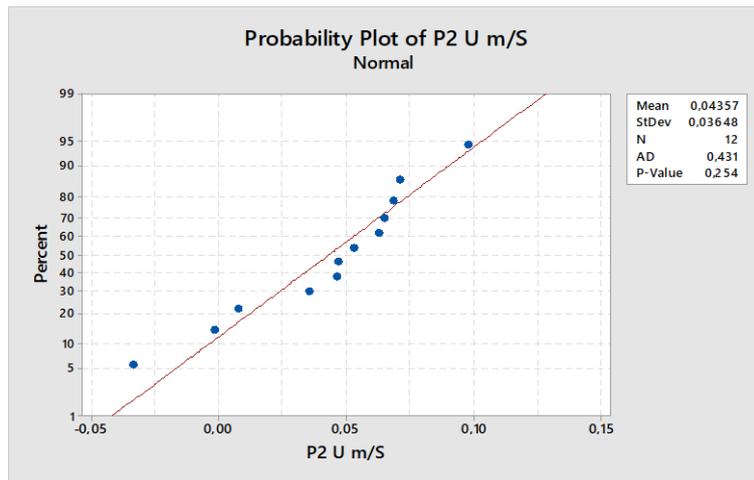
Anexo 8. Datos de estructura Halina de P3 entre 2012-2021.

Fuente: Burgos, 2022.



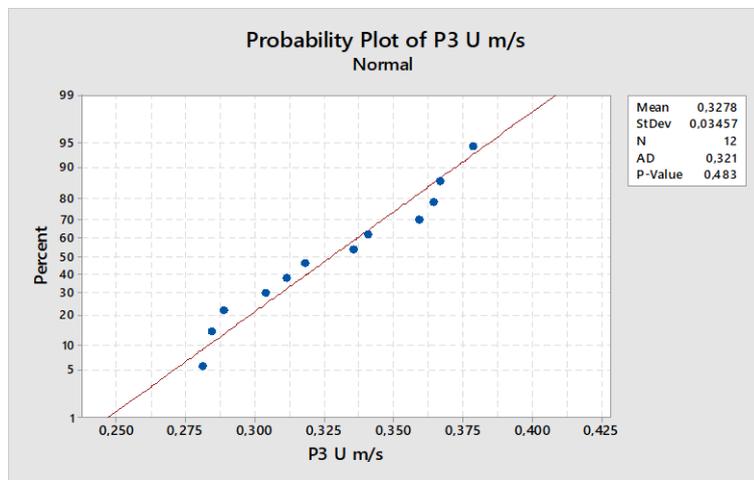
Anexo 9. Prueba de normalidad de datos de componente U m/s - Corrientes en P1.

Fuente: Burgos, 2022.



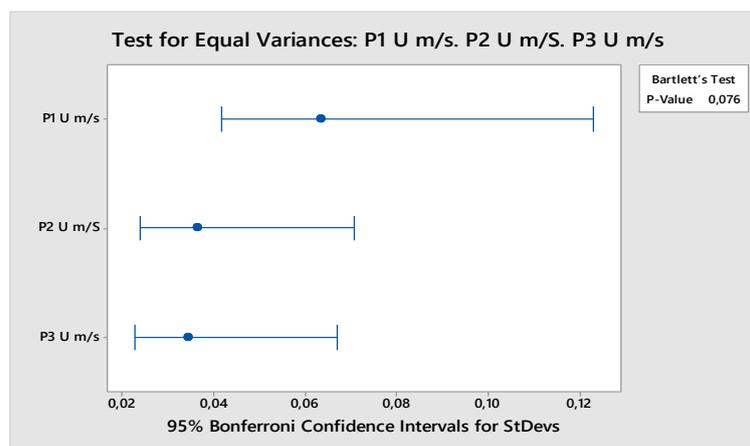
Anexo 10. Prueba de normalidad de datos de componente U m/s - Corrientes en P2.

Fuente: Burgos, 2022.



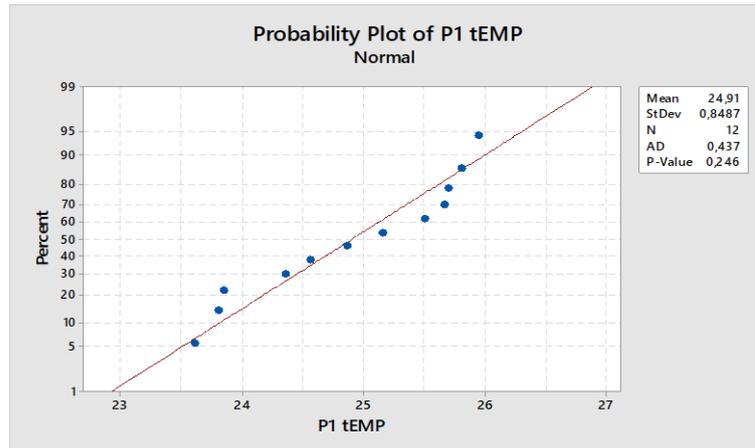
Anexo 11. Prueba de normalidad de datos de componente U m/s - Corrientes en P3.

Fuente: Burgos, 2022.



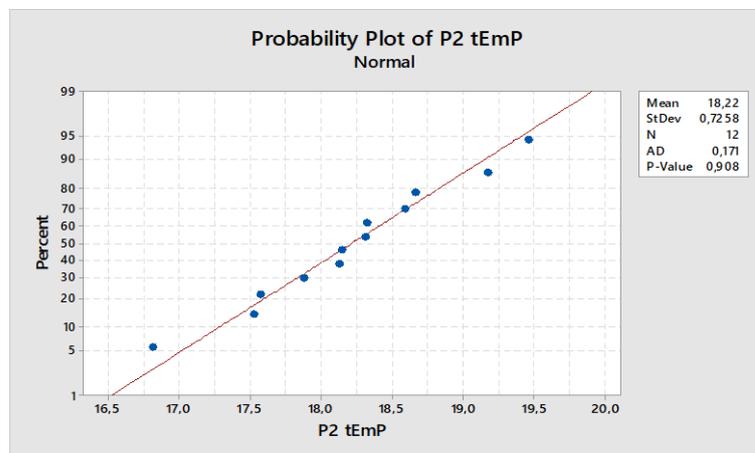
Anexo 12. Test de Bartlett del componente U m/s - Corrientes de los 3 puntos de estudio.

Fuente: Burgos, 2022.



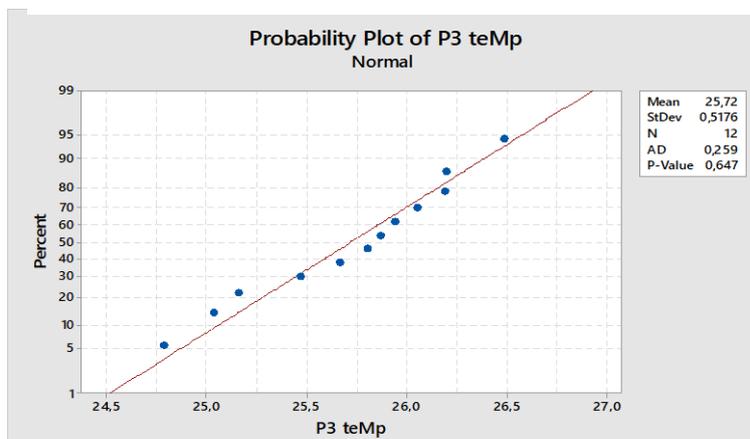
Anexo 13. Prueba de normalidad de datos de Estructura térmica de P1.

Fuente: Burgos, 2022.



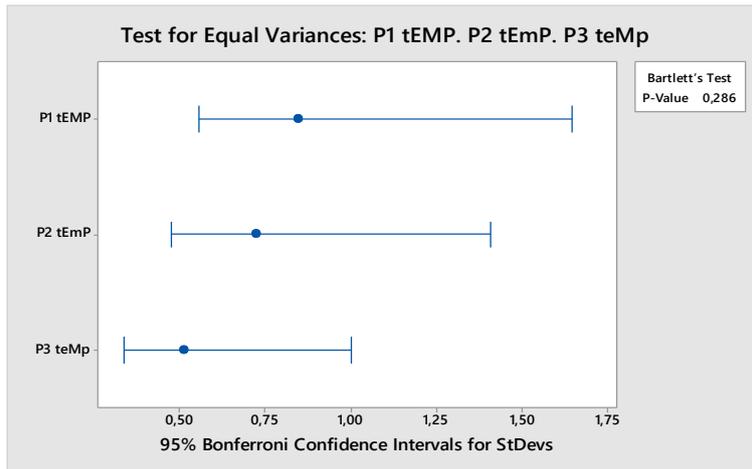
Anexo 14. Prueba de normalidad de datos Estructura térmica de P2.

Fuente: Burgos, 2022.



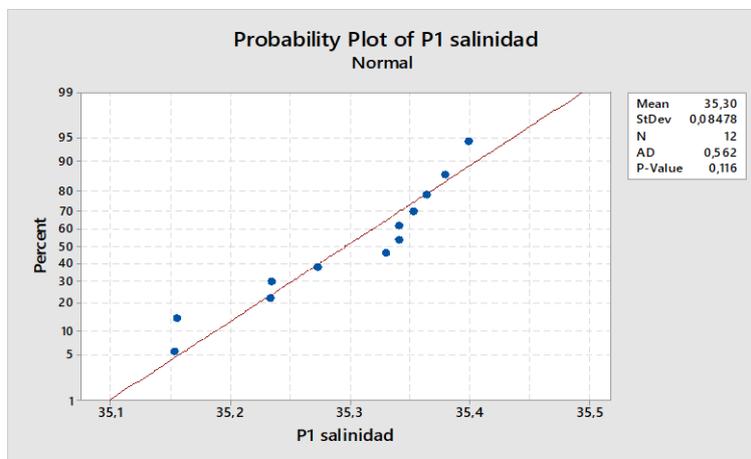
Anexo 15. Prueba de normalidad de datos de Estructura térmica de P3.

Fuente: Burgos, 2022.



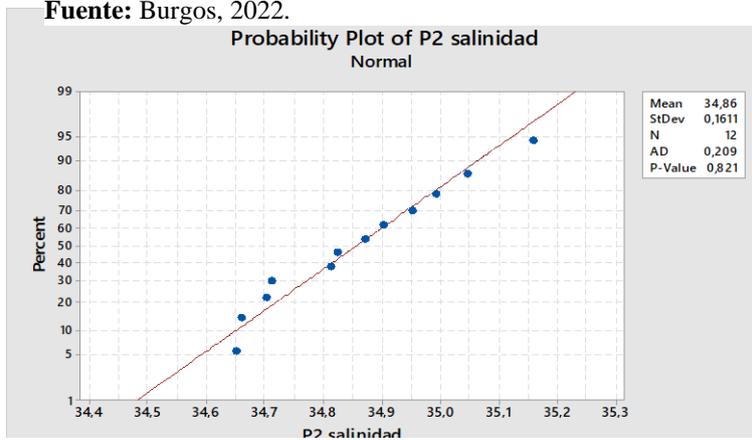
Anexo 16. Test de Bartlett de las estructuras térmicas de los 3 puntos de estudio.

Fuente: Burgos, 2022.



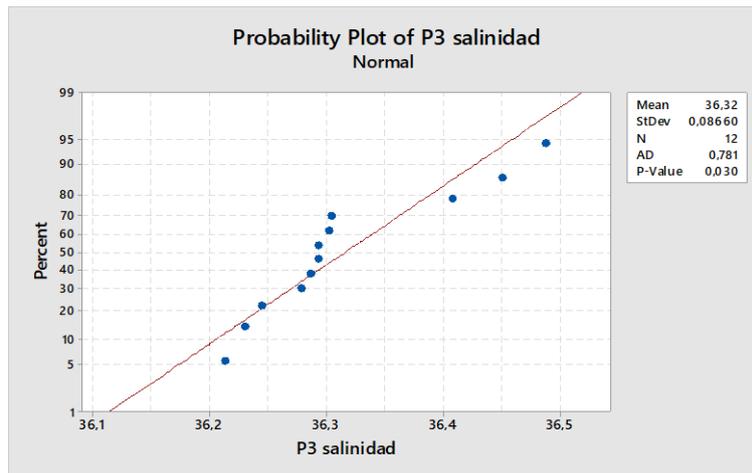
Anexo 17. Prueba de normalidad de datos de salinidad de P1.

Fuente: Burgos, 2022.



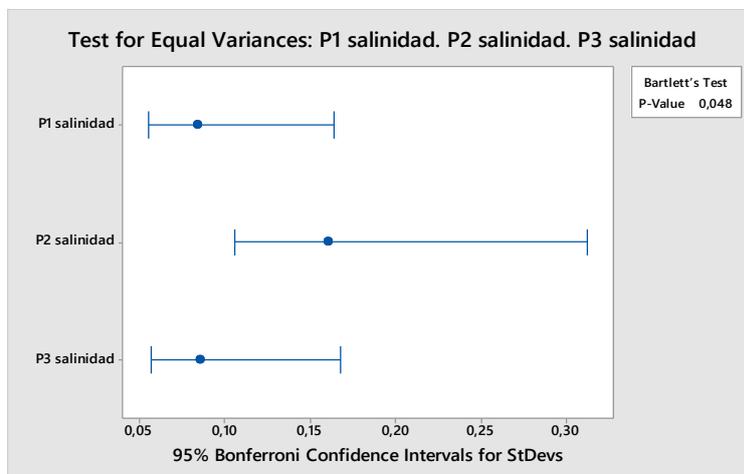
Anexo 18. Prueba de normalidad de datos de salinidad de P2.

Fuente: Burgos, 2022.



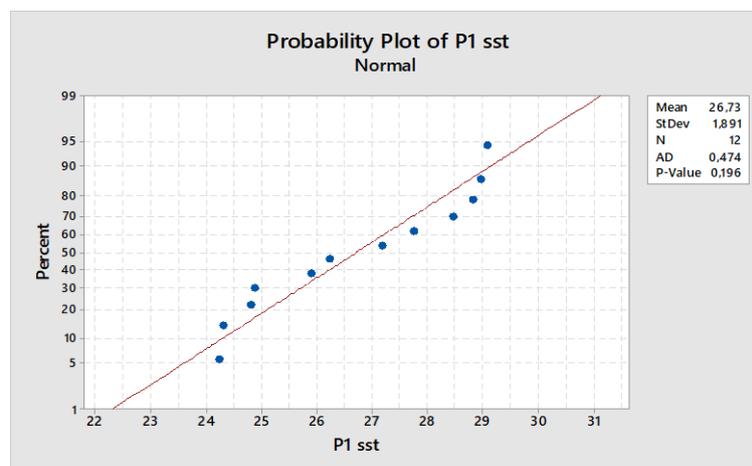
Anexo 19. Prueba de normalidad de datos de salinidad de P3.

Fuente: Burgos, 2022.



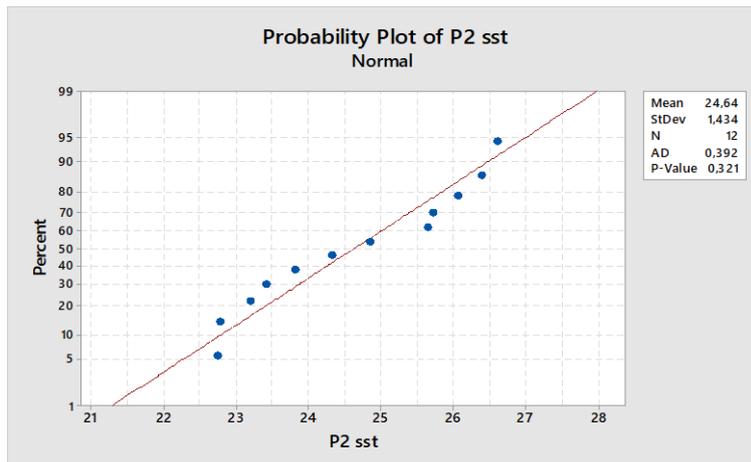
Anexo 20. Test de Bartlett de normalidad de salinidad de los 3 puntos de estudio.

Fuente: Burgos, 2022.



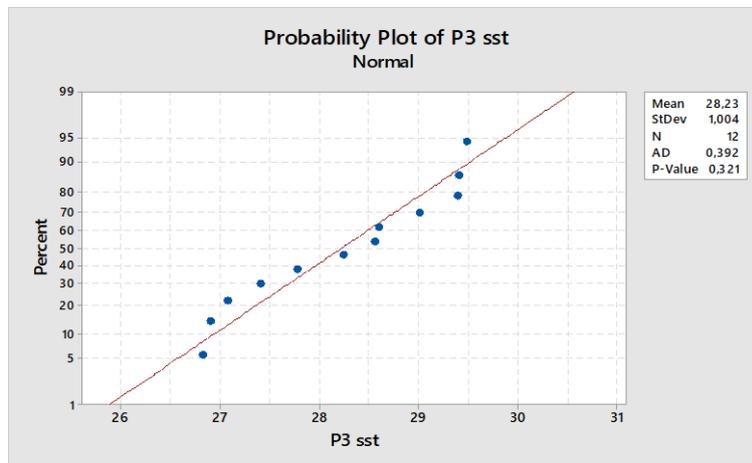
Anexo 21. Prueba de normalidad de datos de SST de P1.

Fuente: Burgos, 2022.



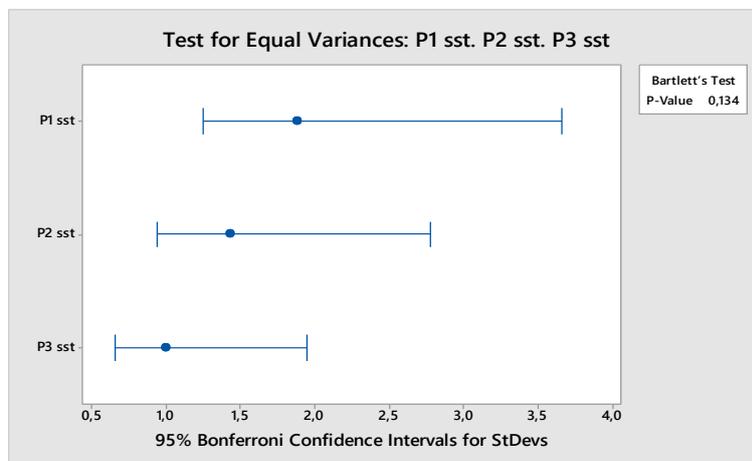
Anexo 23. Prueba de normalidad de datos de SST de P2.

Fuente: Burgos, 2022.



Anexo 22. Prueba de normalidad de datos de SST de P3.

Fuente: Burgos, 2022.



Anexo 24. Test de Bartlett de normalidad de SST de los 3 puntos de estudio.

Fuente: Burgos, 2022.

