



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MARÍTIMA CIENCIAS**  
**BIOLÓGICAS, OCEANOGRÁFICAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**

“Análisis comparativo de variables oceanográficas de sensores remotos y datos in situ en la costa del Ecuador para periodos de tiempo entre 1996-2014.”

**INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERA OCEÁNICA AMBIENTAL**

**NOMBRES COMPLETOS**

**STEFANNY DE LAS MERCEDES QUIROZ TORRES**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi familia, Robert, Francisca, Andrés y Brittany, quienes son pilar fundamental en mi vida. Gracias por la confianza que siempre me han tenido y por todo el amor y apoyo incondicional que me han brindado en todo lo que me he propuesto, este logro es de ustedes también.

A mis profesores, por la paciencia y todas las enseñanzas que me han brindado durante estos 5 años de estudio.

A los amigos que me dio la universidad, a los que iniciaron el camino conmigo y a los que conocí en el final del mismo, por las palabras de aliento que tuvieron para mí en los momentos duros y porque ustedes hicieron que esta etapa de mi vida esté llena de muchas alegrías. Gracias por los momentos vividos que siempre llevaré en mi corazón.

Agradezco al Instituto Oceanográfico de la Armada por brindarme la información necesaria para el desarrollo del presente trabajo.

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



Luis Altamirano Ms.C

PROFESOR EVALUADOR

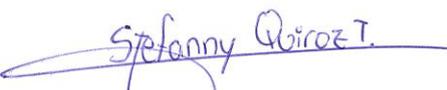


Mercy Borbor Ph.D.

PROFESOR TUTOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Stefanny Quiroz T.

Stefanny De Las Mercedes Quiroz Torres

## RESUMEN

La ejecución de este proyecto buscaba realizar un análisis comparativo entre los datos que se pueden obtener de sensores remotos con datos que se obtienen tomados en los sitios de muestreo, de tal manera que se pueda verificar o validar el uso de los datos de sensores remotos con lo que aumentaría la capacidad de analizar patrones oceanográficos tanto en tiempo como en espacio.

Para cumplir con este propósito se trabajó con las variables oceanográficas de temperatura superficial del mar, salinidad, fitoplancton y clorofila. La data satelital se obtuvo de los sitios web de la NASA, mientras que la data in situ fue proporcionada por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR). Se trabajó en tres estaciones costeras del Ecuador a 10 millas (Manta, La Libertad y Puerto Bolívar) para periodos de tiempo entre 1996-2014.

Se realizaron series de tiempo de las variables obtenidas mediante sensores y la data obtenida in-situ, se realizó también estadística descriptiva de los datos y correlaciones de Pearson entre variables oceanográficas obtenidas mediante sensores remotos con aquellos tomados in-situ.

Se obtuvieron correlaciones mayores a 65% para la temperatura superficial del mar, siendo para Manta de 0.75, La Libertad de 0.66 y para Puerto Bolívar de 0.83. Para la salinidad se obtuvieron buenas correlaciones para las estaciones de Manta y La Libertad siendo estas de 0.79 y 0.57 respectivamente. La correlación más baja encontrada fue para la variable de salinidad en la estación de Puerto Bolívar con 0.029.

Se realizó además correlaciones entre las variables de clorofila y fitoplancton para saber la relación lineal existente entre ellas. Se obtuvieron buenas correlaciones siendo todas mayores a 50%.

El presente estudio pudo demostrar que los productos obtenidos de sensores remotos presentan dinámicas similares a los datos que se pueden obtener en campo, puesto que los índices de correlación fueron altos para las tres estaciones.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	iii
DECLARACIÓN EXPRESA .....	iv
RESUMEN.....	v
ÍNDICE GENERAL .....	vi
INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO 1.....	10
1. REVISIÓN DE LITERATURA.....	10
1.1. Toma de datos oceanográficos.....	10
1.2. Sensores remotos.....	11
1.3. Radiación y espectro electromagnético .....	12
1.4. Información satelital en oceanografía .....	13
1.4.1. SeaSat. Fuente: Jet Propulsion Laboratory - NASA.....	14
1.4.2. GHRSSST (Group for High Resolution Sea Surface Temperatura). Fuente: Jet Propulsion Laboratory - NASA .....	14
1.4.3. MODIS (ModeRate Resolution Imaging Spectroradiometer) Fuente: NASA.....	15
1.4.4. Aquarius. Fuente: NASA.....	15
1.4.5. Sensor SeaWIFS. Fuente: Ocean Color - NASA.....	15
CAPÍTULO 2.....	17
2. METODOLOGÍA .....	17
2.1. Obtención de datos in-situ .....	17
2.2. Obtención de datos de sensores remotos.....	19
2.3. Análisis estadísticos de las variables .....	21
2.4. Metodología a utilizar para comparación de datos .....	21
CAPÍTULO 3.....	22
3. RESULTADOS.....	22

3.1. Series de tiempo de temperatura superficial del mar .....	22
3.1.1. TSM Sensores remotos .....	22
3.1.2. TSM In-Situ.....	26
3.2. Series de tiempo de Salinidad .....	30
3.2.1. Salinidad Sensores Remotos.....	30
3.2.2. Salinidad In-Situ.....	34
3.3. Series de tiempo de Clorofila a (Sensores Remotos).....	38
3.4. Series de tiempo de Fitoplancton (In-Situ) .....	42
3.5. Estadística descriptiva de los datos .....	46
3.6. Diagramas de caja de temperatura superficial del mar .....	47
3.6.1. TSM Sensores Remotos.....	47
3.6.2. Temperatura In-Situ.....	48
3.7. Diagramas de caja de la variable Salinidad .....	49
3.7.1. Salinidad Sensores Remotos.....	49
3.7.2. Salinidad In-Situ.....	51
3.8. Comparación de las series de tiempo obtenidas de sensores remotos con los datos de muestreos in situ por estación. ....	54
3.8.1. Manta .....	55
3.8.2. La Libertad.....	56
3.8.3. Puerto Bolívar .....	58
3.9. Correlaciones sensores remotos/in-situ .....	59
CAPÍTULO 4.....	66
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
BIBLIOGRAFÍA.....	68
5. Bibliografía .....	68

## INTRODUCCIÓN

En oceanografía el uso de sensores remotos se ha convertido en una herramienta de gran utilidad e importancia, ya que esta nos permite adquirir información de un área o fenómeno sin la necesidad de estar en contacto directo con el objeto, área o fenómeno que se está investigando [1].

La mayoría de los datos que se tienen en oceanografía, se han obtenido de modo puntual, esto quiere decir que se han hecho mediciones directas en el sitio de investigación a través de campañas de navegación realizadas a bordo de barcos oceanográficos con sondas multiparamétricas, boyas flotantes, entre otros.

Estos métodos tradicionales de obtención de datos implican, en muchos casos, desplazamiento de grandes distancias involucrando así mismo, periodos de tiempo significantes y es por este motivo que el realizar campañas de navegación para tomar datos oceanográficos tiene como consecuencia una logística con mayor complejidad dependiendo de los recursos que posee la entidad que requiere la investigación, incluyendo personal, equipos disponibles y recursos económicos.

Debido a lo mencionado previamente, el uso de sensores remotos supone una ventaja frente a la obtención de datos en situ permitiendo el ahorro de recursos. Además, es importante mencionar que el uso de sensores remotos en oceanografía permite obtener una visión con mayor amplitud del océano, del que se podría abarcar en una campaña de toma de mediciones directas, siendo incluso en un periodo de tiempo más corto [2].

Sin embargo, es de suma importancia el poder demostrar que los datos que se pueden llegar a obtener mediante sensores remotos son datos que ciertamente pueden suplir a los datos obtenidos con mediciones directas, cuando las campañas de muestreo o toma de datos no se pueden ejecutar ya sea por falta de recursos o incluso porque el periodo de tiempo para realizarlos no es suficiente. Es por esta razón que es indispensable realizar la validación de los datos obtenidos mediante sensores remotos utilizando datos obtenidos de mediciones realizadas in situ para de esta manera demostrar la aproximación de los mismos.

Para lograr lo mencionado anteriormente, en este trabajo se procederá a realizar la comparación de datos obtenidos mediante sensores remotos con datos que han sido medidos directamente. Se obtendrán datos de temperatura superficial del mar, salinidad, nutrientes y clorofila a. Se procesarán los datos, realizando series de tiempo

para ambos casos y posteriormente se realizará la comparación de los mismos. Según bibliografía consultada, en investigaciones previas se han realizado las comparaciones de los datos de sensores remotos con datos in situ utilizando métodos estadísticos, por lo que para este trabajo se utilizará dicha metodología. Incluyendo coeficientes de correlación, histogramas, error de sesgo medio (MBE), desviación estándar, asimetría, error cuadrático medio (RMSE), número de pares de datos (n), coeficiente de correlación ( $r^2$ ), pendiente de la recta de correlación (m), interceptor de la recta de correlación (b) [3] [4] [5].

La construcción de este proyecto estuvo guiado a través de los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

Comparar y correlacionar las variables obtenidas de los sensores remotos con datos tomados in situ en la costa ecuatoriana (10 Millas) para el periodo 1996-2016.

### **Objetivos específicos:**

Mostrar e interpretar las series de tiempo de los datos de las variables obtenidas de los sensores remotos.

Mostrar e interpretar las series de tiempo de los datos de las variables obtenidas en los muestreos in situ de las estaciones de monitoreo del Instituto Oceanográfico de la Armada en la costa ecuatoriana a 10 Millas.

Comparar las series de tiempo obtenidas de los datos de sensores remotos con las series de tiempo obtenidas con los datos de muestreos in situ.

Contrastar la precisión de los datos obtenidos mediante sensores remotos con los datos obtenidos de las mediciones in situ utilizando métodos estadísticos.

En el primer capítulo de este documento se presentará la revisión bibliográfica que fue recolectada previo al desarrollo del proyecto, en este capítulo se mencionará cuáles son los sensores remotos que se utilizan con mayor frecuencia en oceanografía y que variables se pueden obtener con ellos, así como también el desarrollo que le han dado algunos investigadores a temas similares en cuanto a comparación de datos satelitales y datos in situ. En los siguientes capítulos se mostrará el desarrollo de los objetivos mencionados y cuáles son los resultados obtenidos de los mismos.

## CAPÍTULO 1

### 1. REVISIÓN DE LITERATURA

Para el correcto desarrollo del presente proyecto es necesario partir de conceptos generales y así poder tener mayor comprensión sobre los temas a desarrollarse. Además, se adentrará en como otros autores han abordado temas similares, haciendo énfasis en que metodología aplicaron para obtener los resultados esperados.

#### 1.1. Toma de datos oceanográficos.

Los océanos son considerados sistemas de difícil acceso puesto que son altamente dinámicos y complejos, estos están en contacto directo con la atmósfera y cubren tres cuartas partes de la superficie terrestre, motivo por el cual el estudio y entendimiento de los procesos que se desarrollan dentro de ellos son de suma importancia pues tienen un rol esencial en la calidad de vida de los seres humanos [6] [7].

Dentro de los océanos se llevan a cabo diferentes procesos físicos, químicos y biológicos los cuales contribuyen en la estructura y movimiento de estos. Los procesos que ocurren dentro de los océanos se producen en escalas de diferentes magnitudes, tanto de tiempo como en distancia, ya que estos pueden darse desde días hasta décadas, inclusive milenios y así mismo en distancias cortas como de miles de kilómetros [7] [8] [9].

La oceanografía basa su metodología de estudios principalmente en obtener la información de las condiciones de los océanos directamente de ellos. El trabajo del oceanógrafo en campo es considerado extremadamente difícil debido a que las condiciones en las que se encuentra la superficie del mar pueden ser imprevistas, dificultando la obtención de los datos en campo, es por esta razón que se necesita personal altamente capacitado y equipos adecuados [8] .

En oceanografía la metodología para la obtención de los datos depende del área de estudio en particular, esto debido a que es considerada una ciencia multidisciplinaria que involucra a las áreas física, química, biológica o geológica. Cabe recalcar que, la información que se obtiene de cada una de ellas complementa a la otra y permite explicar los procesos que existen entre ellos, esto quiere decir que es importante conocer todos los aspectos del océano tanto físicos, químicos, biológicos y geológicos para poder comprender el todo con mayor claridad. Otra área a considerar para el

entendimiento de los océanos, es la interacción de estos con la atmósfera ya que como se mencionó previamente, están en contacto directo con la misma, por lo que las condiciones atmosféricas influyen en el comportamiento del océano y viceversa [7].

Las mediciones que se realizan en el océano demandan una plataforma relativamente estable entre estas están los buques de investigación, instrumentos anclados, sumergibles, flotadores y boyas a la deriva [10].

Dentro de la oceanografía física se contemplan propiedades y procesos físicos como temperatura del mar, densidad, transparencia, presión, energía, propiedades hidrodinámicas, mareas, circulación oceánica, mezcla, corrientes, masas de agua, entre otros. Algunos de los instrumentos que se utilizan para medir parámetros físicos son termómetros, botellas niskin, CTDs, multiparámetros, correntómetros, mareógrafos y olígrafos [7] [8] [10].

La oceanografía química pretende describir cual es la composición y actividad química de los océanos, la relación que existe entre los compuestos químicos del agua de mar con los organismos del medio marino, además del intercambio de elementos entre océano-atmósfera, aprovechamiento de los recursos químicos y las consecuencias de los desechos que terminan en el océano. Las principales variables que se estudian son la concentración de nutrientes, salinidad, oxígeno disuelto, etc., para lo cual se recolectan muestras de agua de diferentes profundidades por medio de instrumentos como las botellas niskin, estas muestras si se cuenta con los recursos necesarios son analizadas en los mismos buques oceanográficos o se procede a almacenarlas para ser analizadas en laboratorios en tierra [8].

Por su parte la oceanografía biológica estudia la interacción entre parámetros físico-químicos y la dinámica poblacional de los organismos marinos, entre otros incluyendo también el estudio del buen manejo de recursos pesqueros. Para obtener datos biológicos se utilizan métodos de muestreo mediante botellas oceanográficas y redes de arrastre, para posteriormente ser analizados en un laboratorio.

La geología marina se encarga de estudiar las cuencas oceánicas y los márgenes costeros. Las técnicas de muestreo empleadas en la obtención de datos comprenden el uso de dragas, sacatestigos, torres de perforación, ecosondas, entre otros [8].

## **1.2. Sensores remotos**

Los sensores remotos permiten obtener información de un objeto o de un área sin estar en contacto directo con estos, por lo general estos sensores están situados en

plataformas orbitales como los satélites. Su funcionamiento básicamente consiste en captar energía; pueden detectar varios tipos de energía entre las que se encuentran radiación electromagnética, gravedad, magnetismo, geofísica y ondas de radio, sin embargo, la fuente de energía más utilizada por los dispositivos de sensores remotos es la radiación que se encuentra dentro del espectro electromagnético. Se puede obtener la información a través de la emisión y reflexión de la radiación electromagnética [1] [11]. El uso de sensores remotos brinda al investigador un apoyo de gran conveniencia para reducir costos y tiempo invertido para la elaboración de un estudio.

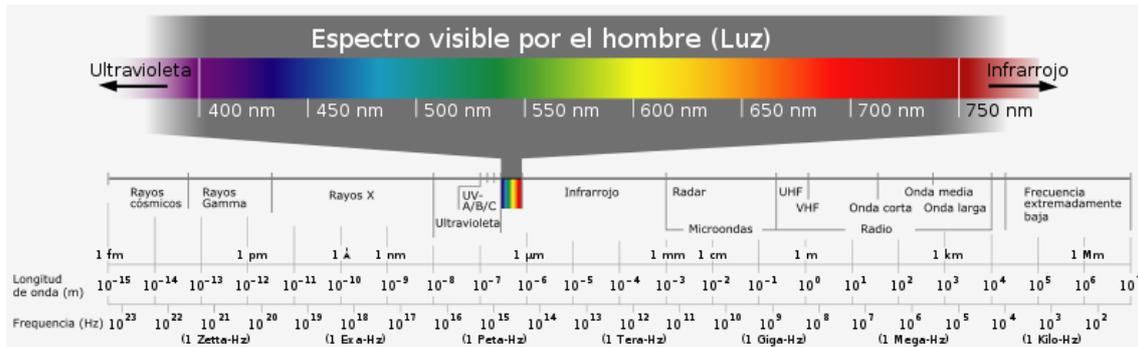
La obtención de datos mediante sensores remotos está determinada por diferentes factores que interaccionan entre sí para formar un solo sistema, entre estos tenemos, la fuente de energía, interacción de la energía con la superficie terrestre, el sensor y la propagación de la energía a través de la atmósfera [11]. Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética, por lo que la fuente de la energía puede ser natural o artificial [12].

Se tienen dos tipos de sensores: activos y pasivos. Los sensores activos son aquellos que generan la radiación, la cual rebota en el objeto de estudio obteniendo la información de la señal que es reflejada por dicho objeto, operan en el espectro microonda dentro del espectro electromagnético; un ejemplo de este tipo de sensores son los radares. Los sensores pasivos son aquellos que simplemente reciben la señal natural y reflejada de los objetos de estudio, estas señales son generadas por la radiación natural del sol y operan dentro del espectro visible e infrarrojo dentro del espectro electromagnético; un ejemplo de estos sensores son las fotografías aéreas y los satélites Landsat [1] [11].

### **1.3. Radiación y espectro electromagnético**

Para poder comprender mejor los sistemas de sensores remotos se tiene que entender lo que es la radiación electromagnética y el espectro electromagnético.

La radiación electromagnética es energía que se presenta en forma de campos de fuerza magnéticos y eléctricos, la cual se transmite por una onda en diferentes longitudes o como flujo de fotones en forma sinusoidal a través del espacio, mayor energía significa longitudes de ondas más cortas y viceversa. Algunas formas de radiación electromagnética son las ondas de radio, microondas, la luz visible, ultravioleta y rayos x [1].



**Figura 1.1: División del Espectro electromagnético. Fuente: Espectro Electromagnético (David Cárdenas Beltrán) [13]**

El espectro electromagnético se distribuye por regiones o bandas de frecuencia a la radiación electromagnética dependiendo de la energía, longitud de onda y frecuencia. La división del espectro electromagnético ha sido establecida de la siguiente manera: Ondas de radio, ondas radioeléctricas, microondas, rayos infrarrojos, luz visible, rayos ultravioletas, rayos x, rayos gamma y rayos cósmicos; sin embargo, no existe una división marcada entre una región y la siguiente [14].

El espectro visible se encuentra entre los  $0.4$  y  $0.7 \cdot 10^{-6}$  m y es la única radiación que puede ser percibida por el ojo humano por lo que es una división muy pequeña, tiene una subdivisión de tres longitudes de ondas que generan el color azul de  $0.4$  a  $0.5 \cdot 10^{-6}$  m, el verde de  $0.5$  a  $0.6 \cdot 10^{-6}$  m y el rojo de  $0.6$  a  $0.7 \cdot 10^{-6}$  m [1].

Junto al azul en la parte del espectro visible se encuentra la energía ultravioleta y del otro lado del espectro visible se localiza a la energía infrarroja la cual se divide en tres categorías que son: cercano, medio y termal. En el infrarrojo cercano se tiene que la intensidad de la radiación solar reflejada es todavía dominante y estas longitudes de onda se registran con radiómetros. La región de infrarrojo medio es de transición entre reflexión y emisión, esto quiere entre la radiación solar y la radiación terrestre, siendo esta última la dominante. Por último, en la región de infrarrojo termal se localizan las longitudes de onda de la radiación emisiva de la superficie terrestre [1] [11].

Cuando se tiene longitudes de onda entre 1mm a 1m, se suele referir a ellas como frecuencia más que como longitud de onda. El espectro de longitud de ondas más largas corresponde a las microondas. Mientras que el espectro de longitud de ondas más cortas corresponde a los rayos x y gamma [1].

#### 1.4. Información satelital en oceanografía

Los principales satélites ambientales que operan actualmente son:

- Series LANDSAT -E.U.A.
- Series TIROS - E.U.A.
- Series NOAA - E.U.A.
- MISION DE MAPEO DE CAPACIDAD DE CALOR (HCMM) - E.U.A.
- Series NIMBUS - E.U.A.
- SEASAT-A - E.U.A. (ahora fuera de funciones).
- GOES/METEOSAT - E.U.A./ E.S.A.
- SPOT - FRANCIA
- Series BHASKARA - INDIA
- MOS-1 – JAPON

Son varios los satélites y sensores que están dirigidos a la observación oceanográfica, destinados a suministrar de forma continua datos oceanográficos como temperatura superficial del mar, salinidad, vientos, altimetría, datos meteorológicos, entre otros. A continuación, se presentará algunas de las misiones satelitales destinados a oceanografía.

#### **1.4.1. SeaSat. Fuente: Jet Propulsion Laboratory - NASA**

Fue el primer satélite puesto en órbita que fue diseñado para la detección remota de los océanos. Llevó consigo cinco instrumentos: SAR (Radar de apertura sintética), ALT (Altimetro de radar), SASS (Radar Medidor de Reflexiones Múltiple), SMMR (Radiómetro de Barrido de Microondas Multicanales) y VIRR (radiómetro visible e infrarrojo); los cuales permitieron obtener datos de vientos, topografía de la superficie terrestre y marítima, salinidad, cobertura de hielo terrestre y marítimo y temperatura superficial del mar [15].

#### **1.4.2. GHRSSST (Group for High Resolution Sea Surface Temperatura).**

##### **Fuente: Jet Propulsion Laboratory - NASA**

El Grupo de alta resolución para Temperatura Superficial del Mar reúne agencias espaciales internacionales, institutos de investigación, agencias gubernamentales y universidades para fomentar la coordinación en el desarrollo de productos de temperatura superficial del mar a nivel internacional. El objetivo del GHRSSST es proporcionar productos de datos de temperatura superficial del mar de mejor calidad para diversas aplicaciones en varias escalas de tiempo de varios sensores que se encuentran en diferentes satélites. Organiza una gran variedad de datos de entrada y salida de los flujos de datos que deben ser compartidos, indexados, procesados, controlados, analizados y documentados en un marco internacional [15].

#### **1.4.3. MODIS (ModeRate Resolution Imaging Spectroradiometer) Fuente: NASA**

Se encuentra a bordo de los satélites Terra y Aqua desde el 18 diciembre de 1999 y el 4 de mayo de 2002, respectivamente. Terra y Aqua forman parte del Sistema de Observación de la Tierra de la NASA, compuesto por satélites diseñados para las largas observaciones de los océanos, la atmósfera, la biosfera y las superficies terrestres de la Tierra. MODIS implementa un espejo de exploración giratorio que mide 36 anchos de banda de 0,405 a 14,385  $\mu\text{m}$  cada 1-2 días. La información que se puede obtener incluye la temperatura superficie del mar, información atmosférica, nubes y las temperaturas de la tierra. Otros parámetros son: color del océano, clorofila, aerosoles, vapor de agua y las altitudes de las nubes [16].

#### **1.4.4. Aquarius. Fuente: NASA**

La misión cuenta con el sensor de salinidad de la superficie del mar Aquarius y fue la primera misión con el objetivo principal de medir la salinidad de la superficie del mar desde el espacio. Los datos de Acuario jugarán un papel importante en la comprensión tanto del cambio climático como del ciclo global del agua. El instrumento consta de tres radiómetros que operan a 1.4 GHz y un scaterómetro que opera a 1,26 GHz mide la retrodispersión del océano en cada huella que se utiliza para las correcciones de la rugosidad superficial en la estimación de la salinidad. Los datos recogidos por el radiómetro se utilizan junto con la temperatura de la superficie del mar recogida de otras plataformas, para obtener datos de salinidad. El instrumento Aquarius está a bordo del satélite AQUARIUS / SAC-D, un esfuerzo colaborativo entre la NASA y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de la Agencia Espacial Argentina. El 7 de junio de 2015, sufrió una falla de hardware que resultó en el cese definitivo de los flujos de datos. Todo el registro de datos de Aquarius abarca un periodo completo de 3 años, 9 meses a partir del 25/8/2011 - 6/7/2015. La versión 4.0 de los datos de Aquarius es la misión oficial de la NASA final de la misión Aquarius/SAC-D [17].

#### **1.4.5. Sensor SeaWiFS. Fuente: Ocean Color - NASA**

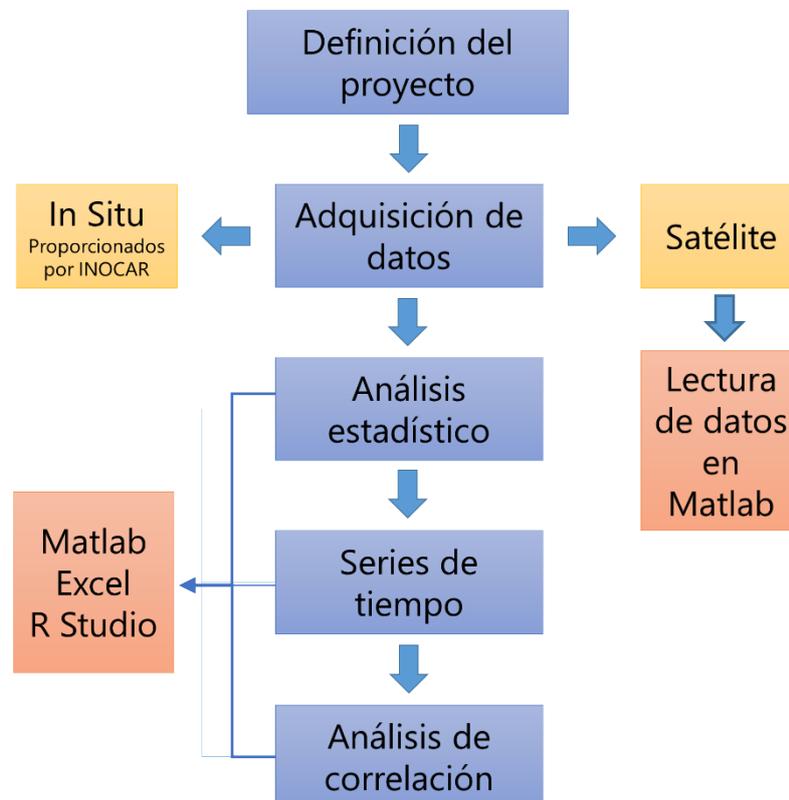
El instrumento de SeaWiFS proporciona datos cuantitativos sobre las propiedades bio-ópticas globales del océano para inspeccionar los factores oceánicos que pueden afectar el cambio global y para evaluar el papel de los océanos en el ciclo global del carbono, así como otros ciclos biogeoquímicos. Se puede obtener información sobre concentración de clorofila ya que en la región visible del espectro el color del agua del mar varía con la concentración de clorofila y otros pigmentos que se encuentran en el agua, los sutiles cambios en la clorofila-a significan varios tipos y cantidades de

fitoplancton marino (plantas marinas microscópicas), cuyo conocimiento tiene aplicaciones científicas y prácticas. Este sensor tiene ocho canales de los cuales seis de ellos operan en las bandas visibles (3 en el azul, 2 en el verde y 1 en el rojo) mientras que los dos restantes operan en la zona del infrarrojo cercano [18].

## CAPÍTULO 2

### 2. METODOLOGÍA

En la figura 2.1 se muestra de manera esquemática a modo de diagramas de bloque un resumen del proceso que se siguió para desarrollar el objetivo general del presente proyecto.



**Figura 2.1: Esquemización de la metodología de trabajo.**

Elaboración: Propia

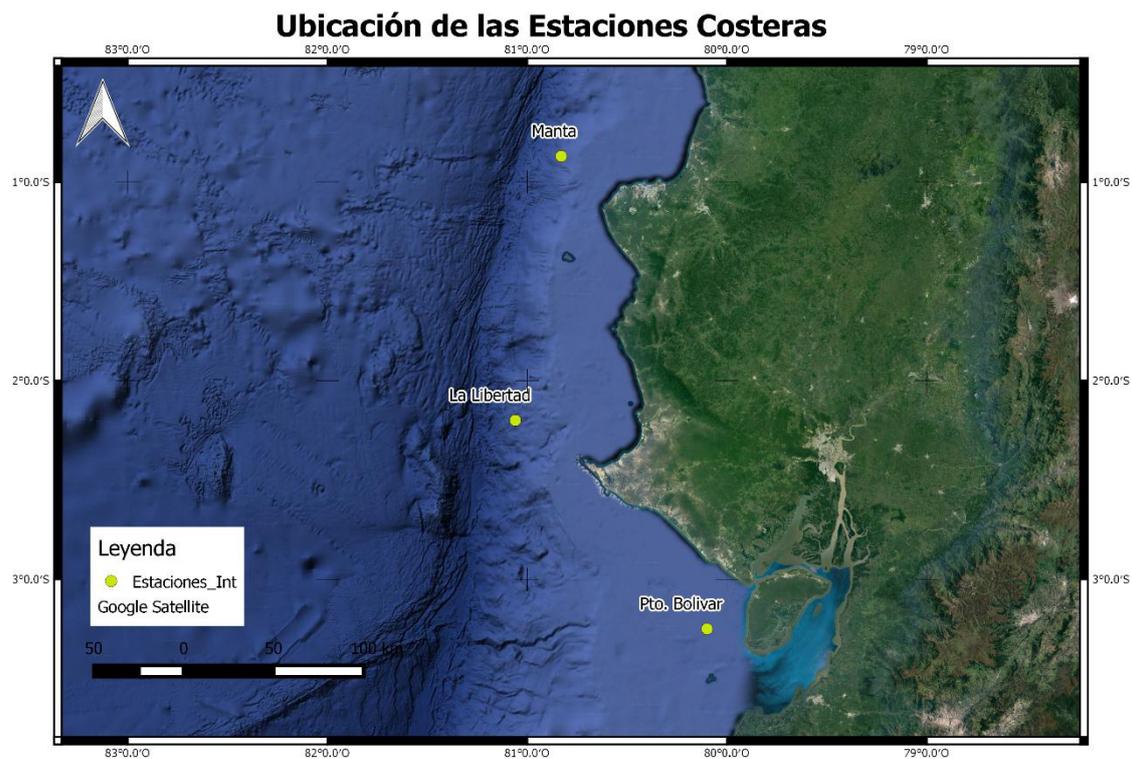
Como primer punto se procedió a realizar la adquisición de los datos, tanto de datos in-situ como los datos de sensores remotos.

#### 2.1. Obtención de datos in-situ

Los datos In-Situ fueron proporcionados por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR). Dicho set de datos es parte del registro que la institución tiene, en el que se realiza monitoreo a 10 millas costa afuera del Ecuador de las variables de temperatura superficial del mar, salinidad, fitoplancton y nutrientes. Este monitoreo

costero se realiza en 4 estaciones fijas ubicadas a lo largo de la costa ecuatoriana, las cuales son: Esmeraldas, Manta, La Libertad y Puerto Bolívar.

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizó 3 variables del set de datos proporcionados por INOCAR, las cuales son temperatura superficial del mar, salinidad y fitoplancton, además se trabajó con 3 de las 4 estaciones fijas las cuales son Manta, La Libertad y Puerto Bolívar, cuyas ubicaciones se muestran en la figura 2.2 que se muestra a continuación.



**Figura 2.2: Ubicación de las estaciones de Manta, La Libertad y Puerto Bolívar.**

Elaboración: Propia

El periodo de tiempo del set de datos in situ para las estaciones de Manta y La Libertad fue de 1996 al 2014 para las variables, temperatura superficial del mar, salinidad y de 1996 al 2004 para fitoplancton. Mientras que para la estación de Puerto Bolívar el periodo de tiempo de los datos de las 3 variables era de 2013 al 2014, siendo esta estación la poseía el menor periodo de tiempo en datos.

Para la data in-situ, los datos de temperatura superficial del mar estaban dados en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), la salinidad en Unidades Prácticas de Salinidad (UPS) y fitoplancton en número de células por litro (cel/L).

Parámetro	Profundidad	Periodo
Temperatura Superficial del Mar ( $^{\circ}\text{C}$ )	Z=0m	1996 - 2014
Fitoplancton (cel/l)	Z=0m	1996 - 2004
Salinidad (UPS)	Z=0m	1996 - 2014

**Tabla 2.1. Resumen de datos obtenidos in situ**

## 2.2. Obtención de datos de sensores remotos

Los datos de sensores remotos fueron obtenidos mediante descarga directa de las bases de datos de NOAA y NASA que se encuentran en la web. Como el objetivo del presente proyecto era realizar un análisis comparativo de los datos de sensores remotos y datos in situ, las variables a descargar eran las mismas que proporcionaba el set de datos in situ, con excepción de la data de fitoplancton la cual será relacionada con datos de clorofila a. Con la data obtenida de sensores remotos, se elaboró una base de datos con las variables de temperatura, salinidad y clorofila.

Para los datos de temperatura se utilizó el conjunto de datos “**GHRSSST Nivel 4 CMC0.2deg Global Foundation Análisis de la temperatura de la superficie del mar (GDS versión 2)**”, el cual es una base operacional producida por el Centro Meteorológico Canadiense cuya cobertura es global con una resolución espacial de  $0.2^{\circ}$  Latitud x  $0.2^{\circ}$  Longitud y una resolución temporal diaria. Se obtuvieron datos desde el año 1996 al año 2014.

Disponible en:

[https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/AQUARIUS\\_L3\\_SSS\\_CAP\\_7DAY\\_V4](https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/AQUARIUS_L3_SSS_CAP_7DAY_V4)

Para los datos de salinidad se utilizó el conjunto de datos “**Aquarius CAP Level 3 Sea Surface Salinity Standard Mapped Image 7-Day Data V4.0**”, el cual es una base operacional producida por el grupo Jet Propulsion Laboratory de la NASA, utiliza datos del radiómetro a bordo, así como también del escaterómetro. Tiene una resolución espacial de  $1^{\circ}$  Latitud x  $1^{\circ}$  Longitud y una resolución espacial de 7 días. Se obtuvieron datos desde el año 2011 al año 2014, puesto que la data existente para salinidad desde sensores remotos tiene registro desde el año 2011.

Disponible en:

[https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/AQUARIUS\\_L3\\_SSS\\_CAP\\_7DAY\\_V4](https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/AQUARIUS_L3_SSS_CAP_7DAY_V4)

Para los datos de clorofila se utilizaron dos conjuntos de datos, el primero “**SeaWiFS Global Mensual Mapeado 9 km Clorofila a**”, el cual tiene una resolución temporal mensual y una resolución espacial de 9,2 km (en el ecuador). El segundo es el conjunto de datos “**MODIS Aqua Level 3 Global Monthly Mapped 4 km Chlorophyll a v2014.0**”, tiene una resolución temporal mensual y una resolución espacial de 4.6 kilómetros (en el ecuador). Este es un conjunto de datos remoto de la NASA del grupo de Procesamiento de biología oceánica, OBPG por sus siglas en inglés. El OBPG es el centro de datos oficial de la NASA que archiva y distribuye los datos del color del océano. Se obtuvieron datos desde el año 1996 al año 2004, puesto que la data in situ presentaba datos solo hasta el año 2004.

Disponibles en:

- [https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/MODIS\\_Aqua\\_L3\\_CHLA\\_Monthly\\_4km\\_V2014.0\\_R?ids=Measurement:Variable&values=Ocean%20Optics:Ocean%20Color](https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/MODIS_Aqua_L3_CHLA_Monthly_4km_V2014.0_R?ids=Measurement:Variable&values=Ocean%20Optics:Ocean%20Color)
- [https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/MODIS\\_Aqua\\_L3\\_CHLA\\_Monthly\\_4km\\_V2014.0\\_R?ids=Measurement:Variable&values=Ocean%20Optics:Ocean%20Color](https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/MODIS_Aqua_L3_CHLA_Monthly_4km_V2014.0_R?ids=Measurement:Variable&values=Ocean%20Optics:Ocean%20Color)

Para la data de sensores remotos, los datos de temperatura superficial del mar estaban dados en Kelvin (K), la salinidad en Unidades Prácticas de Salinidad (UPS) y clorofila en miligramo por metro cúbico ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

Parámetro	Plataforma/sensor	Resolución espacial	Periodo
Temperatura - GHR SST Level 4 CMC0.2deg Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis (GDS version 2)	AQUA/AMSR-E, AQUA/MODIS, NOAA-18/AVHRR-3, TERRA/MODIS, Coriolis/WindSat	0.2° Latitud x 0.2° Longitud	1996-2014
Clorofila A - SeaWiFS Global Mensual Mapeado 9 km Clorofila a y MODIS Aqua Level 3 Global Monthly Mapped 4 km Chlorophyll a v2014.0	MODIS AQUA and VIIRS/Suomi-NPP.	4km x 4km	1997-2004

Salinidad (Aquarius CAP Level 3 Sea Surface Salinity Standard Mapped Image 7-Day Data V4.0)	AQUARIUS_SAC-D/AQUARIUS_RADIOMETER, AQUARIUS_SAC-D/AQUARIUS_SCATTEROMETER	1° Latitud x 1° Longitud	2011-2014
---	---	--------------------------	-----------

**Tabla 2.2 Resumen de los datos obtenidos de sensores remotos.**

El acceso a los datos de sensores remotos es libre y se encuentran almacenados en archivos NETCDF (NONE) o .nc. Los archivos netCDF son formatos de ficheros científicos que sirven para almacenar datos con más de una dimensión o variable, es decir, multidimensionales; incluyen dentro de los mismos la información acerca de los datos que contiene. Para poder extraer información de los ficheros netCDF se utiliza el software Matlab con el que se hace la lectura de los datos requeridos [19].

### **2.3. Análisis estadísticos de las variables**

Una vez organizadas las bases de datos de sensores remotos y datos in-situ se realizó un análisis estadístico de los datos en donde para cada variable y tipo de dato (sensor e in-situ) se obtuvieron los mínimos, máximos, media de cada uno de ellos y se calculó cuánto era la diferencia numérica entre la data de sensores y la data in-situ. Se realizó las gráficas de series de tiempo para todas las variables obtenidas, tanto de sensores remotos como in-situ en el software R Studio.

Para poder tener una referencia acerca de las anomalías mensuales que se podrían estar suscitando y de esta manera lograr analizar la variabilidad interanual se calcularon y graficaron medias mensuales de las variables oceanográficas de trabajo tanto de sensores remotos como de datos in situ para las tres estaciones de Manta, La Libertad y Puerto Bolívar para periodos de tiempo comprendidos entre 1996 y 2014.

### **2.4. Metodología a utilizar para comparación de datos**

Según bibliografía consultada previamente, estudios anteriores han realizado validación de datos satelitales con datos in situ utilizando métodos estadísticos, mencionando principalmente el análisis de correlación entre las variables semejantes, incluyendo número de pares de datos ( $n$ ), pendiente de la recta de correlación ( $m$ ), interceptor de la recta de correlación ( $b$ ). Según estudios similares realizados con anterioridad el coeficiente de correlación que se utiliza es el de Pearson, que nos muestra como es la relación lineal existente entre los pares de datos de sensores remotos y datos in situ. Este análisis se realizó de igual manera en el software R Studio [4] [5] [3].

## CAPÍTULO 3

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Series de tiempo de temperatura superficial del mar

##### 3.1.1. TSM Sensores remotos

La temperatura superficial del mar y sus medias mensuales tomadas de sensores remotos, para cada una de las estaciones se muestran en las figuras 3.1 a 3.6.

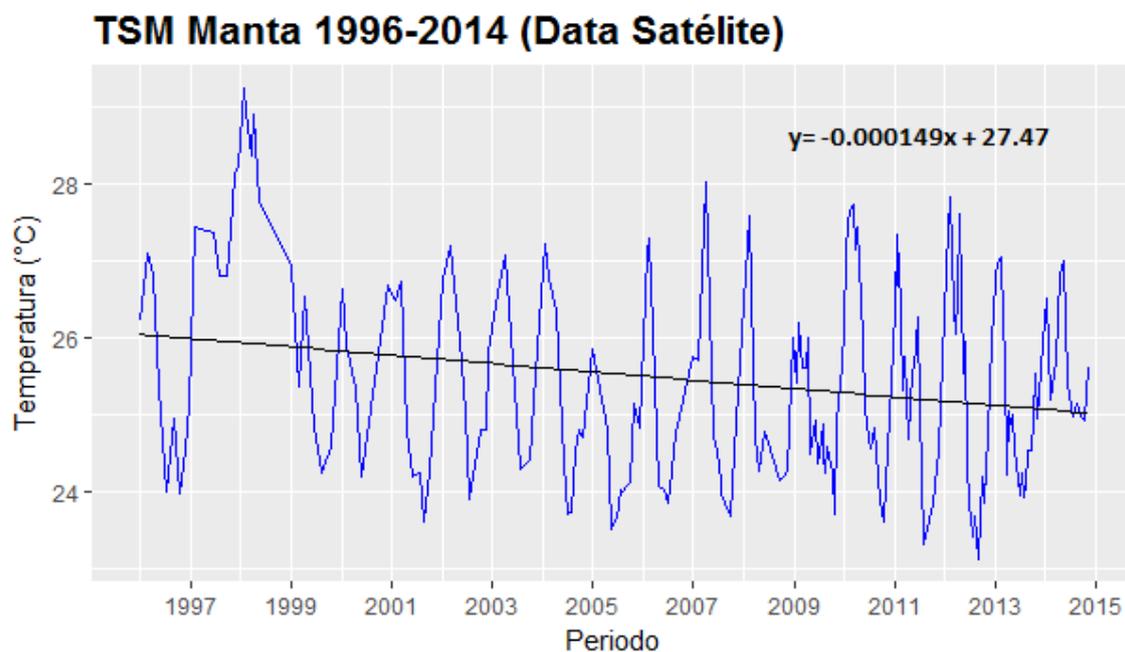
En las gráficas de las series de tiempo para las tres estaciones se puede observar que estacionalmente la temperatura superficial del mar en la costa ecuatoriana para la época húmeda presenta temperaturas más altas que las que se pueden encontrar en la época seca, lo cual va de acuerdo a lo obtenido en las medias mensuales que se muestran para las tres estaciones, siendo que en la costa del Ecuador la época húmeda se desarrolla alrededor de los meses de diciembre a mayo y la época seca alrededor de los meses de junio a noviembre. La variabilidad estacional que se produce en la costa del Ecuador está influenciada por el desplazamiento meridional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) [20], además se tiene que durante la época seca la lengua de agua fría se encuentra mayormente desarrollada teniendo para este periodo presencia de aguas más frías influenciadas por la corriente de Humboldt o Perú que proviene del sur, mientras que para la época húmeda esta corriente se debilita y se tiene presencia de aguas más calientes provenientes del norte con la corriente de Panamá. Estacionalmente los dos procesos que tienen mayor influencia son las corrientes superficiales y procesos de mezclas debido al flujo de calor con intervención de los vientos [21].

Las tendencias en la temperatura superficial del mar para las estaciones mostradas tienden a permanecer constantes, esto se puede observar debido a que las pendientes se aproximan a ser cero. Sin embargo, para las estaciones 3 estaciones mostradas se puede observar una ligera tendencia a disminuir.

Para Manta y La Libertad se puede observar que se tienen los picos más altos entre los años 1997 a 1998, presentando anomalías que superan los de +2°C con respecto a las medias mensuales calculadas para el periodo del 1996-2014, estos años corresponden a uno de los eventos El Niño más intensos que se han presentado, debido a que la estación de Puerto Bolívar no presenta datos previos al 2013 no se puede apreciar si existen picos elevados para los años de 1997 a 1998. Las primeras anomalías se tuvieron para finales del mes de enero de 1997 siendo estas positivas y

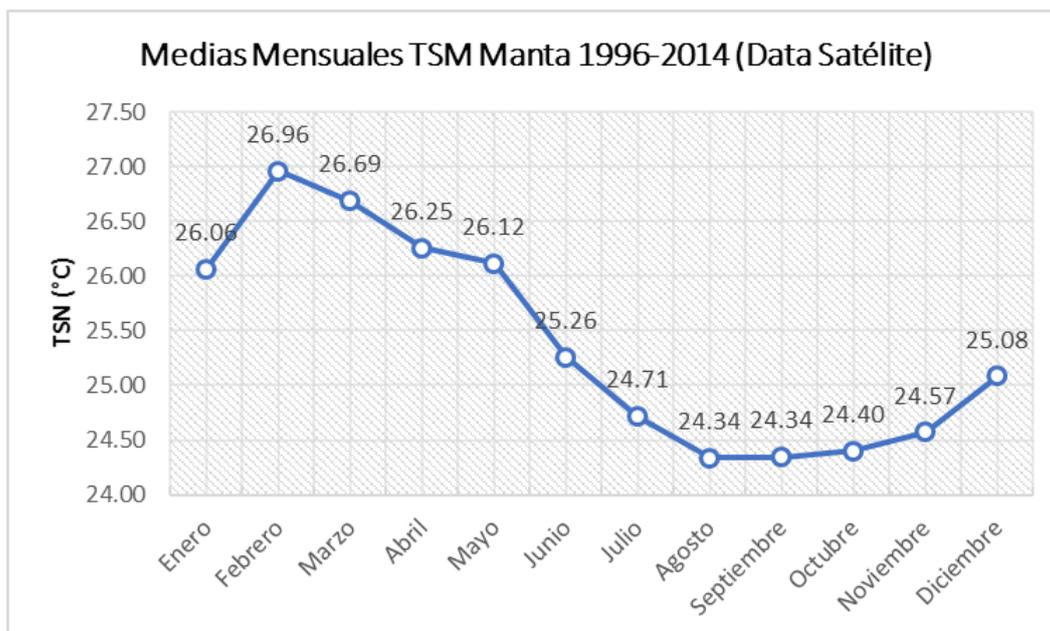
llegando a mantenerse hasta principios del mes de abril. La TSM sobrepasó los 29°C para el mes de marzo de 1998 en las dos estaciones mostradas [22].

Además, en las gráficas se puede apreciar que el rango en el que oscila la temperatura superficial del mar es mayor para la estación de La Libertad comparada con la estación de Manta y Puerto Bolívar. En la estación de Manta el valor mínimo fue 23.13°C, el valor máximo fue de 29.25°C, con una media de 25.43°C y para la estación de La Libertad el valor mínimo fue de 20.48°C, el valor máximo fue de 29.08°C, con una media de 24.61°C. Para la estación de Puerto Bolívar el periodo de tiempo fue del 2013 al 2014, se obtuvo que el valor mínimo fue de 22.22°C, el valor máximo fue de 27.86°C, con una media de 24.39°C (Tabla 3).



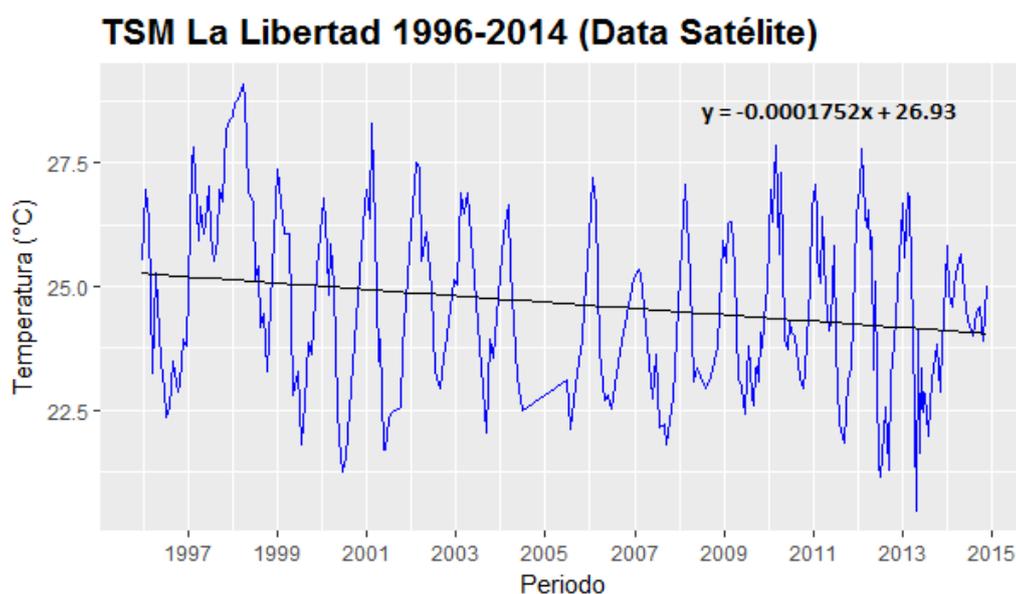
**Figura 3.1: Serie de tiempo de temperatura superficial del mar en la estación de Manta obtenida de sensores remotos para el periodo de 1996-2014.**

Elaboración: Propia



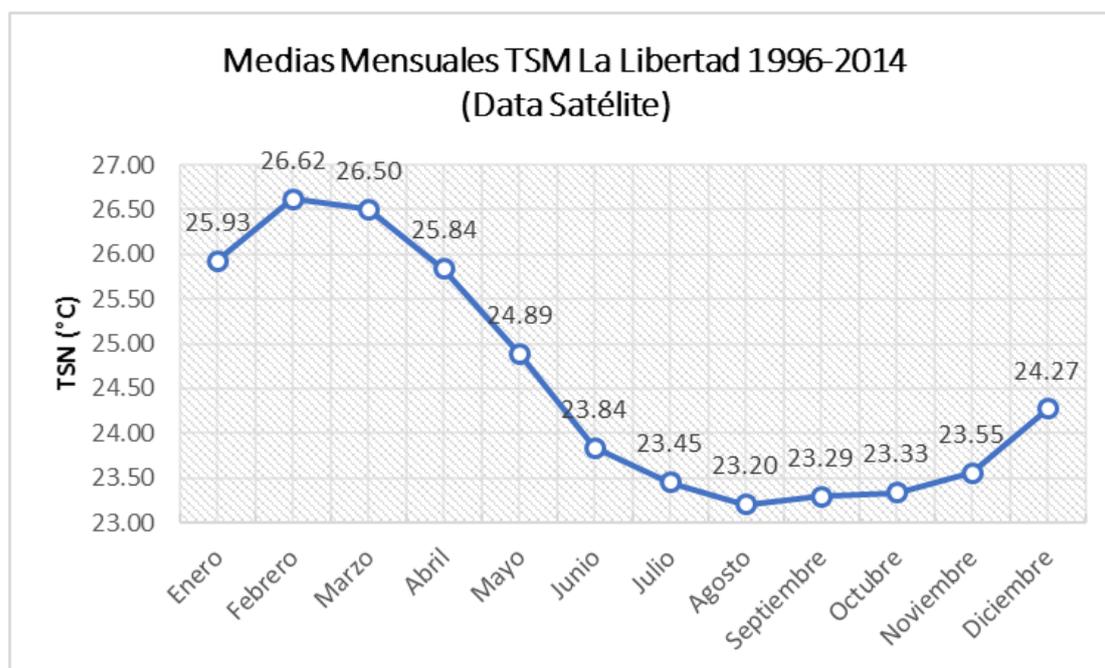
**Figura 3.2: Medias mensuales de temperatura superficial del mar en la estación de Manta obtenida de sensores remotos para el periodo de 1996-2014.**

Elaboración: Propia

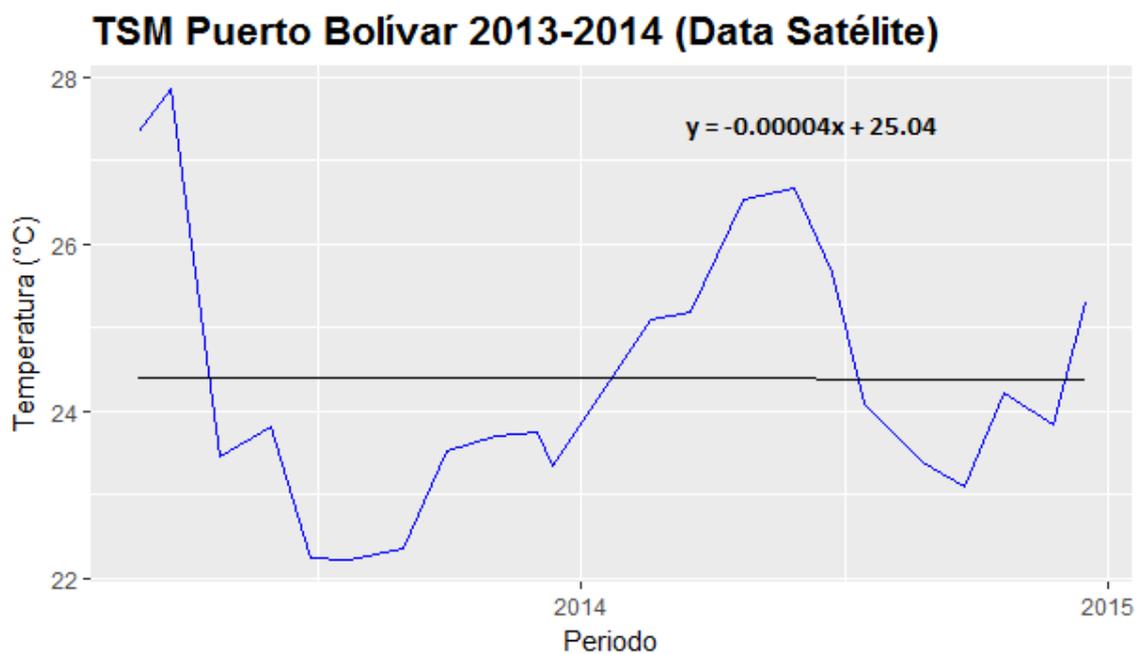


**Figura 3.3: Serie de tiempo de temperatura superficial del mar en la estación de La Libertad obtenida de sensores remotos para el periodo de 1996-2014.**

Elaboración: Propia



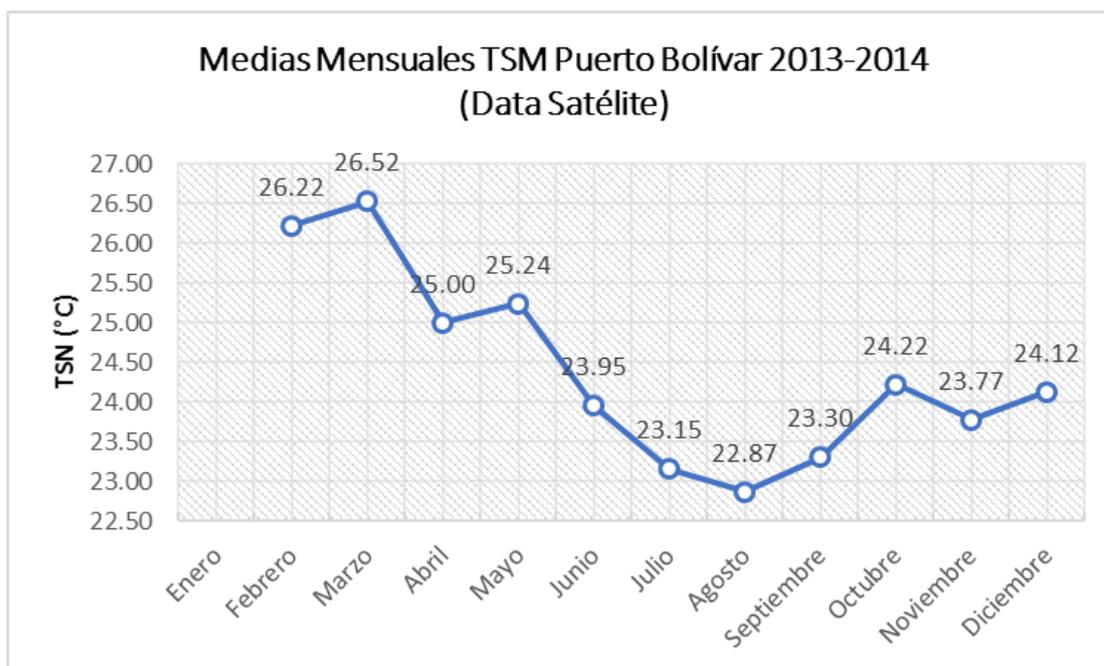
**Figura 3.4:** Medias mensuales de temperatura superficial del mar en la estación de La Libertad obtenida de sensores remotos para el periodo de 1996-2014.



Elaboración: Propia

**Figura 3.5:** Serie de tiempo de temperatura superficial del mar en la estación de Puerto Bolívar obtenida de sensores remotos para el periodo de 2013-2014.

Elaboración: Propia



**Figura 3.6: Medias mensuales de temperatura superficial del mar en la estación de Puerto Bolívar obtenida de sensores remotos para el periodo de 2013-2014.**

Elaboración: Propia

### 3.1.2. TSM In-Situ

La temperatura superficial del mar de los datos In-Situ, para cada una de las estaciones se muestran en las figuras 3.7 a 3.12. Al igual que las gráficas de TSM de sensores remotos, se puede observar que para Manta y La Libertad se tienen los picos más altos entre los años 1997 a 1998 que corresponde a uno de los eventos El Niño más intensos que se han presentado, de la misma manera debido a que la estación de Puerto Bolívar no presenta datos previos al 2013 no se puede apreciar si existen picos elevados para los años de 1997 a 1998.

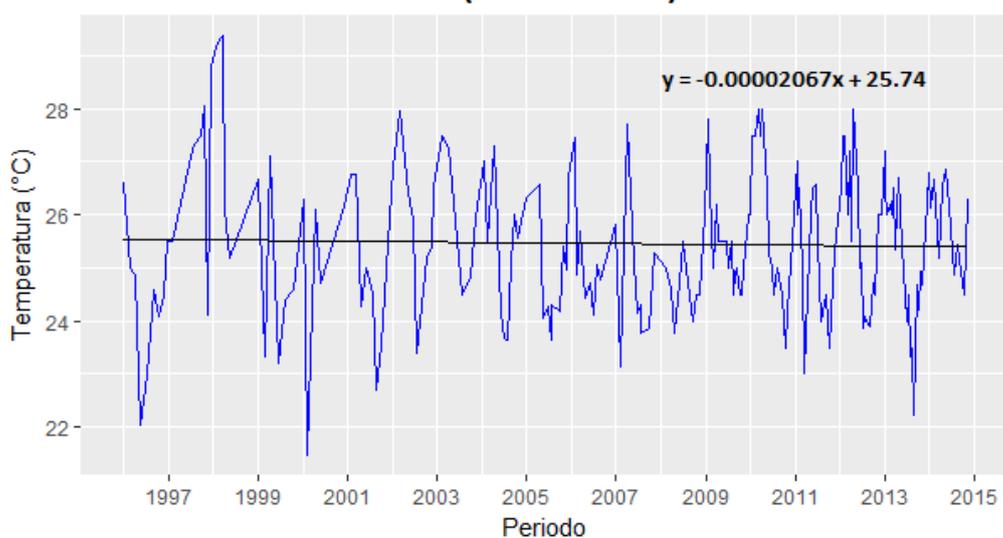
Al igual que los datos de sensores remotos se puede observar también que la temperatura superficial del mar en la costa del Ecuador en la época húmeda (diciembre a mayo) presenta las temperaturas más altas, mientras que para la época seca se tienen las temperaturas más bajas.

La variabilidad de la temperatura es mayor para la estación de La Libertad comparada con las estaciones de Manta y Puerto Bolívar.

Las tendencias para las estaciones mostradas tienden a permanecer constantes, esto se puede observar debido a que las pendientes se aproximan a cero. Sin embargo, para las estaciones de Manta y La Libertad se puede observar una ligera tendencia a

disminuir, mientras que para la estación de Puerto Bolívar se observa una ligera

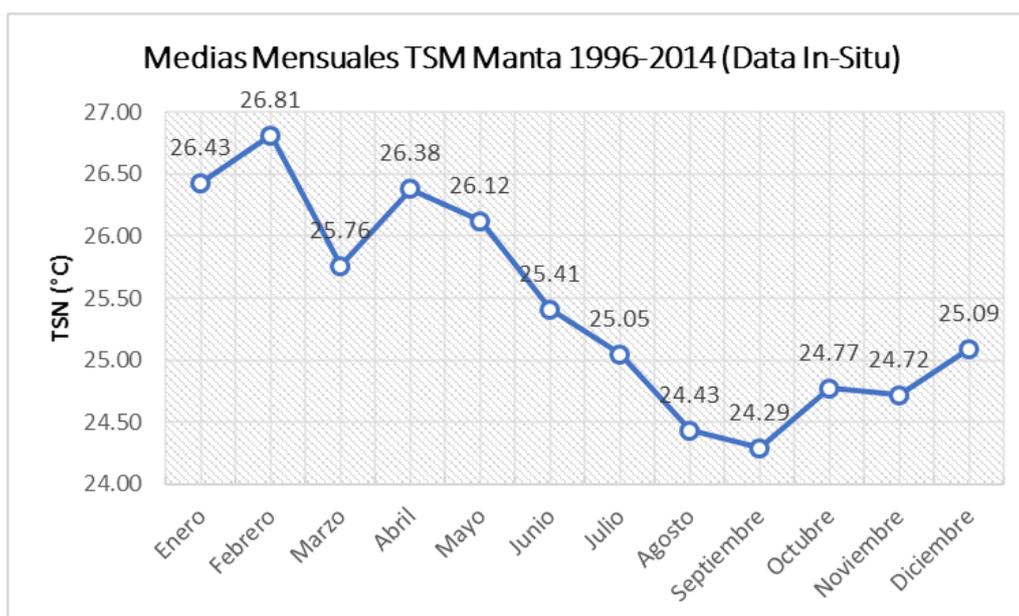
### TSM Manta 1996-2014 (Data In Situ)



tendencia positiva.

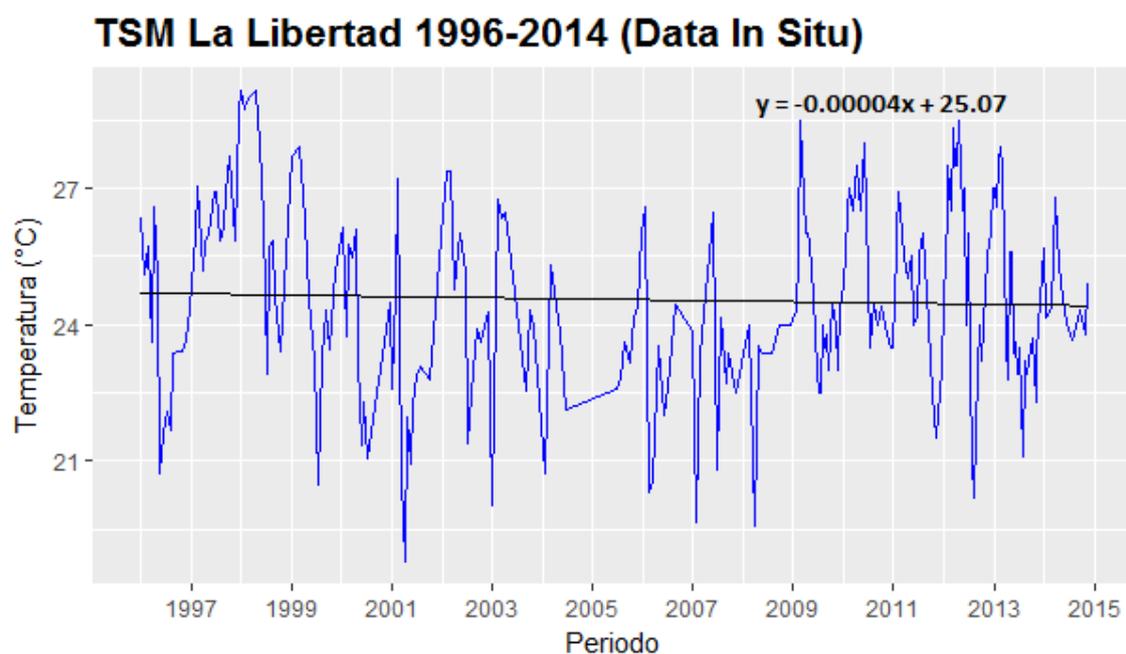
**Figura 3.7: Serie de tiempo de temperatura superficial del mar en la estación de Manta obtenida de datos in-situ para el periodo de 1996-2014.**

Elaboración: Propia



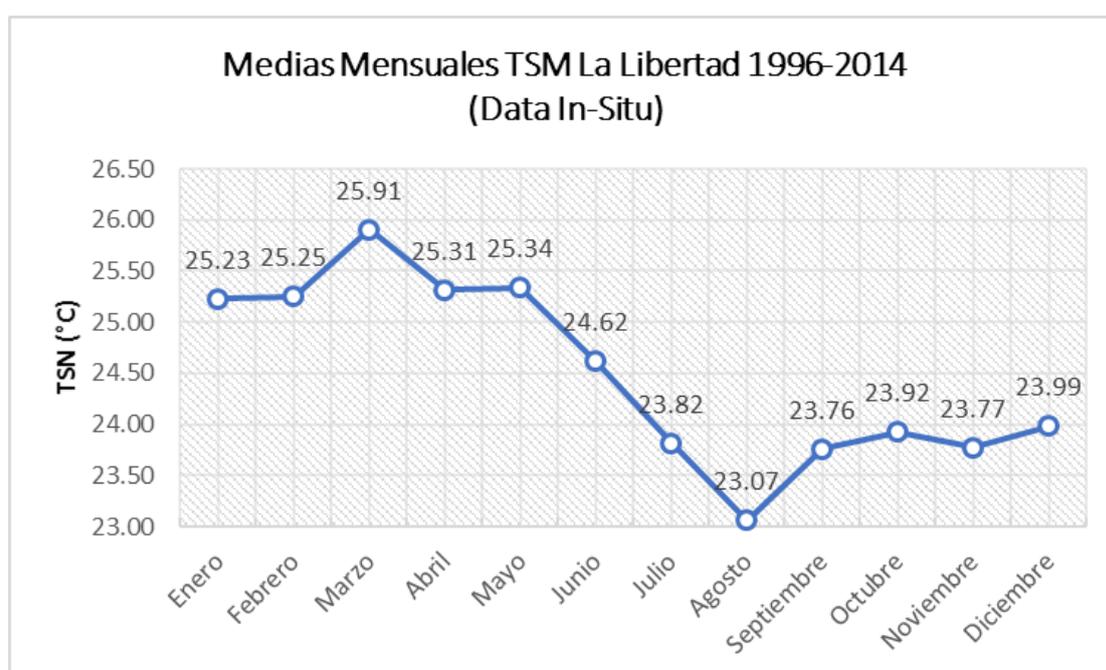
**Figura 3.8: Medias mensuales de temperatura superficial del mar en la estación de Manta obtenida de datos in-situ para el periodo de 1996-2014.**

Elaboración: Propia



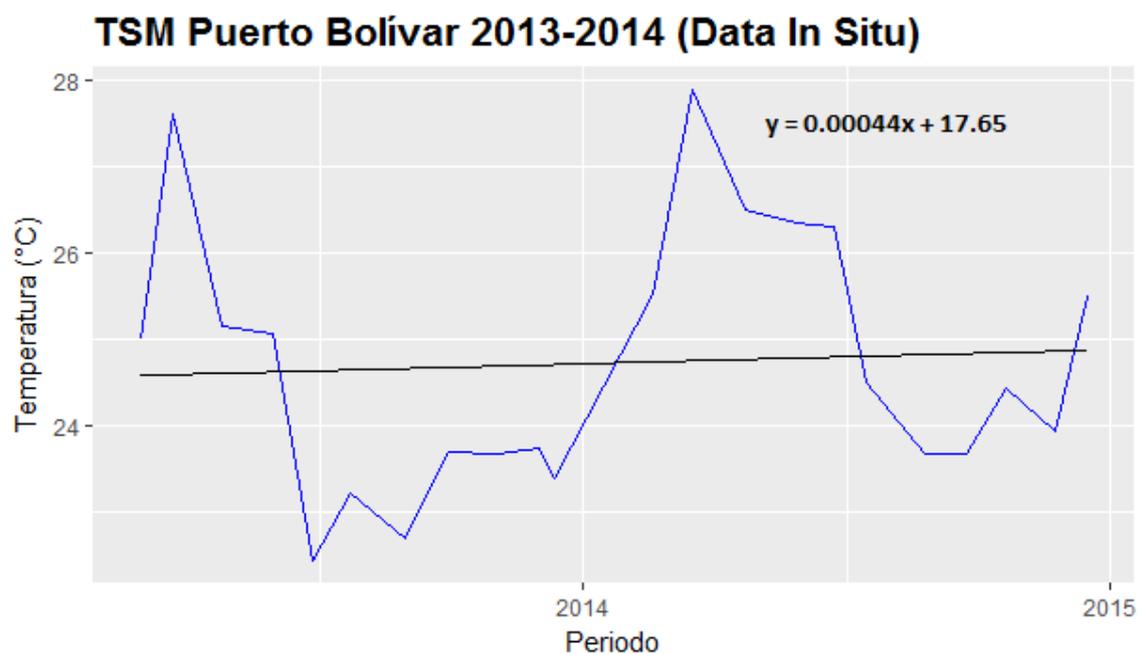
**Figura 3.9:** Serie de tiempo de temperatura superficial del mar en la estación de La Libertad obtenida de datos in-situ para el periodo de 1996-2014.

Elaboración: Propia



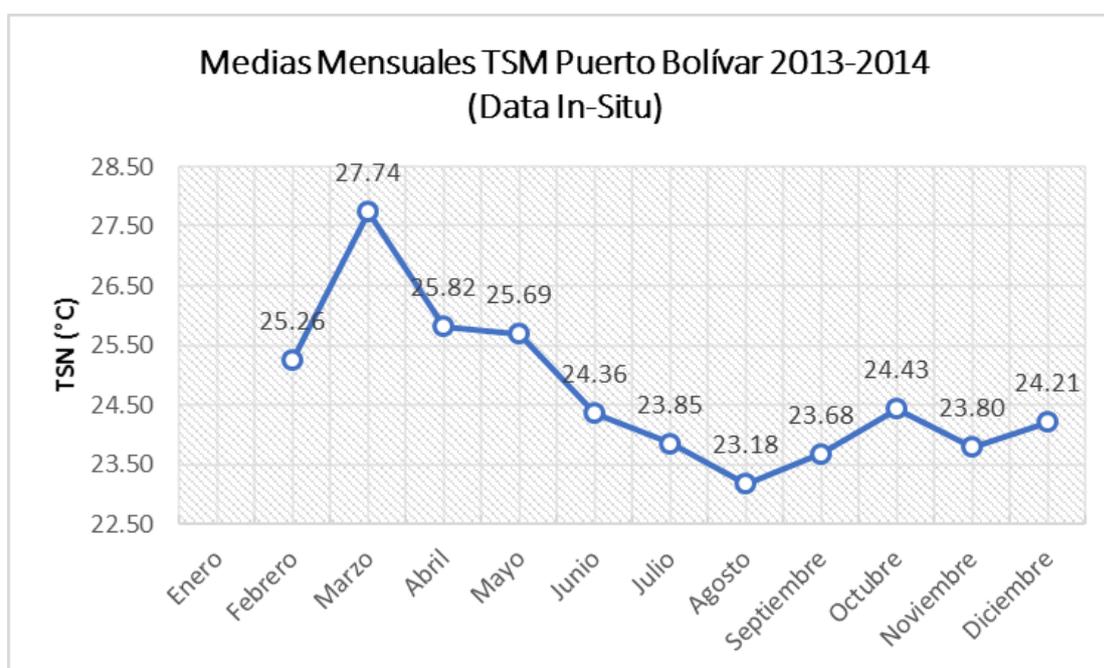
**Figura 3.10:** Medias mensuales de temperatura superficial del mar en la estación de La Libertad obtenida de datos in-situ para el periodo de 1996-2014.

Elaboración: Propia



**Figura 3.11: Serie de tiempo de temperatura superficial del mar en la estación de Puerto Bolívar obtenida de datos in-situ para el periodo de 2013-2014.**

Elaboración: Propia



**Figura 3.12: Medias mensuales de temperatura superficial del mar en la estación de Puerto Bolívar obtenida de datos in-situ para el periodo de 2013-2014.**

Elaboración: Propia

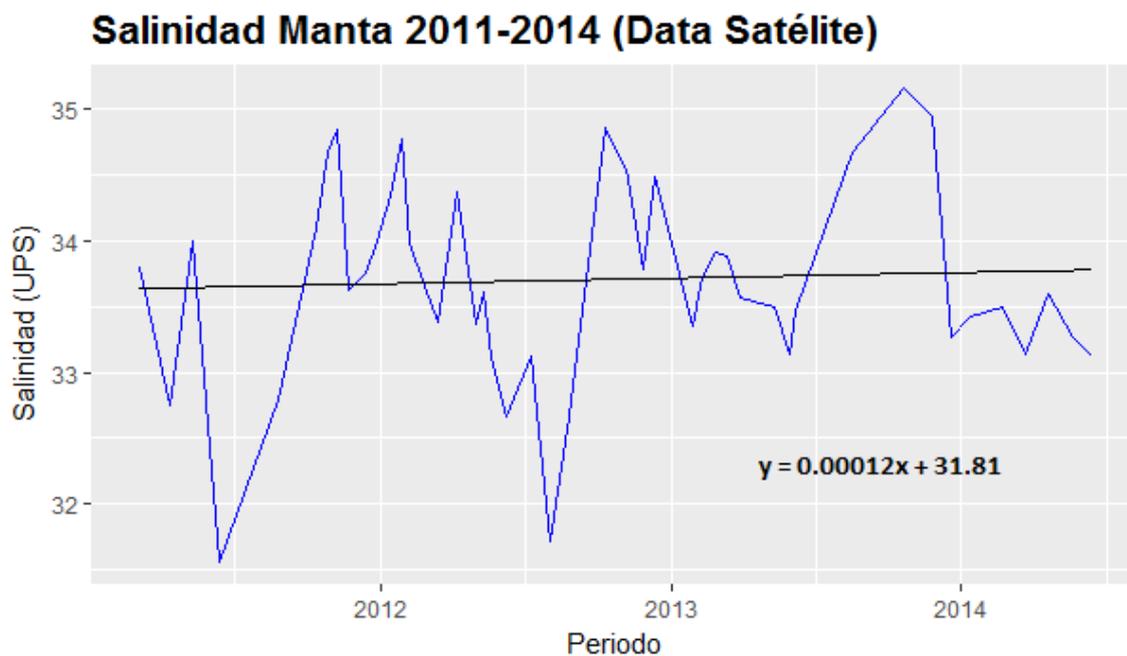
## **3.2. Series de tiempo de Salinidad**

### **3.2.1. Salinidad Sensores Remotos**

La salinidad en la superficial del mar tomado de sensores remotos, para cada una de las estaciones se muestran en las figuras 3.13 a 3.18. Para las tres estaciones (Manta, La Libertad y Puerto Bolívar) se puede observar que se tienen los picos más altos para la estación seca y los picos más bajos de salinidad se tienen para la estación lluviosa; siendo el periodo de estación lluviosa entre los meses de diciembre a mayo y el periodo de estación seca entre junio a noviembre en la costa del Ecuador. Debido al aumento de las precipitaciones en la estación lluviosa la salinidad disminuye y caso contrario ocurre cuando las lluvias cesan, la salinidad aumenta [23] [24].

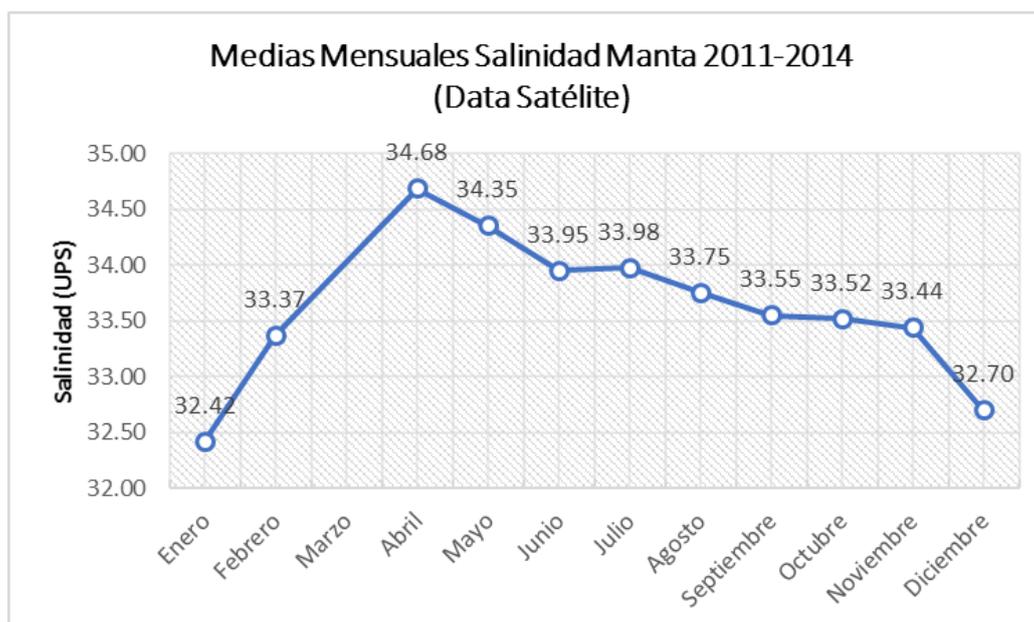
La variabilidad de la salinidad es similar para las estaciones de Manta y La Libertad. La estación de Puerto Bolívar presenta datos de dos años, sin embargo, se puede apreciar que, para el mismo periodo de tiempo de Puerto Bolívar en las tres estaciones, esta es la que mayor variabilidad mensual presenta sabiendo que Puerto Bolívar tiene influencia de nutrientes especialmente silicatos y fosfatos que provienen del sistema del Golfo de Guayaquil [25].

Las tendencias en la salinidad para las estaciones mostradas tienden a permanecer constantes, esto se puede observar debido a que las pendientes son cercanas a ser cero. Sin embargo, se puede observar una tendencia a aumentar ligeramente en las tres estaciones.



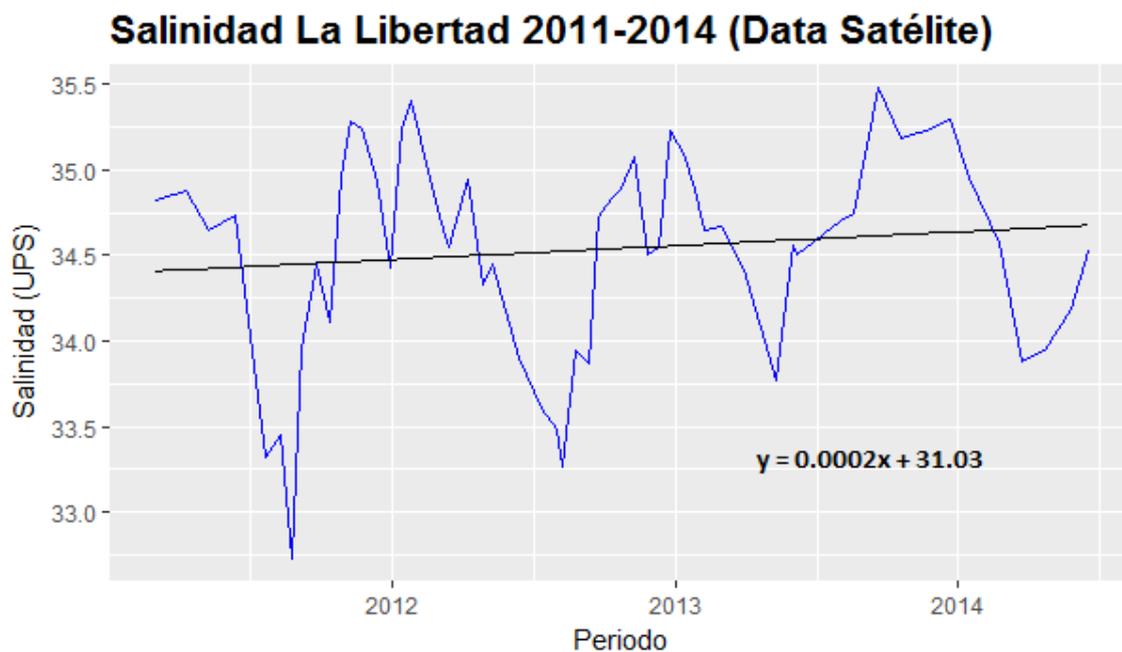
**Figura 3.13: Serie de tiempo de salinidad en la estación de Manta obtenida de sensores remotos para el periodo de 2011-2014.**

Elaboración: Propia



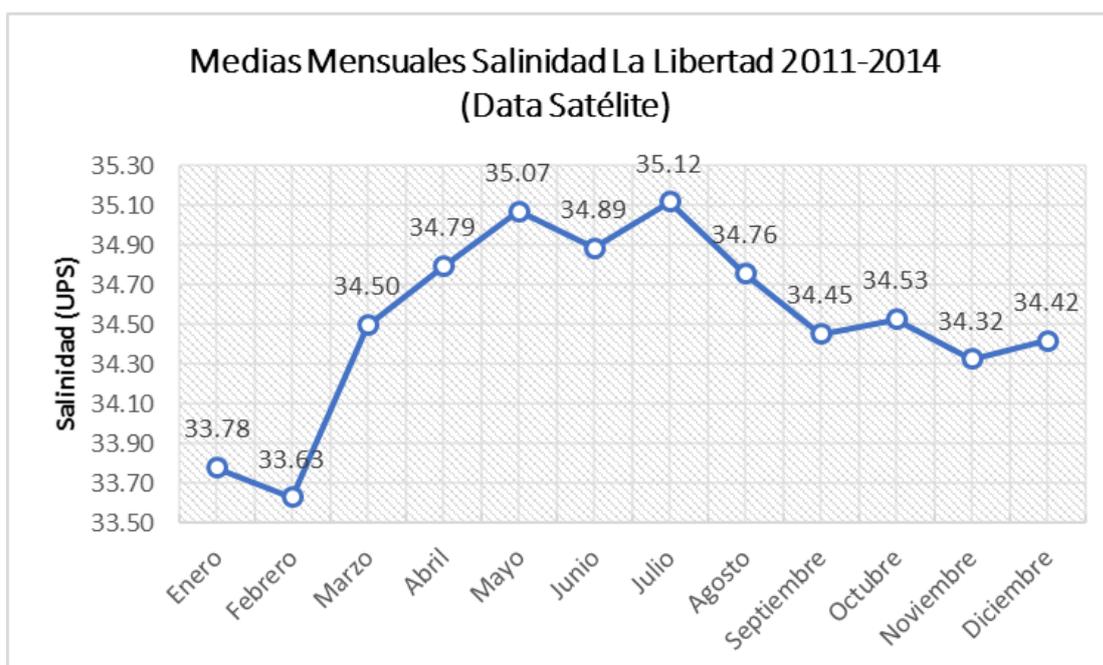
**Figura 3.14: Medias mensuales de salinidad en la estación de Manta obtenida de sensores remotos para el periodo de 2011-2014.**

Elaboración: Propia



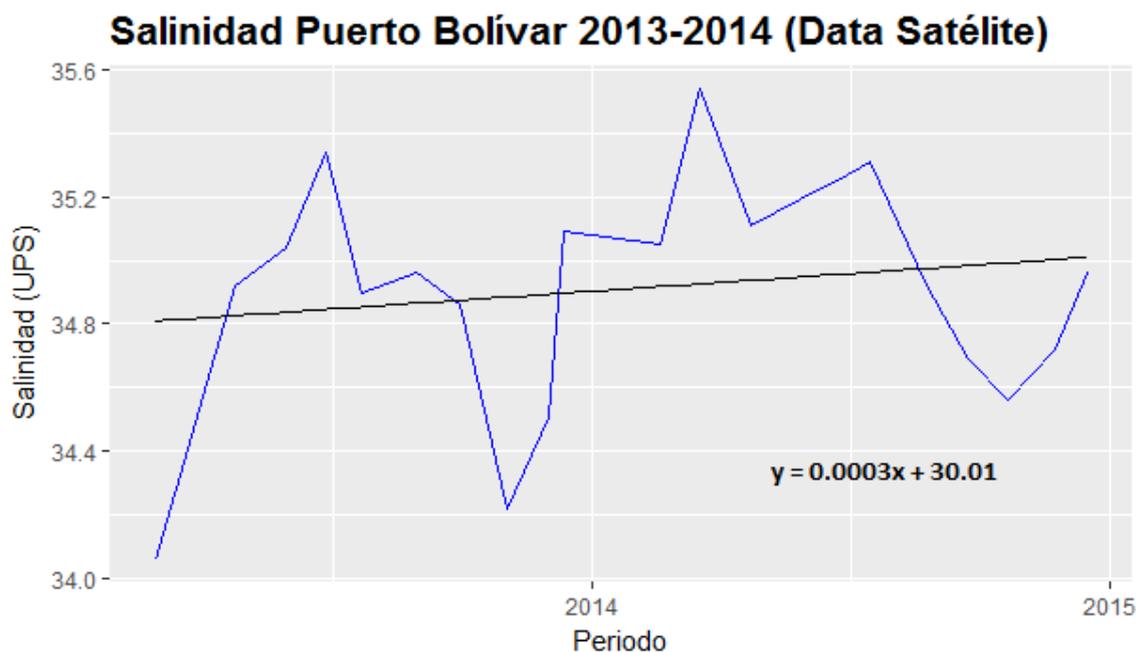
**Figura 3.15: Serie de tiempo de salinidad en la estación de La Libertad obtenida de sensores remotos para el periodo de 2011-2014.**

Elaboración: Propia



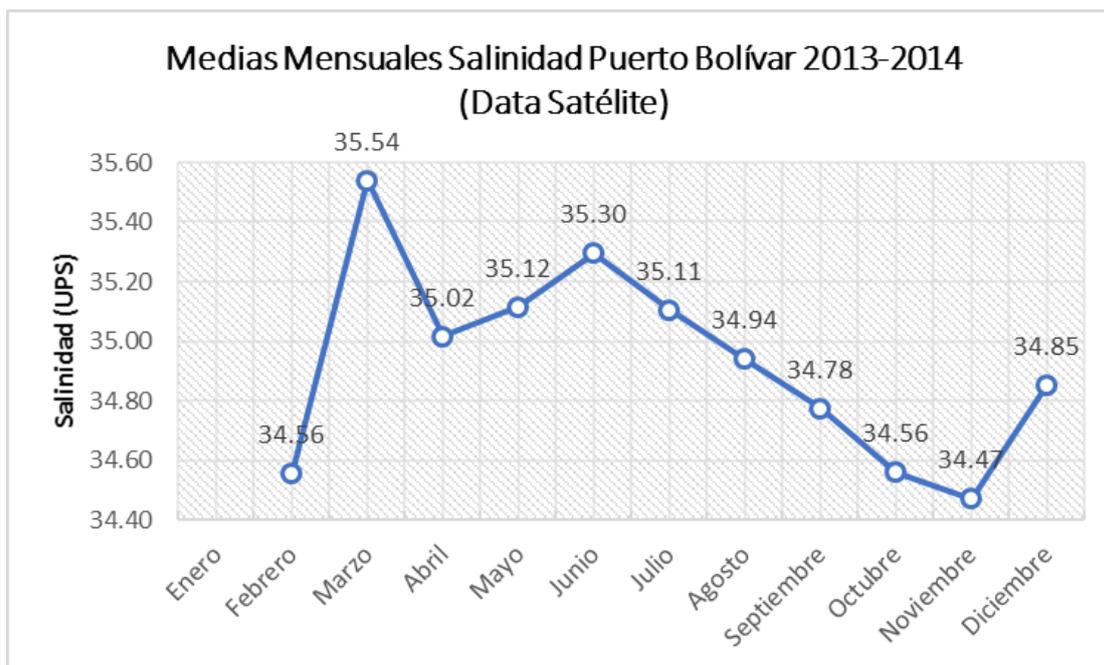
**Figura 3.16: Medias mensuales de salinidad en la estación de La Libertad obtenida de sensores remotos para el periodo de 2011-2014.**

Elaboración: Propia



**Figura 3.17: Serie de tiempo de salinidad en la estación de Puerto Bolívar obtenida de sensores remotos para el periodo de 2013-2014.**

Elaboración: Propia



**Figura 3.18: Medias mensuales de salinidad en la estación de Puerto Bolívar obtenida de sensores remotos para el periodo de 2013-2014.**

Elaboración: Propia

### 3.2.2. Salinidad In-Situ

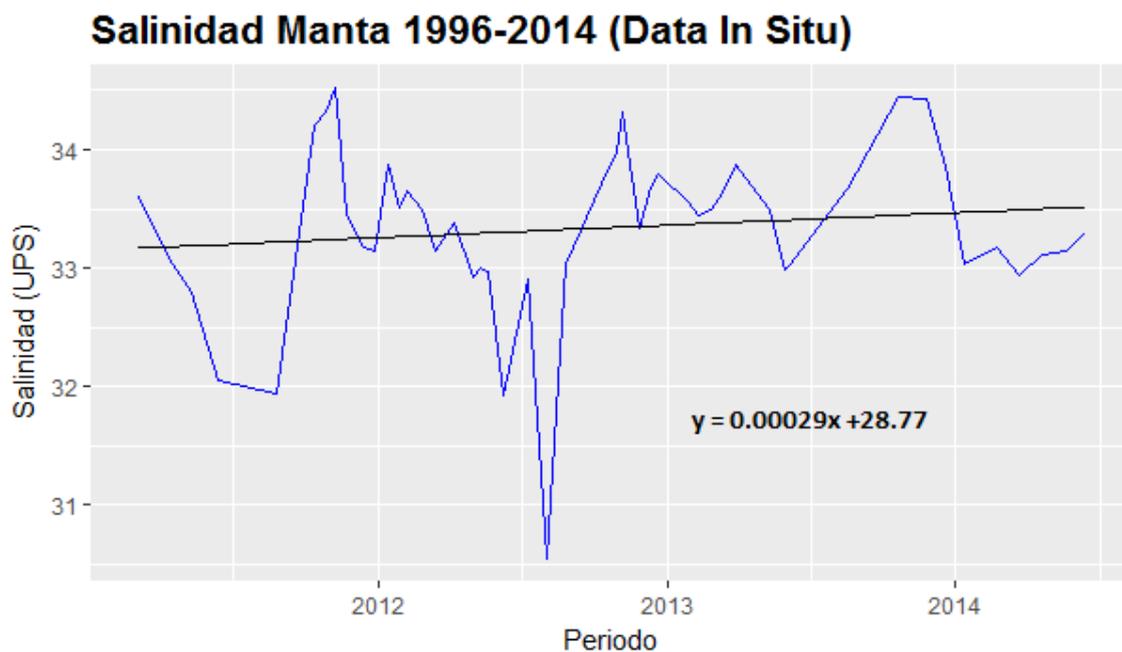
La salinidad la superficial del mar de la data in-situ, para cada una de las estaciones se muestran en las figuras 3.19 a 3.24.

Para las tres estaciones (Manta, La Libertad y Puerto Bolívar) se puede observar que se tienen los picos más altos para la estación seca y los picos más bajos de salinidad se tienen para la estación lluviosa; siendo el periodo de estación lluviosa entre los meses de diciembre a mayo y el periodo de estación seca entre junio a noviembre en la costa del Ecuador. Debido al aumento de las precipitaciones en la estación lluviosa la salinidad disminuye y caso contrario ocurre cuando las lluvias cesan, la salinidad aumenta.

La variabilidad de la salinidad es similar para las estaciones de Manta y La Libertad. La estación de Puerto Bolívar presenta datos de dos años, sin embargo, se puede apreciar que, para el mismo periodo de tiempo de Puerto Bolívar en las tres estaciones, esta es la que mayor variabilidad mensual presenta. Cabe recalcar que como ya se mencionó la estación de Puerto Bolívar es la que está sujeta a mayores variaciones debido a que esta tiene influencia directa del sistema del Golfo del Guayas [25].

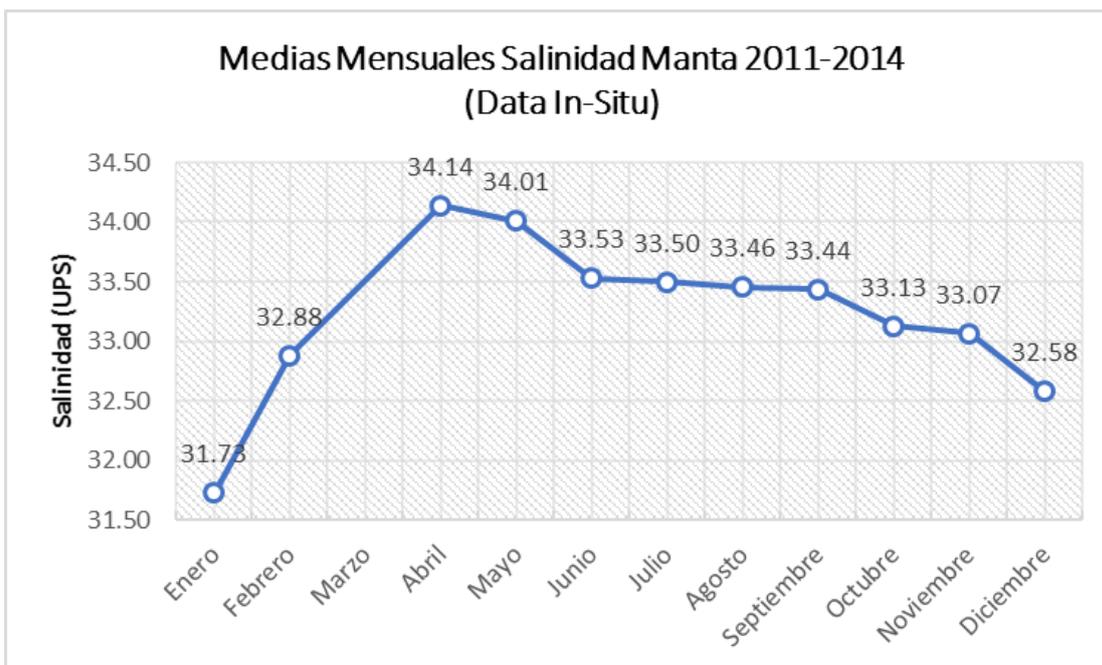
En las series de tiempo de los datos in situ de las estaciones de Manta y La Libertad se puede observar que para el periodo lluvioso del año 2014 no se presentan picos bajos de salinidad, esto debido a que en el año 2014 se estuvo durante una fase de La Niña, año en el cual se registraron decrementos porcentuales de la precipitación [24]. En cuanto a la estación de Puerto Bolívar se tiene que existe un pico bajo de salinidad para el primer semestre del 2014, que no se puede apreciar en la serie de tiempo de los datos de sensores remotos.

Las tendencias en la salinidad de datos in-situ para las estaciones mostradas tienden a permanecer constantes, esto se puede observar debido a que las pendientes son cercanas a cero. Sin embargo, se puede observar una tendencia a aumentar ligeramente en las tres estaciones, siendo la pendiente mayor pronunciada para la estación de La Libertad.



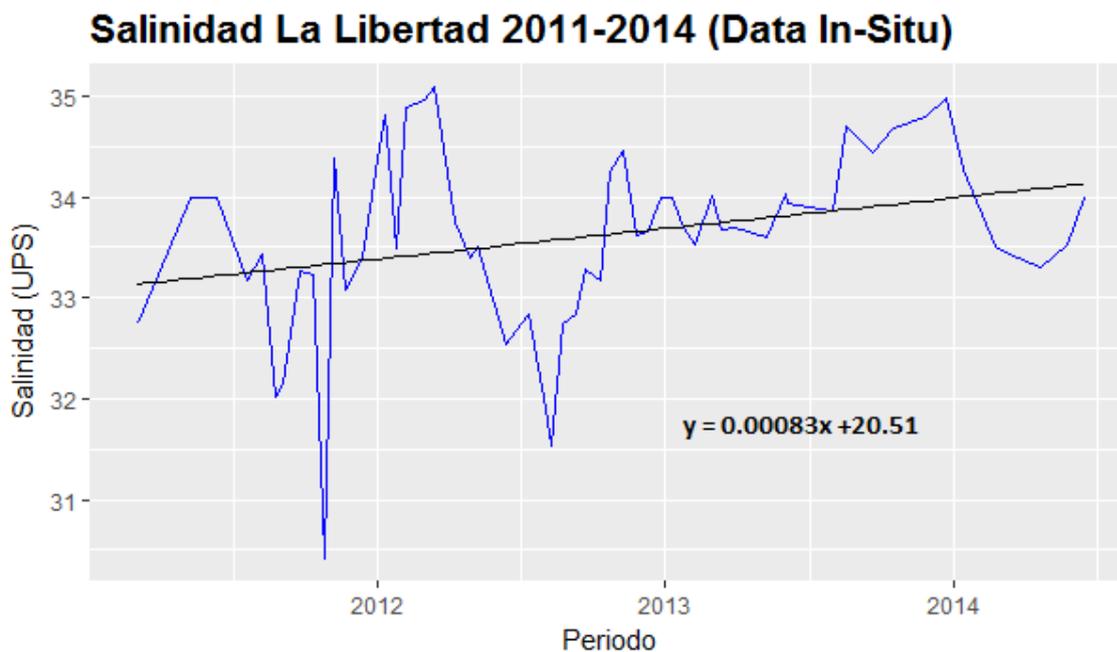
**Figura 3.19: Serie de tiempo de salinidad en la estación Manta obtenida de datos in-situ para el periodo de 2011-2014.**

Elaboración: Propia



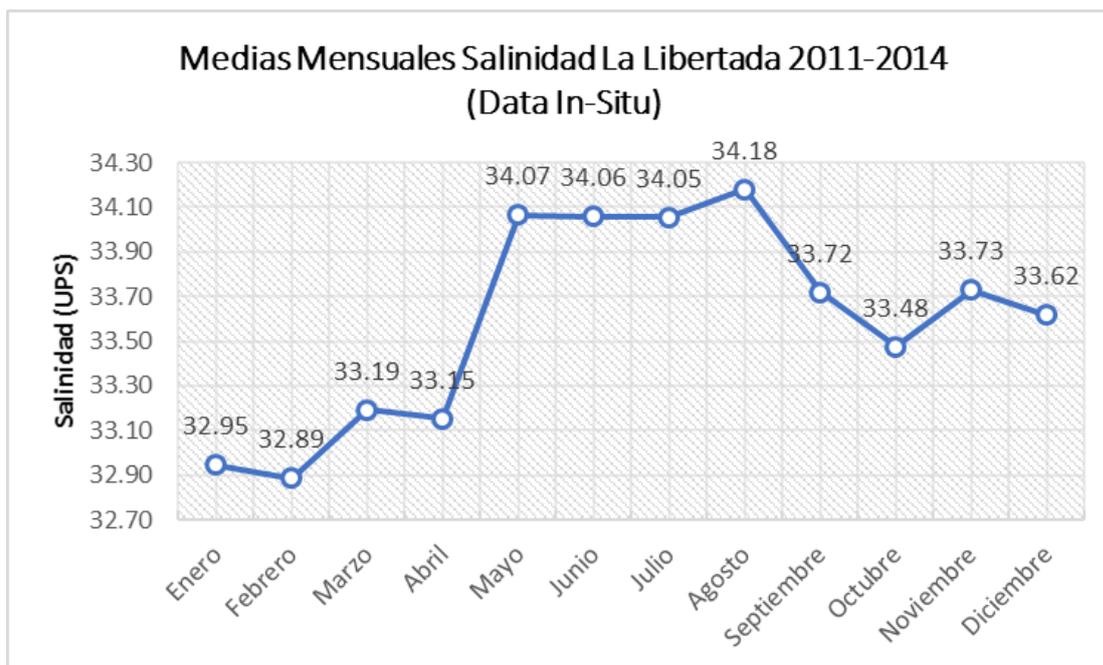
**Figura 3.20: Medias mensuales de salinidad en la estación de Manta obtenida de datos in-situ para el periodo de 2011-2014.**

Elaboración: Propia



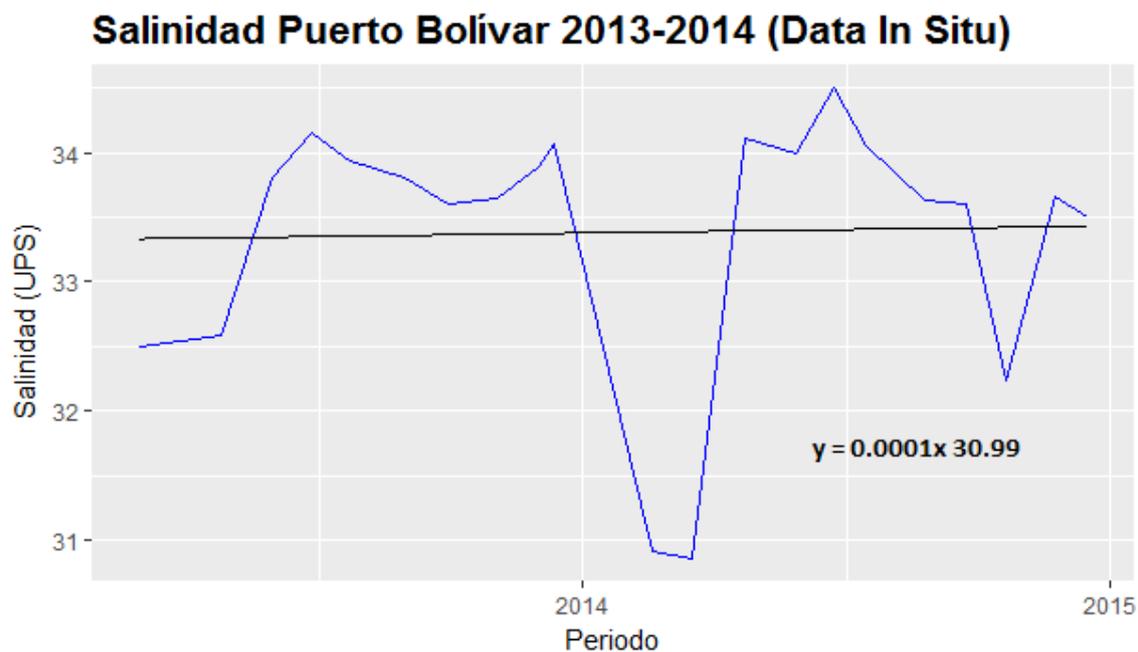
**Figura 3.21: Serie de tiempo de salinidad en la estación La Libertad obtenida de datos in-situ para el periodo de 2011-2014.**

Elaboración: Propia

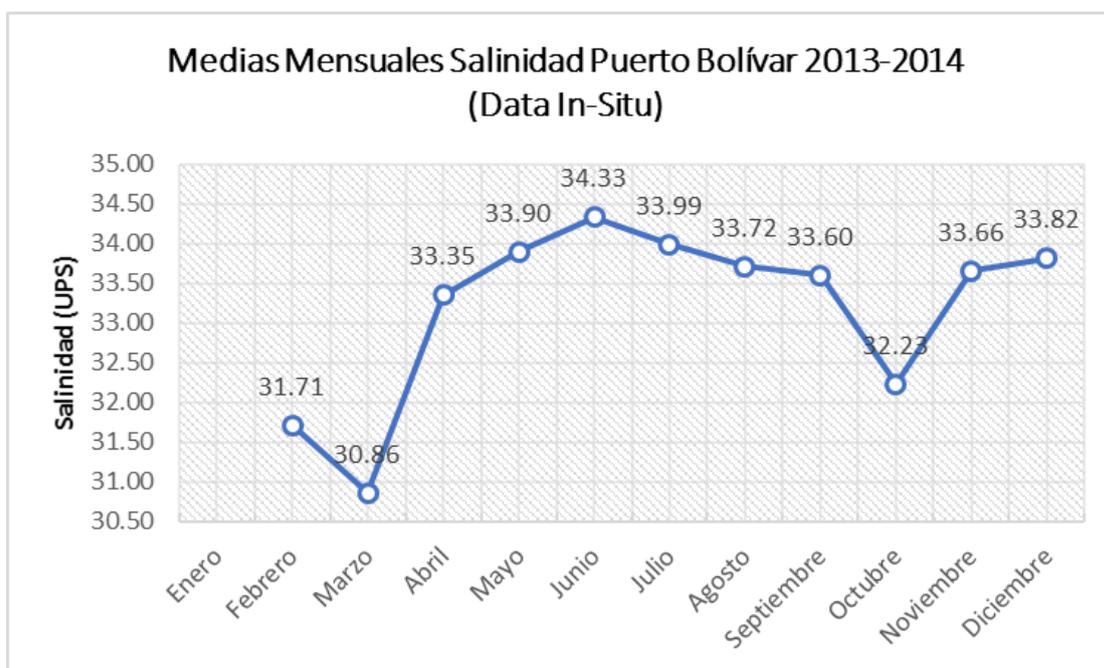


**Figura 3.22: Medias mensuales de salinidad en la estación de La Libertad obtenida de sensores remotos para el periodo de 2011-2014.**

Elaboración: Propia



**Figura 3.23: Serie de tiempo de salinidad en la estación Puerto Bolívar obtenida de datos in-situ para el periodo de 2011-2014.**



**Figura 3.24: Medias mensuales de salinidad en la estación de Puerto Bolívar obtenida de datos in-situ para el periodo de 2013-2014.**

Elaboración: Propia

### 3.3. Series de tiempo de Clorofila a (Sensores Remotos)

La clorofila a en la superficie del mar tomado de sensores remotos, para cada una de las estaciones se muestran en las figuras 3.25 a 3.30.

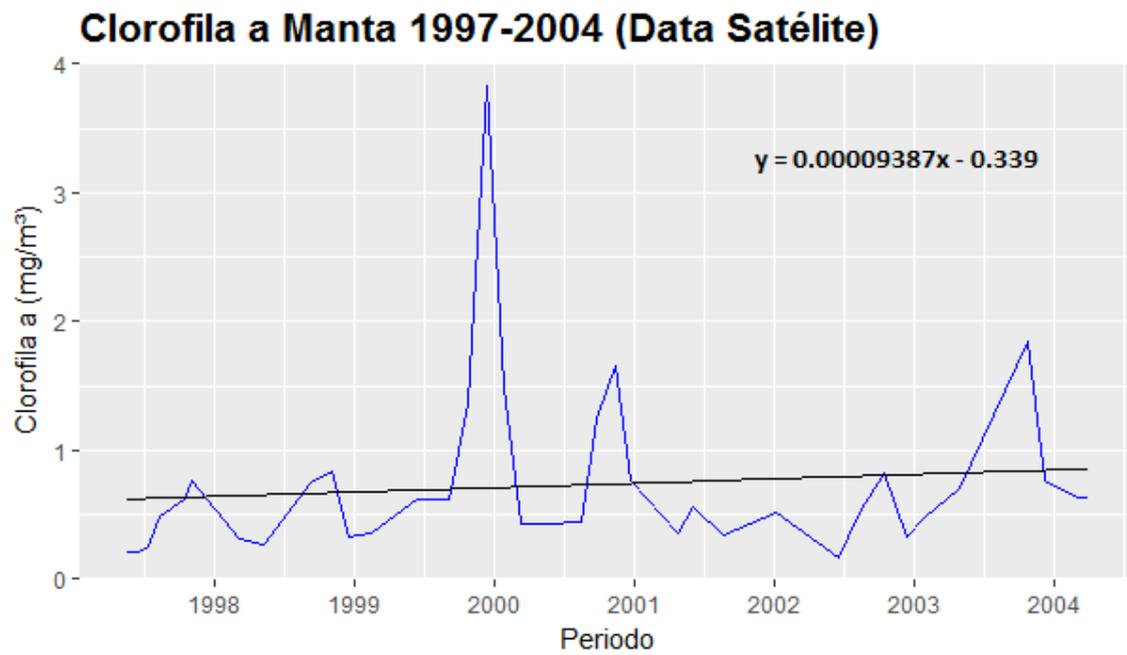
Para Manta y La Libertad se puede observar que se tienen el pico más elevado de clorofila entre el año de 1999 a 2000, llegando hasta 4 mg/m<sup>3</sup> respectivamente.

Según bibliografía consultada existieron procesos afloramientos para los meses de mayo y agosto durante el año 2000 en la estación de la Libertad caracterizados por concentraciones de clorofila a en la superficie, mientras que para la estación de Manta también se registraron valores altos de clorofila para marzo del año 2000. La intensidad de los afloramientos costeros varía de acuerdo a la posición geográfica y la estación del año y se tiene que para concentraciones de clorofila menores a 0.20 mg/m<sup>3</sup> se considera aguas de baja productividad, concentraciones entre 0.20 y 0.50 mg/m<sup>3</sup> aguas ligeramente productivas y concentraciones mayores a 0.50 mg/m<sup>3</sup>. Cabe mencionar que para el periodo de 1999 al 2000 se desarrolló un evento La Niña lo que trae consigo aguas más frías, lo que explicaría los procesos de afloramiento que se dieron en ese periodo de tiempo [26].

Además, para los meses de mayo hasta diciembre debido a la influencia de la corriente fría de Humboldt, desde el sur llegan masas de agua frías que coinciden con la dominancia de los vientos alisios del sureste [26]. En las series de tiempo de las estaciones de Manta, La Libertad y Puerto Bolívar se puede apreciar que efectivamente los periodos que tienen concentraciones de clorofila a más altos se encuentran dentro del rango de influencia de la corriente de Humboldt en las costas ecuatorianas.

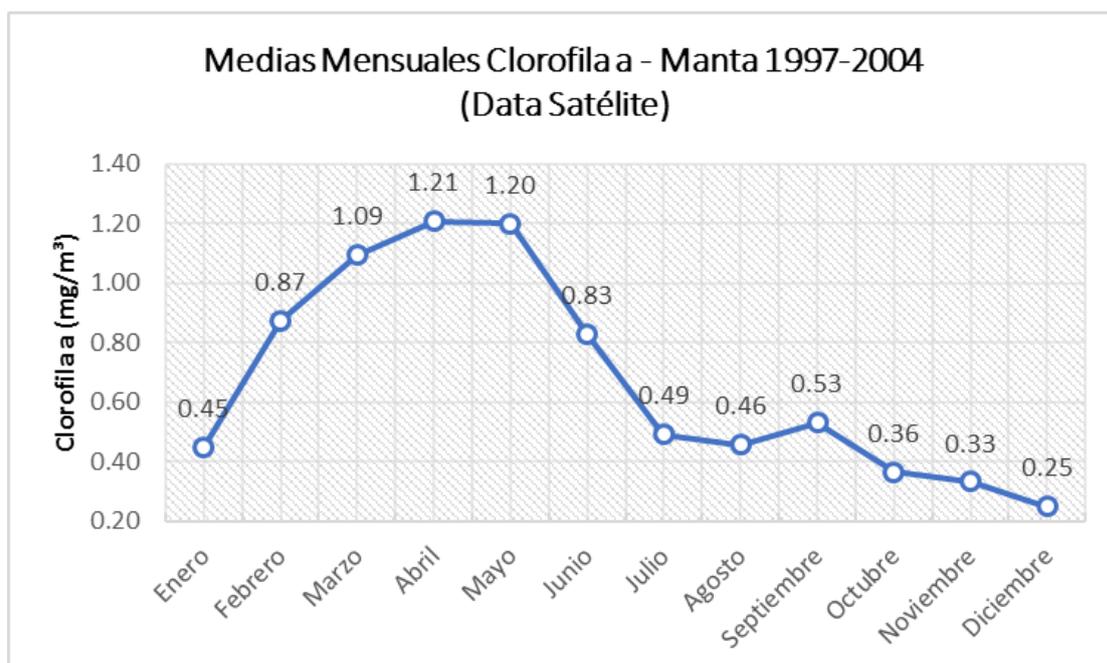
La variabilidad de la clorofila es similar para las estaciones de Manta y La Libertad. La estación de Puerto Bolívar presenta datos de dos años, sin embargo, se puede apreciar que esta estación es la que presenta mayores valores de clorofila a en comparación con las otras dos estaciones, sabiendo que Puerto Bolívar tiene influencia del sistema del Golfo de Guayaquil lo cual generaría que el agua en esta zona sea mayor productiva.

Las tendencias para clorofila a en las estaciones mostradas tienden a permanecer constantes, esto se puede observar debido a que las pendientes son cercanas a ser cero. Sin embargo, se puede observar una tendencia a aumentar ligeramente en las estaciones de Manta y La Libertad, mientras que para Puerto Bolívar la tendencia es a disminuir durante los dos años mostrados.



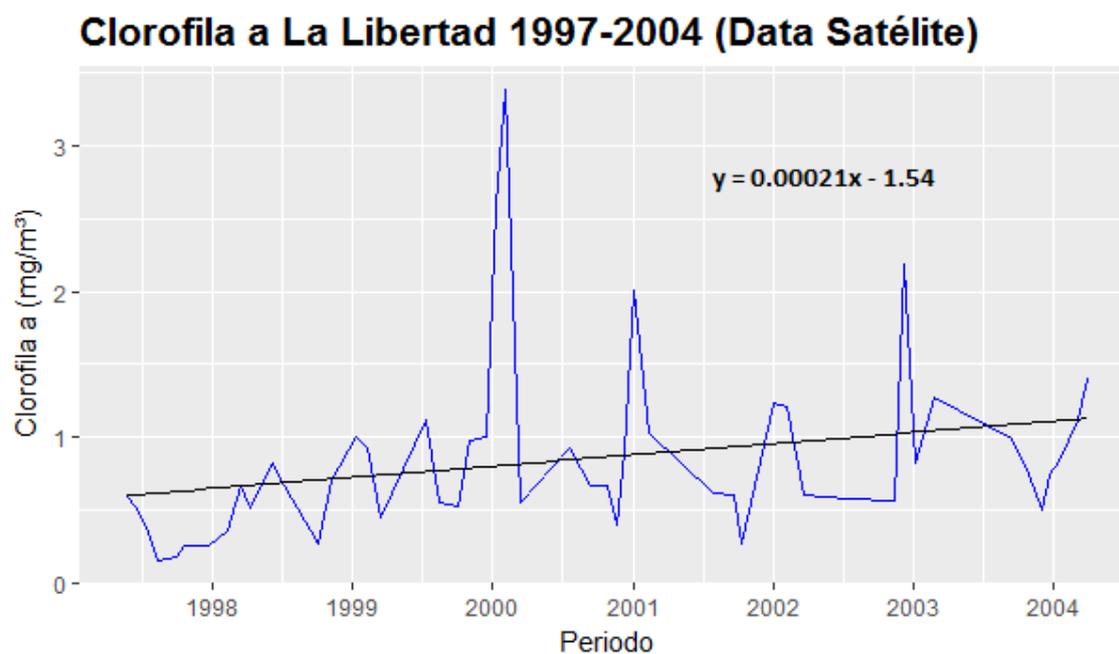
**Figura 3.25: Serie de tiempo de clorofila a en la estación de Manta obtenida de sensores remotos para el periodo de 1997-2014.**

Elaboración: Propia



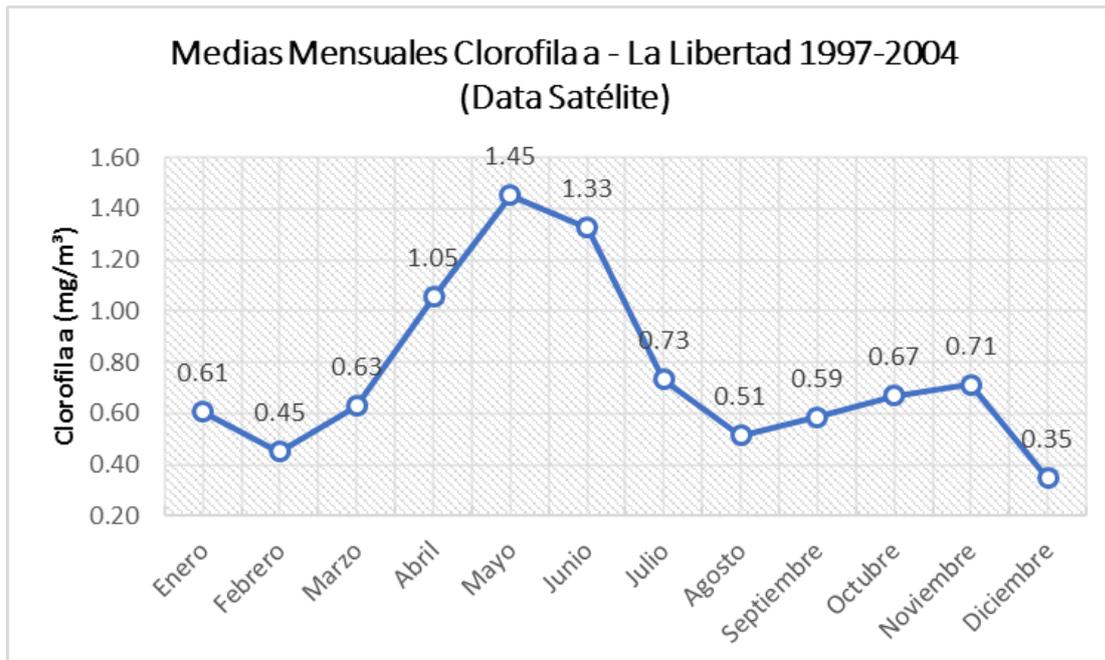
**Figura 3.26: Medias mensuales de concentración de clorofila a en la estación de Manta obtenida de sensores remotos para el periodo de 1997-2014.**

Elaboración: Propia



**Figura 3.27** Serie de tiempo de clorofila a en la estación de La Libertad obtenida de sensores remotos para el periodo de 1997-2014.

Elaboración: Propia



**Figura 3.28:** Medias mensuales de concentración de clorofila a en la estación de La Libertad obtenida de sensores remotos para el periodo de 1997-2014.

Elaboración: Propia

### Clorofila a Puerto Bolívar 2013-2014 (Data Satélite)

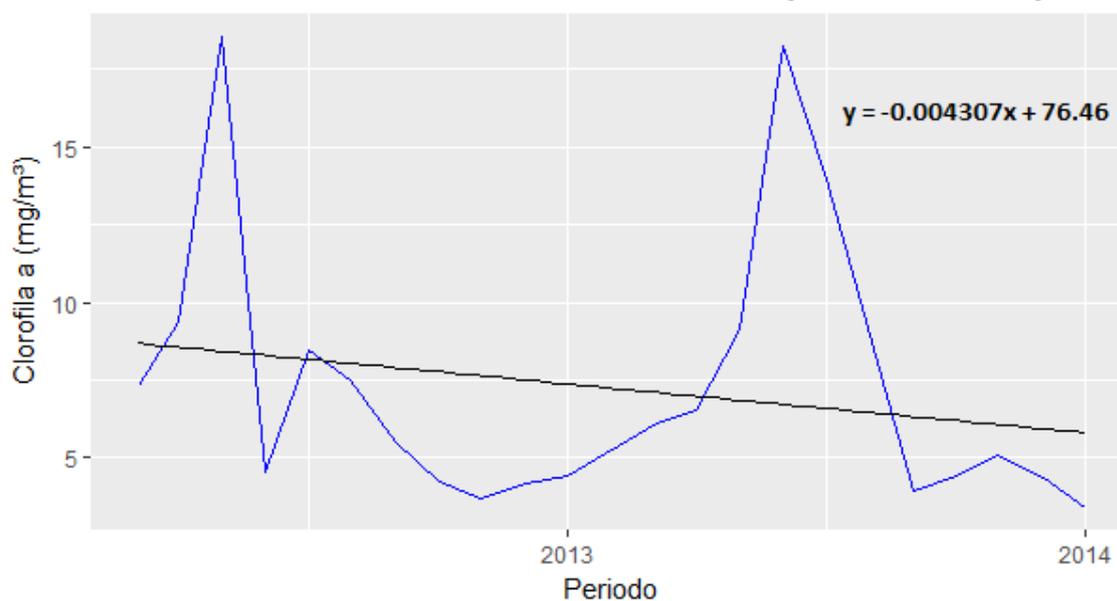


Figura 3.29: Serie de tiempo de clorofila a en la estación de Puerto Bolívar obtenida de sensores remotos para el periodo de 2013-2014.

Elaboración: Propia

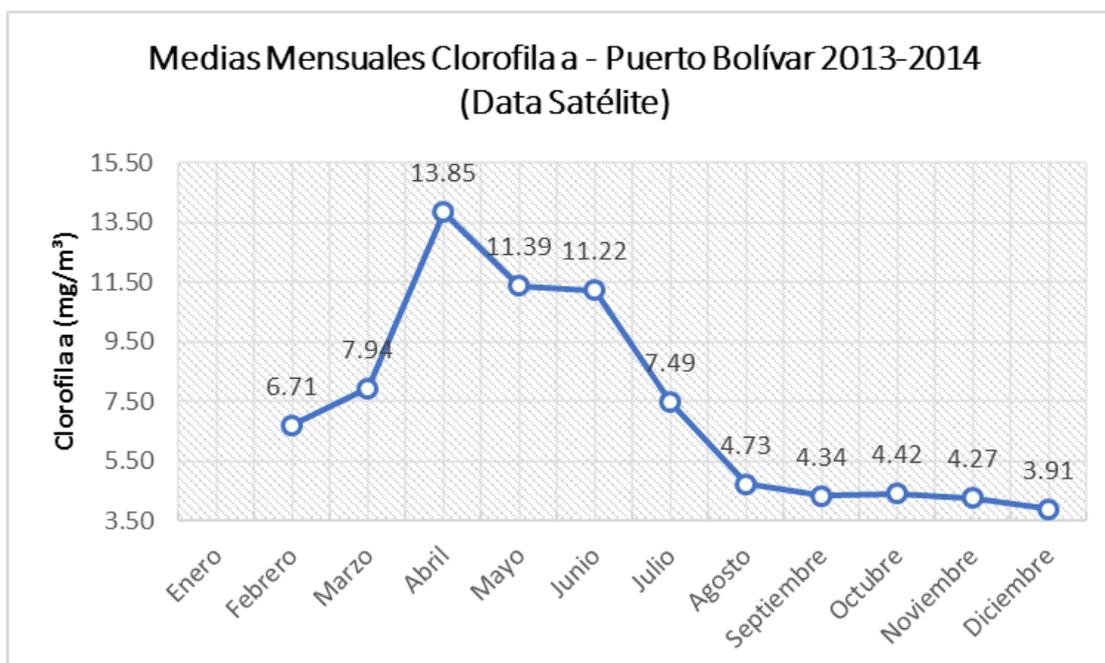


Figura 3.30: Medias mensuales de concentración de clorofila a en la estación de Puerto Bolívar obtenida de sensores remotos para el periodo de 2013-2014.

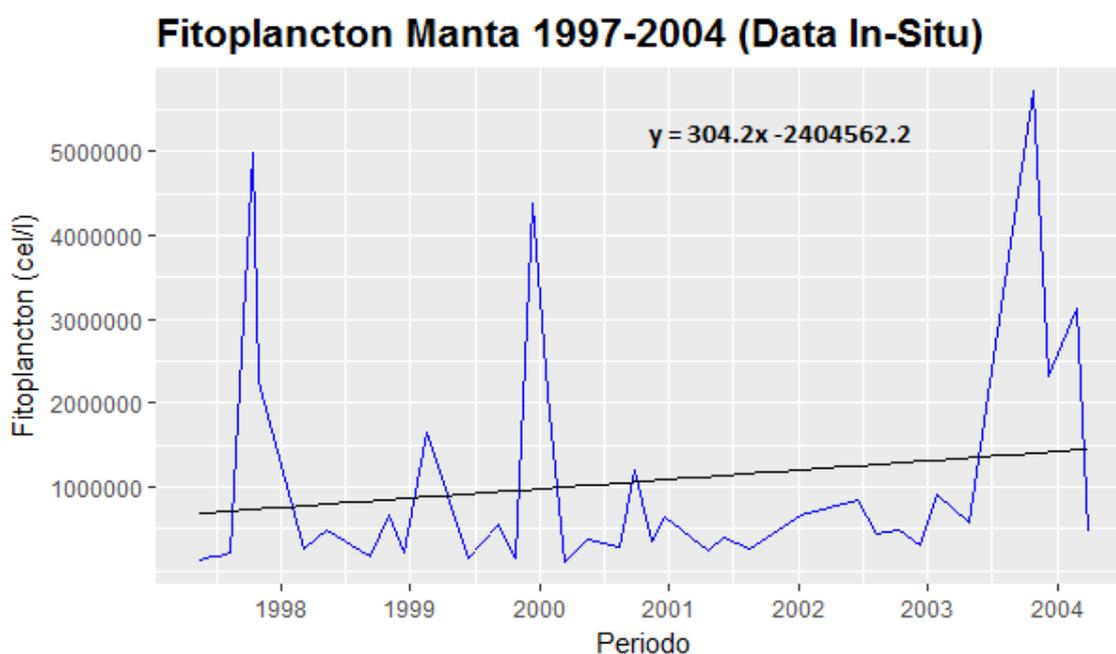
Elaboración: Propia

### 3.4. Series de tiempo de Fitoplancton (In-Situ)

Los contajes celulares de fitoplancton en la superficial del mar de la data in-situ, para cada una de las estaciones se muestran en las figuras 3.31 a 3.36.

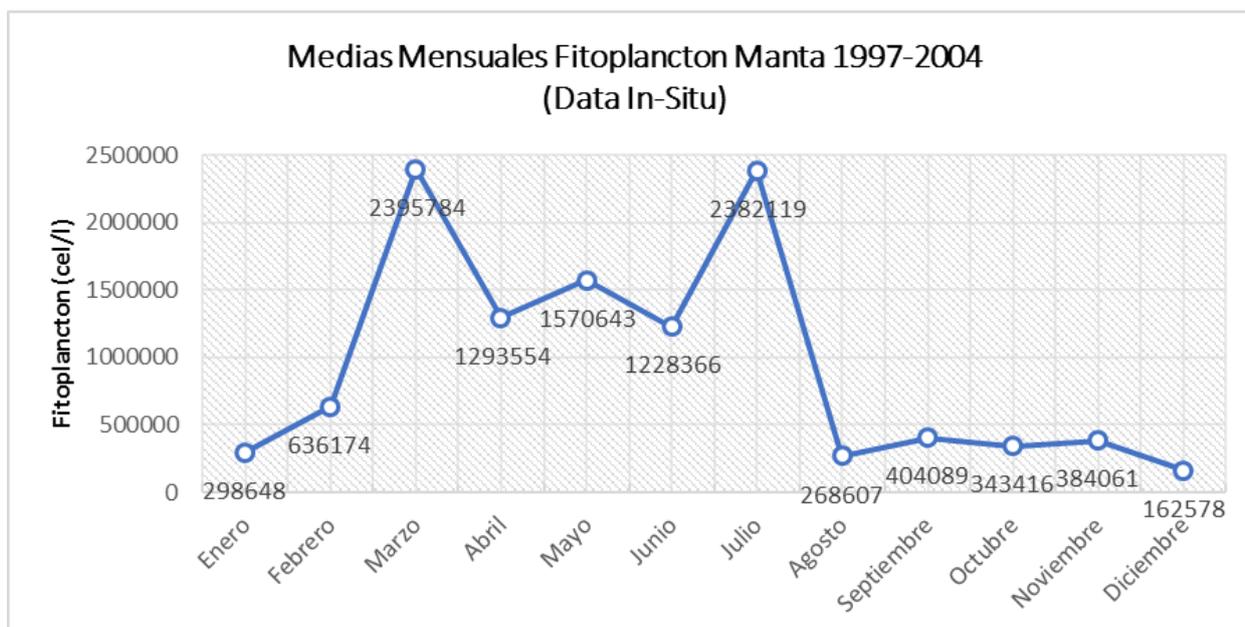
Se puede observar que para las tres estaciones mostradas existen picos que coinciden con el tiempo en el que la clorofila mostrada de sensores remotos también presentaba valores altos. Debido a los procesos de afloramientos se puede observar que en los periodos de mayo a diciembre donde la temperatura del agua es más fría y trae consigo gran cantidad de nutrientes y como consecuencia gran productividad [20].

Al igual que en clorofila, para las estaciones de Manta y Puerto Bolívar se tiene una tendencia ligera a aumentar cada año, mientras que para Puerto Bolívar para los dos años mostrados se tiene una pequeña tendencia a disminuir.



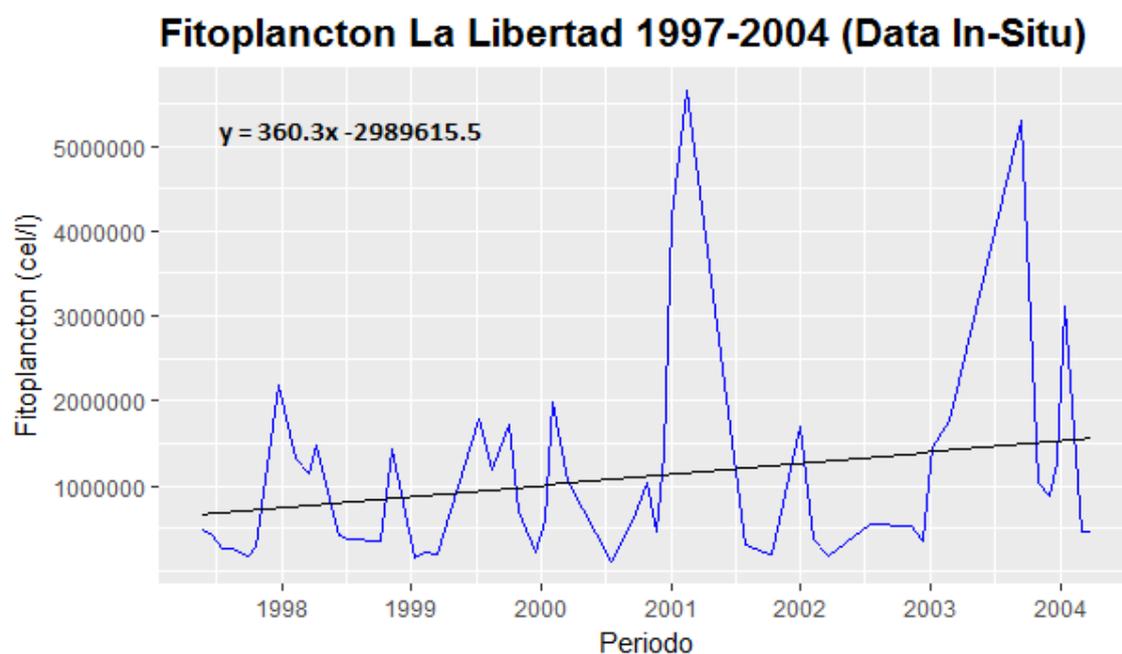
**Figura 3.31: Serie de tiempo de contaje celular de fitoplancton en la estación de Manta obtenida de datos in-situ para el periodo de 1997-2004.**

Elaboración: Propia



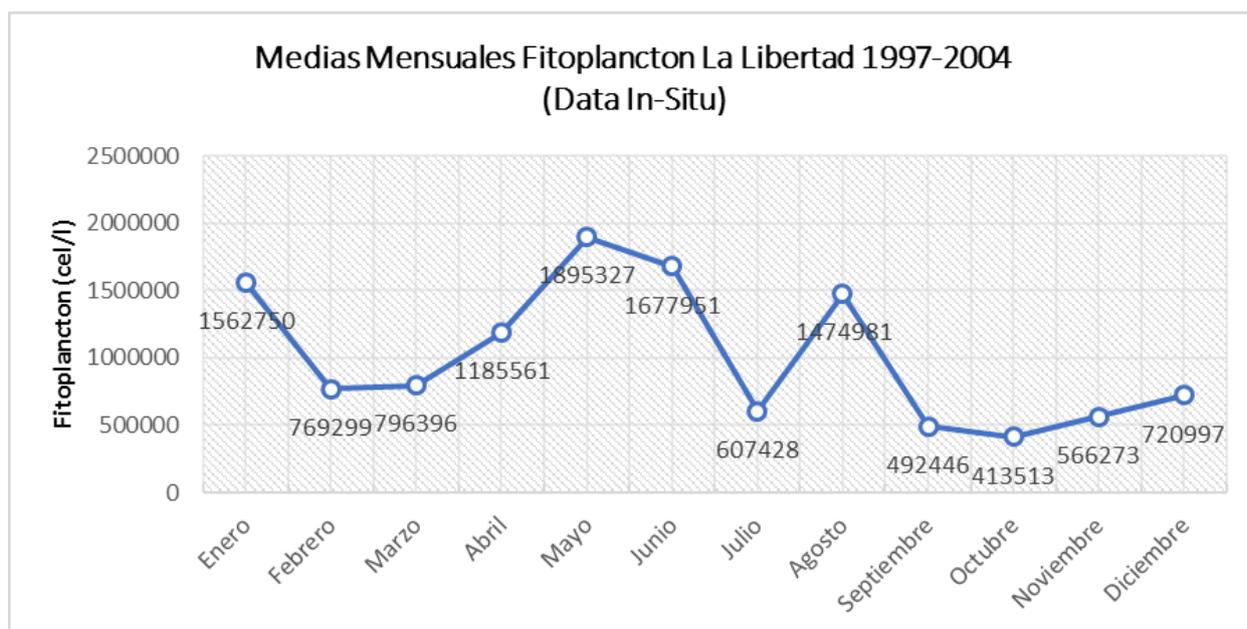
**Figura 3.32: Medias mensuales de conteo celular de fitoplancton en la estación de Manta obtenida de datos in-situ para el periodo de 1997-2004.**

Elaboración: Propia



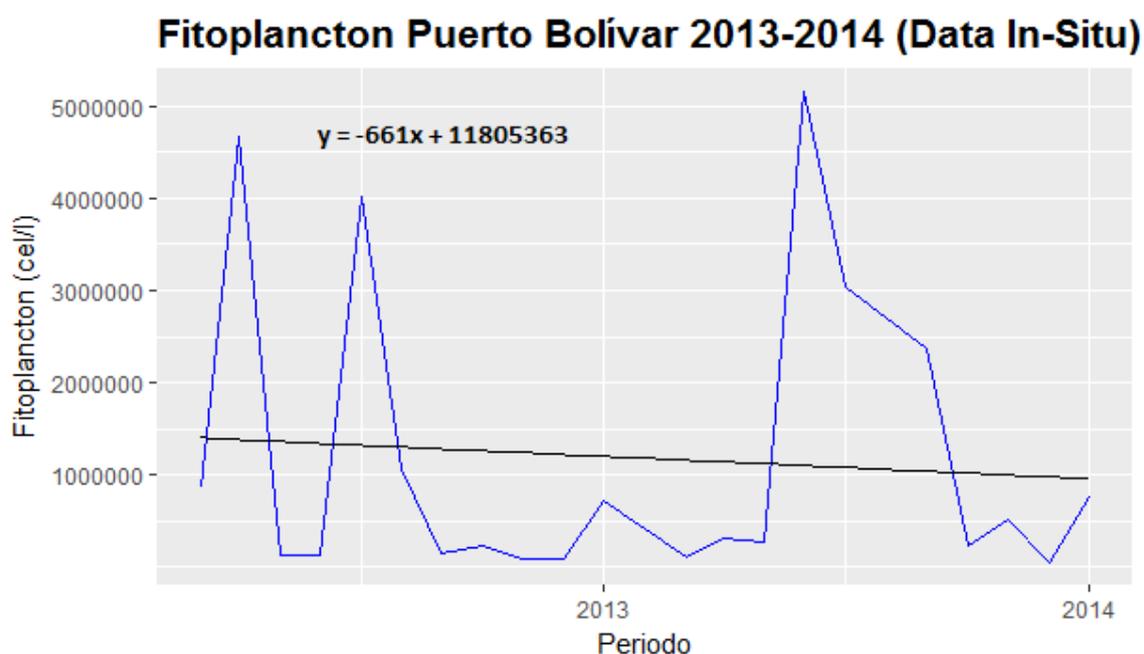
**Figura 3.33: Serie de tiempo de conteo celular de fitoplancton en la estación de La Libertad obtenida de datos in-situ para el periodo de 1997-2004.**

Elaboración: Propia



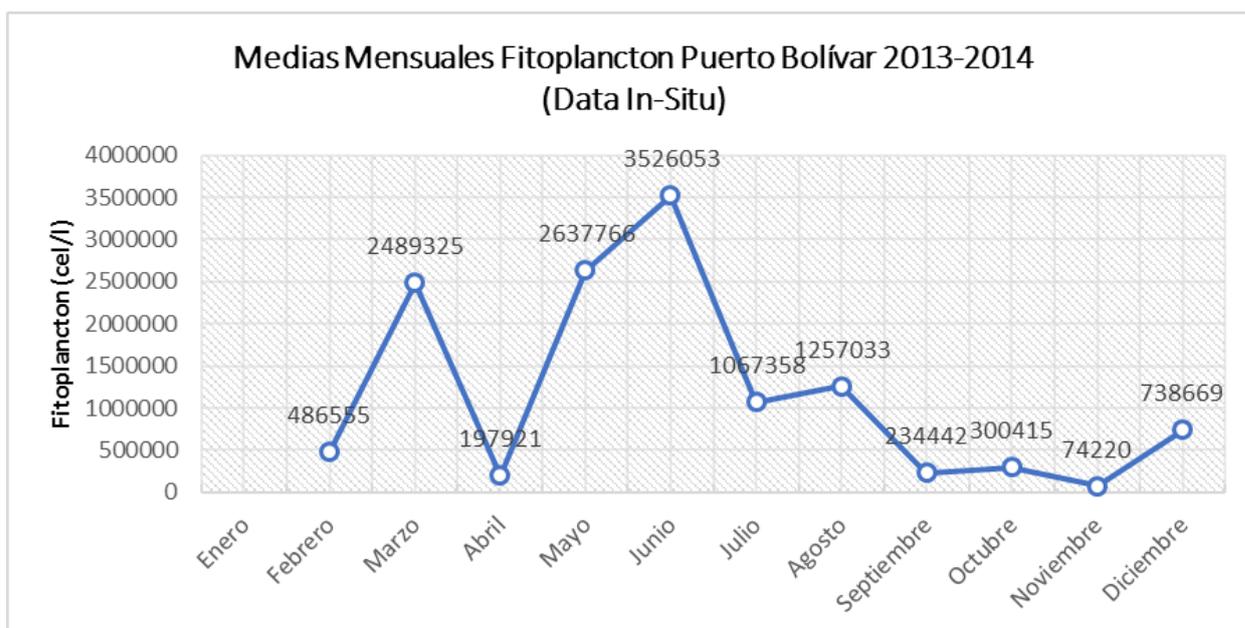
**Figura 3.34: Medias mensuales de contaje celular de fitoplancton en la estación de La Libertad obtenida de datos in-situ para el periodo de 1997-2004.**

Elaboración: Propia



**Figura 3.35: Serie de tiempo de contaje celular de fitoplancton en la estación de La Libertad obtenida de datos in-situ para el periodo de 2013-2014.**

Elaboración: Propia



**Figura 3.36: Medias mensuales de conteo celular de fitoplancton en la estación de Puerto Bolívar obtenida de datos in-situ para el periodo de 2013-2014.**

Elaboración: Propia

### 3.5. Estadística descriptiva de los datos

En la siguiente tabla se muestra un resumen de la estadística descriptiva que realizó a cada una de las variables tanto de sensores remotos e in-situ.

Estación	Variable	Tipo de dato	Mínimo	Máximo	Media	Varianza	Desviación estándar	Diferencia entre SR/IS
Manta	Temperatura (°C)	Sensor Remoto	23.13	29.25	25.43	1.752336	1.323758	90 % (0-1.29°C)
		In-Situ	21.48	29.37	25.45	1.953736	1.397761	
	Salinidad (UPS)	Sensor Remoto	31.56	35.16	33.71	0.6028766	0.7764513	98% (0-1.24UPS)
		In-Situ	30.55	34.52	33.34	0.5074035	0.7123226	
	Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )	Sensor Remoto	0.168	3.8273	0.7274	0.4380768	0.6618737	No Aplica
Fitoplancton (cel/l)	In-Situ	106029	5718497	1034435	1.98E+12	1405645		
La Libertad	Temperatura (°C)	Sensor Remoto	20.48	29.08	24.61	3.392466	1.841865	86% (0-2.07°C)
		In-Situ	18.8	29.14	24.54	4.285212	2.070075	
	Salinidad (UPS)	Sensor Remoto	32.73	35.48	34.53	0.3633038	0.6027469	95% (0.01-1.93UPS)
		In-Situ	30.42	35.09	33.6	0.7964724	0.892453	
	Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )	Sensor Remoto	0.1521	3.3872	0.84	0.3680664	0.6066848	No Aplica
Fitoplancton (cel/l)	In-Situ	110741	5652524	1077113	1.47E+12	1213862		
Puerto Bolívar	Temperatura (°C)	Sensor Remoto	22.22	27.86	24.39	2.601016	1.612766	91% (0.01-1.89°C)
		In-Situ	22.43	27.88	24.72	2.271609	1.507186	
	Salinidad (UPS)	Sensor Remoto	34.06	35.54	34.91	0.1308857	0.3617813	81% (0.57-1.87UPS)
		In-Situ	30.86	34.5	33.38	1.002541	1.00127	
	Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )	Sensor Remoto	3.4095	18.5468	7.2885	19.99954	4.472084	No Aplica
Fitoplancton (cel/l)	In-Situ	54192	5153009	1188197	2.66E+12	1631162		

**Tabla 3.1: Estadística del set de datos de sensores remotos e in-situ de las tres estaciones.**

En la estadística descriptiva que se muestra en la tabla 1 y en los diagramas de caja que se mostrarán a continuación se observa que espacialmente tanto para datos In-Situ como datos de sensores remotos, la temperatura superficial del mar va aumentando a medida que se acerca a la línea ecuatorial, teniendo la estación de Puerto Bolívar temperaturas más bajas que La Libertad y Manta. Mientras que la salinidad va disminuyendo a medida que se acerca a la línea ecuatorial, teniendo la estación de Puerto Bolívar salinidades más altas que las estaciones de La Libertad y Manta. En cuanto a productividad se puede apreciar que la estación de Puerto Bolívar es la que mayor productividad presenta, dado que tanto como en cantidad de fitoplancton como concentración de clorofila, es la estación que presenta los valores

más altos, esto debido a que la estación de Puerto Bolívar tiene aporte por parte del sistema del Golfo del Guayas.

### **3.6. Diagramas de caja de temperatura superficial del mar**

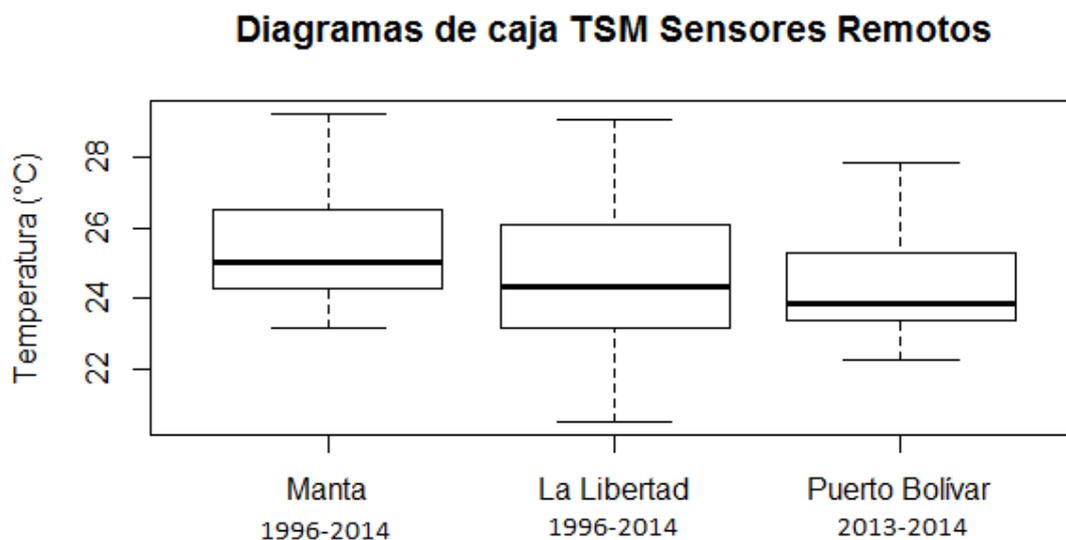
#### **3.6.1. TSM Sensores Remotos**

En la figura 3.37 se presenta un diagrama de cajas para los datos de temperatura obtenidos de sensores remotos. Al igual que en los datos in-situ se puede observar que la estación de La Libertad es la que presenta mayor dispersión en la distribución de los datos puesto que es la que tiene la caja y los bigotes más largos. Lo opuesto ocurre con la estación de Puerto Bolívar donde la caja y los bigotes son más cortos, indicándonos que los datos en esta estación se encuentran concentrados en un rango de temperatura menor.

Para la estación de Manta el 25% de los datos se encuentran aproximadamente entre 23°C y 24.5°C, 50% de los datos entre 24.5°C y 26.5°C, y el otro 25% entre 26.5°C y 29°C; la mediana se encuentra aproximadamente en 25°C. Dado que la mediana se encuentra ligeramente más cerca a la parte inferior de la caja, se tiene una curtosis platicúrtica, en cuanto a la distribución se puede decir que es asimétrica puesto el bigote inferior es más pequeño que el bigote superior.

Para la estación de La Libertad el 25% de los datos se encuentran aproximadamente entre 20°C y 23°C, 50% de los datos entre 23°C y 26°C, y el otro 25% entre 26°C y 29°C; la mediana se encuentra aproximadamente en 24.5°C. Dado que la mediana se encuentra ligeramente más cerca a la parte inferior de la caja, se tiene una curtosis platicúrtica, en cuanto a la distribución se puede decir que es simétrica puesto que los bigotes son aproximadamente del mismo tamaño.

Para la estación de Puerto Bolívar el 25% de los datos se encuentran aproximadamente entre 22°C y 23.5°C, 50% de los datos entre 23.5°C y 25°C, y el otro 25% entre 25°C y 28°C; la mediana se encuentra aproximadamente en 24°C. Presenta una distribución platicúrtica dado que la mediana se encuentra más cerca a la parte inferior de la caja, se tiene además que presenta distribución asimétrica con sesgo positivo debido a que el bigote inferior es más pequeño que el bigote inferior.



**Figura 3.37: Diagrama de caja de los datos de temperatura superficial del mar de sensores remotos para las tres estaciones.**

Elaboración: Propia

### 3.6.2. Temperatura In-Situ

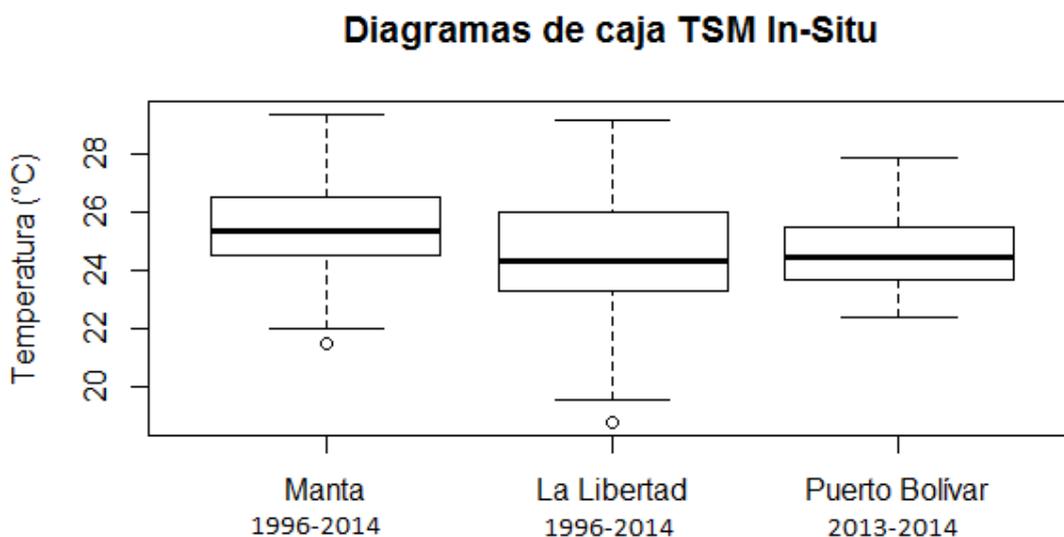
En la figura 3.38 se presenta un diagrama de cajas para los datos de temperatura tomados in-situ. Se puede observar que la estación de La Libertad es la que presenta mayor dispersión en la distribución de los datos puesto que es la que tiene la caja y los bigotes más largos. Lo opuesto ocurre con la estación de Puerto Bolívar donde la caja y los bigotes son más cortos, indicándonos que los datos en esta estación se encuentran concentrados en un rango de temperatura menor.

Para la estación de Manta el 25% de los datos se encuentran aproximadamente entre 22°C y 24.5°C, 50% de los datos entre 24.5°C y 26.5°C, y el otro 25% entre 26.5°C y 29°C; la mediana se encuentra aproximadamente en 25°C. Dado que la mediana se encuentra relativamente en el centro de la caja y los bigotes son del mismo tamaño, se tiene una distribución simétrica. Se puede apreciar un punto en la parte inferior del diagrama, lo cual indica que existe un valor que no se ajusta a los representados siendo este de aproximadamente 21°C.

Para la estación de La Libertad el 25% de los datos se encuentran aproximadamente entre 19°C y 23°C, 50% de los datos entre 23°C y 25.5°C, y el otro 25% entre 25.5°C y 29°C; la mediana se encuentra aproximadamente en 24°C. Dado que la mediana se

encuentra ligeramente más cerca a la parte inferior de la caja, se tiene una curtosis platicúrtica, en cuanto a la distribución se puede decir que es simétrica puesto que los bigotes son aproximadamente del mismo tamaño. Se puede apreciar un punto en la parte inferior del diagrama, lo cual indica que existe un valor que no se ajusta a los representados siendo este de aproximadamente 18°C.

Para la estación de Puerto Bolívar el 25% de los datos se encuentran aproximadamente entre 22.5°C y 24°C, 50% de los datos entre 24°C y 25°C, y el otro 25% entre 25°C y 28°C; la mediana se encuentra aproximadamente en 24°C. Presenta una distribución mesocúrtica dado que la mediana se encuentra relativamente en el centro de la caja, se tiene además que presenta distribución asimétrica con sesgo positivo debido a que el bigote inferior es más pequeño que el bigote superior.



**Figura 3.38: Diagrama de caja de los datos in-situ de las tres estaciones.**

Elaboración: Propia

### 3.7. Diagramas de caja de la variable Salinidad

#### 3.7.1. Salinidad Sensores Remotos

En la figura 3.39 se presenta un diagrama de cajas para los datos de salinidad obtenidos de sensores remotos. Se puede observar que en este caso la estación de Manta es la que presenta mayor dispersión en la distribución de los datos puesto que es la que tiene la caja y los bigotes más largos. Al igual que los datos in-situ, lo opuesto ocurre con la estación de Puerto Bolívar donde la caja y los bigotes son más

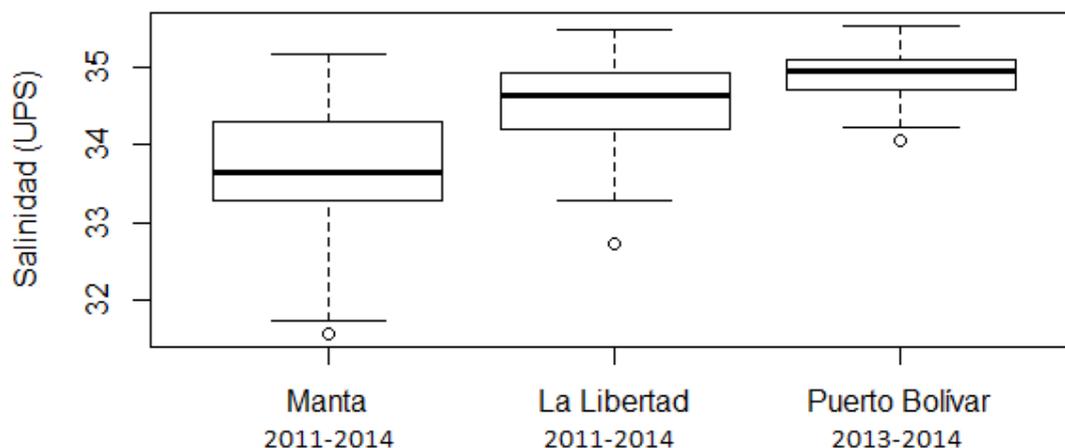
corto, esto nos indica que los datos en esta estación se encuentran concentrados en un rango de salinidad mucho menor.

Para la estación de Manta alrededor del 25% de los datos se encuentran aproximadamente entre 31.5 y 33.25 UPS, 50% de los datos entre 33.25 y 34.25 UPS, y el otro 25% entre 34.25 Y 35 UPS; la mediana se encuentra aproximadamente en 33.75 UPS. Dado que la mediana se encuentra ligeramente más cerca a la parte inferior de la caja, se tiene una curtosis platicúrtica, en cuanto a la distribución se puede decir que es asimétrica puesto el bigote superior es más pequeño que el bigote inferior. Se puede apreciar un punto en la parte inferior del diagrama, lo cual indica que existe un valor que no se ajusta a los representados siendo este de aproximadamente 31 UPS.

Para la estación de La Libertad alrededor del 25% de los datos se encuentran aproximadamente entre 33.25 y 34.25 UPS, 50% de los datos entre 34.25 y 34.90 UPS, y el otro 25% entre 34.9 y 36 UPS; la mediana se encuentra aproximadamente en 34.5 UPS. Dado que la mediana se encuentra ligeramente más cerca a la parte superior de la caja, se tiene una curtosis leptocúrtica, en cuanto a la distribución se puede decir que es asimétrica puesto el bigote superior es más pequeño que el bigote inferior. Se puede apreciar un punto en la parte inferior del diagrama, lo cual indica que existe un valor que no se ajusta a los representados siendo este de aproximadamente 32.5 UPS.

Para la estación de Puerto Bolívar alrededor del 25% de los datos se encuentra entre 34.25 y 34.75 UPS, el 50% de los datos entre 34.75 y 35 UPS, y el otro 25% entre 35 y 35 UPS; la mediana se encuentra aproximadamente en 34.9 UPS. Dado que la mediana se encuentra ligeramente más cerca a la parte superior de la caja, se tiene una curtosis leptocúrtica, con una distribución simétrica. Se puede apreciar un punto en la parte inferior del diagrama, lo cual indica que existe un valor que no se ajusta a los representados siendo este de aproximadamente 32.5 UPS.

### Diagramas de caja Salinidad Sensores Remotos



**Figura 3.39: Diagrama de caja de los datos de salinidad de sensores remotos para las tres estaciones.**

Elaboración: Propia

#### 3.7.2. Salinidad In-Situ

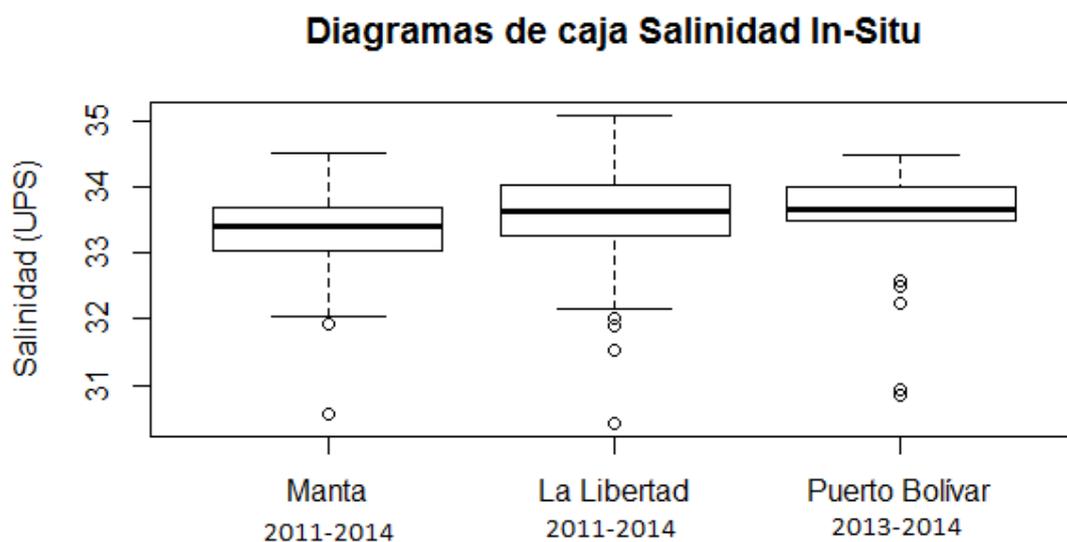
En la figura 3.40 se presenta un diagrama de cajas para los datos de salinidad tomados in-situ. Se puede observar que la estación de La Libertad es la que presenta mayor dispersión en la distribución de los datos puesto que es la que tiene la caja y los bigotes más largos. Lo opuesto ocurre con la estación de Puerto Bolívar donde la caja y los bigotes son más cortos, observándose incluso que no existe bigote inferior, esto nos indica que los datos en esta estación se encuentran concentrados en un rango de salinidad mucho menor, pero con algunos valores que se consideran atípicos.

Para la estación de Manta alrededor del 25% de los datos se encuentran aproximadamente entre 32 y 33 UPS, 50% de los datos entre 33 y 33.75 UPS, y el otro 25% entre 33.75 Y 34.5 UPS; la mediana se encuentra aproximadamente en 33.5 UPS. Dado que la mediana se encuentra relativamente en el centro de la caja y los bigotes son del mismo tamaño, se tiene una distribución simétrica. Se pueden apreciar puntos en la parte inferior del diagrama, lo cual indica que existen valores que no se ajustan a los representados estando estos aproximadamente entre 30.5 y 32 UPS.

Para la estación de La Libertad alrededor del 25% de los datos se encuentran aproximadamente entre 32 y 33.5 UPS, 50% de los datos entre 33.5 y 34 UPS, y el

otro 25% entre 34 y 35 UPS; la mediana se encuentra aproximadamente en 33.75 UPS. Dado que la mediana se encuentra relativamente en el centro de la caja y los bigotes son del mismo tamaño, se tiene una distribución simétrica. Se pueden apreciar puntos en la parte inferior del diagrama, lo cual indica que existen valores que no se ajustan a los representados estando estos aproximadamente entre 30 y 32 UPS.

Para la estación de Puerto Bolívar el 50% de los datos entre 33.5 y 34 UPS, y el otro 25% entre 34 y 34.5 UPS; la mediana se encuentra aproximadamente en 33.75 UPS. Presenta una distribución platicúrtica dado que la mediana se encuentra más cerca a la parte inferior de la caja, se tiene además que presenta distribución asimétrica. Se pueden apreciar puntos en la parte inferior del diagrama, lo cual indica que existen valores que no se ajustan a los representados estando estos aproximadamente entre 31 y 32.5 UPS, lo cual representaría el otro 25% de los datos.



**Figura 3.40: Diagrama de caja de los datos de salinidad in-situ para las tres estaciones.**

Elaboración: Propia

### 3.8. Diagrama de caja de variable clorofila a.

En la figura 3.41 se presenta un diagrama de cajas para los datos de clorofila obtenidos de sensores remotos. Se puede observar que en este caso la estación de Puerto Bolívar es la que presenta mayor dispersión en la distribución de los datos puesto que es la que tiene la caja y los bigotes más largos. Lo opuesto ocurre con las estaciones de Manta y La Libertad donde las cajas y los bigotes son más cortos, esto

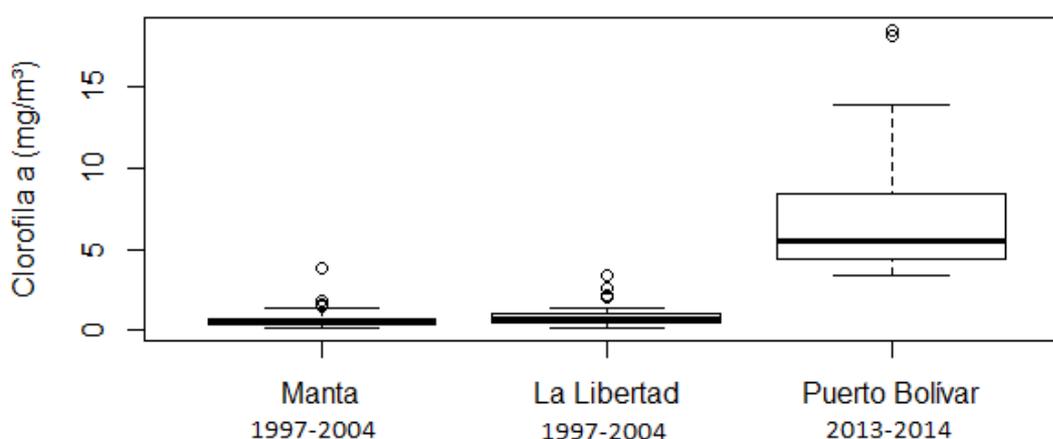
nos indica que los datos en estas estaciones se encuentran concentrados en un rango mucho menor.

Para la estación de Manta los datos se encuentran aproximadamente entre 0 y 2.5  $\text{mg}/\text{m}^3$ , en cuanto a la distribución se puede decir que es asimétrica puesto el bigote superior es más grande que el bigote inferior. Se puede apreciar un punto en la parte superior del diagrama, lo cual indica que existe un valor que no se ajusta a los representados siendo este de aproximadamente 5  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

Para la estación de La Libertad los datos se encuentran aproximadamente 0 y .5  $\text{mg}/\text{m}^3$ , en cuanto a la distribución se puede decir que es asimétrica puesto el bigote superior es más pequeño que el bigote inferior. Se puede apreciar tres puntos en la parte superior del diagrama, lo cual indica que existen valores que no se ajustan a los representados.

Para la estación de Puerto Bolívar alrededor del 25% de los datos se encuentra entre 4 y 5  $\text{mg}/\text{m}^3$ , el 50% de los datos entre 5 y 8  $\text{mg}/\text{m}^3$ , y el otro 25% entre 8 y 13  $\text{mg}/\text{m}^3$ ; la mediana se encuentra aproximadamente en 6  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Dado que la mediana se encuentra ligeramente más cerca a la parte inferior de la caja, se tiene una curtosis platicúrtica. Se puede apreciar un punto en la parte superior del diagrama, lo cual indica que existe un valor que no se ajusta a los representados siendo este de aproximadamente 19  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

### Diagramas de caja Clorofila a (Sensores Remotos)



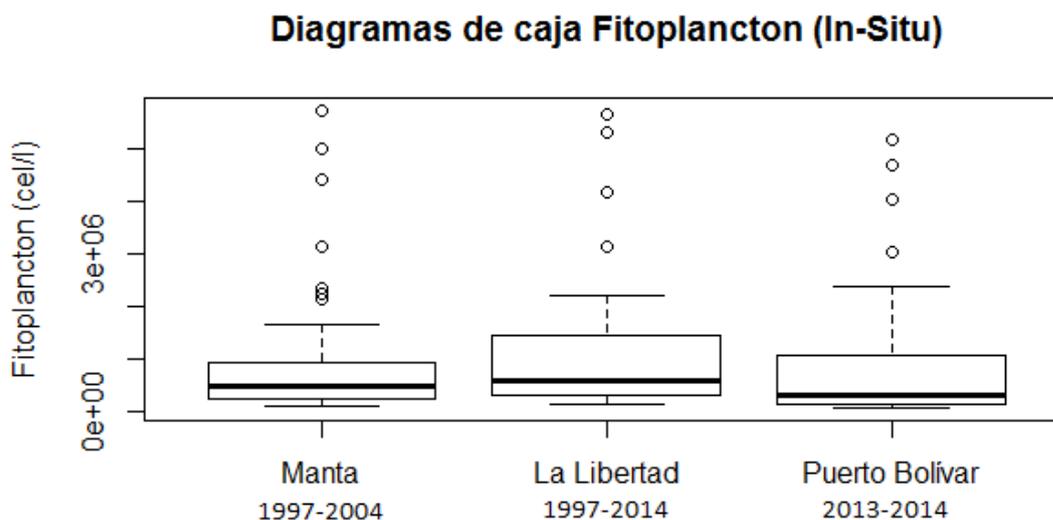
**Figura 3.41: Diagrama de caja de los datos de clorofila obtenido de sensores remotos para las tres estaciones.**

Elaboración: Propia

### 3.9. Diagrama de caja de la variable de Fitoplancton.

En la figura 3.42 se presenta un diagrama de cajas para los datos de fitoplancton tomados in-situ. Se puede observar que la estación de Puerto Bolívar es la que presenta mayor dispersión en la distribución de los datos puesto que es la que tiene la caja y los bigotes más largos. Lo opuesto ocurre con la estación de Manta donde la caja y los bigotes son más cortos.

Para la estación de Manta, La Libertad y Puerto Bolívar se tiene una distribución platicúrtica dado que las medianas se encuentran más cerca a la parte inferior de la caja, se tiene además que presentan distribución asimétrica. Se pueden apreciar puntos en la parte superior del diagrama, lo cual indica que existen valores que no se ajustan a los representados.



**Figura 3.42: Diagrama de caja de los datos de clorofila obtenido de sensores remotos para las tres estaciones.**

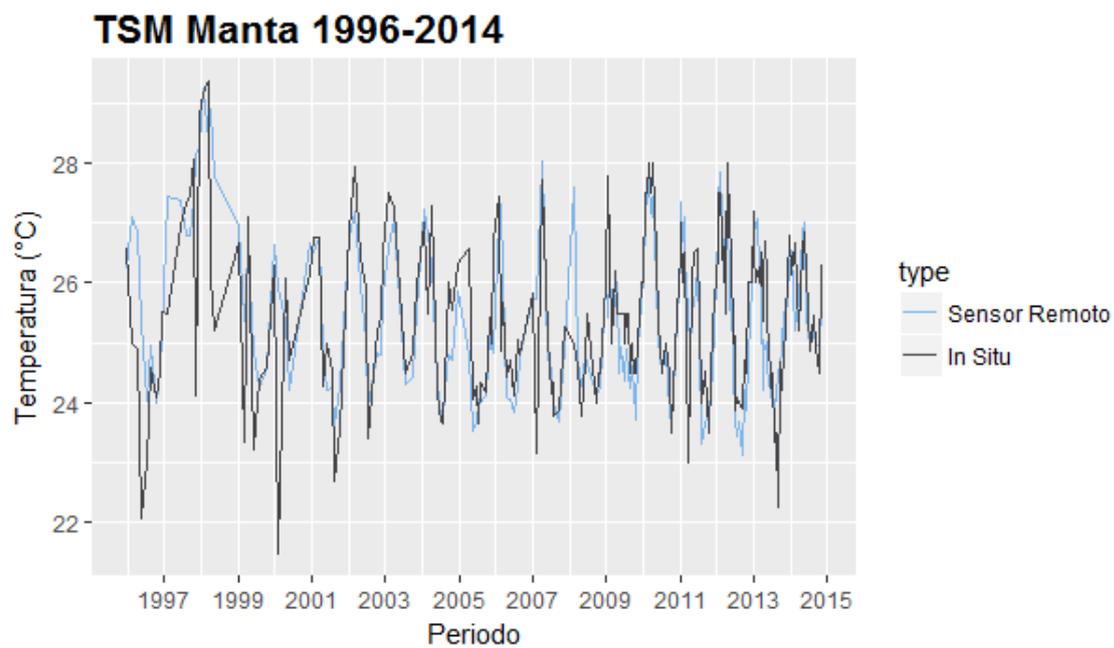
Elaboración propia

### 3.10. Comparación de las series de tiempo obtenidas de sensores remotos con los datos de muestreos in situ por estación.

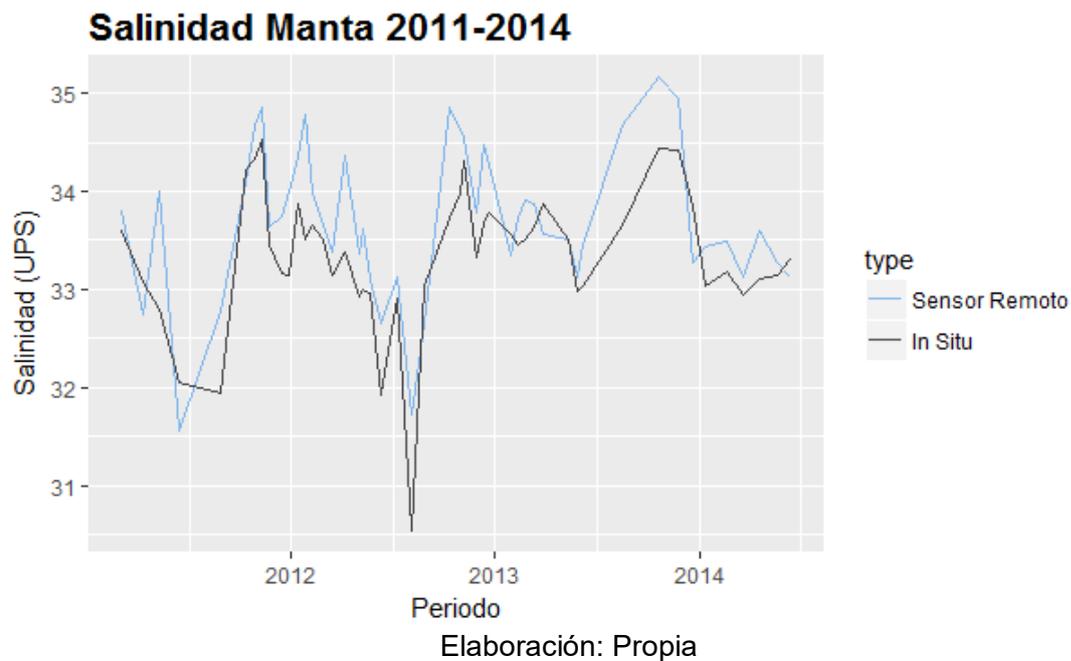
A continuación, se presenta las series de tiempo para cada estación en donde en una misma gráfica se podrá apreciar la diferencia entre los datos in-situ y sensores remotos.

### 3.10.1. Manta

Para la temperatura en Manta se obtuvo una diferencia entre los datos in situ y sensores remotos de 0-1.29°C en un 90% de los datos y 1.30-4.73°C en un 10% de los datos. Para la salinidad en Manta se obtuvo una diferencia entre los datos in situ y sensores remotos de 0-1.24 ups en un 98% de los datos y 1.25-1.55 ups en el 2% de los datos.



**Figura 3.43: Serie de tiempo de Temperatura Superficial del Mar en la estación de Manta, se presentan los de datos in-situ y sensores remotos para el periodo de 1996-2014.**

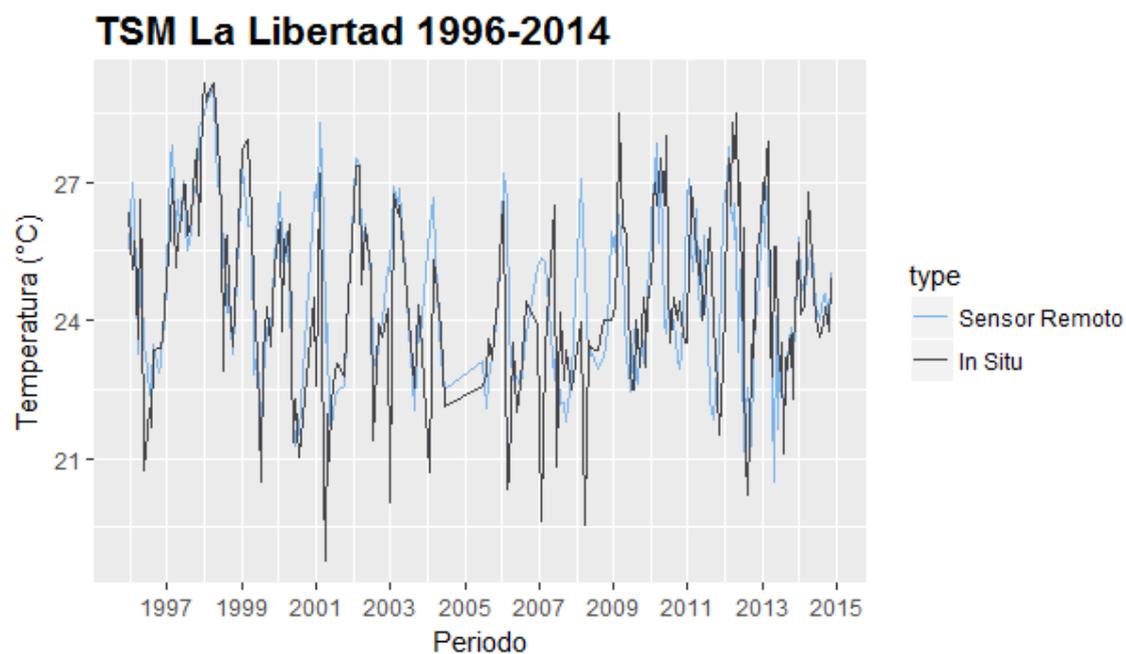


**Figura 3.44: Serie de tiempo de Salinidad en la estación de Manta, se presentan los de datos in-situ y sensores remotos para el periodo de 2011-2014.**

Elaboración: Propia

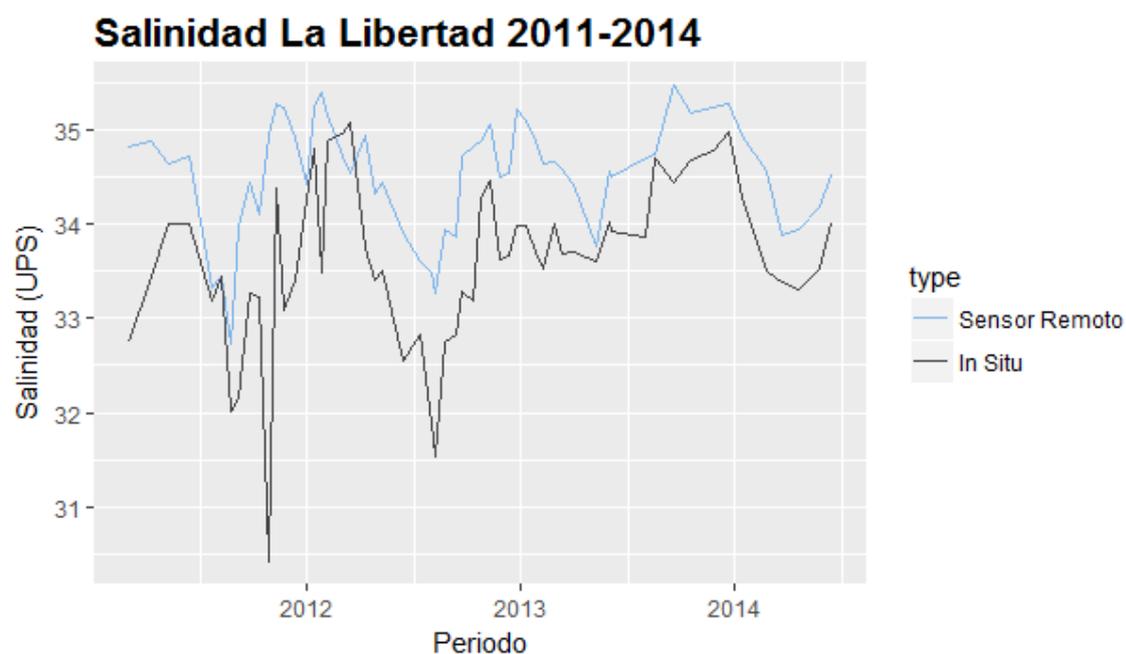
### 3.10.2. La Libertad

Para la temperatura en La Libertad se obtuvo una diferencia entre los datos in situ y sensores remotos de 0-2.07°C en un 86% de los datos y 2.08-6.9°C en un 14% de los datos. Para la salinidad en La Libertad se obtuvo una diferencia entre los datos in situ y sensores remotos de 0.01-1.93UPS en un 95% de los datos y 1.94-5.13 ups en el 5% de los datos.



**Figura 3.45: Serie de tiempo de Temperatura Superficial del Mar en la estación de La Libertad, se presentan los de datos in-situ y sensores remotos para el periodo de 1996-2014.**

Elaboración: Propia

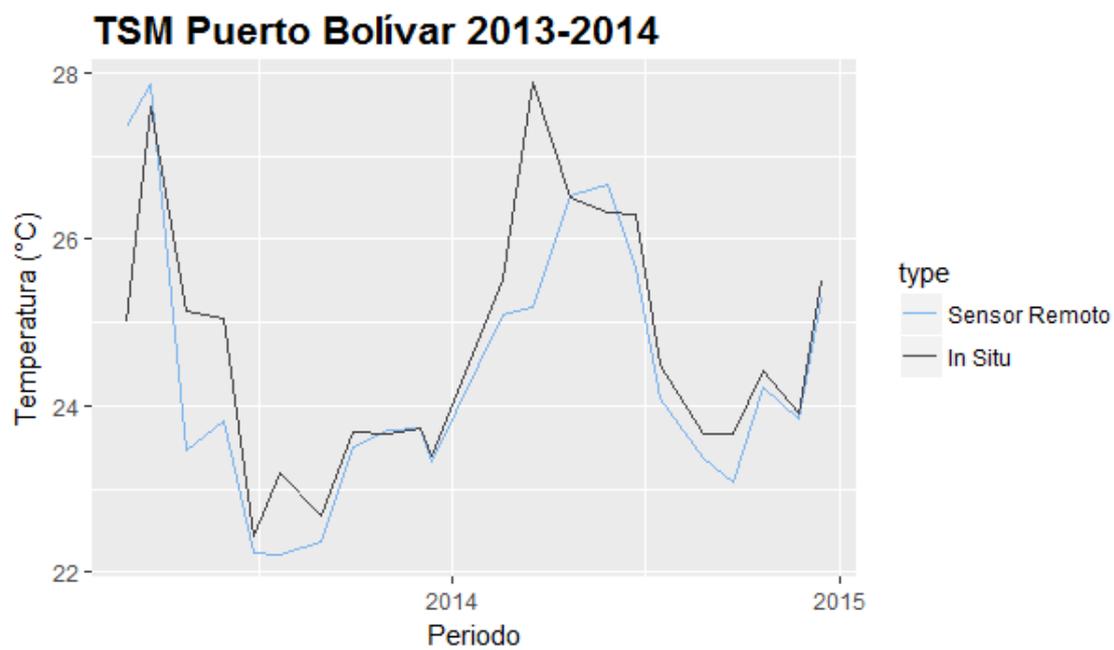


**Figura 3.46: Serie de tiempo de Salinidad en la estación de La Libertad, se presentan los de datos in-situ y sensores remotos para el periodo de 2011-2014.**

Elaboración: Propia

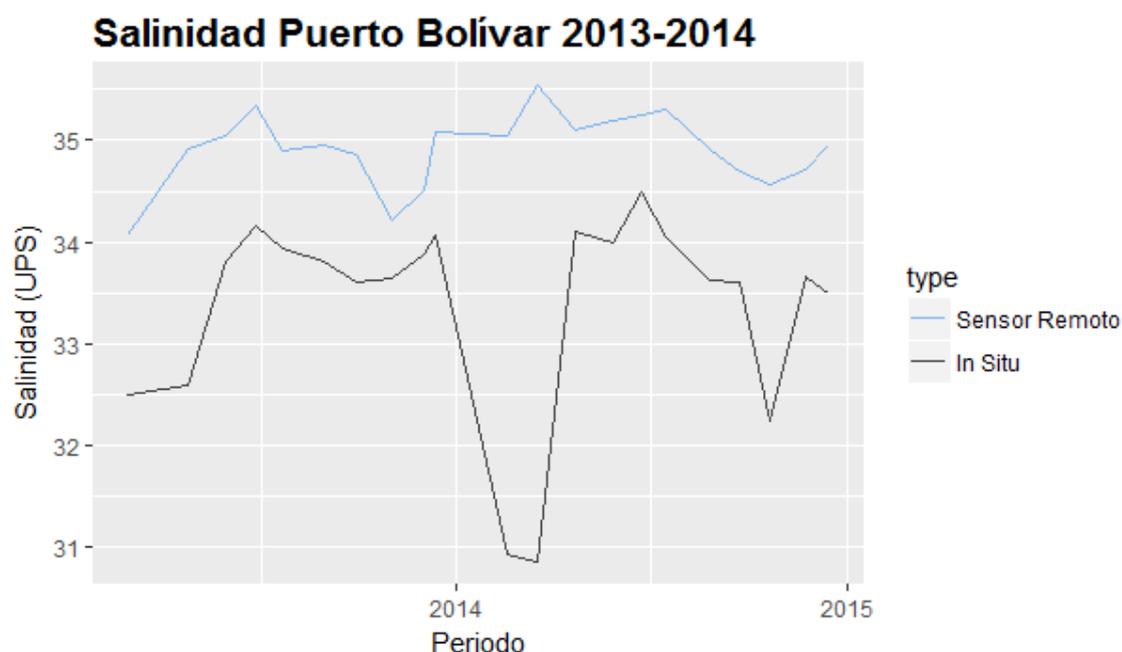
### 3.10.3. Puerto Bolívar

Para la temperatura en Puerto Bolívar se obtuvo una diferencia entre los datos in situ y sensores remotos de 0.01-1.89°C en un 91% de los datos y 1.90-2.83°C en un 9% de los datos. Para la salinidad en Puerto Bolívar se obtuvo una diferencia entre los datos in situ y sensores remotos de 0.57-1.87 ups en un 81% de los datos y 1.88-5.77 ups en el 19% de los datos.



**Figura 3.47: Serie de tiempo de Temperatura Superficial del Mar en la estación de Puerto Bolívar, se presentan los de datos in-situ y sensores remotos para el periodo de 2013-2014.**

Elaboración: Propia



**Figura 3.48: Serie de tiempo de Salinidad en la estación de Puerto Bolívar, se presentan los de datos in-situ y sensores remotos para el periodo de 2011-2014.**

Elaboración: Propia

### 3.11. Correlaciones sensores remotos/in-situ

Estación	Variable	n	R	R <sup>2</sup>	m	b	p-valor
Manta	Temperatura	198	0.75	0.56	0.79	5.42	2.20E-16
	Salinidad	48	0.79	0.68	0.76	7.79	4.85E-13
	Fito/Chla	36	0.57	0.33	1214595	150943	0.0002174
La Libertad	Temperatura	231	0.66	0.43	0.74	6.3	2.20E-16
	Salinidad	57	0.57	0.33	0.85	4.3	3.20E-06
	Fito/Chla	49	0.25	0.06	422914	660757	0.08459
Puerto Bolívar	Temperatura	22	0.83	0.69	0.78	5.74	1.55E-06
	Salinidad	21	0.029	0.00085	0.08	30.57	0.9004
	Fito/Chla	20	0.52	0.27	190338	-199080	0.01525

**Tabla 3.2: Estadística de las correlaciones de las tres estaciones.**

Para la temperatura superficial del mar se obtuvieron índices de correlación de 0.75, 0.66 y 0.83 para las estaciones de Manta, La Libertad y Puerto Bolívar respectivamente. Para la salinidad se obtuvieron índices de correlación de 0.83, 0.57 y 0.029 para las estaciones de Manta, La Libertad y Puerto Bolívar respectivamente. Los valores de correlación obtenidos muestran que ambos sets de datos, tanto de sensores remotos como datos in-situ, presentan un comportamiento y un patrón similar

para las variables analizadas, siendo la variable de temperatura la que mejores ajustes tiene.

Para el producto de sensores remotos de temperatura, aquel que presenta el mejor ajuste es el de la estación de Puerto Bolívar con un índice de correlación de 0.83 y para la salinidad es el de la estación de Manta con un índice de correlación de 0.83. Por otro lado, para temperatura aquel que presenta el menor ajuste es el de la estación de La Libertad con un índice de correlación de 0.66, el cual sigue siendo un valor alto comparado con el de la estación de Puerto Bolívar que presenta un índice de correlación de 0.029, siendo el más bajo de todos.

El análisis de correlación que se aplicó para las variables de fitoplancton y clorofila a, muestran que entre ambas existe una asociación lineal de 57% y 0.52% para las estaciones de Manta y Puerto Bolívar. Para la estación de La Libertad se obtuvo un índice de correlación de 0.25.

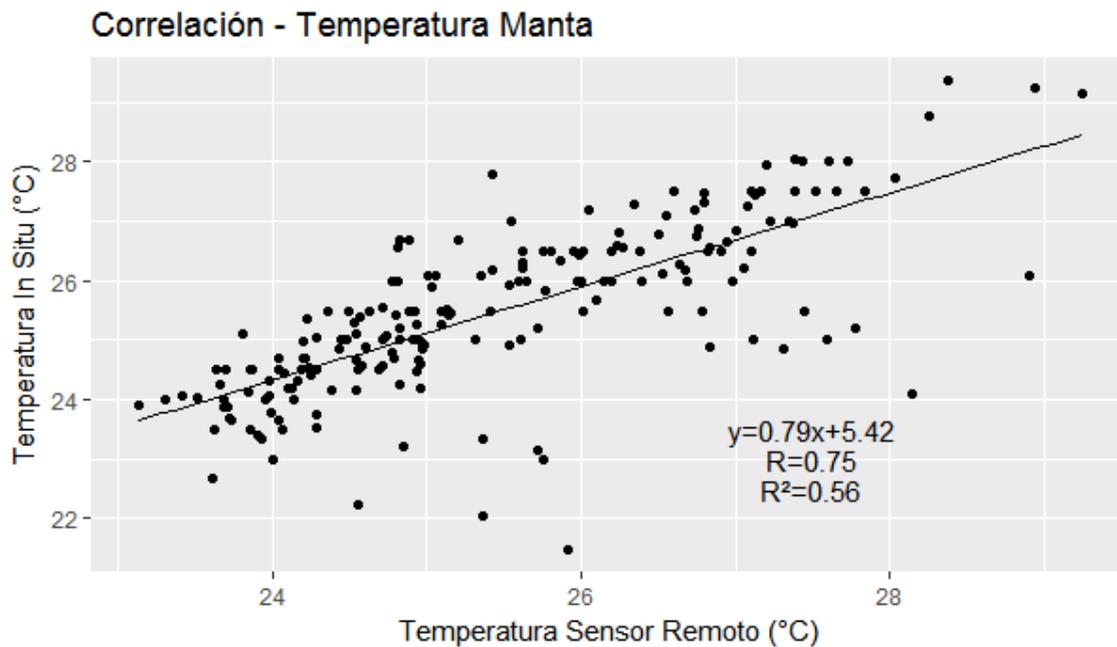
Para todas las variables del presente proyecto se tuvo que el coeficiente de correlación era positivo, lo cual indica que la relación lineal que existe entre los pares de datos analizados es directa mas no inversa, esto quiere decir haciendo énfasis en el caso de fitoplancton y clorofila que mientras más clorofila hay más cantidad de fitoplancton se puede llegar a encontrar.

Los valores de b muestran que, para los datos de temperatura, la estación de La Libertad presenta una mayor desviación respecto a las otras estaciones, mientras que para los datos de salinidad la estación de Puerto Bolívar es la que presenta mayor desviación respecto a las otras estaciones.

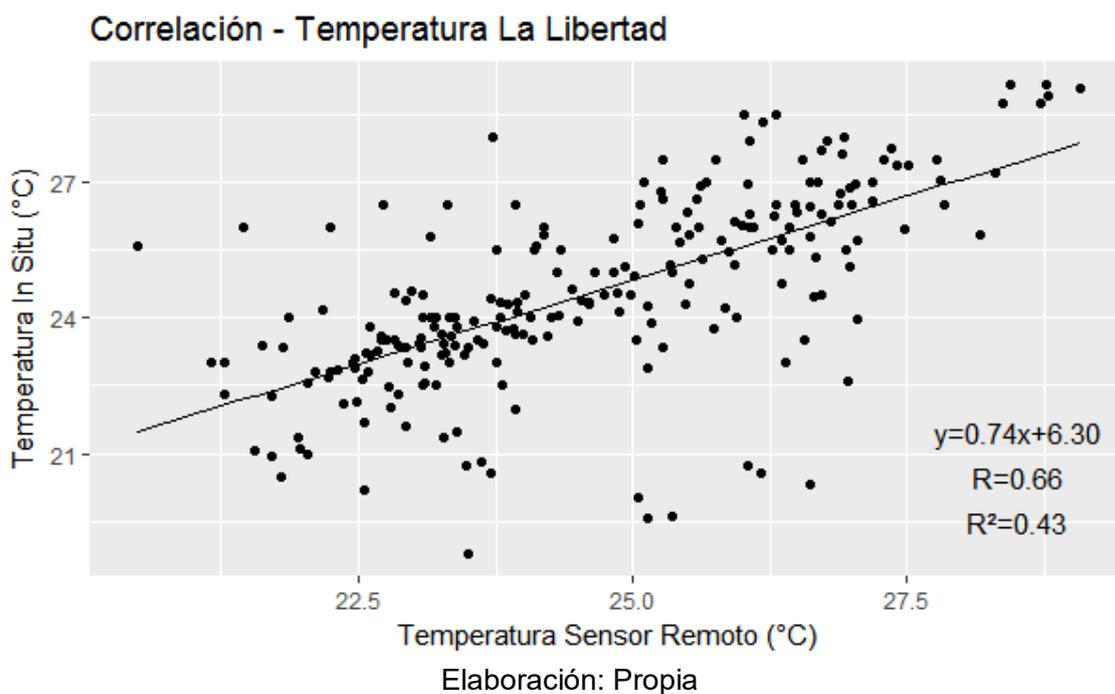
Al interpretar los resultados se debe tener en cuenta que al realizar la comparación de datos de sensores remotos con datos in-situ se tiene una pequeña diferencia en la profundidad a la que se toman dichos datos, puesto que para sensores remotos se trabaja con la capa superficial mientras que para data in-situ se registran datos en zonas que se encuentran situadas por debajo de la superficie. Las diferencias entre estos dos conjuntos de datos están fuertemente influenciadas por factores como la cobertura de nubes. Sin embargo, a pesar de las diferencias entre los datos registrados in-situ y obtenidos de sensores remotos se pueden obtener una buena aproximación de las dinámicas temporales.

Para cada uno de las variables que se mencionaron previamente se puede obtener una aproximación de los datos que se pueden obtener in situ utilizando los datos de sensores remotos, con las rectas de regresión que se realizaron y se muestran en los

diagramas de correlaciones, siendo x el dato que se obtiene de sensores remotos y y la variable que indicaría el valor in situ.

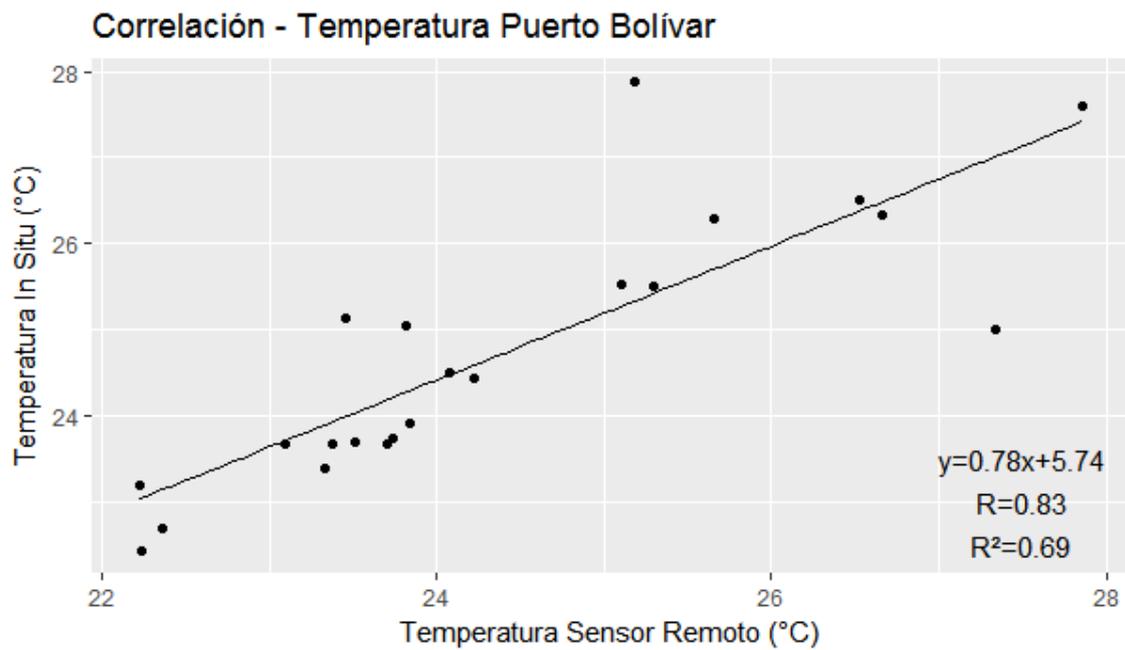


**Figura 3.49: Análisis de correlación para los datos de sensores remotos e in-situ para temperatura superficial del mar en la estación de Manta.**



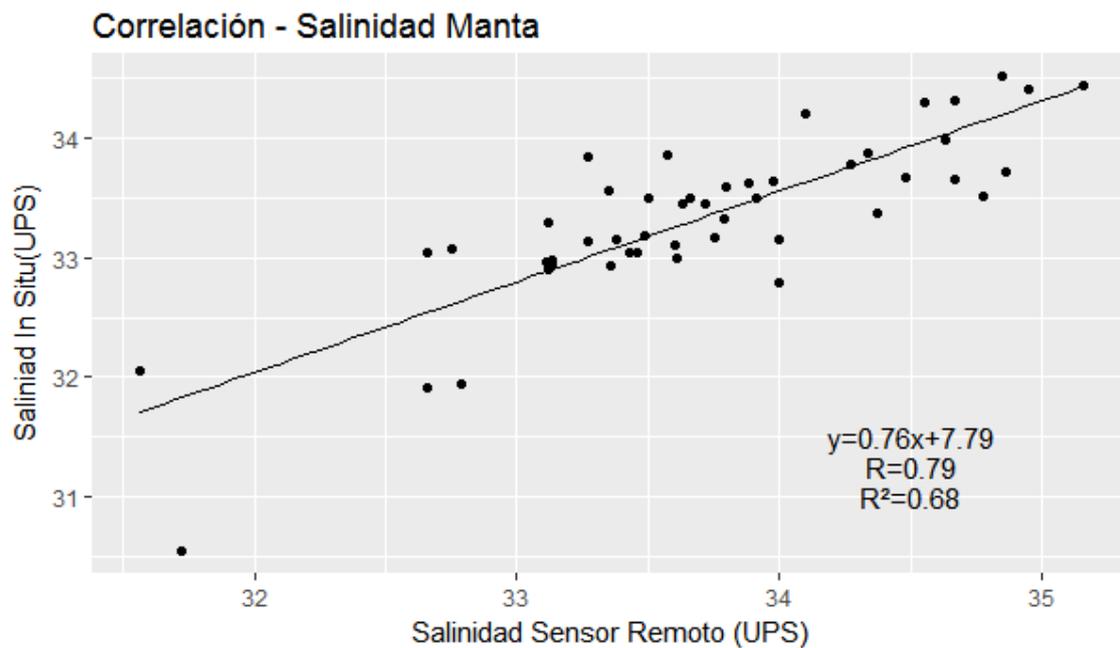
**Figura 3.50: Análisis de correlación para los datos de sensores remotos e in-situ para temperatura superficial del mar en la estación de La Libertad.**

Elaboración: Propia

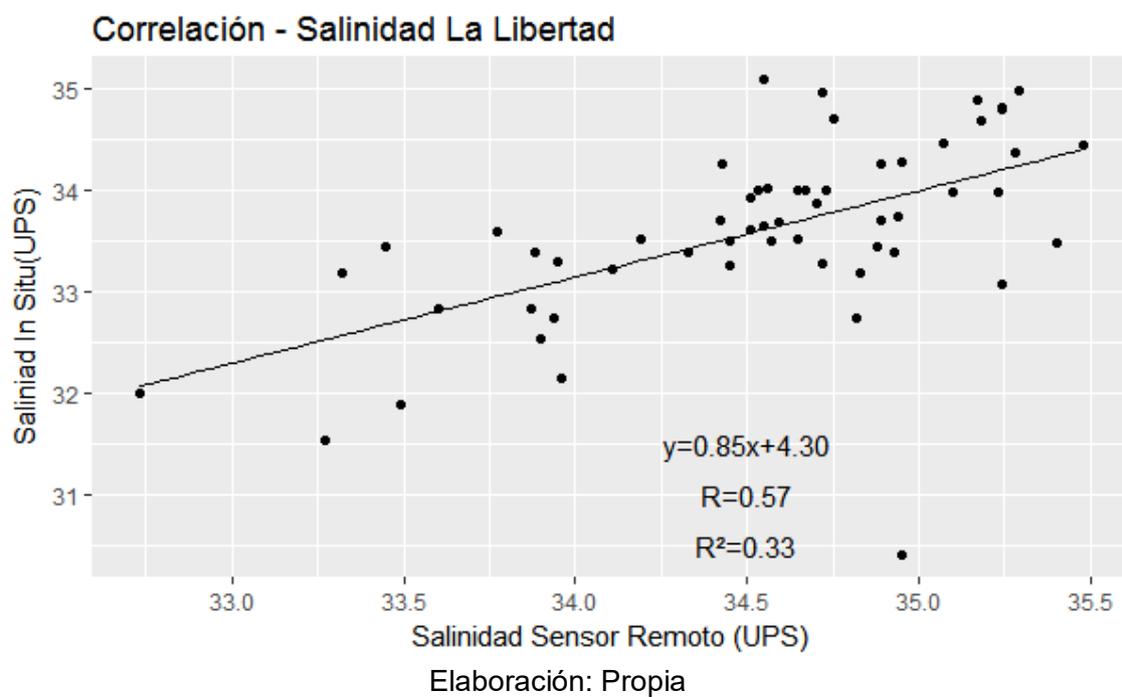


**Figura 3.51: Análisis de correlación para los datos de sensores remotos e in-situ para temperatura superficial del mar en la estación de Puerto Bolívar.**

Elaboración: Propia

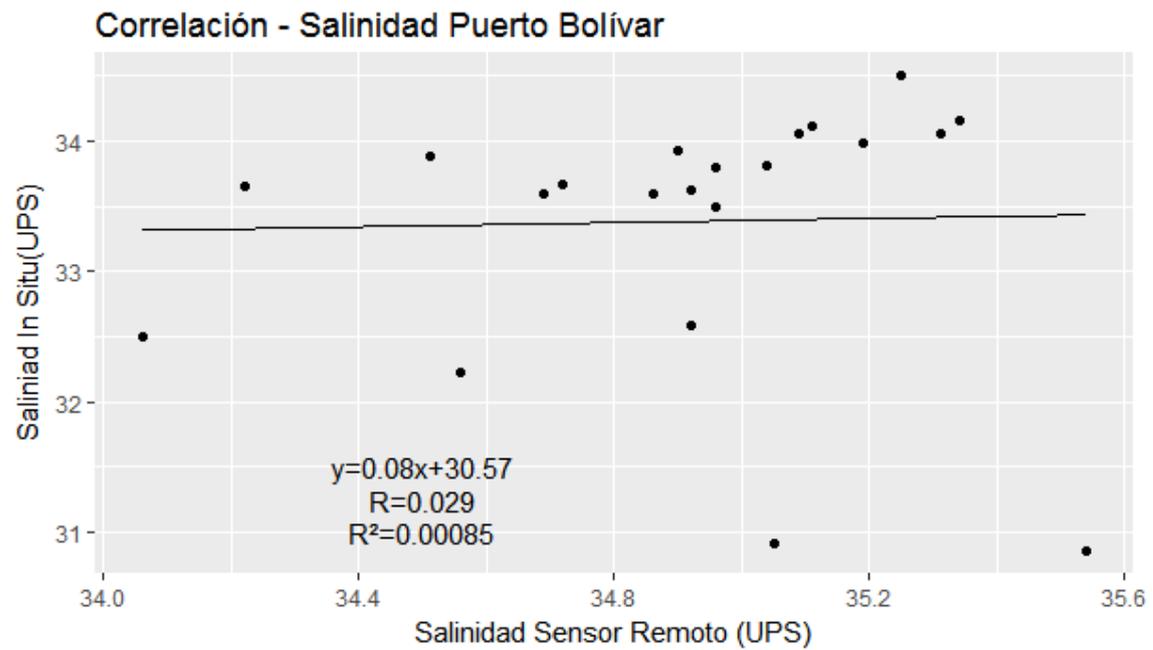


**Figura 3.52: Análisis de correlación para los datos de sensores remotos e in-situ para salinidad en la estación de Manta.**



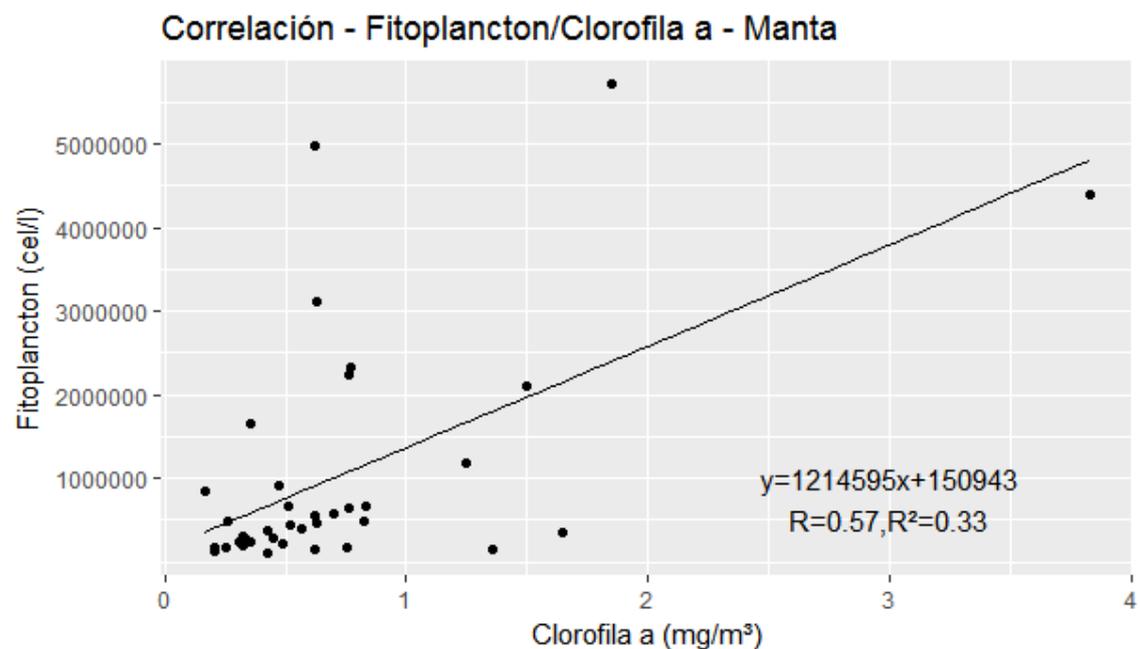
**Figura 3.53: Análisis de correlación para los datos de sensores remotos e in-situ para salinidad en la estación de La Libertad.**

Elaboración: Propia



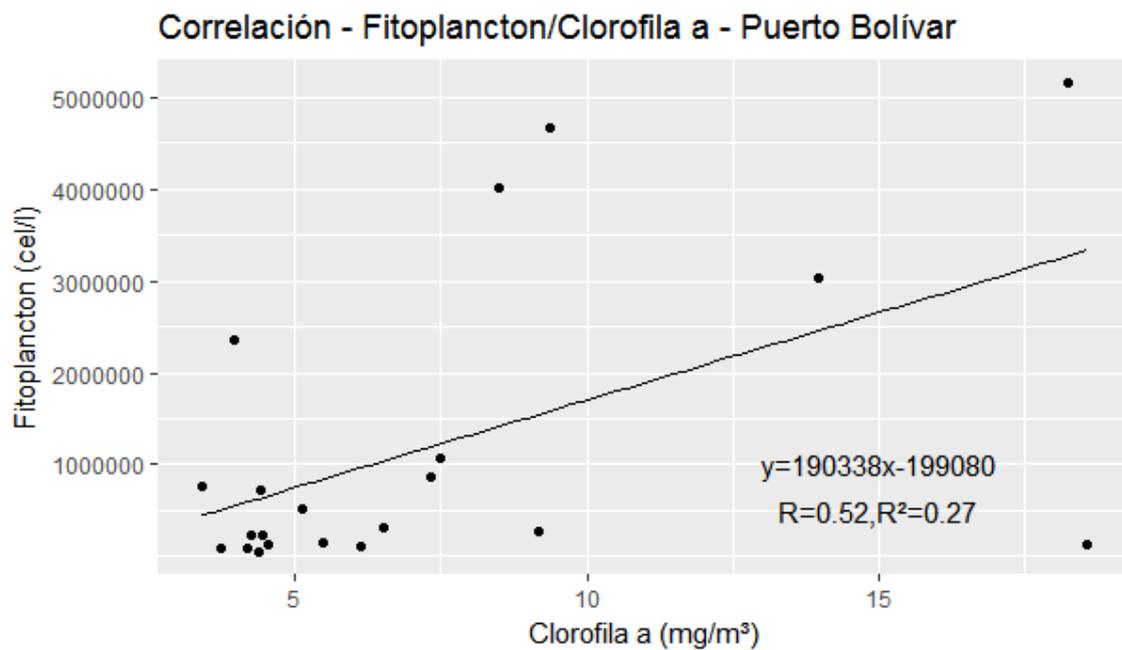
**Figura 3.54: Análisis de correlación para los datos de sensores remotos e in-situ para salinidad en la estación de Puerto Bolívar.**

Elaboración: Propia



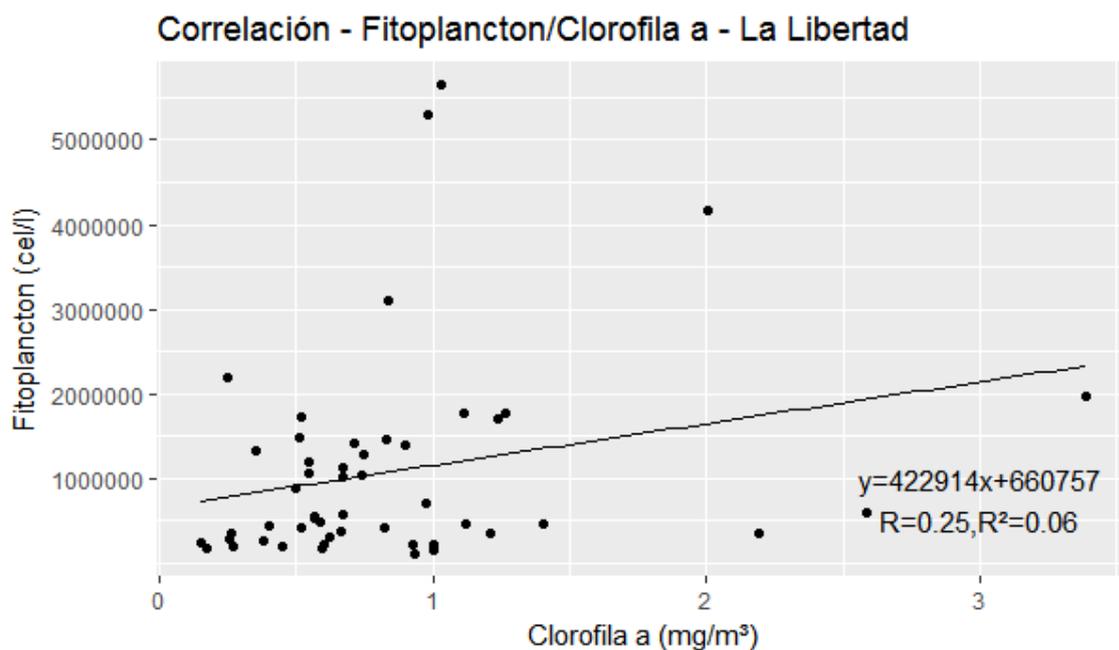
**Figura 3.55: Análisis de correlación para los datos de fitoplancton y clorofila a en la estación de Manta.**

Elaboración: Propia



**Figura 3.56: Análisis de correlación para los datos de fitoplancton y clorofila a en la estación de La Libertad.**

Elaboración: Propia



**Figura 3.57: Análisis de correlación para los datos de fitoplancton y clorofila a en la estación de Puerto Bolívar.**

Elaboración: Propia

## CAPÍTULO 4

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio realizado demuestra que para temperatura superficial del mar los productos obtenidos de sensores remotos presentan dinámicas similares a los datos que se pueden obtener en campo, puesto que los índices de correlación fueron altos para las tres estaciones.

Para salinidad se obtuvieron índices de correlación altos para las estaciones de Manta y La Libertad, siendo la estación de Puerto Bolívar la que dio el índice de correlación más bajo para todas las variables analizadas. En la estación de Puerto Bolívar existe mayor variabilidad debido a las condiciones propias de la zona ya que se encuentra influenciado por la zona del Golfo del Guayas.

Los productos de salinidad que se pueden obtener de sensores remotos únicamente presentan data a partir del año 2011.

Las variables de fitoplancton y clorofila presentaron un índice de correlación alto superando el 50% en las estaciones de Manta y Puerto Bolívar, siendo La Libertad la que presentaba el menor índice de correlación de 25%. Lo cual indica que se puede llegar a estimar la cantidad de fitoplancton presente con los datos de clorofila a obtenidas de sensores remotos.

Los productos de clorofila a, semanales y diarios que se pueden obtener de sensores remotos no presentan datos en algunos lugares de los océanos, debido a la forma en que el satélite toma el dato. Siendo los productos mensuales los que presentan datos con mayor cobertura global ya que hacen una recopilación de 30-31 días de data.

Se pudo observar que los productos obtenidos de sensores remotos, muestran correctamente las dinámicas temporales y espaciales de la dinámica de la temperatura superficial del mar de la observada o tomada in-situ.

Se recomienda previo a la utilización de la data de sensores remotos y datos in-situ hacer un control de calidad de los mismos.

Para estudios previos se recomienda la posibilidad de obtener información de vientos en la superficie del mar en las estaciones a desarrollar que permita inferir si estos influyen en la diferencia entre los datos obtenidos de sensores remotos y datos in-situ

## BIBLIOGRAFÍA

### 5. Bibliografía

- [1] D. J. Pérez, Introducción a los sensores remotos, Buenos Aires, 2007.
- [2] A. H. Guerra, Oceanografía por satélite: Un paso más en el conocimiento del medio marino, 2006.
- [3] M. S. Marek Świrgoń, «Comparison of in situ and satellite ocean color determinations of particulate organic carbon concentration in the global ocean,» *ScienceDirect*, 2014.
- [4] E. M. G. ,. M. M. A.-D. M. ,. B.-B. M. ,. F. V. ,. B. C. Durá, «Validación local de la temperatura superficial del mar del sensor MODIS en aguas someras del Mediterráneo occidental,» 2014.
- [5] P. v. d. Leeden, «IN SITU VALIDATION OF SATELLITE SEA SURFACE TEMPERATURE MEASUREMENTS IN A NORTHERN CALIFORNIA UPWELLING AREA,» 2015.
- [6] U. Etxea, Háblame de los océanos, París, 2006.
- [7] L. Zambrano, «Importancia del manejo de datos oceanográficos.,» *Acta Oceanográfica del Pacífico*, vol. 15, nº 1, 2009.
- [8] M. D. P. T. G. M. F. Juan Luis Cifuentes Lemus, El océano y sus recursos, 1997.
- [9] Unesco, *Un planeta, un océano – Desarrollo sostenible de los océanos y las zonas costeras: el compromiso de 129 Estados en Johannesburgo 2002*, 2002.
- [10] M. Tomczak, «Una introducción a la oceanografía física,» 16 03 2000. [En línea]. Available: <http://www.physocean.icm.csic.es/IntroOc/lecture13-es.html>. [Último acceso: 12 07 2017].
- [11] J. M. Muñoz, *Percepción remota "Fundamentos de teledetección espacial"*, 2005.
- [12] J. M. R. F. M. A. Francisco Eugenio González, *Tutorial de teledetección espacial*, 2014.
- [13] D. C. Beltran, *Espectro electromagnético*.

- [14] J. L. Ordóñez, «Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico.,» 2017.
- [15] NASA, «Jet Propulsion Laboratory,» [En línea]. Available: <https://www.jpl.nasa.gov/missions/seasat/>.
- [16] NASA, «Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer,» [En línea]. Available: <https://modis.gsfc.nasa.gov/>.
- [17] NASA, «Aquarius - Sea Surface Salinity from Space,» [En línea]. Available: <https://aquarius.nasa.gov/>.
- [18] NASA, «Ocean Color Web,» [En línea]. Available: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>.
- [19] ESRI, *Tutorial de NetCDF*.
- [20] J. G. Vargas, *Procesos que afectan la termoclina y la TSM en el Pacífico ecuatorial oriental con énfasis en el borde costero ecuatoriano*, Concepción, 2005.
- [21] C. K. y. S. Philander, «On the processes that control seasonal variations of sea surface temperatures in the tropical Pacific Ocean.,» 1994.
- [22] Corporación Andina de Fomento, «El fenómeno El Niño 1997-1998. Memoria, retos y soluciones».
- [23] J. R. Henry Gálvez, «Características de las precipitaciones, la temperatura del aire y los vientos en la costa ecuatoriana,» *Acta Oceanográfica del Pacífico*, vol. 14, nº 1, 2007.
- [24] F. R. y. D. R. Juan Palacios, «Anomalías de precipitación en el Ecuador Continental e insular durante los años 2007 al 2014,» Quito, 2015.
- [25] ERFEN, «Boletín condiciones oceanográficas,» 2017.
- [26] C. N. María Elena Tapia, «La clorofila a como un indicador biológico en las estaciones fijas durante el evento La Niña 1999-2000,» *Acta Oceanográfica del Pacífico*, vol. 16, nº 1, 2010-2011.
- [27] «Physical Oceanography Distributed Active Archive Center,» [En línea]. Available: <https://podaac.jpl.nasa.gov/datasetlist>.
- [28] «Copernicus,» [En línea]. Available: <http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to->

products/?option=com\_csw&task=results&advancedsearch-geographical\_area[]=advancedsearch-geographical\_area-global-ocean.

- [29] H. G. J. R. María Belen Del Salto, «Análisis del comportamiento climático de los últimos 30 años, en las costas de Esmeraldas, Manta y Puerto Bolívar durante la época hpumeda,» *Acta Oceanográfica del Pacífico*, vol. 18, nº 1, 2013.
- [30] M. d. C. J. Quiroz, «Indicadores climáticos. Una manera para identificar la variabilidad climática a escala global».