



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

**“CLIMATOLOGÍA COSTERA Y SU INFLUENCIA EN LAS  
DESCARGAS RESIDUALES EN LA PENÍNSULA DE SANTA  
ELENA”**

**INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO OCEÁNICO Y DE CIENCIAS  
AMBIENTALES**

**DIVAR EFRAÍN CASTRO RODAS**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2016**

## AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a Dios, a mis padres Divar Sebastián Castro Loor y Rosa Amada Rodas Idrovo, por su infinito amor, dedicación y esfuerzo para educarme a mí y a mis hermanos. A la PhD. Mercy Borbor Córdova y al proyecto de “Interacción entre la Variabilidad Climática, recurrencia de bloom de algas nocivas (HABs) y su impacto en salud humana en un gradiente estuarino-costero” cuya colaboración ayudó a la elaboración de este proyecto. Así como a todos mis familiares, amigos y profesores que me han ayudado a escalar una meta de mi vida.

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres, los cuales me han apoyado incondicionalmente a lo largo de mi vida, tanto económica como moralmente, para llegar a ser el profesional que ahora soy.

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....  
**PhD. Mercy J. Borbor Cordova**

PROFESOR EVALUADOR

.....  
**PhD. Franklin Ormaza González**

PROFESOR EVALUADOR

## **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"

---

Divar E. Castro Rodas

## RESUMEN

La Península de Santa Elena posee problemas de contaminación de aguas residuales por varios motivos, entre ellos se encuentran las actividades antropogénicas estacionales como el turismo. Dada esta problemática se plantea realizar una línea base evaluando tres componentes a través del tiempo. La componente climatológica del sector por medio de imágenes satelitales y series de tiempo para observar el comportamiento del mismo y verificar si existe algún cambio notable en cuanto al cambio climático. La componente oceanográfica para evaluar condiciones físico-químicas del sector, realizar correlación de variables así como la relación de Redfield para establecer el comportamiento de los nutrientes (exceso de Fósforo o exceso de Nitrógeno) en una zona puntual en Salinas. La componente demográfica para evaluar población vulnerable en base a datos del censo realizado por el INEC en el año 2010 y a la vez estimar la descarga de aguas residuales convencionales como turísticas. Como producto se entregará un mapa donde se evidencia las descargas de aguas residuales a través de la Clorofila-a, que es un indicador indirecto de este proceso antropogénico, en donde se aprecia que las zonas urbanas de gran afluencia turística son las áreas de mayor incidencia del proceso de contaminación antropogénica.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ABREVIATURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Definición del Problema.....	1
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Justificación y/o Importancia.....	4
1.5 Alcance del Estudio.....	5
CAPÍTULO 2.....	7
2. REVISIÓN DE TRABAJOS PREVIOS / REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	7
CAPÍTULO 3.....	12
3. METODOLOGÍA APLICADA.....	12
CAPÍTULO 4.....	16
4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	16
4.1 Meteorología.....	16
4.2 Oceanografía.....	17
4.3 Demografía.....	26
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	28
Conclusiones.....	28
Recomendaciones.....	30

BIBLIOGRAFÍA.....	31
ANEXOS .....	34



## ABREVIATURAS

**MAE:** Ministerio del Ambiente del Ecuador

**SIG:** Sistema de Información Geográfico (llamado GIS también)

**DAC:** Dirección de Aviación Civil

**INOCAR:** Instituto Oceanográfico de la Armada

**INP:** Instituto Nacional de Pesca

**TULSMA:** Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente

**INAMHI:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

**TSM:** Temperatura Superficial del Mar

**ONI:** Oceanic Niño Index. (Índice del Niño Oceánico)

**MEI:** Multivariate ENSO Index (Índice Multivariado del ENSO)

**PDO:** Pacific Decadal Oscillation (Oscilación Decadal del Pacífico)

**NOAA:** National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica)

**PSU:** Potential Salinity Units (Unidades Potenciales de Salinidad)

**DBO<sub>5</sub>:** Demanda Bioquímica de Oxígeno

**NMP:** Número más probable

**°C:** Grados Celsius

**ml:** Mililitros

**GYE:** Guayaquil

**SNC:** Salinas

**PPT:** Precipitación

**TSA:** Temperatura Superficial del Aire

**OX:** Oxígeno Disuelto

**NITRI:** Nitritos

**NITRA:** Nitratos

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de DBO5, sustancias sedimentables y agua residual en viviendas, hoteles, cuarteles, oficinas y escuelas. Fuente: Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental.....	11
Tabla 2. Correlación de Pearson de las variables principales. ....	20
Tabla 3. Estadística del histograma de frecuencias de la relación de Redfield .....	23

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descarga de aguas grises en marea baja, por el sector del Barceló Colon Miramar, ciudad de Salinas. Fuente: Propia .....	2
Figura 2. Alcantarilla abierta junto a descargas de aguas grises en el sector de San Lorenzo, Salinas. Fuente: Propia.....	3
Figura 3. Área de estudio. Fuente: Google Earth.....	5
Figura 4. Estero de Punta Carnero donde se realizan las descargas de aguas residuales. Fuente: Paisajes Ecuatorianos. Disponible en: <a href="http://guillenchica.blogspot.com">http://guillenchica.blogspot.com</a> .....	6
Figura 5. Correlación entre el fósforo total y la clorofila-a. Con una correlación de $r=0.975$ . Fuente: Chlorophyll-a raw water quality parameter. (Jones & Lee, 1982)	10
Figura 6. Serie de tiempo de las temperaturas medias del aire con media corrida de 3 meses de las ciudades de Salinas y Guayaquil. Fuente: Propia .....	16
Figura 7. Serie de tiempo con media corrida de 3 meses desestacionalizada de la temperatura superficial del aire de la ciudad de Salinas con su línea de tendencia. Fuente: Propia .....	17
Figura 8. Diagrama de dispersión de las variables. Fuente: Propia .....	19
Figura 9. Serie de tiempo correspondiente a la precipitación (meteorológica) y fosfatos (oceanográfica) en la estación de Salinas. Fuente: Propia .....	20
Figura 10. Serie de tiempo correspondiente a nutrientes (fosfatos, nitritos y nitratos) en la estación oceanográfica de Salinas. Fuente: Propia.....	21
Figura 11. Relación de Redfield realizado con los dato de la estación oceanográfica de Salinas. Fuente: Propia.....	22
Figura 12. Histograma de frecuencias de la relación de Redfield. Fuente: Propia...	23
Figura 13. Imágenes satelitales correspondientes a las medias mensuales de clorofila-a. Fuente: Proyecto de “Interacción entre la Variabilidad Climática, recurrencia de bloom de algas nocivas (HABs) y su impacto en salud humana en un gradiente estuarino-costero”.....	24
Figura 14. Promedio multianual de clorofila-a. Fuente: Proyecto de “Interacción entre la Variabilidad Climática, recurrencia de bloom de algas nocivas (HABs) y su impacto en salud humana en un gradiente estuarino-costero”. .....	25

Figura 15. Imágenes satelitales correspondientes a los promedios mensuales de temperatura superficial del mar. Fuente: Proyecto de “Interacción entre la Variabilidad Climática, recurrencia de bloom de algas nocivas (HABs) y su impacto en salud humana en un gradiente estuarino-costero”.....	26
Figura 16. Distribución de edades de la provincia de Santa Elena. Fuente: Propia.	27
Figura 17. Presencia de tuberías con posibles descarga de aguas grises directas al mar. Sector Malecón de Salinas. Fuente: Propia .....	35
Figura 18. Alcantarilla abierta en el sector de San Lorenzo, Salinas. Fuente: Propia .....	36
Figura 19. Análisis de calidad de agua realizado en el Estero Punta Carnero. Fuente: MAE.....	36
Figura 20. Estero de Montañita en temporada turística siendo intervenido para su posterior remediación. Fuente: Montañita se beneficia con labores de biorremediación de estero y construcción de alcantarillado <a href="http://www.andes.info.ec/es/regionales/montanita-beneficia-labores-biorremedacion-estero-construccion-alcantarillado.html">http://www.andes.info.ec/es/regionales/montanita-beneficia-labores-biorremedacion-estero-construccion-alcantarillado.html</a> .....	37

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUCCIÓN.

#### 1.1 Antecedentes.

El buen manejo de las aguas residuales es un problema con el cual se ha tenido que lidiar a lo largo de la historia. En Mesopotamia, se evidencia la construcción de sistemas de alcantarillado; que en algunos casos, como en la actual Roma, aún son funcionales. [1].

Naturalmente, el agua posee una gran capacidad de purificación; de la cual, la especie humana ha abusado con el pasar del tiempo, haciendo de ella un vertedero habitual de los desechos producidos de nuestras actividades rutinarias (desechos antropogénicos) [2]. Este problema no parecía tan grave hace unos cuarenta años, donde la población mundial era apenas la mitad de lo que es ahora [3]. El problema radica en que se está sobresaturando la capacidad de asimilación del sistema acuático con pesticidas, detergentes, materia orgánica, químicos, etc. Llegando a hacerlas peligrosas para la salud humana por la cantidad de contaminantes y organismos patógenos presentes [2].

Particularmente, en Ecuador, este problema no ha llegado a ser crítico, aunque sí un gran dilema con el cual tratar. Pero en ciudades densamente pobladas como Guayaquil y Quito ya se sienten los respectivos estragos correspondientes a la contaminación de los cuerpos de agua [4].

No solo las ciudades densamente pobladas presentan esta problemática de contaminación marina. Ciudades pequeñas o comunas que se encuentran cerca de un cuerpo de agua, no poseen plantas de tratamiento de aguas residuales, lo que provoca problemas de contaminación en lugares no tan poblados.

#### 1.2 Definición del Problema

En el Ecuador, solamente una ciudad realiza un tratamiento de aguas residuales eficiente y que abastezca en su totalidad a la población, la ciudad de Cuenca. En

el caso de la Península de Santa Elena, el abastecimiento de alcantarillado sanitario solamente cubre un área del 30% [5], lo cual deja un 70% de la población desconectada a dicho sistema, por lo que se realizan descargas directas al mar.

El hecho de estar conectado a la red de alcantarillado no confirma que el agua que será recogida va a ser tratada de manera eficiente, por lo que del 30% de aguas que se recoge, no se esperaría que se dé un tratamiento óptimo como el indicado en la ley para realizar descargas a un cuerpo de agua [6].



**Figura 1. Descarga de aguas grises en marea baja, por el sector del Barceló Colon Miramar, ciudad de Salinas. Fuente: Propia**

En las comunas de la Península de Santa Elena se realizan descargas directas de las aguas residuales a los cuerpos de agua, las cuales terminan en el mar de una u otra forma. Dicho suceso, ocasiona un impacto ambiental importante tanto en la flora y fauna como en la parte turística.

Junto a este problema, se tiene que, en la actualidad, existe una importante falta de conocimiento e interés por parte de la sociedad y autoridades, sobre los distintos niveles y problemas de contaminación marina por descargas de aguas negras y de cómo variables como la precipitación, la temperatura del aire y del mar [7], o el aporte turístico influyen la magnitud de la contaminación marina en la Península de Santa Elena. Donde el problema más grave se encuentra en dos zonas de gran afluencia turística; Punta Carnero y Montañita, donde estudios

de coliformes fecales, han demostrado que dichos sectores no son aptos para la recreación [5].



Figura 2. Alcantarilla abierta junto a descargas de aguas grises en el sector de San Lorenzo, Salinas.  
Fuente: Propia

La falta de conocimiento acarrea diversos problemas de contaminación debido al mal manejo de las aguas residuales en las zonas costeras, ya que en ciertos casos, como ya se había mencionado, el agua residual tiende a ser arrojada al cuerpo receptor sin algún tratamiento previo, dañando la calidad del agua, del ecosistema [8] y potencialmente afectando a la salud humana. [9]

Entre las posibles causas de la contaminación del agua tenemos:

- Falta de un sistema de alcantarillado que abastezca la totalidad del sector; por ejemplo, el cantón Salinas posee una cobertura de alcantarillado sanitario del 30%, de los cuales, los edificios y hoteles no se conectan [5].
- Presencia de descargas residuales domésticas como industriales clandestinas.
- Falta de conocimiento e interés con respecto a la contaminación del agua.



### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Establecer niveles de contaminación marina asociada a descargas domésticas de manera general, en la Península de Santa Elena para poder relacionarlos con estacionalidad y carga turística.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Desarrollar un sistema de información geográfica (SIG o GIS, por sus siglas en inglés) para mapear indicadores de contaminación por descargas domésticas y actividades turísticas.
- Realizar un análisis de series de tiempo de variables oceanográficas y meteorológicas asociadas a la contaminación del agua.
- Estimar la cantidad de descarga de aguas residuales en base a los niveles de población en la Península de Santa Elena.
- Identificar la influencia de las actividades antropogénicas en la ciudad de Salinas.

### **1.4 Justificación y/o Importancia**

La Península de Santa Elena, es uno de los puntos turísticos más importantes de todo el Ecuador, llegando a recibir a cientos de miles de turistas al año [10], especialmente en la época cálida de Diciembre a Marzo, donde el aporte turístico, genera mayor cantidad de descargas de aguas residuales. Este aporte, junto al aumento de la temperatura tanto en el aire como en el mar, generan condiciones ideales para la proliferación de bacterias [11] y organismos que se alimentan de los nutrientes generados por las aguas negras, que generalmente son fitoplanctónicos, los que generan eutrofización del cuerpo de agua, proceso en el cual se produce la proliferación de cierto tipo de microalgas, agotando el oxígeno y generando malos olores [12]. Se debe tener en cuenta que un buen manejo de las aguas residuales, es de vital importancia en todos los cuerpos de agua, especialmente en las zonas turísticas, las cuales, al estar descuidadas, pueden generar problemas dermatológicos como estomacales [13].

En ciertas ocasiones este tipo de contaminación no se percibe con facilidad ya que las partículas son microscópicas, por lo que la única forma de confirmar este tipo de contaminación es a través de análisis de muestras de agua, o por interpretación de imágenes satelitales. Con este estudio sobre la Península de Santa Elena, se reducirán algunos vacíos de información relacionados a la contaminación costera por actividades antropogénicas tanto domésticas como turísticas a través del desarrollo de un SIG que ayude al manejo de la contaminación en la zona costera de Santa Elena.

### 1.5 Alcance del Estudio

La zona de estudio abarca el perfil costero de la Península de Santa Elena, provincia de Santa Elena. Enfocado principalmente a las zonas urbanas. Específicamente la zona de estudio se encuentra en las coordenadas:

- P1: 1°41' 00" S – 81°2'00" W
- P2: 2°14'00" S – 81°2'00" W
- P3: 2°14'00" S- 80°44'00" W
- P4: 1°41'00" S – 80°44'00" W

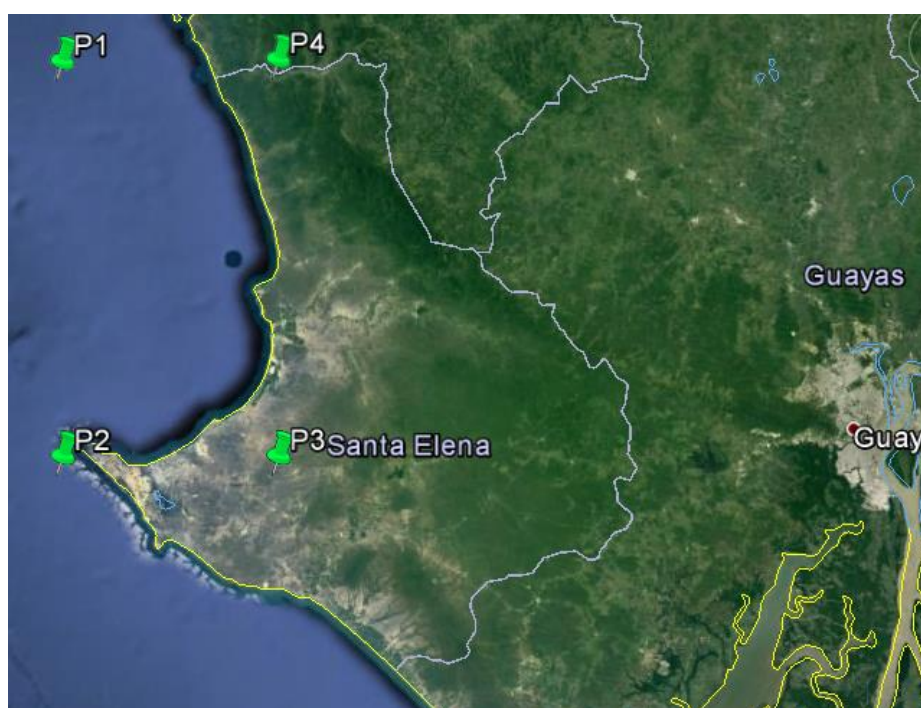
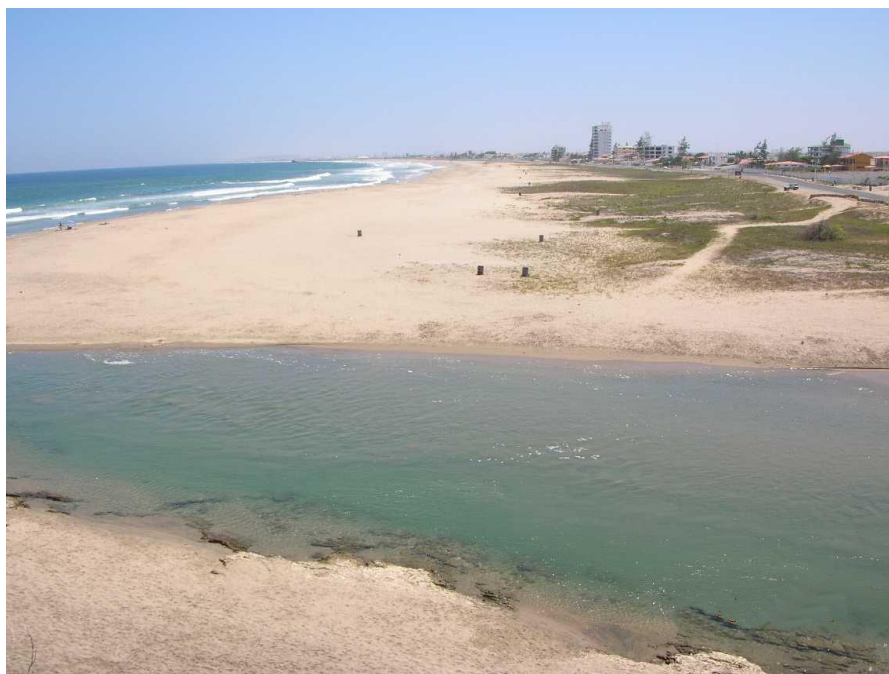


Figura 3. Área de estudio. Fuente: Google Earth

Existen datos procedentes de una estación fija perteneciente a INOCAR con la cual se trabajaron datos de nutrientes, dicha estación se encuentra ubicada una milla costa afuera de la ciudad de Salinas.

Cabe recalcar que las zonas de San Lorenzo y Punta Carnero, son zonas de particular interés, ya que, por las condiciones del lugar (figura 2 y 4) existe muy poca recirculación del agua, en el caso de San Lorenzo y un estero donde se realizan las descargas de aguas residuales parcialmente tratadas de la ciudad de Salinas en el sector de Punta Carnero. Por lo que dichos sectores son propensos a sufrir problemas de contaminación.



**Figura 4. Estero de Punta Carnero donde se realizan las descargas de aguas residuales. Fuente: Paisajes Ecuatorianos. Disponible en: <http://guillenchica.blogspot.com>**

Como punto adicional se trabajará con la estación hidrometeorológica de la ciudad de Guayaquil, ubicada en la dirección de aviación civil (DAC) para comparar las series de tiempo que se tiene con respecto a la ciudad de Salinas.

## CAPÍTULO 2

### 2. REVISIÓN DE TRABAJOS PREVIOS / REVISIÓN DE LA LITERATURA.

Como paso inicial para la elaboración del proyecto, se debe saber si realmente existe algún problema de contaminación en el sector, por lo que se acudió al Plan de Manejo de la Reserva de Producción Faunística Marino Costera Puntilla De Santa Elena (REMACOPSE) [5]. El cual posee un subprograma en cuanto al control de la contaminación dentro de la reserva, ya que existen desde plantas de tratamiento de aguas residuales, laboratorios de producción de larvas de camarón, hasta descarga de hidrocarburos. Dentro de este proyecto solo se tomará en consideración las descargas de aguas residuales, las cuales son descargadas en el Estero de Punta Carnero, donde existen procesos de contaminación marina, ya que los valores de coliformes fecales superan a los límites establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), llegando a valores de 240 NMP (número más probable), cuando el valor, para fines recreativos es de 200 NMP. Este índice representa la cantidad de coliformes fecales (bacterias *Escherichia Coli*) dentro de una muestra de agua. Cabe recalcar que el Estero de Punta Carnero es utilizado como balneario durante todo el año, especialmente durante la temporada playera, donde existe mayor cantidad de descargas y afluencia turística a la zona, por lo que se deben tomar acciones. Dentro del Plan de Manejo, se menciona que existe un proyecto que utiliza dichas aguas residuales para riego por goteo, dicho proyecto es el de “Remediación Humedal de las Represa Velasco Ibarra, Sistema de riego Anconcito” el cual se encuentra en ejecución desde el 2011.

Como parte de la bibliografía local, se revisaron publicaciones de instituciones locales, entre ellos un boletín especial del Instituto Nacional de Pesca (INP) donde se encontró información sobre “Condiciones hidroquímicas frente al Ecuador en el periodo 1995-1999” [14]. En el que menciona análisis de nutrientes frente a la Península de Santa Elena, donde valores altos de fosfato en comparación con los de nitritos y nitratos (demostrado en la relación de Redfield que veremos más adelante, cuya relación

alcanza valores menores a 10), se den posiblemente a fuerte actividad orgánica en el sector. Dicha actividad orgánica puede estar relacionada con actividad antropogénica.

Otro paso fundamental para la elaboración del proyecto, fue encontrar la relación que existe entre la clorofila-a y algún índice de contaminación marina o calidad del agua (oxígeno disuelto, DBO5, nitritos, nitratos, fosfatos, etc.); para ello, se empezó con identificar y analizar cada variable de calidad de agua para entender su comportamiento en el medio marino. Como caso particular se tomó el libro de "Contaminación del Agua" de Luis Echarri de la Universidad de Navarra [2] donde se describe de manera general cada una de los índices de calidad de agua y su aporte/daño que hacen de acuerdo a la cantidad presente en el cuerpo de agua receptor.

Una vez que ya se tiene clara la idea de los índices de calidad de agua y procesos que ocurren frente a las costas de la Península de Santa Elena, procedemos a averiguar cuál es el que posee mayor relación con las imágenes satelitales de Clorofila-a, para ello se revisó un total de cuatro publicaciones, los cuales se detalla a continuación:

*"Relación entre Clorofila-a y las variables oceanográficas en el área pre glaciar del Seno Gallegos (Cordillera Darwin, Chile): bajo condiciones invernales"* [15]

En esta publicación se pudo observar de manera muy general la relación entre la Clorofila-a y otros índices de calidad de agua (densidad, silicato, fosfato y nitrato) sobre la columna de agua realizada en Seno Gallegos, Cordillera Darwin, Chile durante la época invernal. La relación de cada una de las variables se encuentra alrededor del  $r=0.45$ , pero hay que tener en cuenta que la relación desarrollada en esta publicación, se realiza en la columna de agua y no en la superficie, que es nuestra zona de interés. Esta publicación sirvió de base para entender la dinámica de la Clorofila-a con otros nutrientes y a la vez se pudo obtener importante información, como por ejemplo, que los silicatos y los fosfatos son los que más se relacionan con la Clorofila-a.

*“Relationships of Dissolved Oxygen with Chlorophyll-a and Phytoplankton Composition in Tilapia Ponds” [16]*

Esta publicación es muy puntual en cuanto a relación de datos se refiere, ya que relaciona solamente el oxígeno disuelto con la Clorofila-a dentro de estanques de tilapias, el cual se tomó en consideración debido a la relación química que se estudia.

La comparación que se realizó fue un análisis de varianza ANOVA, en dos épocas del año; invierno y lluviosa dando relaciones de variables muy bajas, siendo la más alta la de 0.38 en la época de invierno. Las actividades dentro de una piscina de tilapias con respecto a las actividades antropogénicas quizás no se relacionen en gran proporción, pero es la correlación química, la que importa dentro de este estudio. Por lo tanto, el oxígeno disuelto no va a ser un buen indicador para la correlación de imágenes satelitales de clorofila-a que se tienen. Debido a una fuerte relación inversa que existe entre el oxígeno disuelto y el DBO5 [2] se puede descartar de una vez al DBO.

*“Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor” [17]*

Esta publicación se diferencia de las anteriores, ya que relaciona la calidad del agua directamente con los datos obtenidos de penetración de luz de un disco Secchi en el estuario de Hudson, NY. Los datos son obtenidos *in situ* y a través de imágenes satelitales para luego compararlos, esta comparación resultó beneficiosa ya que confirmó que los datos de penetración de luz mediante sensores remotos son semejantes a los obtenidos en el área de estudio.

*“Chlorophyll-a raw water quality parameter” [18]*

Finalmente se encontró un índice de calidad de agua fuertemente relacionado a la Clorofila-a. Este parámetro es el Fósforo, el cual fue analizado en 30 cuerpos de agua distintos en los Estados Unidos, dando una muy buena correlación de datos ( $r=0.975$ ), el cual se mostrará a continuación.

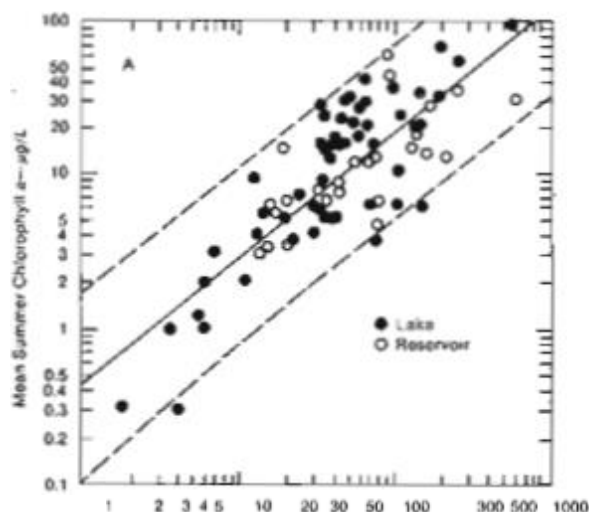


Figura 5. Correlación entre el fósforo total y la clorofila-a. Con una correlación de  $r=0.975$ . Fuente: Chlorophyll-a raw water quality parameter. (Jones & Lee, 1982)

Cabe recalcar que el análisis de correlación realizado entre el Fósforo y clorofila-a corresponde a la época de verano en cuerpos de agua dulce, que, aunque pueda ser un factor limitante, ya se sabe que existe una fuerte relación entre estas variables, de las cuales ahora se buscará alguna ecuación que las relacione.

*“The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes”* [19]

En el presente artículo se realizó una relación entre el Fósforo y la clorofila-a, al igual que el anterior; con datos de 19 lagos distintos al sur de Ontario durante la época de verano y primavera. Se determinó que la relación que existe es de un  $r=0.975$  e incluso se logró determinar una ecuación la cual, se la comparó con otra determinada en los lagos de Japón dando resultados similares. Dicha ecuación es la siguiente:

$$\log_{10}[Chl] = 1.583\log_{10}[P] - 1.134$$

Con las imágenes satelitales de clorofila-a ahora se podrá relacionar directamente con cantidad de fósforo total en el cuerpo de agua. Este índice es de carácter antropogénico en su gran mayoría, inorgánico el cual es *“soluble en agua y que las plantas necesitan para su desarrollo, (he aquí la relación con la clorofila-a), pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas.”* [2]. Pero esta correlación

de datos, se los ha hecho en cuerpos de agua dulce, por lo que utilizar dicha ecuación no va a ser correcto.

Como otro punto importante en la revisión de la literatura, se debe saber también como estimar la cantidad de aguas residuales que produce un grupo de personas, para ello se accedió a la biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental (<http://www.bvsde.paho.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>) y se buscó algún documento sobre las aguas residuales domésticas, dando como resultado de la búsqueda un documento sin autor, pero muy completo de los “Tipos y Cantidades de las Aguas Residuales” [20], del cual se obtuvo el siguiente cuadro, donde se muestra la cantidad de agua residual y DBO5 por persona por día.

**Tabla 1. Cantidad de DBO5, sustancias sedimentables y agua residual en viviendas, hoteles, cuarteles, oficinas y escuelas. Fuente: Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental.**

No.	Tipo de actividad	Unidades [U]	DBO5 [g/U]	PE/U	Sustancias sedimentables [kg/U]	Cantidad de agua residual [m <sup>3</sup> /U]
1	Viviendas	personas	60 [gDBO5/(P.d)]	1	40 [g/(P.d)]	200 [l/(P.d)]
2	Hoteles, hospitales	ocupantes	90 [gDBO5/(P.d)]	1.5	60 [g/(P.d)]	300 [l/(P.d)]
3	Cuarteles, prisiones	ocupantes	60 [gDBO5/(P.d)]	1	40 [g/(P.d)]	200 [l/(P.d)]
4	Oficinas y locales comerciales	empleados	24 [gDBO5/(P.d)]	0.4	16 [g/(P.d)]	80 [l/(P.d)]
5	Escuela	Alumnos, profesores	12 [gDBO5/(P.d)]	0.2	8 [g/(P.d)]	40 [l/(P.d)]



## CAPÍTULO 3

### 3. METODOLOGÍA APLICADA.

Se trabajó con tres grandes procesos que ocurren dentro del área de estudio: Procesos meteorológicos, oceanográficos y demográficos.

Cada uno de estos procesos se analizó por separado para posteriormente integrarlos y lograr tener una relación de datos.

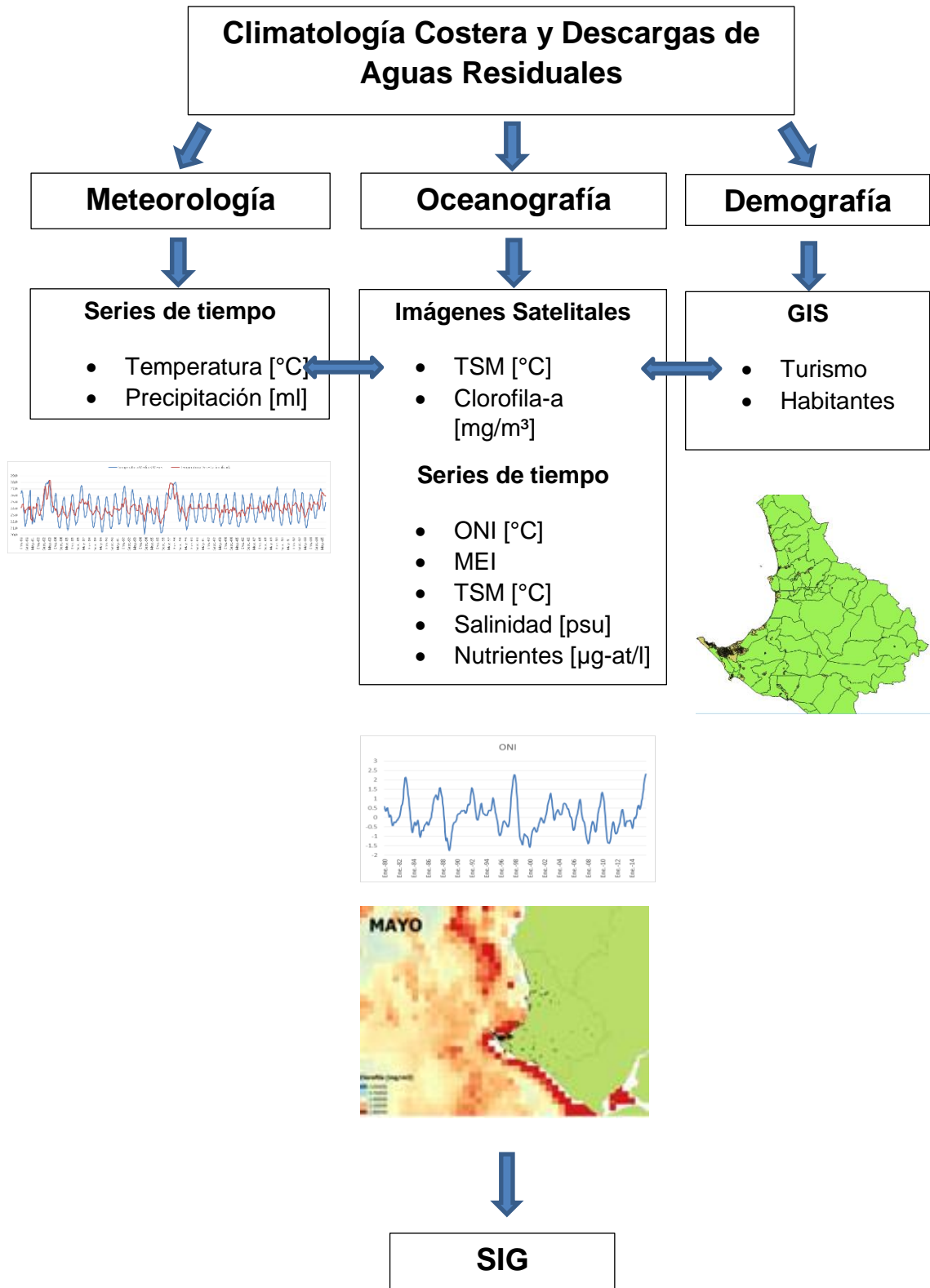
Los datos meteorológicos, son series de tiempo mensuales de una estación hidrometeorológica perteneciente a INAMHI cuyos datos están respaldados por la NOAA, ubicada en la ciudad de Salinas, de los cuales se posee información de temperatura media del aire y precipitación que caracterizan la climatología de la zona de estudio, desde 1981 hasta finales del 2015, tiempo suficiente para poder realizar distintos análisis de series de tiempo, como lo son las anomalías, tendencia, medias corridas de 3 y 6 meses y des estacionalización de las variables.

Los datos oceanográficos se dividen en dos: imágenes satelitales y series de tiempo mensuales, las imágenes satelitales corresponden a temperatura superficial del mar (TSM) y Clorofila-a. Por otro lado, las series de tiempo corresponden a índices océano-atmosféricos (ONI y MEI), temperatura superficial del mar, salinidad, oxígeno y nutrientes (nitritos, nitratos y fosfatos) de una estación perteneciente a INOCAR, ubicada a una milla costa fuera de la ciudad de Salinas, con la cual se observó el comportamiento de dichas variables a lo largo del tiempo. Específicamente, las variables Clorofila-a y fosfatos pasaron a tomar un papel fundamental en la elaboración del proyecto debido a su estrecha correlación.

La información oceanográfica fue obtenida a través de la página web de Ocean Color (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3>) para las imágenes satelitales de temperatura superficial del mar y Clorofila-a. Con las imágenes satelitales, se realizaron promedios mensuales para poder observar el comportamiento de la temperatura del mar y de la Clorofila-a a lo largo del año, mientras que con los datos de la estación oceanográfica, se realizó una correlación de Pearson con las variables meteorológicas y así poder determinar la relación entre ellas. Particularmente con los datos de nutrientes se

realizó una relación de Redfield, el cual es una proporción molecular entre carbono, nitrógeno y fósforo en el fitoplancton que rige para todo cuerpo de agua [21]. Para evaluar si dentro de la zona de estudio existe exceso de nitrógeno (asociado a contaminación por fertilizantes) o exceso de fósforo (asociado a contaminación de aguas negras y detergentes). [22].

La parte demográfica se integró por medio de mapas y mediante datos del censo realizado en 2010, con el fin de estimar la población dentro del área de estudio y su grado de contaminación, [20]. En la cual se obtuvo una relación directa entre el número de habitantes y la cantidad de descarga de aguas residuales. La Península de Santa Elena, al ser un sector turístico, posee población flotante, la cual aumenta la cantidad de descarga de aguas residuales de manera estacional (de diciembre a mayo). Los datos fueron obtenidos del censo realizado en el 2010 elaborado por el INEC bajo la plataforma del REDATAM, con los cuales, se estimó la cantidad de descarga de aguas residuales por medio de los niveles de población, así como el porcentaje de mujeres, ancianos y niños en el área de estudio (población afectada).



Con los datos, se realizó un SIG recopilando los datos oceanográficos y demográficos para así poder tener una línea base que sirva para poder identificar zonas de mayor aporte de descargas de aguas residuales.

Para ello se trabajó principalmente con 3 softwares:

- R-RStudio
- Microsoft Excel
- QGIS 2.10.1

Dentro de la plataforma de RStudio se realizaron scripts para:

- Transformación de datos diarios, promediarlos y tener datos mensuales.
- Elaboración de diagramas de dispersión de las variables más importantes.
- Determinación de estadística descriptiva de las variables.

Los cuales estarán disponibles en la sección de anexos.

Dentro de la plataforma de Microsoft Excel se procederá a realizar la base de datos de las distintas variables, así como las gráficas de series de tiempo, des estacionalización, comparación de variables, coeficientes de correlación de Pearson, histogramas, entre otras.

Finalmente, dentro de la plataforma de QGIS se trabajó las imágenes satelitales en formato TIFF, las que están disponibles en el proyecto de *“Interacción entre la Variabilidad Climática, recurrencia de bloom de algas nocivas (HABs) y su impacto en salud humana en un gradiente estuarino-costero”* de la PhD. Mercy Borbor, las que sirvieron para la ubicación de las posibles zonas de descarga de aguas residuales.

## CAPÍTULO 4

### 4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Meteorología

El primer grupo de datos corresponde a los datos meteorológicos, en los cuales se encuentran incluidos las series de tiempo y su respectivo análisis de las estaciones de Salinas y Guayaquil, las cuales veremos a continuación.

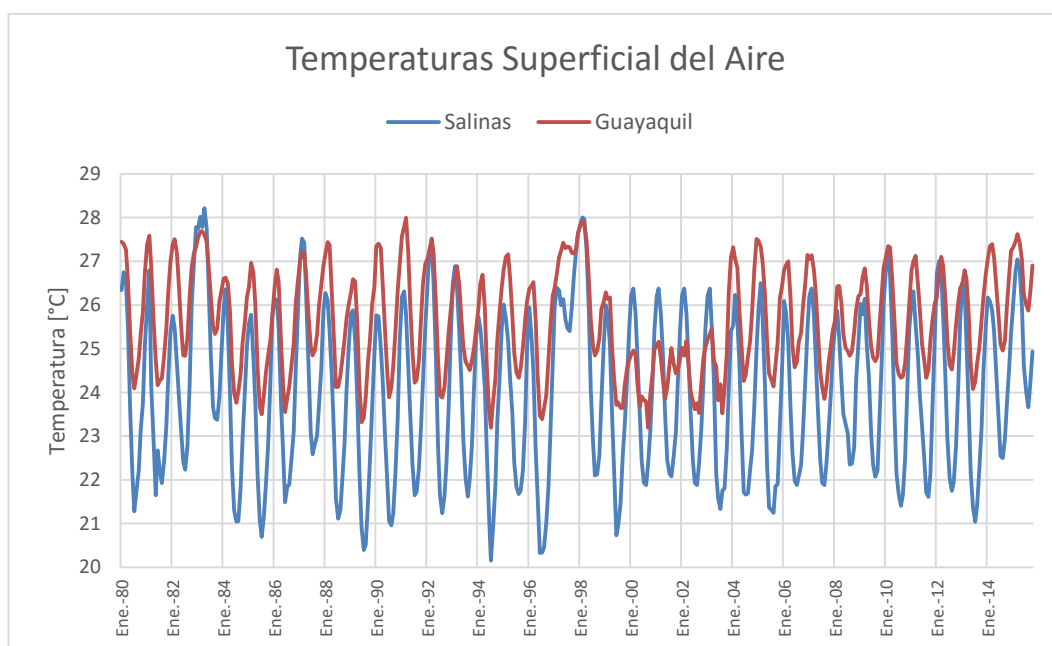


Figura 6. Serie de tiempo de las temperaturas medias del aire con media corrida de 3 meses de las ciudades de Salinas y Guayaquil. Fuente: Propia

En la figura 6 se observan las temperaturas medias de las estaciones de Salinas y Guayaquil desde enero de 1980 hasta finales del 2015 donde se puede apreciar claramente el factor estacional muy fuertemente marcado en ambas estaciones; además, se puede decir que existe un mayor rango de temperaturas en Salinas, debido a la influencia de la Corriente de Humboldt, la cual trae agua y vientos fríos durante el segundo semestre del año.

En orden de comprobar se existe un tipo de tendencia presente en los datos, se desestacionalizaron.

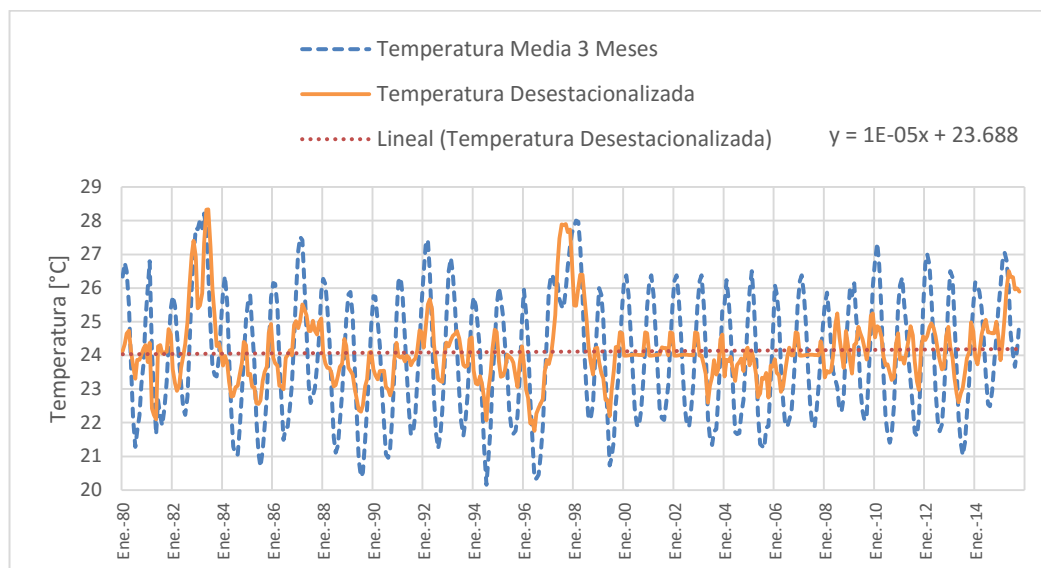


Figura 7. Serie de tiempo con media corrida de 3 meses desestacionalizada de la temperatura superficial del aire de la ciudad de Salinas con su línea de tendencia. Fuente: Propia

En la serie de tiempo desestacionalizada de la figura 7 se procedió a verificar si poseía algún tipo de tendencia lineal, incluso se procedió a sacar la ecuación y valor de  $r$  respectivo con la cual se puede notar que si existe una tendencia al aumento de la temperatura, pero dicha tendencia es muy pequeña, por lo que se puede decir que, la temperatura del aire se ha mantenido relativamente constante en esta estación. Uno de los factores que pueden influenciar dicho comportamiento, es su cercanía al océano, el cual ayuda a frenar en cierta medida los efectos del cambio climático.

#### 4.2 Oceanografía

En la figura 8 se puede observar la correlación de las distintas variables principales hidrometeorológicas y oceanográficas (TSA Salinas, PPT Salinas, TSM Salinas, Salinidad, Oxígeno disuelto, Fósforo, Nitritos, Nitratos, TSA Guayaquil y PPT Guayaquil), en la que se constata la fuerte correlación que existe entre las temperaturas del mar y del aire, con lo cual se puede concluir que cualquier evento que afecte la temperatura del aire, afectará igualmente a la del mar y viceversa. Se puede observar también que la salinidad, oxígeno y nitrato

poseen valores muy puntuales a lo largo del tiempo, provocando poca dispersión de datos. Este gráfico de correlación de datos es de carácter visual e informativo. Estadísticamente, se realizó la correlación de Pearson  $[r]$ , el cual es la relación lineal entre dos variables cuantitativas dando valores entre 1 y -1 [23], entre las variables principales, la cual podemos observar en la tabla 2.

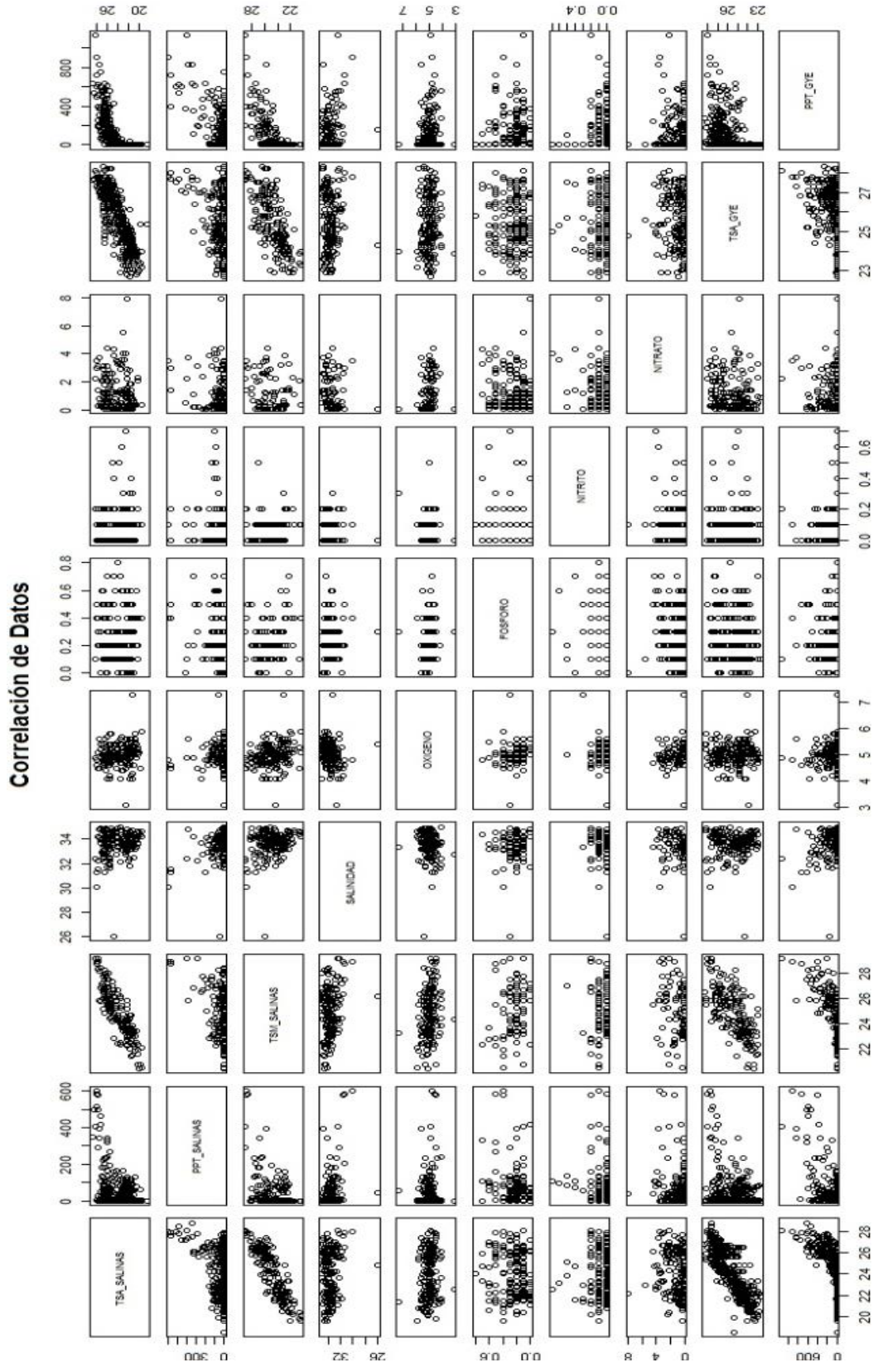


Figura 8. Diagrama de dispersión de las variables. Fuente: Propia



Tabla 2. Correlación de Pearson de las variables principales.

	TSA SNC	PPT SNC	TSM SNC	UPS SNC	OX SNC	P SNC	NITRI SNC	NITRA SNC	ONI	MEI	PDO	TSA GYE	PPT GYE
TSA	1.00												
PPT	0.39	1.00											
TSM	0.87	0.41	1.00										
UPS	-0.16	-0.37	-0.26	1.00									
OX	-0.16	-0.08	-0.26	0.13	1.00								
P	0.00	0.16	-0.20	-0.01	-0.03	1.00							
NITRI	-0.06	0.07	-0.01	0.20	0.14	0.22	1.00						
NITRA	0.10	0.09	0.16	0.11	-0.15	0.12	0.32	1.00					
ONI	0.21	0.32	0.20	0.18	0.02	0.01	0.09	0.13	1.00				
MEI	0.27	0.35	0.30	0.13	-0.03	0.03	0.12	0.20	0.92	1.00			
PDO	0.25	0.11	0.24	0.07	-0.01	-0.17	-0.04	0.19	0.45	0.53	1.00		
TSA GYE	0.82	0.27	0.70	0.00	-0.07	0.05	0.06	0.16	0.29	0.32	0.28	1.00	
PPT GYE	0.70	0.62	0.67	-0.30	-0.11	-0.01	-0.09	0.09	0.15	0.20	0.16	0.47	1.00

Como ya se mencionó en la figura 8, se puede observar la fuerte correlación entre las temperaturas del aire y del mar pero ahora desde un punto de vista estadístico. Los valores mayores a  $\pm 0.7$  corresponden a correlaciones fuertes entre las variables.

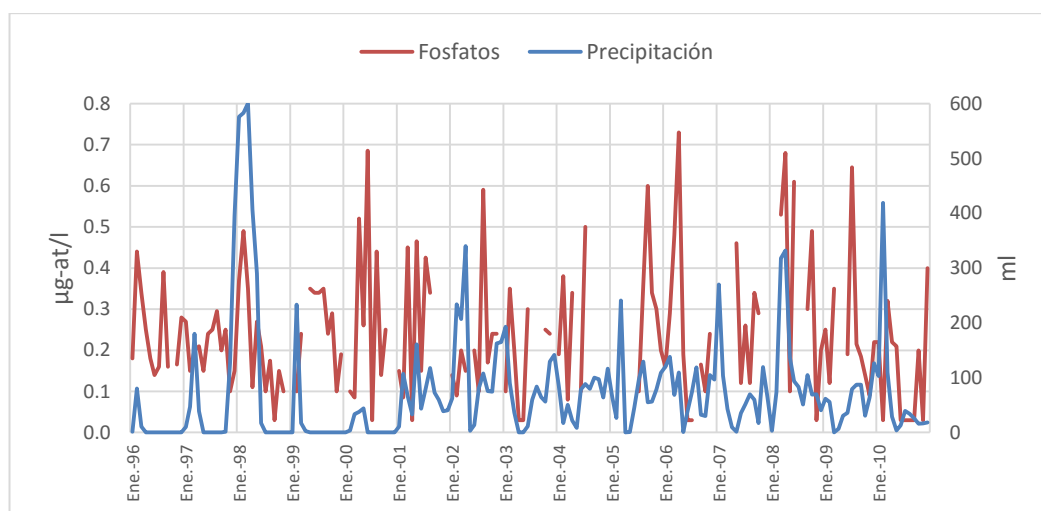
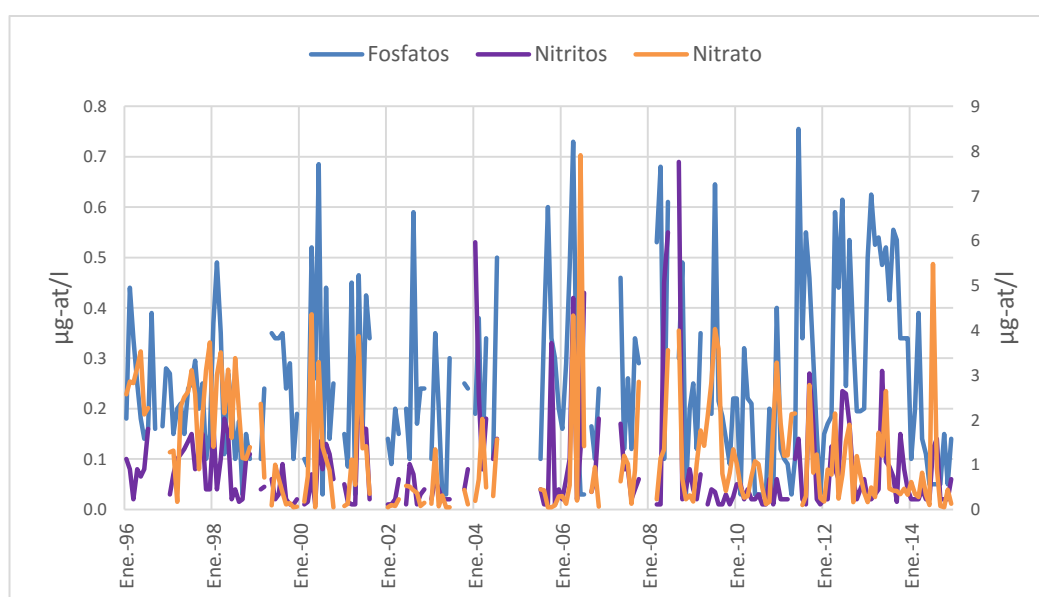


Figura 9. Serie de tiempo correspondiente a la precipitación (meteorológica) y fosfatos (oceanográfica) en la estación de Salinas. Fuente: Propia

En la figura 9 se observar la serie de tiempo de los fosfatos y precipitación procedentes de la Península de Santa Elena, en la que se observa cierta tendencia a aumentar los valores de fosfatos en la temporada húmeda, esto se debe a que gran parte de los fosfatos en el agua son enviados a los cuerpos de agua por el arrastre procedente a las lluvias [2]. Estadísticamente, poseen un

coeficiente de correlación de Pearson de 0.16, pero esto se debe a que dicha correlación se ve afectada por la estacionalidad de las lluvias, para verificar esta acotación, se realizó una prueba de correlación de Pearson mensual de dichas variables. En la que el mes de enero (período de lluvias) dio un  $r=0.58$  y para el mes de junio (período seco) el resultado fue de un  $r=0.04$ , esto demuestra que la correlación que existe entre las variables se da solo en los primeros meses del año por la presencia de lluvias.

Con lo anteriormente mencionado se puede concluir que los valores de fosfatos presentan un pico doble anual. Uno procedente a actividades antropogénicas (el arrastre de sedimentos procedente a la temporada húmeda) y el otro pico cercano a los meses de julio-agosto, debido a la influencia de corrientes frías (temporada seca).



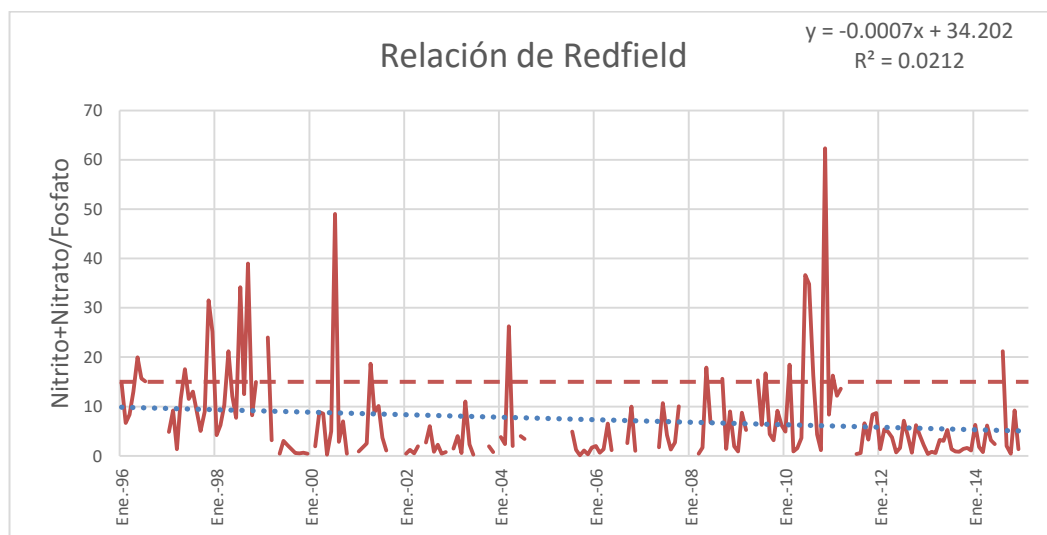
**Figura 10.** Serie de tiempo correspondiente a nutrientes (fosfatos, nitritos y nitratos) en la estación oceanográfica de Salinas. Fuente: Propia

En la figura 10 se observa la serie de tiempo de tres índices de calidad de agua, donde se aprecia claramente una estacionalidad marcada en todos los indicadores. Se observa también, que en los últimos años (2006 – presente) la cantidad de nutrientes que se arrojan al mar es mayor que años anteriores. Se pernota claramente en la dispersión de datos del fósforo, que al principio de la

serie de tiempo (1996-1998), no llega a valores mayores a 0.5  $\mu\text{g-at/l}$  mientras que en entre los últimos años (2012-2014) existen datos que llega incluso a valores de 0.8  $\mu\text{g-at/l}$ .

La estación, se encuentra ubicada a una milla de las costas por lo que los valores que se han obtenido son de carácter general y muy por debajo de los límites establecidos por el TULSMA, que se encuentra vigente en el país.

Se realizó una relación de Redfield, la cual indica que debe existir una proporción entre el nitrógeno y el Fósforo de 16 a 1 [24]. Si esta relación es de aproximadamente de 5:1 quiere decir que en el cuerpo de agua existe exceso de fósforo, pero si es mayor que 29:1 quiere decir que existe exceso de nitrógeno. [22].



**Figura 11. Relación de Redfield realizado con los dato de la estación oceanográfica de Salinas. Fuente: Propia**

Se observa en la figura 11 la serie de tiempo de la relación de Redfield en el período que va desde enero de 1996 hasta diciembre 2014, donde se puede apreciar valores por debajo de 16 desde mediados del año 2000; pese a poseer picos en ciertas ocasiones, la tendencia es de mantener valores por debajo de 16.

Se determinó la ecuación de la serie de tiempo para poder verificar la existencia de algún tipo de tendencia, sin embargo la pendiente de dicha ecuación es de carácter despreciable, con lo que se infiere que los valores de la relación de Redfield van a ser relativamente constantes a lo largo del tiempo en esta estación.

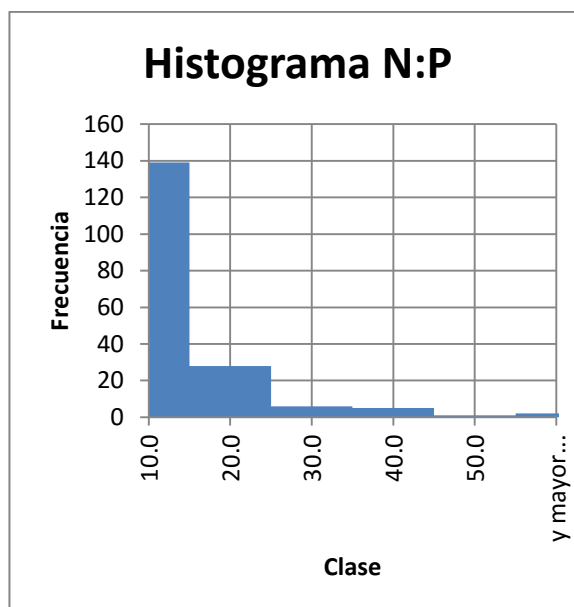


Figura 12. Histograma de frecuencias de la relación de Redfield. Fuente: Propia

Tabla 3. Estadística del histograma de frecuencias de la relación de Redfield

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
10.0	139	76.80%
20.0	28	92.27%
30.0	6	95.58%
40.0	5	98.34%
50.0	1	98.90%
mayor que	2	100.00%

Para poder determinar la distribución de los datos analizados, se realizó un histograma de frecuencias de la relación de Redfield y como se observa en la figura 12, la mayor cantidad de datos, es decir que más del 75%, se encuentran agrupados en rangos iguales o menores a 10, como se comprueba en la tabla 3. De tal manera se concluye que en el período de 1996 hasta 2014 existe exceso de fósforo en dicha estación.

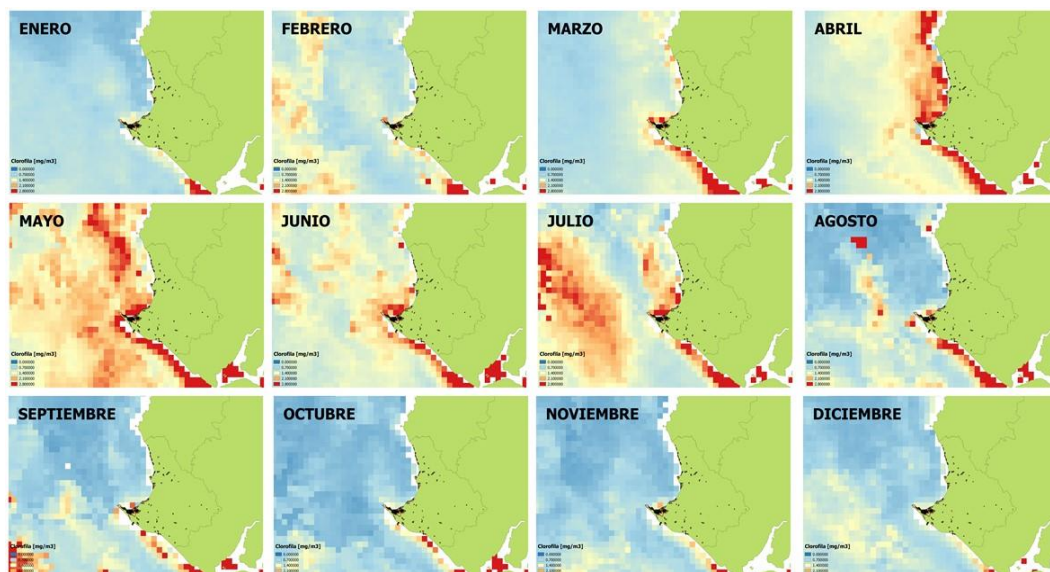


Figura 13. Imágenes satelitales correspondientes a las medias mensuales de clorofila-a. Fuente: Proyecto de “Interacción entre la Variabilidad Climática, recurrencia de bloom de algas nocivas (HABs) y su impacto en salud humana en un gradiente estuarino-costero”.

Se observa en la figura 13 que los promedios mensuales de las imágenes satelitales del área de estudio con resolución de cuatro kilómetros de clorofila-a. Un indicador indirecto y proporcional al Fósforo total, nutriente e indicador de calidad de agua relacionado estrechamente con actividad fitoplanctónica [19]; donde se puede observar un aumento en la cantidad de Clorofila-a en el perfil costero durante los meses de abril a junio, la que debido a su conexión con el perfil costero se encuentra influenciado directamente con actividades antropogénicas [25].

Este dato es de carácter general y nos puede ayudar a identificar zonas de alta actividad fitoplanctónica que están relacionadas con descargas de aguas negras, pero a la vez existen otras variables, como las corrientes. Se observa en el mes de julio una mancha roja que se encuentra alejada de las costas que corresponde a gran actividad fitoplanctónica relacionada directamente a la influencia de corrientes, ya que a esa distancia, la actividad antropogénica es escasa o nula [26].

En orden de identificar las zonas afectadas, se procedió a realizar un promedio multianual dentro del área de estudio, donde se podrán apreciar los puntos de interés.

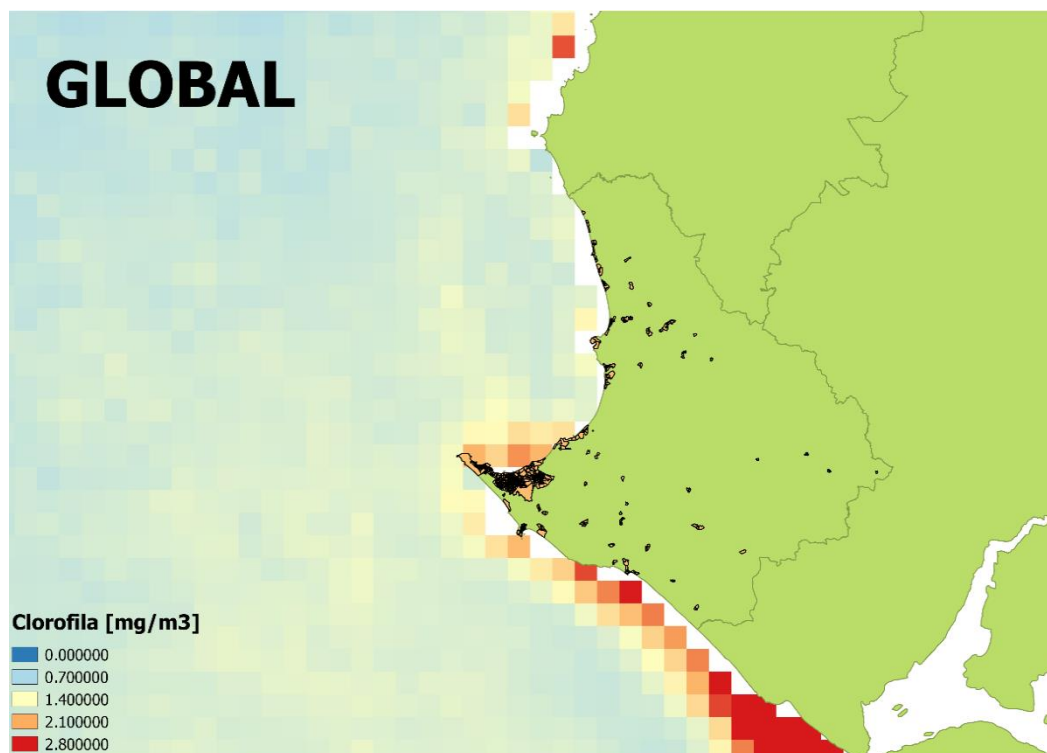


Figura 14. Promedio multianual de clorofila-a. Fuente: Proyecto de “Interacción entre la Variabilidad Climática, recurrencia de bloom de algas nocivas (HABs) y su impacto en salud humana en un gradiente estuarino-costero”.

En la figura 14 se obtuvo el promedio multianual de clorofila-a, donde se observa que en el sector de Salinas (Chipipe, San Lorenzo, Punta Carnero), incluyendo el sector de Ballenita de Santa Elena, así como en la zona norte (Manglaralto-Montañita), poseen una tonalidad naranja a roja (valores entre 1.4-2.8 mg/m<sup>3</sup>), debido a que en dichos sectores se realiza descargas de aguas residuales de manera constante por lo tanto la actividad fitoplanctónica es elevada durante todos los meses del año. Así también se evidencia que dentro de lo que corresponde a las zonas urbanas existe una tonalidad fuerte comparando a zonas rurales; por lo que la contaminación por descarga de aguas negras, tomando como indicador indirecto a la clorofila-a, es un hecho que actualmente está afectando la calidad del agua de uno de los puntos turísticos más importantes del país.

La zona sur, sector de Playas y Posorja poseen una tonalidad más fuerte que la Península de Santa Elena debido a la interacción que posee con el río Guayas, el cual trae el arrastre de sedimentos del 80% de la costa ecuatoriana [27], lo que influye en la actividad fitoplanctónica del sector.

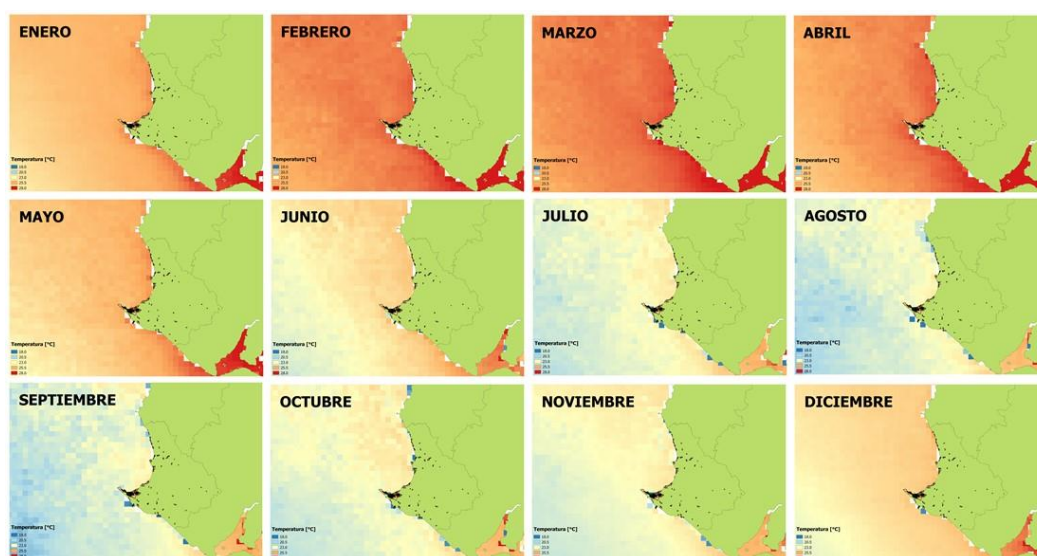


Figura 15. Imágenes satelitales correspondientes a los promedios mensuales de temperatura superficial del mar. Fuente: Proyecto de “Interacción entre la Variabilidad Climática, recurrencia de bloom de algas nocivas (HABs) y su impacto en salud humana en un gradiente estuarino-costero”.

En la figura 15 se tiene los promedios mensuales de las imágenes satelitales del área de estudio, con resolución de cuatro kilómetros, de temperatura superficial del mar (TSM). Con la cual se tiene una idea del comportamiento del mar durante los doce meses del año; donde se puede observar dos periodos, uno cálido de diciembre a junio y otro frío de julio a noviembre. Periodos donde se ve claramente la influencia de las corrientes (La Corriente cálida de “El Niño” y la Corriente fría de “Humboldt”)

### 4.3 Demografía

Se desarrolló el análisis de los resultados sobre los datos demográficos obtenidos del censo del 2010, bajo la plataforma del REDATAM.

Uno de los objetivos planteados en este proyecto tiene la estimación de descargas de aguas residuales en base a los datos demográficos y así compararlos con los datos turísticos. En la Península de Santa Elena existe una población total de 290

566 habitantes, los que según los datos de la tabla 1, se tiene que las personas, en promedio generan 200-250 litros de aguas residuales por día [l/p.d], por lo que el estimado de generación de aguas residuales en la Península de Santa Elena es de 58'113 200 l/p.d lo que es aproximadamente igual a 58 000 m<sup>3</sup>/día de generación de agua residual. Cabe recalcar que no toda la población está conectada al sistema de agua potable AGUAPEN E.P. por lo que en ciertos sectores, se realizan descargas directas a los cuerpos de agua.

En cuanto a la temporada turística, existen datos que llegan a 400 000 personas que se dirigen a los distintos puntos turísticos de la provincia [10]. Por lo que aparte de las personas que habitan en la provincia, se tienen 400 000 personas más que contribuyen con el aporte de aguas residuales, dando un total aproximado de 690 000, lo cual representa un gasto de 138 000 m<sup>3</sup>/día siendo casi tres veces más que lo descargado habitualmente.

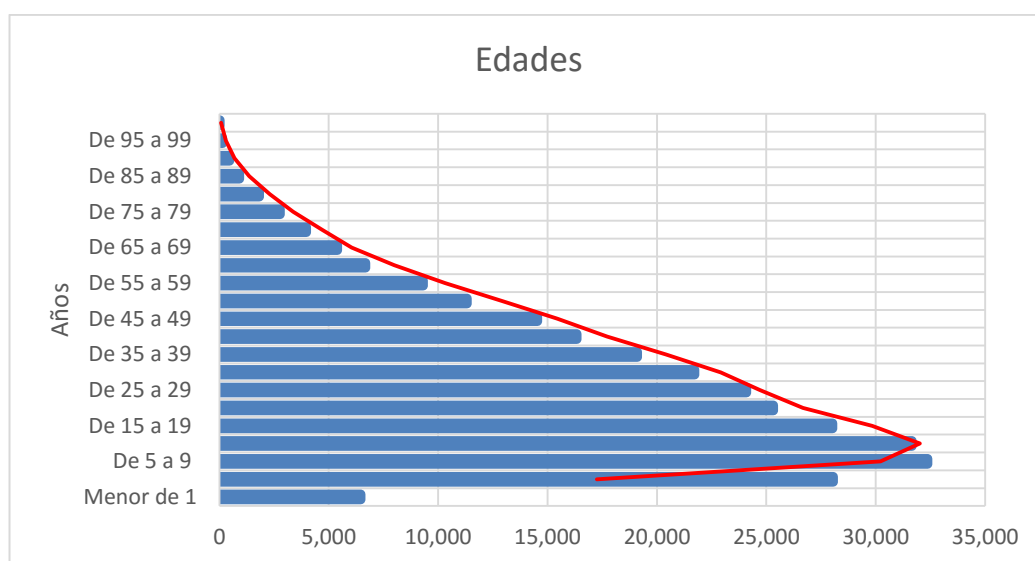


Figura 16. Distribución de edades de la provincia de Santa Elena. Fuente: Propia

En la figura 16, se tiene la proporción de habitantes por edades en la Península de Santa Elena del censo realizado por el INEC en el 2010, para así poder identificar qué población es la que se encuentra vulnerable y se puede observar que la mayor parte de la población se encuentra entre 5 y 19 años, esto quiere decir que existe gran cantidad de niños, los cuales son vulnerables a enfermedades asociadas al mal manejo de aguas residuales.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. Se desarrolló una plataforma de SIG en la que se utilizó como parámetro indicador de contaminación indirecto al Fósforo, el cual provoca eutrofización al presentarse en grandes cantidades en el cuerpo de agua [2] y cuya presencia evidencia la presencia de descargas antropogénicas. Con las imágenes satelitales de clorofila-a se puede saber indirectamente la presencia de Fósforo total en un cuerpo de agua, ya que poseen una relación directa de aproximadamente el 97% [19]. Pero se debe recordar que las imágenes satelitales reflejan la actividad fitoplanctónica realizada en la superficie del agua no solamente por la influencia de nutrientes, sino también por acción de las corrientes, vientos, precipitación, etc. Pese a todo, la clorofila-a permitió identificar puntos de alta actividad fitoplanctónica cerca de las costas, lo cual está vinculado estrechamente a actividad antropogénica, lo que indica que en la zona urbana se tiene contaminación por descargas de aguas residuales relacionadas a gran actividad fitoplanctónica.

Estos puntos de interés son:

- El malecón de Salinas
- Sector Chipipe
- Punta Carnero
- La playa de La Libertad
- Ballenita
- Manglaralto
- Montañita

Los datos están disponibles y accesibles en la plataforma de SIG en formato TIFF.

2. Se analizaron las condiciones hidrometeorológicas y oceanográficas del sector, dando como resultado los siguientes puntos importantes:

- 2.1. La estación de Salinas posee mayor variabilidad de temperatura que la estación de Guayaquil, debido a la influencia directa de las corrientes de Humboldt y El Niño.
  - 2.2. La estación de Salinas posee una muy leve tendencia al incremento de la temperatura durante el período 1980-2015, la cual se ve “frenada” debido a su proximidad con el mar, el cual absorbe gran contenido de calor de manera natural [28].
  - 2.3. Existe fuerte correlación entre las temperaturas del aire, la del mar y la precipitación, por lo que podemos concluir que eventos que impliquen una, afectaran a las otras.
  - 2.4. El fósforo y la precipitación poseen una relación media, tomando en cuenta que es un proceso natural, de 0.16 (correlación de Pearson). La cual se ve afectada por otros eventos, como lo son las corrientes. Para demostrarlo, se procedió a separar las series de tiempo y evaluarlas mensualmente con la precipitación, con lo cual, para el mes de enero (período de lluvias) dio un  $r=0.58$  y para el mes de junio (período seco) el resultado fue de un  $r=0.04$ , esto demuestra que la correlación que existe entre las variables se da solo en los primeros meses del año por la presencia de lluvias.
  - 2.5. Se evidencia que en la estación de Salinas hay una tendencia al aumento de nutrientes, especialmente el fósforo, a partir del año 2000.
  - 2.6. Se determinó que en la estación de Salinas existe exceso de fósforo asociado a actividades antropogénicas con base a la relación de Redfield [24].
3. Se determinó, en cuanto a los datos de población, que en la Península de Santa Elena existe un total de 290 566 habitantes, los cuales, según los datos de la tabla 1, se tiene que las personas, en promedio generan 0.2 metros cúbicos de aguas residuales por día [ $m^3/p.d$ ], por lo que el estimado de generación de aguas residuales en la Península de Santa Elena es de aproximadamente 58 000  $m^3/día$ . Por otro lado en la temporada turística, existen datos que llegan a 400 000 personas que se dirigen a los distintos puntos turísticos de la provincia [10], por lo que agregado a los datos de

población fija, se obtiene un total aproximado de 690 000 personas en temporadas altas (fin de año, carnaval, semana santa). Lo que representa un gasto de 138 000 m<sup>3</sup>/día, (1.6 m<sup>3</sup>/s) que es casi tres veces más que lo descargado habitualmente, y por lo tanto genera problemas de contaminación de manera estacional en las zonas de descarga, las que, en mayor parte, son arrojados de manera directa al cuerpo de agua.

4. Se determinó la estructura de la población en Santa Elena, que corresponde a una con población joven y en proceso de crecimiento. Este dato es importante, ya que indica que la localidad está creciendo, pero a la vez, es vulnerable ante cualquier enfermedad, las que pueden estar relacionadas con descargas de aguas residuales. Dichas descargas podrían generar problemas gastrointestinales al consumirla o problemas en la piel al contacto [13].

### **Recomendaciones**

Entre las recomendaciones en cuanto a la elaboración y ejecución del proyecto se tiene que se necesita un mayor control de las descargas de aguas residuales mediante organismos reguladores, ya que en el caso de la Península de Santa Elena y la población costera en general, dichas descargas terminan en el mar, lugar donde se desarrollan actividades turísticas, afectando a la población visitante y residente.

Mayor esfuerzo por parte de los municipios para poder adquirir una planta de tratamiento de aguas residuales eficiente y que cubra la demanda poblacional para poder reducir el impacto causado en los puntos de descarga.

Tener una plataforma web local donde se pueda acceder a los datos hidrometeorológicos y oceanográficos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Gonzalez y M. Herce, «Universidad Politécnica de Cataluña,» 2006. [En línea]. Available: <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3292>.
- [2] L. Echarri, «Contaminación del agua,» de *Población, ecología y ambiente*, 2007.
- [3] USCB, «United States Census Bureau,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.census.gov/popclock/world>.
- [4] G. Da Ros, *La contaminación de aguas en Ecuador: una aproximación económica*, Quito, 1995.
- [5] MAE, *RESERVA DE PRODUCCION FAUNISTICA MARINO COSTERA PUNTILLA DE SANTA ELENA*, 2011.
- [6] TULSMA, *Texto Unificadode la Legislación Secundaria del Medio Ambiente*, 2003.
- [7] B. Santelices, «Estudios Ecológicos en la Zona Costera Afectada por Contaminación del Northern Breeze II. Comunidades de Playas de Rocas,» 2015.
- [8] J. C. Soto, «Estudio Técnico: DNCA-DHN-12-01; "Análisis de la Calidad de Agua en la Subcuenca del Rio Coca",» *SENAGUA*, Enero 2012.
- [9] V. A. Gallardo, «Revisión actualizada a 1983 de la contaminación marina proveniente de fuentes terrestres en la región del Pacífico Sudeste (Colombia, Chile, Ecuador, Panamá y Perú).,» *Revista de la Comisión Permanente del Pacífico Sur*, pp. 19-73, 1984.
- [10] El Universo, «Salinas alista su fiesta de fin de año,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.eluniverso.com/noticias/2014/12/29/nota/4385041/salinas-alista-su-fiesta-fin-ano>.
- [11] P. Torres, C. H. Cruz y P. J. Patiño, «Índices de Calidad de Agua en fuentes superficiales utilizadas en la Producción de Agua para Consumo Humano: Una Revisión Crítica,» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, pp. 79-94, 2009.
- [12] Le Scienze, «Eutrofizzazione dei laghi: non solo azoto,» 2008. [En línea]. Available: [http://www.lescienze.it/news/2008/07/22/news/eutrofizzazione\\_dei\\_laghi\\_non\\_solo\\_azoto-578799/](http://www.lescienze.it/news/2008/07/22/news/eutrofizzazione_dei_laghi_non_solo_azoto-578799/).

- [13] UNICEF, «Enfermedades comunes relacionadas con el agua y el saneamiento,» 2016. [En línea]. Available: [http://www.unicef.org/spanish/wash/index\\_wes\\_related.html](http://www.unicef.org/spanish/wash/index_wes_related.html).
- [14] P. Macías, «Condiciones hidroquímicas frente al Ecuador en el periodo 1995-1999,» *Características Oceanográficas y Pesqueras en el Ecuador durante 1994-1999*, pp. 39-71, 1999.
- [15] O. Vásquez, S. Pineda, E. Quiroga, B. Jara y A. Montiel, «Relación entre Clorofila-A y las variables oceanográficas en el área preglaciar del Seno Gallegos (Cordillera Darwin, Chile): bajo condiciones invernales,» *SciELO*, 2012.
- [16] K. Kunlasak, C. Chitmanat, N. Whangchai, J. Promya y L. Lebel, «Relationships of Dissolved Oxygen with Chlorophyll-a and Phytoplankton Composition in Tilapia Ponds,» *Scientific Research*, pp. 46-53, Septiembre 2013.
- [17] F. Hellweger, P. Schlosser, U. Lall y J. K. Weissel, «Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor,» *ELSEVIER*, pp. 437-448, 2004.
- [18] R. A. Jones y G. F. Lee, «Chlorophyll-a raw water quality parameter,» *Journal Awwa*, 1982.
- [19] P. J. Dillon y F. H. Rigler, «The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes,» *Limnology and Oceanography*, pp. 767-773, Septiembre 1974.
- [20] BVSDE, «Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental,» 2016. [En línea]. Available: [www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/026578/tomo1/026578-01.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/026578/tomo1/026578-01.pdf).
- [21] A. Redfield, «On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton,» *James Johnstone Memorial Volume*, pp. 177-192, 1934.
- [22] N. Aquariumhobby, «Redfield Calculator,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.aquariumhobby.nl/zoetwater/calculators/redfield.html>.
- [23] W. Eric, «Wolfram MathWorld,» 2016. [En línea]. Available: <http://mathworld.wolfram.com/CorrelationCoefficient.html>.
- [24] A. Martiny, J. Vrugt y M. Lomas, «Concentrations and ratios of particulate organic carbon, nitrogen, and phosphorus in the global ocean,» *Nature*, 2014.
- [25] J. Escobar, La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar, vol. 50, United Nations Publications, 2002.

- [26] M. Tapia, «Variación estacional del fitoplancton en una estación fija en el Estero del Muerto, durante 1999-2000-2001,» *Acta Oceanográfica del Pacífico* , vol. 13, 2005.
- [27] UNLP, «Modelización Hidrológica de un área experimental en la Cuenca del Rio Guayas,» Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 2010.
- [28] R. Stewart, Introduction to physical oceanology, 2004.
- [29] *La guía MetAs*, p. 6, 2010.

## ANEXOS

Los datos de los satélites son calibrados y validados frecuentemente. El documento donde se puede verificar dicha acotación se encuentra disponible en la página de OceanColor:

[http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/files/imported/DOCS/SIMBIOS/AGU2001\\_Project\\_McClain.pdf](http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/files/imported/DOCS/SIMBIOS/AGU2001_Project_McClain.pdf)

Calibración y validación de datos de INAMHI:

<http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/inf%20gestion/Revista%20Inamhi%2053%20a.pdf>

Calibración y validación de datos de INOCAR:

[http://www.inocar.mil.ec/webpages/PORTAFOLIO/s\\_ocea19.swf](http://www.inocar.mil.ec/webpages/PORTAFOLIO/s_ocea19.swf)

Calibración y validación de datos de la NOAA: <http://ncc.nesdis.noaa.gov/>

Imágenes de puntos de descarga de aguas residuales en la Península de Santa Elena



Figura 17. Presencia de tuberías con posibles descarga de aguas grises directas al mar. Sector Malecón de Salinas. Fuente: Propia





Figura 18. Alcantarilla abierta en el sector de San Lorenzo, Salinas. Fuente: Propia



Figura 19. Análisis de calidad de agua realizado en el Estero Punta Carnero. Fuente: MAE



Figura 20. Estero de Montañita en temporada turística siendo intervenido para su posterior remediación. Fuente: Montañita se beneficia con labores de biorremediación de estero y construcción de alcantarillado <http://www.andes.info.ec/es/regionales/montanita-beneficia-labores-biorremedacion-estero-construccion-alcantarillado.html>

### **Script para transformación de datos diarios a mensuales:**

```
setwd("C:/Users/Divar/Dropbox/Dropbox/ayudantias investigacion  
(1)/Meteorologia/Tesis Climatologia Oceanica/Datos/NOAA/Santa Cruz")
```

```
CLIMA=read.table("C:/Users/Divar/Dropbox/Dropbox/ayudantias investigacion  
(1)/Meteorologia/Tesis Climatologia Oceanica/Datos/NOAA/Santa  
Cruz/scr_horario.txt", header=TRUE)
```

```
attach(CLIMA)
```

```
names(CLIMA)
```

```

y=aggregate(TEMP_C~MONTH+YEAR, CLIMA, mean)

z=aggregate(SPD_KMXH~MONTH+YEAR, CLIMA, mean)

a=aggregate(STP~MONTH+YEAR, CLIMA, mean)

capture.output(y, file="promedio_mensual_Temp.txt")

capture.output(z, file="promedio_mensual_WSpeed.txt")

capture.output(a, file="promedio_mensual_STP.txt")

```

**Script para elaborar la matriz de correlación de datos:**

```

setwd("E:/Dropbox/Dropbox/ayudantias investigacion (1)/Meteorologia/Tesis
Climatologia Oceanica/Datos")

CLIMA=read.table("E:/Dropbox/Dropbox/ayudantias investigacion
(1)/Meteorologia/Tesis Climatologia Oceanica/Datos/data.txt", header=TRUE, sep =
"\t")

attach(CLIMA)

names(CLIMA)

pairs(CLIMA[,c(3,5,6,8,10,11,12,13,27,29)], labels=c("TSA_SALINAS",
"PPT_SALINAS", "TSM_SALINAS", "SALINIDAD", "OXIGENO", "FÓSFORO",
"NITRITO", "NITRATO", "TSA_GYE", "PPT_GYE"), main="Correlación de Datos")

abline(CLIMA[,c(3,5,6,8,10,11,12,13,27,29)], col="white")

s=summary(CLIMA)

capture.output(s, file = "Estadistico.txt")

```

**Script para elaboración de promedios mensuales de las imágenes satelitales:**

```

library(ncdf4)

library(raster)

```

```
library(RNetCDF)

setwd("E:/Acidificacion/Datos/Bases de datos")

load(file="CHL.rda")

modificar=function(ras)
{
  ras[ras>=10]=NA

  ras
}

BASE=sapply(1:156, function(x) modificar(BASE[[x]]))

promedio=function(ras,d,cor)
{
  A=apply(simplify2array(sapply(d, function(x)
list(as.matrix(ras[[x]])))),1:2,function(y) mean(y,na.rm=T))

  B=raster(A)

  extent(B)=extent(ras[[1]])

  crop(B,extent(cor))
}

#Promedios Mensuales en un area de estudio c(izq, drch, abajo, arriba)

ENERO=promedio(BASE,seq(12,156,12),c(-84,-78,-4,2))

plot(ENERO)

#WriteRaster para guardar el tiff y abrirlo en gGIS

writeRaster(ENERO, filename="dic.tiff", format="GTiff", overwrite=
```