



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**EVALUAR LA PLUMA DE CONTAMINACIÓN POR  
DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN EL ESTERO  
SALADO, MUELLE DEL TERMINAL PORTUARIO DE  
GUAYAQUIL.  
TRABAJO NO EXPERIMENTAL**

Trabajo de titulación presentado como requisito para la  
obtención del título de  
**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR  
ANCHUNDIA BAQUE ARMANDO MAURICIO**

**TUTOR  
ING. XAVIER VÉLEZ GAVILANÈZ**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2020**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

Yo, Ing. XAVIER VÉLEZ GAVILANÉZ, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **“EVALUAR LA PLUMA DE CONTAMINACIÓN POR DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN EL ESTERO SALADO, MUELLE DEL TERMINAL PORTUARIO DE GUAYAQUIL”**, realizado por el estudiante **ANCHUNDIA BAQUE ARMANDO MAURICIO**; con cédula de identidad N° 0929791887 de la carrera **INGENIERIA AMBIENTAL**, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

-----  
Ing. Ind, XAVIER VÉLEZ GAVILANÉZ, Msc.  
**Tutor**

Guayaquil, 23 de noviembre del 2020

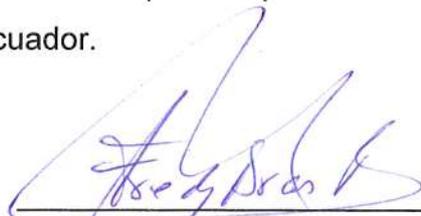


**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación **EVALUAR LA PLUMA DE CONTAMINACIÓN POR DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN EL ESTERO SALADO, MUELLE DEL TERMINAL PORTUARIO DE GUAYAQUIL**”, realizado por el estudiante **ANCHUNDIA BAQUE ARMANDO MAURICIO**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

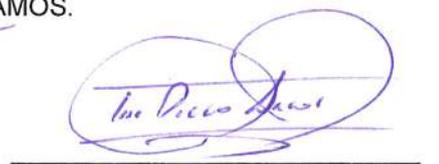
Atentamente,



DR. FREDDY ARCOS RAMOS.  
**PRESIDENTE**



OCE. LEILA ZAMBRANO ZAVALA.  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**



ING. DIEGO ARCOS JÁCOME  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

Guayaquil, 23 de noviembre del 2020

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mis padres José reyes Anchundia Flores y Ana María Baque Loor y a mi esposa Diana Lisseth Yugcha Freire por su apoyo y confianza que depositaron en mí, a pesar de las adversidades de la vida siempre estuvieron brindándome su apoyo y concejos valiosos para mí.

## **Agradecimiento**

Mi agradecimiento principalmente a Jehová, por permitirme poder culminar esta pequeña etapa de mi vida con salud, ante todo

A mi padre, que sin sus consejos no podría haber continuado, a pesar de que ya no se encuentre en este mundo terrenal sé que él estaría muy contento por mi logro adquirido, a mi madre que sin su apoyo incondicional no podría haber concluido mis estudios universitarios a mi hermana gracias por, sus palabras de aliento y apoyo.

A mi esposa por su comprensión y apoyo siendo un pilar fundamental para mí, a mis amados hijos siendo mis inspiraciones para no retroceder jamás.

A cada uno de los docentes a lo largo de mi carrera de la universidad Agraria del Ecuador, que compartiendo su experiencia agilitaron y forjaron en mi valores y conocimientos técnicos para la vida profesional mis más sinceros agradecimientos para mi tutor de tesis por su guía para poder concluir mi trabajo de titulación.

### **Autorización de Autoría Intelectual**

Yo **ANCHUNDIA BAQUE ARMANDO MAURICIO**, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre **"EVALUAR LA PLUMA DE CONTAMINACIÓN POR DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN EL ESTERO SALADO, MUELLE DEL TERMINAL PORTUARIO DE GUAYAQUIL"** para optar el título de **INGENIERO AMBIENTAL**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 23 de noviembre del 2020



**ANCHUNDIA BAQUE ARMANDO MAURICIO**  
**C.I. 0929791887**

## Índice general

<b>PORTADA.....</b>	<b>1</b>
<b>APROBACIÓN DEL TUTOR .....</b>	<b>2</b>
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>4</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>5</b>
<b>Autorización de Autoría Intelectual .....</b>	<b>6</b>
<b>Índice general .....</b>	<b>7</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>12</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>13</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>17</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>18</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1 Antecedentes del problema .....</b>	<b>20</b>
<b>1.2 Planteamiento y formulación del problema.....</b>	<b>21</b>
<b>1.2.1 Planteamiento del problema .....</b>	<b>21</b>
<b>1.2.2 Formulación del problema .....</b>	<b>23</b>
<b>1.3 Justificación de la investigación .....</b>	<b>23</b>
<b>1.4 Delimitación de la investigación.....</b>	<b>24</b>
<b>1.5 Objetivo general.....</b>	<b>24</b>
<b>1.6 Objetivos específicos .....</b>	<b>24</b>
<b>1.7 Hipótesis.....</b>	<b>25</b>
<b>2. Marco teórico.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1 Estado del arte .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2 Bases teóricas.....</b>	<b>29</b>

<b>2.2.1 Advección</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2.2 Dispersión</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2.3 Evaporación</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2.4 Disolución</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.5 Hidrocarburo</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.6. Grados API</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.7 Crudos</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.8 Aceites lubricantes</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.9 Diseminación</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.10 Emulsificación</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.11 Expansión</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.12 Sedimentación</b> .....	<b>32</b>
<b>2.2.13 Simuladores</b> .....	<b>34</b>
<b>2.2.14 ADIOS2</b> .....	<b>34</b>
<b>2.2.15 GNOME</b> .....	<b>35</b>
<b>2.2.16 Riesgo</b> .....	<b>36</b>
<b>2.2.17 Contaminación del agua</b> .....	<b>36</b>
<b>2.2.18 Pluma de contaminación</b> .....	<b>36</b>
<b>2.2.19 Fauna y flora en el Estero Salado</b> .....	<b>36</b>
<b>2.2.20. Matriz de Leopold</b> .....	<b>37</b>
<b>2.2.21. Impactos causados por derrames hidrocarburos a los ecosistemas.</b> .....	<b>38</b>
<b>2.2.22. Impactos en el agua</b> .....	<b>39</b>
<b>2.2.23. Impactos en el aire</b> .....	<b>39</b>
<b>2.2.24. Impactos en el suelo</b> .....	<b>39</b>

2.2.25. Impactos a la flora y fauna. ....	39
2.2.26. Efectos de la contaminación por petróleo en las formas de vida marina. ....	40
2.2.27. Clima de Guayaquil .....	40
2.2.28. Estero el muerto.....	41
2.3 Marco legal .....	42
2.3.1 Ley de la Constitución de la República del Ecuador .....	42
2.3.2 Convenios internacionales.....	43
2.3.3 Código Orgánico del Ambiente.....	44
2.3.4 Código Civil .....	44
2.3.5 Ley de hidrocarburos. ....	45
2.2.6 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua .....	45
2.3.7 decreto ejecutivo 1215.....	45
3. Materiales y métodos .....	48
3.1 Enfoque de la investigación.....	48
3.1.1 Tipo de investigación .....	48
3.1.2 Diseño de investigación .....	48
3.2.1 Variables .....	48
3.2.1.1. <i>Variable independiente</i> .....	48
3.2.1.2. <i>Variable dependiente</i> .....	49
3.2.2 Recolección de datos .....	49
3.2.4.1. <i>Recursos</i> .....	49

	10
<b>3.2.4.2. Métodos y técnicas .....</b>	<b>49</b>
<b>3.2.3 Análisis estadístico.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.3.1. Test no paramétricos: U de Mann-Whitney.....</b>	<b>50</b>
<b>4. Resultados .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1. Estimación de la distribución de la cantidad del contaminante de un derrame de hidrocarburos mediante el uso de simuladores libres. ....</b>	<b>52</b>
<b>4.1.1. Aplicación de software ADIOS 2 .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1.1.1. Escenario N° 1 - 500 gal de gasolina (época lluviosa). ....</b>	<b>53</b>
<b>4.1.1.2. Escenario N° 2 – 1000 gal de diésel (época lluviosa).....</b>	<b>55</b>
<b>4.1.1.3. Escenario N° 3 - 2000 gal de fueloil 4 (época lluviosa).....</b>	<b>57</b>
<b>4.1.1.4. Escenario N° 4 – 500 gal de gasolina. (época Seca) .....</b>	<b>59</b>
<b>4.1.1.5. Escenario N° 5 – 1000 gal de diésel (época Seca).....</b>	<b>61</b>
<b>4.1.1.6. Escenario N° 6 – 2000 gal de fueloil 4 (época Seca). ....</b>	<b>63</b>
<b>4.3. Determinación de la dirección y distancia recorrida de la pluma de contaminación de los escenarios de derrames de hidrocarburos mediante resultados computarizados obtenidos de simulaciones y revisión bibliográfica.....</b>	<b>65</b>
<b>4.3.1. Aplicación de software GNOME.....</b>	<b>66</b>
<b>4.3.1.1. Escenario 1 - 500 gal de gasolina (época seca). ....</b>	<b>66</b>
<b>4.3.1.2. Escenario 2 - 1000 gal de diésel (época seca).....</b>	<b>68</b>
<b>4.3.1.3. Escenario 3 - 2000 gal fueloil 4 (época seca).....</b>	<b>70</b>
<b>4.3.1.4. Escenario 4 – 500 gal de gasolina (época lluviosa). ....</b>	<b>72</b>
<b>4.3.1.5. Escenario 5 - 1000 gal de diésel (época lluviosa) .....</b>	<b>74</b>
<b>4.3.1.6. Escenario 6 - 2000 gal fueloil 4 (época lluviosa) .....</b>	<b>76</b>

4.3.2. Interpretación grafica de la extensión alcanzada por los contaminantes .....	78
4.3. Estimación de los posibles impactos ambientales mediante una matriz de Leopold causados por diferentes derrames de hidrocarburos a través de los resultados obtenidos y revisión bibliográfica. ....	79
4.3.1. Matriz de Leopold aplicado al escenario simulado.....	79
4.3.2. Resultado grafico de la matriz de Leopold .....	80
4.3.2.1. <i>Subcomponentes del medio físico</i> .....	80
4.3.2.2. <i>Subcomponentes del medio biótico</i> .....	81
4.3.2.3. <i>Subcomponentes del socio económico y social</i> .....	81
4.3.3. Análisis estadístico Test U de Mann-Whitney .....	85
4.3.3.1. <i>Variable volumen evaporado época seca y época lluviosa</i> .....	86
4.3.3.2. <i>Variable volumen disperso época seca y época lluviosa</i> .....	86
5. Discusión .....	88
6. Conclusiones.....	90
7. Recomendaciones.....	92
8. Bibliografía.....	93
9. Anexos .....	102

**Índice de tablas**

Tabla 1. Grados API.....	30
Tabla 2. Época lluviosa Marzo – Abril .....	52
Tabla 3. Época seca Mes Julio- agosto.....	53
Tabla 4. Resultados del software ADIOS 2 escenario 1.....	54
Tabla 5. Resultados del software ADIOS 2 escenario 2.....	56
Tabla 6. Resultados del software ADIOS 2 escenario 3.....	58
Tabla 7. Resultados del software ADIOS 2 escenario 4.....	60
Tabla 8. Resultados del software ADIOS 2 escenario 5.....	62
Tabla 9. Resultados del software ADIOS 2 escenario 6.....	64
Tabla 10. Área de extensión alcanzada por los contaminantes .....	78
Tabla 11. Matriz de Leopold aplicada a los posibles derrames de hidrocarburo. .	83
Tabla 12. Comparación de la variable volumen evaporado en época seca y época lluviosa mediante la prueba no paramétrica U de Mann Whitney.....	86
Tabla 13. Comparación de la variable volumen disperso en época seca y época lluviosa mediante la prueba no paramétrica U de Mann Whitney.....	87
Tabla 14. Comparación de la variable volumen flotando en época seca y época lluviosa mediante la prueba no paramétrica U de Mann Whitney.....	87

## Índice de figuras

Figura 1. Biblioteca tipos de hidrocarburos software ADIOS 2 .....	34
Figura 2. Escenario 1 software ADIOS 2 .....	53
Figura 3. Distribución de los 500 gal de gasolina época lluviosa .....	54
Figura 4. Resultado del escenario 2 software ADIOS2 .....	55
Figura 5. Distribución de los 1000 gal de diésel época lluviosa. ....	56
Figura 6. Resultado del escenario 3 software ADIOS 2 distribución de los 2000 gal de fueloil 4 derramados época lluviosa. ....	57
Figura 7. Distribución de los 2000 gal de Fueloil 4 época seca.....	58
Figura 8. Resultado del escenario 4 software ADIOS 2 distribución de los 500 gal de gasolina derramados época seca.....	59
Figura 9. Resultado del escenario 4 software ADIOS 2 distribución de los 500 gal de gasolina derramados .....	60
Figura 10. Resultado del escenario 5 software ADIOS 2 distribución de los 1000 gal de diésel derramados. ....	61
Figura 11. Distribución de los 1000 gal diésel época seca.....	62
Figura 12. Resultado del escenario 6 software ADIOS 2 distribución de los 2000 gal de fueloil 4 derramados. ....	63
Figura 13. Distribución de los 1000 gal diésel.....	64
Figura 14. Resultado del software GNOME luego de 2 horas ocurrido el derrame 500 gal de gasolina escenario 1 época lluviosa. ....	66
Figura 15. Resultado del software GNOME luego de 12 horas ocurrido el derrame de 500 gal de gasolina escenario 1 época lluviosa. ....	67

Figura 16. Resultado del software GNOME luego de 24 horas ocurrido el derrame de 500 gal de gasolina, escenario 1.....	67
Figura 17. Resultado del software GNOME luego de 6 horas ocurrido el derrame de 1000 gal de diésel, escenario 2.....	68
Figura 18. Resultado del software GNOME luego de 24 horas ocurrido el derrame de 1000 gal de diésel, escenario 2.....	69
Figura 19. Resultado del software GNOME luego de 48 horas ocurrido el derrame de 1000 gal de diésel, escenario 2.....	69
Figura 20. Resultado del software GNOME luego de 12 horas ocurrido el derrame de 2000 gal de fueloil 4, escenario 3.....	70
Figura 21. Resultado del software GNOME luego de 48 horas ocurrido el derrame de 2000 gal de fueloil 4, escenario 3.....	71
Figura 22. Resultado del software GNOME luego de horas 72 ocurrido el derrame de 2000 gal de fueloil 4, escenario 3 época seca. ....	71
Figura 23. Resultado del software GNOME luego de 6 horas ocurrido el derrame de 500 gal de gasolina escenario 4 época lluviosa. ....	72
Figura 24. Resultado del software GNOME luego de 12 horas ocurrido el derrame de 500 gal de gasolina escenario 4 época lluviosa. ....	73
Figura 25. Resultado del software GNOME luego de 24 horas ocurrido el derrame de 500 gal de gasolina escenario 4 época lluviosa. ....	73
Figura 26. Resultado del software GNOME luego de 12 horas ocurrido el derrame de 1000 gal de diésel escenario 5 época lluviosa. ....	74
Figura 27. Resultado del software GNOME luego de 24 horas ocurrido el derrame de 1000 gal de diésel escenario 5 época lluviosa. ....	75

Figura 28. Resultado del software GNOME luego de 48 horas ocurrido el derrame de 1000 gal de diésel escenario 5 época lluviosa. ....	75
Figura 29. Resultado del software GNOME luego de 24 horas ocurrido el derrame de 2000 gal de fueloil 4 escenario 6 época lluviosa .....	76
Figura 30. Resultado del software GNOME luego de horas 48 ocurrido el derrame de 2000 gal de fueloil 4 escenario 6 época lluviosa. ....	77
Figura 31. Resultado del software GNOME luego de horas 72 ocurrido el derrame de 2000 gal de fueloil 4 escenario 6 época lluviosa. ....	77
Figura 32. Comparación de los derrames 500 gal gasolina, 1000 gal diésel, 2000 gal de fueloil 4 en época seca y época lluviosa. ....	78
Figura 33. Resultados de la matriz de Leopold del medio físico por subcomponentes tierra, atmosfera, y agua. ....	80
Figura 34. Resultados de la matriz de leopold del medio biótico por subcomponentes flora y fauna. ....	81
Figura 35. Resultados de la matriz de leopol del medio socio económico .....	81
Figura 36. Resultados de la matriz de Leopold del medio general.....	82
Figura 37. Proceso de degradación del petróleo.....	102
Figura 38. ubicación de los puntos de los derrames. ....	102
Figura 39. Frecuencia de vientos predominantes mes de marzo .....	103
Figura 40. Frecuencia de vientos predominantes mes de abril .....	103
Figura 41. Frecuencia de vientos predominantes mes de julio.....	104
Figura 42. Frecuencia de vientos predominantes mes de agosto .....	104
Figura 43. Velocidad de vientos predominantes mes de marzo .....	105
Figura 44. Velocidad de vientos predominantes mes de abril .....	105
Figura 45. Velocidad de vientos predominantes mes de julio.....	106

Figura 46. Velocidad de vientos predominantes mes de agosto .....	106
Figura 47. Temperatura superficial del aire mes de marzo .....	108
Figura 48. Temperatura superficial del aire mes de abril .....	107
Figura 49. Temperatura superficial del aire mes julio .....	108
Figura 50. Temperatura superficial del aire mes de agosto.....	108
Figura 51. Correo de la consulta a INOCAR por el uso de información.....	109
Figura 52. Correo de la respuesta de consulta por parte del INOCAR.....	109

## Resumen

El terminal portuario de Guayaquil se encuentra ubicado en la parte SO de Guayaquil, es uno de los puertos más grandes de Guayaquil, entre las actividades principales que desempeña está el comercio exterior, utilizan dentro de sus procedimientos de operación barcos remolcadores para la estiba y desestiba de los buques, por tal motivo exige la manipulación de hidrocarburos dentro de sus actividades, siendo estos la Gasolina, diésel, fueloil. Por tal, motivo se podría ocasionar un derrame en la zona, con la ayuda del software ADIOS 2 y GNOME se realizaron seis escenarios divididos en dos, tres para la época seca y tres para época lluviosa utilizando datos facilitados por los mismos softwares como el tipo del contaminante el cual incluirá su densidad y propiedades propias del contaminante, solo manipularemos la, temperatura, lugar y velocidad del viento, siendo el promedio de viento para la época seca en Guayaquil de 4m/s y en época lluviosa velocidades de 7 m/s, la mancha del hidrocarburo se alcanzó zonas con vegetación como es el manglar originario de zona siendo una especie protegida además de la fauna que habitan a sus alrededores, entre más fuerte sea la velocidad del viento el derrame se extenderá llegando alcanzar zonas más lejanas. Se determinó el impacto que los derrames simulados causarían a la flora y fauna que se encuentra cerca del terminal portuario, se utilizó la matriz de leopold para su analices debido a que la matriz es aplicable para todo tipo de proyecto o actividad.

Palabras claves: Hidrocarburos, pluma de contaminación, distribución, impacto, modelación.

### **Abstract**

Guayaquil port terminal is located in the SW part of Guayaquil, is one of largest ports in Guayaquil, among the main activities that it carries out is foreign trade tugboats for stowing and unload ships within their operating procedures for this reason requires the handling of hydrocarbons within its activities these being gasoline, diesel, fuel oil 4 the risk of an accident between ships or tugboats, such as. Cause a spill in the area why, with the help of ADIOS 2 and GNOME software, six scenarios were performed divided into two, three for the dry season and three for rainy season using data provided by the same software, such as the type of pollutant which will include its density and pollutant-specific properties. We will only manipulate the temperature, place and wind speed, being the average wind for the dry season in Guayaquil 4m/s and in rainy times speeds of 7m/s, the hydrocarbon stain will be understood and reached areas where we find vegetation such as mangrove originating in the area, being a protected space in addition to the fauna that inhabit its surroundings the stronger the wind speed, the spill will spread to farther area. The impact that simulated spills would have flora and fauna near the port terminal was determined. Leopold matrix was used for analysis because the matrix is applicable for all types of project or activity.

**Keywords:** Hydrocarbons, pollution pen, distributor, impact, modeling.

## 1. Introducción

Los hidrocarburos son considerados contaminantes que alteran la composición del agua afectando su calidad. Las descargas de petróleo ocurren a menudo en los océanos, ocasionando contaminación a largo plazo y formando una gran cantidad de capas comparadas como películas impermeables sobre el agua (Angulo, 2010). Los contaminantes como el petróleo, la gasolina, el diésel y aceites son calificados como tóxicos cuando se relacionan con el ambiente acuático, debido a las alteraciones que producen en los organismos y la composición natural del agua (Albers, 1994).

La mala manipulación en el transporte y explotación del petróleo es la causa de múltiples derrames. Cuando esto ocurre en el ambiente marino, su degradación se da por procesos físicos, químicos y biológicos, y se extienden rápidamente sobre la superficie del agua donde un metro cúbico de hidrocarburos afectará una hectárea de la superficie marina dividiéndose en varias manchas, la dirección que tome el hidrocarburo dependerá del tipo de hidrocarburo, la dirección del viento, temperatura, y el tipo de mareas, tiempo de exposición del contaminante, y la climatología de la zona de estudio (Lantanos, Graciela, Acuña, y Pucci, 2010).

Según el Committee on Oil in the Sea (2003), los hidrocarburos llegan a contaminar los diferentes cuerpos de aguas superficiales como los océanos, ríos, lagos, manglares por medio de las filtraciones que se dan naturalmente o derrames accidentales, colisiones y fugas de los buques tanques, por operaciones en las refinerías, lavado de sentinas, fugas de oleoductos, escurrimientos urbanos y municipales, por descargas de aguas contaminadas con hidrocarburos; pueden estar presentes en forma disuelta y dispersa, y cuando existen en altas concentraciones pueden afectar a las especies acuáticas.

La presente investigación busca la utilización de software libre en internet a través del cual se pueda obtener una visión clara de cómo se vería un derrame de petróleo en el muelle del terminal portuario de Guayaquil y sus posibles consecuencias.

### **1.1 Antecedentes del problema**

En el transcurso de los últimos años, se han presenciado grandes desastres medioambientales ocasionados por derrames de hidrocarburos en el mar (Hampton, Kelly, y Carter, 2003), como uno de los accidentes más grande de la historia ocasionado por Exxon Valdez, el cual generó grandes daños económicos y sobre todo ecológico, este derramó más de 40.000 litros de petróleo y mató más de 30.000 aves, entre otros organismos. Estos accidentes suelen ser muy frecuentes en lugares cerca de las costas y en diferentes puertos alrededor del mundo (Madariaga y Cabo, 2015).

En la obtención, transporte y refinación del hidrocarburo, se ha evidenciado grandes pérdidas, alrededor de 2,4 millones de barriles anuales descargados, debido a las fugas de diversas magnitudes y una mala manipulación, equivaliendo a 6.523 barriles por segundo mismos que son incorporados de manera directa al ambiente (Smail, Ainley, y Strong, 1971).

La manera en que el hidrocarburo altera a la fauna es variada, se ha estimado que solo un cuarto de las aves que han entrado en contacto con el hidrocarburo, llega a las orillas ya sea estas muertas o vivas, mientras que gran parte de las aves se hunden y mueren debido a que no pueden volar (Smail, Ainley, y Strong, 1971).

Según Plitt (2010), los derrames de hidrocarburos son causantes de contaminar diferentes cuerpos de agua (ríos, mares, esteros y manglares), ya que

en concentraciones altas afecta negativamente a la flora y fauna causando la muerte de varios microorganismos de vital importancia para la vida marina como el fitoplancton mismo que sirve como alimento de muchas especies.

La fauna marina es la más afectada, ya que dependen de las algas marinas, praderas marinas y arrecifes de coral, siendo las algas el principal alimento para las distintas especies que habitan el mar y estos viviendo en simbiosis con los corales teniendo el riesgo de morir al igual que las esponjas que son especies que viven fijas y no pueden movilizarse (Plitt, 2010).

El desarrollo de herramientas exploratorias facilita conocer el comportamiento general del sistema hidráulico enfocado a la movilización del petróleo, con la ayuda de simulaciones se intenta responder preguntas complejas, dispersión del contaminante la dirección del flujo de agua (Silva, Marin, y Delgado, 2014).

Cuando se pretende estimar aspectos más complejos del ecosistema, su productividad primaria o procesos a gran escala geográfica o temporal, el tiempo de residencia del hidrocarburo en el medio marino, la validación del modelo debe ser comprendida como un proceso interactivo que involucra más aspectos que la predicción de uno o dos variables, por lo que se recomienda para estos casos acompañarlo de un estudio de campo (Silva, et al., 2014).

## **1.2 Planteamiento y formulación del problema**

### **1.2.1 Planteamiento del problema**

Grandes cantidades de hidrocarburos son transportadas a diario a través de los mares, las posibilidades de que ocurra un derrame son altas siempre ocurren accidentes en alta mar en especial en las diferentes operaciones de carga y descarga en los puertos siendo considerado uno de los problemas principales la mala prácticas en manipulación del hidrocarburo otro aspecto en considerar son

las malas condiciones de los tanques en que son transportados o ductos donde son descargados (Echarri, 1998).

La mayoría de los derrames no solamente se dan en el mar, también se da en suelo que por medio de filtración llegan a afectar a costas cercanas, pero esto no evita que pueda ser afectadas cuerpos de agua más pequeños como ríos o esteros siendo esto, lugares donde habitan variedad de especies acuáticas y subacuáticas además de diferentes tipos de fauna como algas, manglares (Hampton, et al., 2003).

En el caso del petróleo al ingresar a un cuerpo de agua, este se esparce formando una película sobre la superficie del agua. El petróleo forma una región fuente, que se transforma en el tiempo, es independiente de la hidrodinámica del escurrimiento y va a depender de los efectos gravitatorios, inerciales y viscosos, este proceso se lo denomina dispersión mecánica (Fay, 1971).

Los modelos hidrodinámicos nos permiten establecer la prolongación y los alcances ocasionado por el derrame cediendo, el seguimiento y predicción de su evolución. Este tipo de herramientas se convierte de vital importancia a la hora de desarrollar planes de contingencia, y estudiar las posibles causas que pueda ocurrir al caso de producirse este tipo de problema. Permitiendo disminuir las catástrofes que producen estos vertidos en los diferentes cuerpos de agua (Corral, Vergara, Rubio y Lacarra, 2012).

Según Lonin (1999), la simulación numérica del derrame de los hidrocarburos adquiere importancia cuando se trata de pronosticar en tiempo y espacio la secuencia de espesores superficiales de estas sustancias y su trayectoria, con el objetivo a tomar medidas de remediación y/o mitigación de los efectos adversos sobre los ecosistemas. Por tal motivo, es posible encontrar en la literatura la

utilización de modelos numéricos que simulan el transporte de los contaminantes para distintos escenarios hidráulicos, por ejemplo, estuarios y costas, mar abierto y ríos, entre los más comunes (Wang, Shen y Zheng, 2005).

### **1.2.2 Formulación del problema**

¿Cuál es la posible distribución de hidrocarburos en el Estero Salado en la zona circundante al muelle del puerto marítimo de Guayaquil debido a un derrame y que impacto causaría a la flora y fauna que habitan cerca del lugar?

### **1.3 Justificación de la investigación**

El terminal portuario de Guayaquil alberga una gran parte de la economía de Guayaquil, debido al tráfico marítimo que a diario se puede referenciar en la zona, rodeado por una inmensa vegetación, en sus aguas se puede encontrar una fauna muy diversificada motivo por el cual se convierte en una zona vulnerable para algún tipo de accidente que se relacione con hidrocarburo.

se debe recalcar que el trabajo de investigación nos referiremos a la contaminación de las aguas superficiales por hidrocarburos y en especial a la del medio marino. Se debe considerar también que existen muchos más contaminantes que pueden afectar la composición del estero y los diferentes cuerpos de aguas siendo esto los derivados de hidrocarburos como aceites quemados, diésel, gasolina, aguas residuales de industrias y residuos de ganadería que no forman parte de este estudio.

Se considera que el 85% al 90% de hidrocarburos que se encuentran en el mar son ocasionados por el transporte, limpieza de depósitos y sentinas; derrames en pequeñas escalas o mediana, cuando el petróleo y sus derivados se han introducido al ambiente afectan a los organismos vivos y producen efectos

adversos que va a depender del derivado de hidrocarburo y el tiempo que se encuentre expuesto (Santana, 2010).

#### **1.4 Delimitación de la investigación**

- **Espacio:** Zona circundante al muelle del terminal portuario de Guayaquil cuyas coordenadas de referencias son X: 619007m E, Y: 9751548 m S están registradas en el sistema UTM WGS 17 S (ver anexo figura 38 ).
- **Tiempo:** el presente trabajo se realizará en un lapso de seis meses.
- **Población:** Macro invertebrados y Manglares en la zona circunstancial al Puerto de Guayaquil.

#### **1.5 Objetivo general**

Evaluar la pluma de contaminación y la distribución mediante simulaciones computarizadas en diferentes escenarios de derrame de hidrocarburos en el Estero Salado de Guayaquil en una zona circundante al muelle del terminal portuario de Guayaquil.

#### **1.6 Objetivos específicos**

- Estimar la distribución de la cantidad del contaminante de un derrame de hidrocarburos mediante el uso de simuladores libres, en la zona del muelle del terminal portuario de Guayaquil.
- Determinar la dirección y distancia de la pluma de contaminación de los escenarios de simulados, derrames de hidrocarburos mediante resultados computarizados obtenidos y revisión bibliográfica.
- Estimar los posibles impactos ambientales en una matriz de leopold causados por diferentes derrames de hidrocarburos a través de los resultados obtenidos y revisión bibliográfica.

## **1.7 Hipótesis**

El esparcimiento de un derrame de hidrocarburos en aguas superficiales se distribuye ampliamente en el Estero Salado afectando a Macroinvertebrados y Manglares de la zona.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Estado del arte

Schiaffino (2016), menciona que la mayor parte de los derrames por hidrocarburos se dan por su transporte o abastecimiento sea esto en crudo o refinados (combustibles). Este tipo de problema siempre ha estado presente desde que se empezó a utilizarlos industrialmente. En los años 1995 y 1998 el centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas (CIOH) en convenio con COLCIENCIAS, tuvo la idea de desarrollar un proyecto de investigación el que consistía en la modelación numérica de la circulación costera. El estudio analizaba el recorrido y transporte de sustancias pequeñas y partículas contaminantes en el litoral. El objetivo de este proceso fue que por medio de herramientas informáticas, pronosticar el recorrido de los hidrocarburos derramados en las costas, ríos y mares (Lonin, 1997).

Cuando se produce un derrame de hidrocarburo en el cuerpo de agua, ocurren diferentes procesos de transporte físicos y químicos que, de manera relacionada debido a circunstancias climatológicas y topográficas que haya en la zona, especifican el comportamiento del derrame en el tiempo y en el espacio (Mazorca y Perea, 2017).

Echarri (1998), revela que las especies que pasan la noche en el mar son las más afectadas considerando que no importa la manera en que el agua sea contaminada siempre se verán afectadas, los ecosistemas, además debido a la bioacumulación que sufren las especies acuáticas. Los peces poseen alta capacidad de bioacumulación, este proceso corresponde a la acumulación de sustancias químicas y el incremento de mercurio en sus tejidos, presentes en

todos los niveles tróficos de consumidores y así llegando afectar al ser humano (Maurice y Quiroga, 2002)

Cada año toneladas de hidrocarburos son transportadas vía fluvial, ocurriendo derrames en alta mar y pérdidas de los hidrocarburos por las cargas y descargas en los diferentes puertos debido a las malas prácticas. También por los tanques cisterna que son utilizados como lastre y son regresadas al mar, pero contaminadas con hidrocarburos (Hidalgo, 2009). Sin embargo, los diferentes ecosistemas marinos que se encuentran expuestos a grandes cantidades de petróleo crudo requieren 3 años para poder recuperarse al igual que los ecosistemas marinos infectados por petróleo refinado, requieren de 10 años o más para su recuperación, el hidrocarburo derramado en el mar es degradado por bacterias originarias del mar (Hidalgo, 2009).

Según Hidalgo (2009), un ejemplo de derrames de hidrocarburos, más catastróficos fue el accidente que sufrió la embarcación Barbe Florida en Cabo en 1969. Evidenció muestras de petróleo en los sedimentos marinos y en tejidos de algunos animales marinos, habiendo ya pasado 20 años desde que ocurrió el accidente. El petróleo derramado en el mar es degradado por procesos muy lento por bacterias, que puede llevar años para su biorremediación. Es decir, los modelos algorítmicos hidrodinámicos son ampliamente utilizados para el estudio del comportamiento de un hidrocarburo al entrar en contacto con aguas superficiales ya sea accidental o naturalmente (Henderson, Gamito, Karakassis, Pederso, y Smaal, 2001).

La utilización de los modelos permite saber el comportamiento general del hidrocarburo en el ecosistema. Así como, su dinámica y los cambios que sufre al estar por cierto tiempo en contacto con el agua. Éstos facilitan realizar medidas

de contingencia, permitirán simular la dinámica del contaminante o del cuerpo de agua en diferentes ecosistemas, los modelos hidrodinámicos son utilizados para simular una respuesta de un ecosistema propenso a contaminación, pues brinda diversas opciones para una adecuada gestión, facilitando la evaluación de los impactos ya sean naturales o antrópicas (Henderson, et al., 2001).

Según Oreskes, Shrader, Frechette, y Belitz, (1994), los modelos hidrodinámicos ayudan mediante simulaciones virtuales a estudiar los diferentes procesos y cambios que los hidrocarburos presentan en los ecosistemas acuáticos, teniendo como referencia tres elementos fundamentales:

- Patrones tridimensionales de la geometría del fondo.
- La batimetría.
- Ecuaciones de estado que ayudaran a simular el comportamiento de un líquido en los límites físicos que impone la batimetría.

Cozumel uno de los puertos del mar Caribe que posee el mayor tráfico de buques de Crucero, gracias a las fuertes corrientes del Norte y su ubicación dentro del canal de Cozumel es propenso a derrames accidentales de hidrocarburo por este motivo puede extenderse rápidamente a otras zonas del Golfo de México, se demostró mediante análisis estadístico y la utilización del software GNOME se realizó diez simulaciones teniendo en cuenta la dirección del viento y el tipo de vertido derramado utilizando los resultados del trabajo para el desarrollo de un Plan de Contingencia de vertidos de hidrocarburos para el puerto de Cozumel (Gomez , 2019).

Petromar en su versión 1.2, es una aplicación que fue creada como un modelo determinista para simular la trayectoria de manchas de petróleo en alta mar profundo y lejos de la costa, con posibilidades de incluir dominios con una

batimetría compleja de la plataforma insular cubana, el modelo utiliza una perspectiva lagrangiano para simular los procesos físicos que se desarrollan en la mancha, siendo este: el esparcimiento, la advección, la difusión y la interacción con la línea de costa. Se utilizó el esquema de Elementos Finitos para la modelación numérica, caracterizado por brindar algunas ventajas operativas y una gran eficiencia en el cálculo (Amílcar , et al., 2015).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Advección**

Es el proceso físico que implica el traslado de la mancha de hidrocarburos, influenciado en primer lugar por la corriente del cuerpo de agua, el viento y el oleaje (Guo y Wang, 2009).

### **2.2.2 Dispersión**

Fundamentalmente es la fragmentación de la mancha en pequeñas gotas menores al ser suficientemente pequeñas, permanecen en suspensión y se mezclan con la columna de agua y este se detiene cuando el grosor de la mancha es lo suficientemente delgado y favoreciendo que tenga lugar la biodegradación y la sedimentación (Otero, *et. al.* (2014).

### **2.2.3 Evaporación**

Es el proceso que surge desde el momento mismo en que los hidrocarburos entran en contacto con el medio ambiente, generando cambios en la masa y características físico-químicas del producto vertido (Guo y Wang, 2009). Esto Dependerá de la dirección del viento, temperatura, área de recorrido de la mancha y tipo de hidrocarburo (Yapa, Shen, y Angamma, 1994).

### 2.2.4 Disolución

La rapidez y el grado en que un petróleo se disuelve depende de su composición, extensión de la mancha, temperatura del agua, turbulencias y grado de dispersión. Los componentes más pesados del crudo son virtualmente insolubles en agua de mar, mientras que los más ligeros, particularmente los hidrocarburos aromáticos tales como benceno y tolueno, son ligeramente solubles (Aitor, 2015).

### 2.2.5 Hidrocarburo

Un hidrocarburo es un compuesto químico formado por Carbono e Hidrogeno, estos se dividen en dos clases que son los hidrocarburos alifáticos y aromático (Latorre, 2018).

### 2.2.6. Grados API.

Según (Flores Núñez, 2019), los grados API (American Petroleum Institute), es una medida especial utilizada para conocer la densidad (gravedad específica) de los hidrocarburos dándonos conocer que tan pesados o livianos son teniendo así la siguiente clasificación:

**Tabla 1. Grados API**

<b>Clasificación</b>	<b>°API</b>
Condensados	>40
Livianos	30 – 39.9
Medios	20 – 29.9
Pesados	10 – 19.9
extra pesados	<10

Anchundia,2020

### **2.2.7 Crudos**

Son mezclas de hidrocarburos que cuentan con pesos y estructuras moleculares; estos hidrocarburos van desde sustancias simples altamente volátiles hasta ceras complejas y compuestos alifáticos que no pueden ser destilados (Latorre, 2018).

### **2.2.8 Aceites lubricantes**

Son aceites muy refinados donde la densidad específica y viscosidad cabían considerablemente según su utilización. Estos aceites se utilizan con un gran número de aditivos, muchos de los cuales son compuestos tenso activos. Ciertos aceites contienen aditivos tóxicos siendo un peligro para la salud del hombre (Latorre, 2018).

### **2.2.9 Diseminación**

Consiste en uno de los procesos más significativos en las primeras etapas de un vertido. Siendo la principal fuerza impulsora de la diseminación inicial del petróleo su peso. Por lo tanto, un gran derrame instantáneo se extenderá más rápidamente que un vertido lento (Latorre, 2018).

### **2.2.10 Emulsificación**

Muchos petróleos tienden a absorber agua, formando emulsiones de agua y petróleo que pueden incrementar el volumen del contaminante por un factor entre 3 y 4. Dichas emulsiones son frecuentemente extremadamente viscosas, por lo que otros procesos de degradación que disiparían el petróleo son retardados (Latorre, 2018).

### **2.2.11 Expansión**

Proceso más significativo en la etapa inicial del vertido. Producido por la gravedad, es el proceso por el que el hidrocarburo se extiende sobre la superficie

del mar, siendo la densidad del hidrocarburo y las circunstancias ambientales las principales variables que harán que el vertido se distribuya de una manera u otra (Ramírez, 2017).

#### **2.2.12 Sedimentación**

Existen una variedad de productos como los refinados pesados cuyas densidades es superiores a la unidad, por lo que se hundirán si son derramados en aguas continentales o salobres. Sin embargo, en agua marina, con densidad ligeramente superior, pocos son los crudos lo suficientemente densos o han envejecido lo bastante como para que sus residuos sedimenten (Ramírez, 2017).

#### **2.2.13 Oxidación**

Surge en las primeras etapas del vertido, normalmente, después de la evaporación. Este proceso se ve favorecido por la radiación solar, aunque resulta un mecanismo de degradación extremadamente lento (oxidación inferior al 0,1% en volumen por día, en condiciones óptimas) (Ramírez, 2017).

#### **2.2.14 Comportamiento del petróleo en el agua**

El petróleo está formado por un sin número de compuestos, en su totalidad hidrocarburos. Al producirse un derrame de hidrocarburo en estado líquido al mar, este cubre la superficie formando una capa fina, inferior a 0.1mm de espesor esta capa oleosa, se desliza siguiendo la trayectoria del viento. La velocidad con la que se va a desplazar y su espesor, de las características del hidrocarburo y de la temperatura del mar. Los hidrocarburos de menor densidad tienden a expandirse más rápido debido a esto se forma una capa más fina a diferencia de los hidrocarburos pesados. Poniendo como ejemplo al derramarse petróleo crudo, un metro cúbico puede llegar a formar, en hora y media, una mancha de 100m de diámetro y 0.1mm de espesor, al entrar en contacto con el medio marino, los

hidrocarburos pasan por diferentes transformaciones. Sus propiedades físico-químicas cambian a lo largo del tiempo: y esto es conocido como proceso de envejecimiento o degradación (Figura 3), (Comerma, 2004).

El hidrocarburo al entrar en contacto con el agua, los componentes que contienen un bajo peso molecular, siendo esto los más tóxicos de los hidrocarburos y estos se evaporan rápidamente. Los hidrocarburos evaporados son descompuestos por fotooxidación en la atmósfera. Parte del vertido que queda en el agua (de uno a dos tercios), pasa por el proceso de fotooxidación, la parte restante pasa por dispersión vertical, disolviéndose en la columna de agua inferior a la capa del vertido debido principalmente al efecto de las olas rompientes, mientras las gotitas oleosas dispersas tienden a volver a la superficie o a ser dispersadas por las fuerzas de flotabilidad. Las gotas más grandes emergen enseguida, mientras que las gotas más pequeñas suelen ser enviadas por las corrientes a lugares muy lejanos llevando la contaminación a expedirse a lugares lejanos (Corral, et al., 2012).

Los hidrocarburos forman una sustancia gelatinosa que contienen agua y aceite que se convierte en bolas de alquitrán densas, semisólidas. la viscosidad del hidrocarburo siendo las condiciones más importantes para la formación de emulsiones, ocurriendo que la emulsión permanezca cinco días después del derrame sea el doble del volumen derramado. Los vertidos de hidrocarburos también son afectados por la biodegradación, proceso extremadamente lento pero importante a largo plazo, cuando el hidrocarburo penetra diferentes cuerpos pudiéndose hundir siendo esto un proceso propio del hidrocarburo llamado sedimentación (Comerma, 2004).

### 2.2.13 Simuladores.

Los simuladores fueron creados para visualizar y conocer las posibles consecuencias de un suceso, esto, se generó a raíz de mantener controlados los riesgos que pueden existir en muchos procesos y trabajos realizados por el hombre, su vez crear estrategias que permitan mitigar los posibles efectos negativos (Valdés, Ortega, y Consuegra, 2019).

### 2.2.14 ADIOS2

Consulta de datos automatizada para derrames de petróleo O Automated Data Inquiry For The Oil Spills por sus siglas en inglés, que permite la modelación de derrames de petróleo en un lapso de cinco días, fue creado por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). Procesos como la biodegradación y la fotooxidación que también forman parte de los derrames no son modelados por este software (Nezhad, Groppi, Laneve, Marzialetti, y Piras, 2018).

El software nos facilita datos del tipo de contaminante a elegir, cuenta con una biblioteca de más de mil tipos de aceites, para nuestro trabajo de investigación se tomó en cuenta cuatro de ellos que fueron establecidos para nuestro país figura 1.

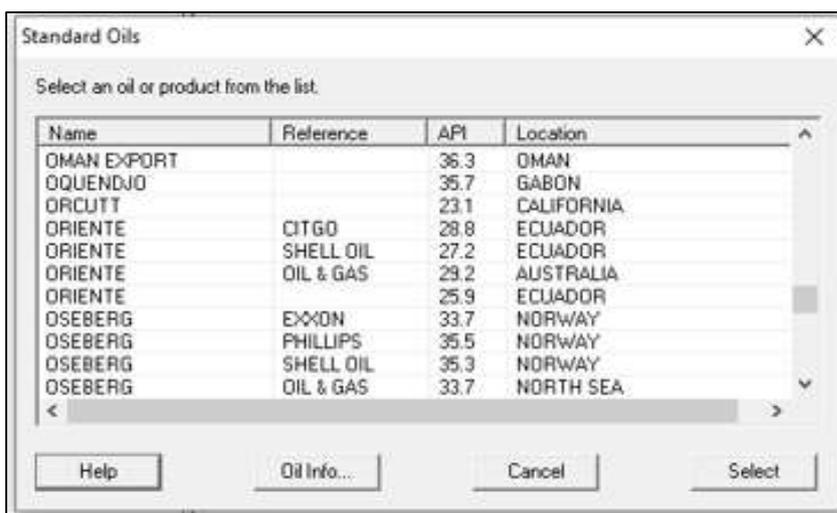


Figura 1. Biblioteca tipos de hidrocarburos software ADIOS 2 Anchundia, 2020

Esta herramienta se la puede usar en ordenadores que tengan el sistema operativo Macintosh y Windows (Marín, 2010).

### **2.2.15 GNOME**

Al igual que ADIOS2, es una herramienta creada por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), misma que utiliza vientos, corrientes y difusión para mover partículas y generar una trayectoria pronosticada de un derrame (Duran, et al., 2018).

El software GNOME se puede trabajar en dos maneras en modo estándar y diagnóstico, el modo estándar nos ayudara a modelar los escenarios con ayuda de un asistente que nos realizara preguntas referentes al derrame para ayudarlo a configurar. El tipo de preguntas que realizara el asistente depende de la región específica que se modela. Siempre se proporciona ayuda detallada para cada pregunta del Asistente (NOAA, 2020).

Para nuestro trabajo utilizaremos el modo diagnóstico de GNOME, este modo nos permitirá crear nuestros propios archivos de ubicación de la zona que necesitemos, nuestro archivo de ubicación estará compuesto de lo siguiente:

- un mapa vectorial de la costa.
- una estimación de la mezcla de remolinos.
- una salida del modelo hidrodinámico para las corrientes.
- una previsión de viento y corriente

El archivo de ubicación se originará por medio de una herramienta en línea llamada GOOD (Servidor de datos oceanográficos en línea de GNOME), esta herramienta nos ayuda a acceder a una base de datos de mapas, corrientes y vientos disponibles que son públicas además de varios modelos y fuentes de

datos. Los archivos se descargarán de manera y formato apropiado que se pueden leer directamente en GNOME (NOAA, 2020).

### **2.2.16 Riesgo**

Es aquella probabilidad de que se dé un contratiempo, dentro del contexto es aquella posibilidad de que ocurra un derrame de hidrocarburo (French-McCay, et al., 2018).

### **2.2.17 Contaminación del agua**

La contaminación en el recurso agua, se muestra como la presencia de sustancias que alteran la composición natural del agua causando así efectos negativos directamente sobre su calidad, tanto para consumo humano como de los demás seres vivos que se benefician del recurso (Vidal y Mendoza, 2018).

Actividades realizadas por el ser humano encaminadas por el crecimiento de la demanda traen consigo problemas graves de contaminación de los recursos en especial del agua (Gastañaga, 2018).

Aproximadamente el 29% de la población humana que vive cerca de la red de tuberías ha estado potencialmente expuesta a la contaminación por petróleo, de las cuales 565,000 personas viven en sectores de alta o muy alta intensidad de derrame (Obida, Blackburn, Whyatt, y Semple, 2018).

### **2.2.18 Pluma de contaminación**

La pluma de contaminación se define con aquella contaminación presente en un determinado lugar (agua, suelo o aire), misma que puede expandirse o reducirse en el medio donde se encuentre (Palavecino, 2019)

### **2.2.19 Fauna y flora en el Estero Salado**

El estero Salado situado en la ciudad de Guayaquil posee una gran variedad de fauna y flora, debido a que se encuentra cerca de una entrada de agua de

mar. Dentro de la flora encontramos principalmente a los manglares, mismos que a su vez presentan variedad manteniendo hasta cinco especies, el *Rhizophora mangle*, *Rhizophora harrisonii*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*. Adicionalmente, encontramos otro tipo de vegetación como lo son matorrales, bosque seco y algunas especies de palmas como la *Roystonea oleracea* (Hilgert, 2011).

Debido a la variedad de árboles en las riveras del estero se encuentran también diversidad en cuanto a la avifauna, conociéndose aproximadamente 120 especies entre las cuales se mencionan el colibrí (*Amacilia ventriryvfa*), Matraca (Martin-Pescador gigante), cangrejera (Ivis Blanco), garceta tricolor, garceta estriada, entre otras. El mundo acuático del estero también se puede encontrar variedad de fauna como lo son peces, moluscos y crustáceos los cuales durante muchos años han servido de sustento de los asentamientos aledaños al Estero (Flores, 2017).

#### **2.2.20. Matriz de Leopold**

La matriz de Leopold es utilizada para evaluar los impactos ambientales causados ya sea por una construcción o actividad a realizarse contiene, cuadros de doble entrada de relación causa-efecto. Es una matriz sistematizada, es utilizada desde 1971 por Luna Leopold en conjunto con investigadores norteamericanos (Gomez V. , 2019).

Se considera como un método sencillo de utilizar y de bajo costo y se lo puede utilizar para cualquier tipo de proyecto. La matriz de Leopold es un método muy utilizado nos permite una primera respuesta para la estimación de los posibles impactos ambientales (Gomez V. , 2019).

### Ventajas

- Es una metodología que tiene un bajo costo para su estructuración.
- Es un método de aplicación inicial para una primera aproximación.
- Es utilizada para todo tipo de proyectos que involucren posibles problemas ambiental.

### Desventaja

- La decisión al interpretar los impactos, así como en la asignación de magnitud e importancia, es una de su mayor desventaja.
- No estima una línea temporal del impacto, por lo que no diferencia entre efectos a corto, mediano o largo plazo.
- la probabilidad de que ocurra o no realmente el impacto, no es 100% ya que es una probabilidad de que ocurra.

### **2.2.21. Impactos causados por derrames hidrocarburos a los ecosistemas.**

Según Miranda & Restrepo 2005, el impacto que causa un derrame de hidrocarburo es comparado al de una tela cuando se halla una hebra. Se podrá observar que no sufre cambio, pero cada vez que el hilo se recoge, se podrá observar que el tejido cada vez estará más flojo teniendo como resultado una tela deshecha y no se tendrá una marcha atrás y recomponerla.

El ecosistema es la tela, siendo las redes los animales y plantas lo cuales dependen de la existencia de uno del otro. Si llegase a sucederle algo, ya sea a la flora o fauna y el proceso ecológico se interrumpe de forma permanente, el ecosistema se desequilibra irreversiblemente, generando efectos impredecibles para la biodiversidad (Miranda & Restrepo, 2005).

#### **2.2.22. Impactos en el agua**

La contaminación por hidrocarburo a diferentes cuerpos de agua puede ser de manera puntual sistemática, la consecuencia que causara al ambiente dependerá del tipo y cantidad que se derrame, la gasolina y el diésel se evaporan muy rápido, por el cual. Se dificulta su manejo a diferencia de los crudos que permanecen mucho más tiempo en el agua (Ortiz & Silva, 2019)

#### **2.2.23. Impactos en el aire**

Generan un impacto directo a la calidad del aire en partes abiertas, se las ha relacionado con enfermedades respiratorias y alergias debido a las emisiones causadas por agentes ambientales estos suelen ser los óxidos de nitrógeno y azufre, las partículas en suspensión, ozono, metales, compuestos orgánicos volátiles (Ortiz & Silva, 2019)

#### **2.2.24. Impactos en el suelo**

El daño que causa los derrames de hidrocarburos al suelo, quebranta el rendimiento de fertilidad del suelo, al rendimiento de cosechas y llegando a ser perjudiciales para los seres humanos y el ecosistema entero. Cada lugar afectado tiene su particularidad, en la temperatura, pH, humedad (Ortiz & Silva, 2019).

#### **2.2.25. Impactos a la flora y fauna.**

Según Gonzáles y otros, 2011 reporto que los efectos que sufren los peces son letales, el hidrocarburo entra por sus branquias impidiéndole ingresar oxígeno, muriendo por asfixia siendo de igual manera muy vulnerables los crustáceos, aves.

Los manglares, debido a su alta productividad y abundante detritus orgánico, los vuelven vulnerables para que los hidrocarburos se acumulen, estudios en

suelos de manglar de china afirman que la concentración de HPA, (Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos) mostró una fuerte correlación con el contenido de carbono orgánico (Hernandez, Eugenia, & Gloria, 2007).

#### **2.2.26. Efectos de la contaminación por petróleo en las formas de vida marina.**

Las aves padecen Perdida de la impermeabilidad en su plumaje; dificultándoles volar, produciendo efectos tóxicos al ingerir el petróleo en actividades de auto limpieza. Problemas patológicos, como degeneración del hígado atrofia del páncreas neumonía lípido produciéndole la muerte lentamente (Rodriguez, 2004).

Los mamíferos como en el caso de las aves, los mamíferos pierden la impermeabilidad, sufren la restricción de la movilidad lo cual origina que estén más expuestos a la cacería y a la predación (Rodriguez, 2004).

En los peces el petróleo ocasiona efectos muy variados; el más obvio es el efecto letal producido por las altas concentraciones, pero, aparentemente cantidades altamente tóxicas esto ocurre en las cercanías de manchas mayores o cuando el derrame ha ocurrido en áreas cerradas. Más significativos son los efectos, los cuales pueden cambiar las costumbres de migración o reproducción de las especies o pérdida del equilibrio fisiológico de los individuos (Rodriguez, 2004).

#### **2.2.27. Clima de Guayaquil**

El promedio mensuales en temperatura para Guayaquil en época lluviosa es de 26 °C y en la época seca temperaturas de 24 °C, los vientos en Guayaquil son irregulares con direcciones más habituales SW, W, S velocidades promedio de 3 m/s en época lluviosa y un promedio en época seca de 6m/s (Gálvez & Regalado, 2007).

Esta información se la verifíco con datos climatológicos aportados por el INOCAR (instituto oceanográfico y antártico de la armada) obtenidos de la estación meteorológica de la facultad de Ciencias Naturales del año 2019 ver figuras desde la 39 a la 49 en anexo.

#### **2.2.28. Estero el muerto.**

Es un ramal del Río Guayas sus aguas se extienden al sector Sur oeste de la Ciudad. al norte se comunica con la Ciudad de Guayaquil y al Sur con el Estero Salado, al oeste con el Estero Santa Ana y hacia el este con la planicie que se amplifica hasta la ribera del Río Guayas. Tiene aproximadamente 200 m. de ancho, y 9 Km de longitud, toma la influencia de la porción superior del Estero Salado al Nornoroeste de la Ciudad, así como los ramales exteriores del mismo. Es la vía de acceso a las instalaciones del Puerto marítimo de Guayaquil, Dique Naval Cartonera y Fertiza (Rodríguez, 2004).

El Puerto Marítimo de Guayaquil, se encuentra envuelto por una serie de esteros adyacentes, a unos 1.200 mts. Del Puerto se localiza el sistema denominado “Esclusas” el mismo que es utilizado como intercambiador de dos masas de aguas, una que es salobre naciente del Río Guayas, y la otra salada proveniente de los Esteros a través de este procedimiento se efectúa un tráfico diario de embarcaciones menores hacia los diferentes poblados.

## 2.3 Marco legal

### 2.3.1 Ley de la Constitución de la República del Ecuador

#### TÍTULO II

#### DERECHOS

##### Capítulo segundo

##### Derechos del buen vivir

##### Sección primera

##### Agua y alimentación

**Art. 12.-** El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

**Art. 13.-** Las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

##### Sección segunda

##### Ambiente sano

**Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

#### TÍTULO V

#### ORGANIZACIÓN TERRITORIAL DEL ESTADO

##### Capítulo cuarto

##### Régimen de competencias

**Art. 261.-** El Estado central tendrá competencias exclusivas sobre:

11. Los recursos energéticos; minerales, hidrocarburos, hídricos, biodiversidad y recursos forestales (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

##### Capítulo quinto

Sectores estratégicos, servicios y empresas públicas

**Art. 313.-** El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia.

Los sectores estratégicos, de decisión y control exclusivo del Estado, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia

económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social.

Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico, el agua, y los demás que determine la ley (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

#### **Sección cuarta**

##### **Recursos naturales**

**Art. 408.-** Son de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado los recursos naturales no renovables y, en general, los productos del subsuelo, yacimientos minerales y de hidrocarburos, sustancias cuya naturaleza sea distinta de la del suelo, incluso los que se encuentren en las áreas cubiertas por las aguas del mar territorial y las zonas marítimas; así como la biodiversidad y su patrimonio genético y el espectro radioeléctrico.

Estos bienes sólo podrán ser explotados en estricto cumplimiento de los principios ambientales establecidos en la Constitución.

El Estado participará en los beneficios del aprovechamiento de estos recursos, en un monto que no será inferior a los de la empresa que los explota.

El Estado garantizará que los mecanismos de producción, consumo y uso de los recursos naturales y la energía preserven y recuperen los ciclos naturales y permitan condiciones de vida con dignidad (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

#### **Sección sexta**

##### **Agua**

**Art. 411.-** El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

**Art. 412.-** La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque eco sistémico (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

### **2.3.2 Convenios internacionales**

**Convenio sobre la diversidad biológica:** Realizado en 1992, el cual Regula la conservación y utilización sustentable de la biodiversidad y sus

componentes, y establece la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos asociados, reconociendo el derecho soberano que ejercen los Estados sobre sus recursos biológicos (Registro Oficial 647, 1995).

**Protocolo de Kyoto (2000):** Herramienta Internacional que suscita la aplicación de medidas que tiendan a estabilizar y reducir las concentraciones de GEI en la atmosfera (Ministerio del ambiente, 2016).

### 2.3.3 Código Orgánico del Ambiente

#### **CAPITULO II DEL SISTEMA NACIONAL DE AREAS PROTEGIDAS**

**Art. 54.-** De la prohibición de actividades extractivas en áreas protegidas y zonas intangibles. - Se prohíben las actividades extractivas de hidrocarburos y minería no metálica dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas y en zonas declaradas como intangibles, incluida la explotación forestal, salvo la excepción prevista en la Constitución, en cuyo caso se aplicarán las disposiciones pertinentes de este Código.

Se prohíbe todo tipo de minería metálica en cualquiera de sus fases en áreas protegidas, centros urbanos y zonas intangibles (Registro Oficial Suplemento 983, 2017).

### 2.3.4 Código Civil

**Art. 54.-** De la prohibición de actividades extractivas en áreas protegidas y zonas intangibles. - Se prohíben las actividades extractivas de hidrocarburos y minería no metálica dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas y en zonas declaradas como intangibles, incluida la explotación forestal, salvo la excepción prevista en la Constitución, en cuyo caso se aplicarán las disposiciones pertinentes de este Código.

Se prohíbe todo tipo de minería metálica en cualquiera de sus fases en áreas protegidas, centros urbanos y zonas intangibles (Registro Oficial Suplemento 983, 2017).

**Art. 2.-** El Estado explorará y explotará los yacimientos señalados en el artículo anterior en forma directa a través de las Empresas Públicas de Hidrocarburos. De manera excepcional podrá delegar el ejercicio de estas actividades a empresas nacionales o extranjeras, de probada experiencia y capacidad técnica y económica, para lo cual la Secretaría de Hidrocarburos podrá celebrar contratos de asociación, de participación, de prestación de servicios para exploración y explotación de hidrocarburos o mediante otras formas contractuales de delegación vigentes en la legislación ecuatoriana. También se

podrá constituir compañías de economía mixta con empresas nacionales y extranjeras de reconocida competencia legalmente establecidas en el País (Registro Oficial Suplemento 46, 2005).

### **2.3.5 Ley de hidrocarburos.**

**Art. 3.-** El transporte de hidrocarburos por oleoductos, poliductos y gasoductos, su refinación, industrialización, almacenamiento y comercialización, serán realizadas directamente por las empresas públicas, o por delegación por empresas nacionales o extranjeras de reconocida competencia en esas actividades, legalmente establecidas en el país, asumiendo la responsabilidad y riesgos exclusivos de su inversión y sin comprometer recursos públicos, según se prevé en el tercer inciso de este artículo (Registro Oficial 711, 2011).

**Art. 5.-** Los hidrocarburos se explotarán con el objeto primordial de que sean industrializados en el País.

### **2.2.6 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua**

#### **Capítulo III**

#### **Derechos de la naturaleza**

**Art. 64.-** Conservación del agua. La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida. En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

- a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares;
- b) El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad;
- c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico;
- d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación; y,
- e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos (Registro Oficial N° 305, 2014).

### **2.3.7 decreto ejecutivo 1215.**

**Art. 12.-** Monitoreo ambiental interno. - Los sujetos de control deberán realizar el monitoreo ambiental interno de sus emisiones a la atmósfera, descargas líquidas y sólidas, así como de la remediación de suelos y/o piscinas contaminados.

### CAPITULO III

#### DISPOSICIONES GENERALES

**Art. 13.-** Presentación de Estudios Ambientales. - Los sujetos de control presentarán, previo al inicio de cualquier proyecto, los Estudios Ambientales de la fase correspondiente de las operaciones a la Subsecretaría de Protección Ambiental (SPA) del Ministerio de Energía y Minas (MEM) para su análisis, evaluación, aprobación y seguimiento, de acuerdo con las definiciones y guías metodológicas establecidas en el Capítulo IV de este Reglamento y de conformidad con el marco jurídico ambiental regulatorio de cada contrato de exploración, explotación, comercialización y/o distribución de hidrocarburos. Los estudios ambientales deberán ser elaborados por consultores o firmas consultoras debidamente calificadas e inscritas en el respectivo registro de la Subsecretaría

de Protección Ambiental (Registro Oficial 265, 2010).

Para el desarrollo de las actividades hidrocarburíferas, deberán presentar a la Subsecretaría de Protección Ambiental (SPA) por intermedio de la Dirección Nacional de Protección Ambiental Hidrocarburífera el Diagnóstico Ambiental - Línea Base o la respectiva actualización y profundización del mismo, los Estudios de Impacto Ambiental y los complementarios que sean del caso.

**Art. 25.-** Manejo y almacenamiento de crudo y/o combustibles. - Para el manejo y almacenamiento de combustibles y petróleo se cumplirá con lo siguiente:

a) Instruir y capacitar al personal de operadoras, subcontratistas, concesionarios y distribuidores sobre el manejo de combustibles, sus potenciales efectos y riesgos ambientales, así como las señales de seguridad correspondientes, de acuerdo a normas de seguridad industrial, así como sobre el cumplimiento de los Reglamentos de Seguridad Industrial del Sistema PETROECUADOR vigentes, respecto al manejo de combustibles;

b) Los tanques, grupos de tanques o recipientes para crudo y sus derivados, así como para combustibles se regirán para su construcción con la norma API 650, API 12F, API 12D, UL 58, UL 1746, UL 142 o equivalentes, donde sean aplicables, deberán mantenerse herméticamente cerrados, a nivel del suelo y estar aislados mediante un material impermeable para evitar filtraciones y contaminación del ambiente, y rodeados de un cubeto técnicamente diseñado para el efecto, con un

volumen igual o mayor al 110% del tanque mayor;

c) Los tanques o recipientes para combustibles deben cumplir con todas las especificaciones técnicas y de seguridad industrial del Sistema PETROECUADOR, para evitar evaporación excesiva, contaminación, explosión o derrame de combustible. Principalmente se cumplirá la norma NFPA-30 o equivalente;

- d) Todos los equipos mecánicos tales como tanques de almacenamiento, tuberías de productos, motores eléctricos y de combustión interna estacionarios, así como compresores, bombas y demás conexiones eléctricas, deben ser conectados a tierra;
- e) Los tanques de almacenamiento de petróleo y derivados deberán ser protegidos contra la corrosión a fin de evitar daños que puedan causar filtraciones de petróleo o derivados que contaminen el ambiente;
- f) Los sitios de almacenamiento de combustibles serán ubicados en áreas no inundables. La instalación de tanques de almacenamiento de combustibles se realizará en las condiciones de seguridad industrial establecidas reglamentariamente en cuanto a capacidad y distancias mínimas de centros poblados, escuelas, centros de salud y demás lugares comunitarios o públicos;
- g) Los sitios de almacenamiento de combustibles y/o lubricantes de un volumen mayor a 700 galones deberán tener cunetas con trampas de aceite. En plataformas offshore, los tanques de combustibles serán protegidos por bandejas que permitan la recolección de combustibles derramados y su adecuado tratamiento y disposición; y,
- h) Cuando se helitransporten combustibles, se lo hará con sujeción a las normas de seguridad OACI.

**Art. 28.-** Manejo de desechos en general:

- a) Reducción de desechos en la fuente. - Los Planes de Manejo Ambiental deberán incorporar específicamente las políticas y prácticas para la reducción en la fuente de cada una de las categorías de los desechos descritos en la Tabla No. 8 del Anexo 2 de este Reglamento;
- b) Clasificación. - Los desechos constantes en la Tabla No. 8 del Anexo 2 de este Reglamento serán clasificados, tratados, reciclados o reutilizados y dispuestos de acuerdo a normas ambientales y conforme al Plan de Manejo Ambiental;
- c) Disposición. - Se prohíbe la disposición no controlada de cualquier tipo de desecho. Los sitios de disposición de desechos, tales como rellenos sanitarios y piscinas de disposición final, contarán con un sistema adecuado de canales para el control de lixiviados, así como tratamiento y monitoreo de éstos previo a su descarga; y,
- d) Registros y documentación. - En todas las instalaciones y actividades hidrocarburíferas se llevarán registros sobre la clasificación de desechos, volúmenes y/o cantidades generados y la forma de tratamiento y/o disposición para cada clase de desechos conforme a la Tabla No. 8 del Anexo 2 de este Reglamento. Un resumen de dicha documentación se presentará en el Informe Anual Ambiental.

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1 Enfoque de la investigación

##### 3.1.1 Tipo de investigación

- Investigación documental.

Este tipo de investigación fomenta la búsqueda y utilización de documentos existentes y los analiza para exponer sus datos nuevos y teorías (Bravo, 1987). Por ello, dentro de la presente investigación se hizo uso de ella, ya que nos permitió exponer un análisis del comportamiento que han manifestado algunos derrames alrededor del mundo y se los comparará con el comportamiento que muestre el hidrocarburo en el área de estudio.

- Investigación descriptiva

La investigación descriptiva busca describir las características del objeto en estudio que son de importancia para el investigador. Dentro de la presente investigación toma relevancia, por lo que se describirá de forma cualitativa y cuantitativa el comportamiento que tendría un derrame de hidrocarburo en muelle del terminal portuario de Guayaquil.

##### 3.1.2 Diseño de investigación

La presente investigación es no experimental, por lo tanto, no requiere de un diseño experimental ya que se basa en la observación y descripción del comportamiento de un derrame de petróleo a través de simuladores.

#### 3.2 Metodología

##### 3.2.1 Variables

Según el tipo de investigación, se incluyen las variables.

##### 3.2.1.1. *Variable independiente*

- Estación del año determinado por la estación seca y estación lluviosa.

### **3.2.1.2. Variable dependiente**

- Expansión de la contaminación
- Distribución del contaminante.

### **3.2.2 Recolección de datos**

#### **3.2.4.1. Recursos**

- Computadora
- Internet
- Simuladores ADIOS y GNOME

#### **3.2.4.2. Métodos y técnicas**

**a) Búsqueda de información.** La búsqueda de información se realizará mediante el uso de los medios disponibles, internet, páginas web de entidades oficiales, artículos científicos, etc.

**b) Simulación de derrame de hidrocarburos.** Mediante la utilización de los datos obtenido en el punto anterior se hará uso de los simuladores ADIOS2 y GNOME datos como el tipo de hidrocarburos y densidad del mismo se obtendrán del software ya que cuenta con una lista de ellos en sus componentes, (Velocidad del viento, corrientes, dirección del viento, tipo de marea se podrá obtener en la página del INAHAMI se utilizó valores promedios habituales en Guayaquil

**c) Tiempo a considerar para las simulaciones.** Las simulaciones que se utilizaron se tomaron en época húmeda y seca de Guayaquil que corresponderán a los meses Marzo y abril correspondiente a los meses con mayor precipitación en Guayaquil, los datos de los meses de julio y agosto meses considerado en la época seca de Guayaquil.

- d) Datos adicionales.** Los hidrocarburos que se tomó en cuenta son: Gasolina, y diésel, fueloil.
- e) Determinar la pluma de contaminación.** En este punto se realizarán simulaciones con los diferentes hidrocarburos, y se realizó las simulaciones matemáticas con la ayuda de los softwares ADIOS y GNOME.
- f) Determinar los posibles impactos ambientales.** Se realizará mediante los datos obtenidos de los resultados de las simulaciones, mediante matriz de Leopold esto se lo representará a través gráficos estadísticos.

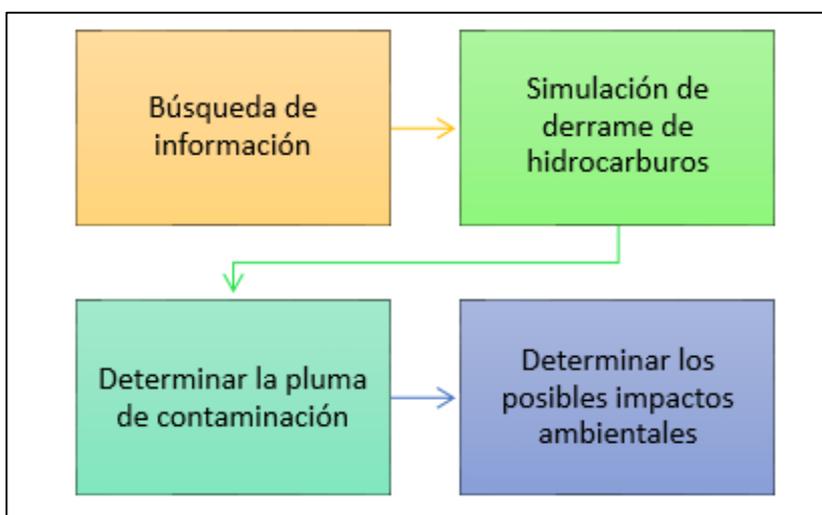


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de tesis.  
Anchundia, 2020.

### 3.2.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico a desarrollarse es de tipo descriptivo para el cual se usarán tablas y gráficos para la representación de datos cuantitativos obtenido a través de los simuladores. Adicionalmente se usará la prueba U de Mann-Whitney la cual nos permitirá saber si existe diferencia en los parámetros en estudio de dos muestras independientes (Levin y Rubin, 2004).

#### 3.2.3.1. Test no paramétricos: U de Mann-Whitney

Para la utilización del test se necesitó de variables cuantitativas como la extensión y distribución de las simulaciones de los derrames ocasionados por los

contaminantes. Al compararse los resultados tanto de la época lluvioso como la de la época seca se utilizó la prueba de U de Mann-Whitney.

- La hipótesis nula ( $H_0$ ): Indica que la distribución del contaminante, volumen evaporado, volumen disperso y volumen que se mantiene son iguales al comparar los resultados de época seca y época lluviosa.
- La hipótesis alterna: Indica que el volumen evaporado, volumen disperso, y el volumen que aún se mantiene, son diferentes al comparar los resultados de la época seca y época lluviosa.

Con un nivel de significancia de 0,05 y un intervalo de confianza de 95,5%.

## 4. Resultados

### 4.1. Estimación de la distribución de la cantidad del contaminante de un derrame de hidrocarburos mediante el uso de simuladores libres.

Se estableció seis escenarios de derrames de gasolina, diésel y fueloil, véase en la tabla 2 y 3 estos fueron divididos en tres para la época seca y tres para época lluviosa. Se utilizó el software ADIOS 2, para las simulaciones, el software utiliza datos en tiempo real que pueden ser ingresos manualmente como dirección del viento y velocidad del viento.

El terminal portuario de Guayaquil es uno de los puertos más grandes en Guayaquil recibe aproximadamente setenta y cuatro buques mensuales (Autoridad portuaria de Guayaquil, 2019).

Según Pardo, Manotas, Campanella, & Pàez (2006), los remolcadores cuentan con tres bodegas para almacenar el combustible con una capacidad de máxima de 8.797 gal cada bodega puede almacenar 3.831 gal en una y en las otras dos 4.95 gal en cada una, un buque que transporta contenedores cuenta bodegas de combustible siendo el fueloil 4 el combustible utilizado capacidad aproximada de 50.854 galones, cada tanque contiene aproximadamente 6.356,75 gal.

**Tabla 2. Época Lluviosa Marzo – Abril**

Ecn.	Tipo de Hidrocarburo	Cantidad de Hidrocarburo	Velocidad del viento	Temperatura	Marea	Tiempo del modelo	Tiempo del derrame
1	Gasolina	500 gal	4m/s (SW)	26°C	Pleamar	24 H	1h
2	Diésel	1000 gal	4 m/s(SW)	28°C	Bajamar	48 H	2h
3	Fueloil 4	2000 gal	5 m/s (SE)	27°C	Pleamar	72 H	3h

Datos a utilizar en los softwares ADIOS 2 y GNOME Anchundia,2020

**Tabla 3. Época seca Mes Julio- agosto**

Ecn	Tipo de Hidrocarburo	Cantidad de Hidrocarburo	Velocidad del viento	Temperatura	Marea	Tiempo del modelo	Tiempo del derrame
4	Gasolina	500 gal	6m/s (SO)	24 <sup>a</sup> c	Pleamar	24h	1h
5	Diésel	1000 gal	7 m/s (SW)	25 <sup>o</sup> c	Bajamar	48h	2h
6	Fueloil 4	2000 gal	7 m/s (SO)	24 <sup>o</sup> c	Pleamar	72h	3h

Datos a utilizar en los softwares ADIOS 2 y GNOME Anchundia,2020

#### 4.1.1. Aplicación de software ADIOS 2

##### 4.1.1.1. Escenario N° 1 - 500 gal de gasolina (época lluviosa).

Se genera la simulación de un derrame de 500 gal de gasolina en el software ADIOS 2 se ingresando los datos que se indicó en tabla 2 correspondiente al escenario uno, la cual se observa los siguientes resultados en la figura 2.

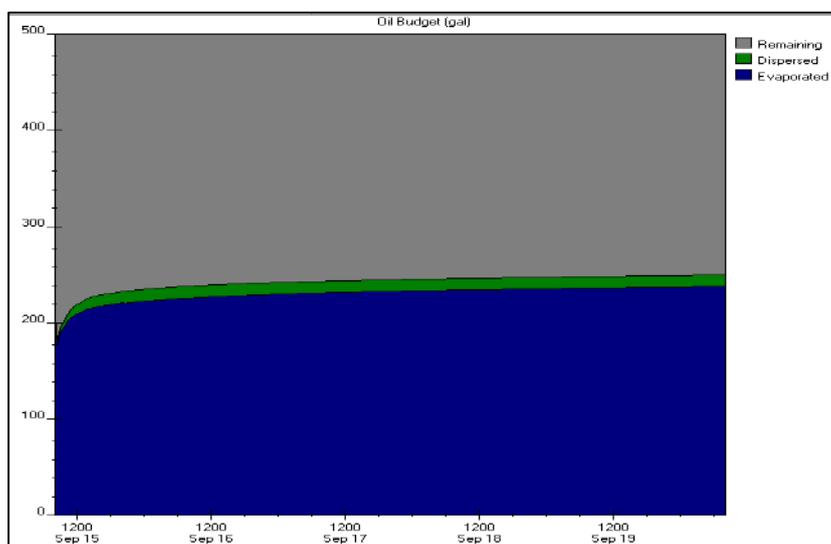


Figura 2. Escenario 1 software ADIOS 2 Anchundia, 2020

El software ADIOS 2 nos permite conocer la distribución del contaminante para el escenario uno, se obtuvo la siguiente información, nos muestra que en las primeras dos horas 195 gal ya se habían evaporado y solo 6 gal se han dispersado dejando aun flotando 299 gal (60% tabla 4).

En 24 horas los 500 gal de gasolina derramados, se habían distribuido en 226 (45 %) gal evaporado y 12 gal (2%) se han dispersado, 262 gal (52 %) más de la mitad aún se encuentran flotando en el agua.

**Tabla 4. Resultados del software ADIOS 2 escenario 1**

Horas	Volumen Evaporado (Gal)	%	Volumen Dispersado (Gal)	%	Volumen Flotando (Gal)	%
2	195	39	6	1	299	60
6	213	43	11	2	276	55
10	219	44	12	2	270	54
18	224	45	12	2	265	53
24	226	45	12	2	262	52

Escenario 1 distribución 500 gal de gasolina época lluviosa.  
Anchudia,2020

En la figura 4 se muestra los resultados obtenidos por el software ADIOS 2 de los 500 galones de gasolina modelados para el escenario 1 de esta manera podemos observar que la mayor parte del contaminante aún se encuentran flotando, nos facilitara la evaluación y el impacto que este causaría a la flora y fauna del estero salado.

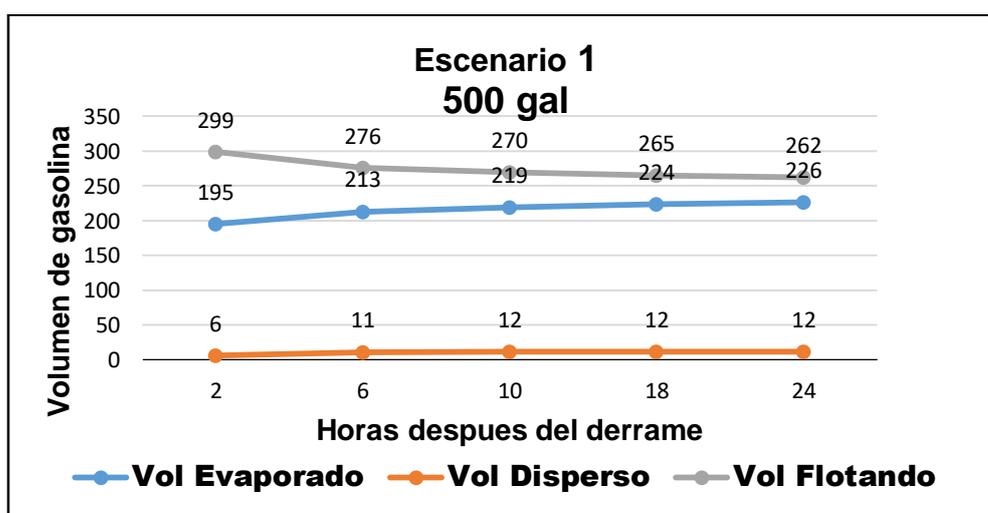


Figura 3. Distribución de los 500 gal de gasolina época lluviosa  
Anchundia, 2020

#### 4.1.1.2. Escenario N° 2 – 1000 gal de diésel (época lluviosa).

Para la segunda simulación se utilizó como contaminante a derramarse el diésel siendo este un combustible utilizado por los barcos remolcadores, se ingresó los datos correspondientes al segundo escenario (tabla 2) obteniendo los siguientes datos para este escenario.

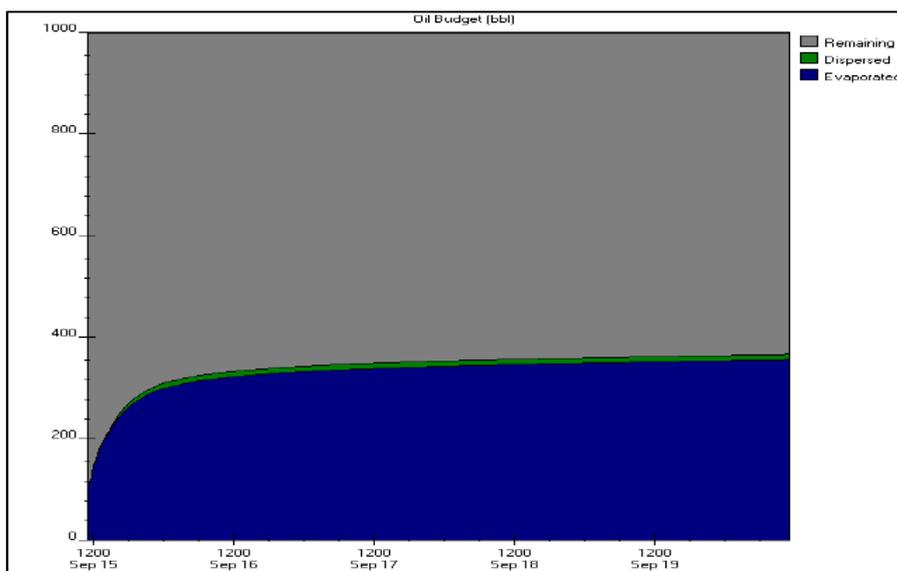


Figura 4. Resultado del escenario 2 software ADIOS2 Anchundia, 2020

Para el escenario dos el tiempo del modelo fue de 48 horas en la tabla 5 podemos observar como el diésel derramado se va perdiendo al pasar el tiempo, llegando al fin de nuestro modelo que en 48 horas se ha perdido 424 gal (38%) del contaminante evaporándose y 550 gal (55%) aún continúa flotando en el agua, y solo 26 gal (3%) se dispersó permaneciendo aún más de la mitad en el agua.

**Tabla 5. Resultados del software ADIOS 2 escenario 2**

Horas	Volumen Evaporado (Gal)	%	Volumen Dispersado (Gal)	%	Volumen Flotando (Gal)	%
6	381	38	22	2	596	60
12	397	40	26	3	577	58
24	441	43	26	3	563	56
36	419	42	26	3	555	56
48	424	43	26	3	550	55

Escenario 2 distribución de 1000 gal de diésel época lluviosa.  
Anchudía, 2020

En la figura 6 se puede observar para su mejor comprensión cada uno de los resultados obtenidos por ADIOS 2 de los 1000 galones de diésel modelados para el escenario 2 de esta manera podemos observar que la mayor parte del contaminante aún se encuentran flotando, nos facilitara la evaluación y el impacto que este causaría a la flora y fauna del estero salado.

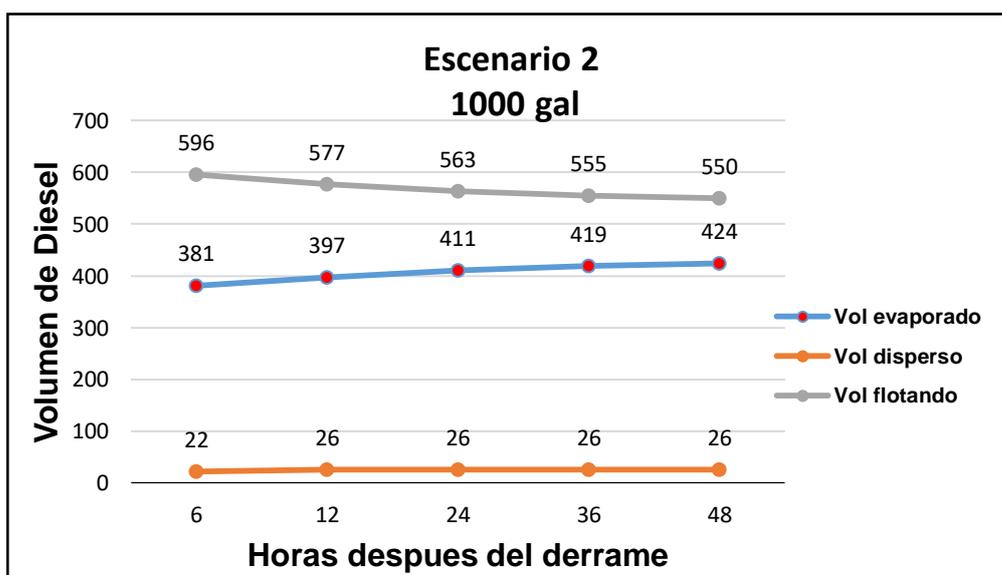


Figura 5. Distribución de los 1000 gal de diésel época lluviosa.  
Anchudía, 2020

#### 4.1.1.3. Escenario N° 3 - 2000 gal de fueloil 4 (época lluviosa)

Para la tercera simulación se eligió como el contaminante a derramarse en la simulación el fueloil 4, combustible utilizado para los buques portacontenedores el derrame se produciría en la zona de tránsito de los buques los datos que se ingresaran al software para esta simulación se encontrarán en la tabla 2 y se obtuvo los siguientes resultados.

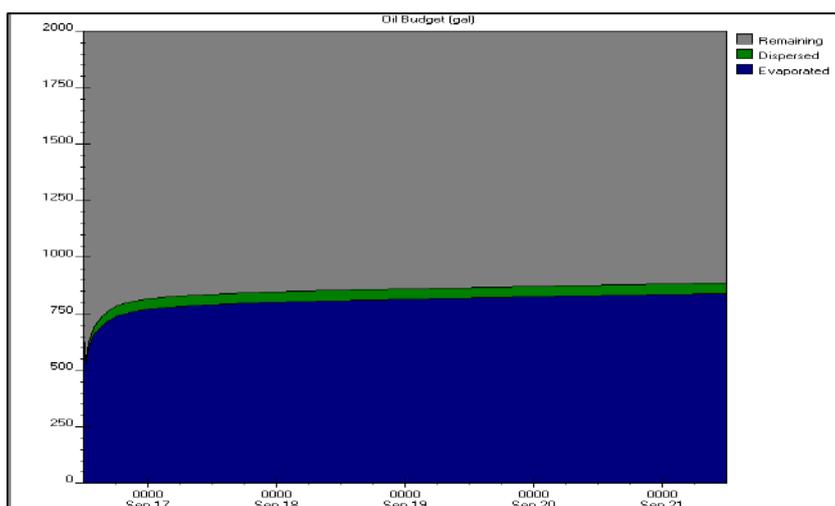


Figura 6. Resultado del escenario 3 software ADIOS 2 distribución de los 2000 gal de fueloil 4 derramados época lluviosa. Anchundía, 2020

Los resultados del tercer escenario se observan que en la figura 7, la distribución del contaminante azul (cantidad evaporada), verde (que se dispersó) y gris (cantidad aun flotando) la tabla 6 podemos verificar con más precisión el envejecimiento del contaminante en el transcurso de las 72 horas tiempo que designamos para este escenario.

Como resumen del escenario 3 se observa que en 24 horas se ha perdido 820 gal (41 %) y 45 gal (2%) se dispersó en al agua en condiciones normales del entorno, 1.135 gal (57 %) aun flotando en el agua.

**Tabla 6. Resultados del software ADIOS 2 escenario 3**

Horas	Volumen Evaporado (Gal)	%	Volumen Dispersado (Gal)	%	Volumen Flotando (Gal)	%
12	768	38	45	3	1,187	59
36	801	40	45	2	1,154	58
42	805	40	45	2	1,150	57
54	812	41	45	2	1,143	57
72	820	41	45	2	1,135	57

Escenario 3 distribución de 2000 gal de fueloil 4 época lluviosa Anchudía, 2020

En la figura 8 se puede observar para su mejor comprensión cada uno de los resultados obtenidos por ADIOS 2 de los 2000 galones de Fueloil 4 modelados para el escenario 3 de esta manera podemos observar que la mayor parte del contaminante aún se encuentran flotando, nos facilitara la evaluación y el impacto que este causaría a la flora y fauna del estero salado.

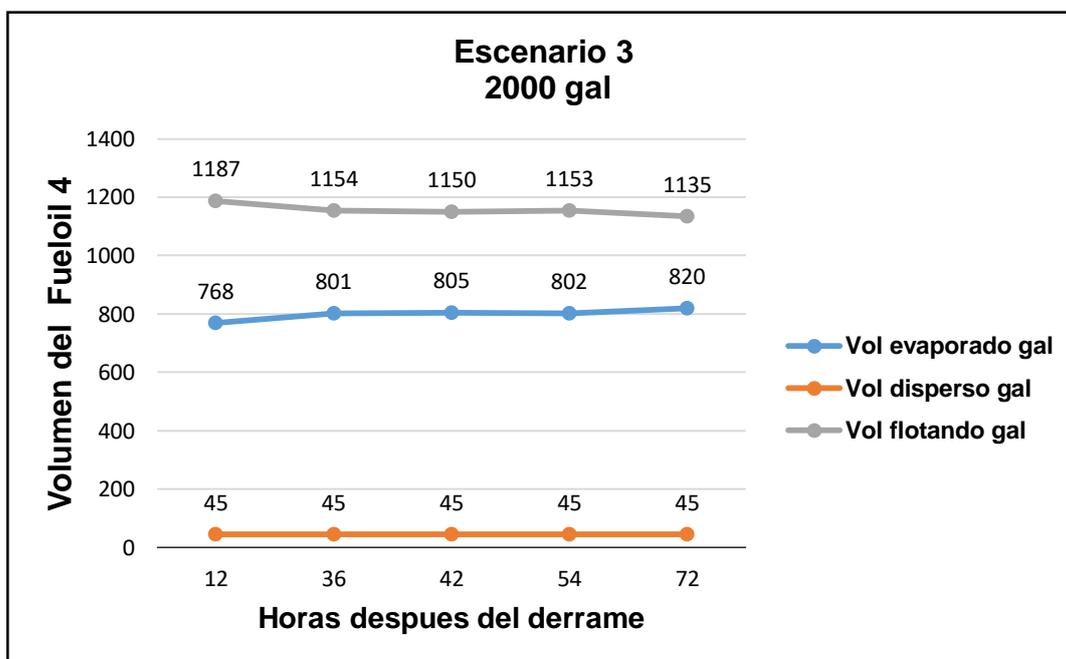


Figura 7. Distribución de los 2000 gal de Fueloil 4 época seca Anchudía, 2020

#### 4.1.1.4. Escenario N° 4 – 500 gal de gasolina. (época Seca)

Para nuestro cuarto escenario se considera un cambio en las condiciones climáticas en el modelo como dirección, velocidad del viento y temperatura debido a que el modelo será simulado en la otra época del año que hay en Guayaquil (época seca), se puede observar los datos en la tabla 3 se ingresaron los datos y se obtuvo los siguientes resultados.

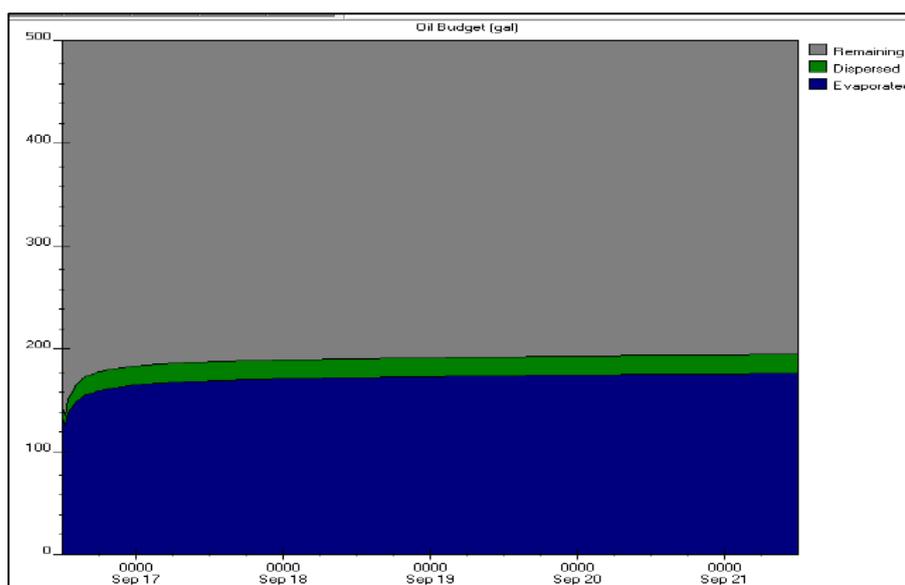


Figura 8. Resultado del escenario 4 software ADIOS 2 distribución de los 500 gal de gasolina derramados época seca. Anchundia, 2020

Los resultados del cuarto escenario lo podemos observar tanto la figura 9 como en la tabla 7 observamos para este escenario que al final de nuestro modelo se ha perdido 169 gal (45 %) y 45 gal (18 %) se dispersó en el agua en condiciones normales del entorno, quedando 313 gal (52 %) aun flotando en el agua.

**Tabla 7. Resultados del software ADIOS 2 escenario 4**

Horas	Volumen Evaporado (Gal)	%	Volumen Dispersado (Gal)	%	Volumen Flotando (Gal)	%
2	143	39	15	1	342	60
6	158	43	18	2	323	55
10	163	44	18	2	318	54
18	167	45	18	2	314	53
24	169	45	18	2	313	52

Escenario 4 distribución de 500 gal de gasolina época seca Anchudía,2020

En la figura 10 se puede observar para su mejor comprensión cada uno de los resultados obtenidos por ADIOS 2 de los 500 galones de gasolina modelados para el escenario 4 de esta manera podemos observar que la mayor parte del contaminante aún se encuentran flotando, nos facilitara la evaluación y el impacto que este causaría a la flora y fauna del estero salado.

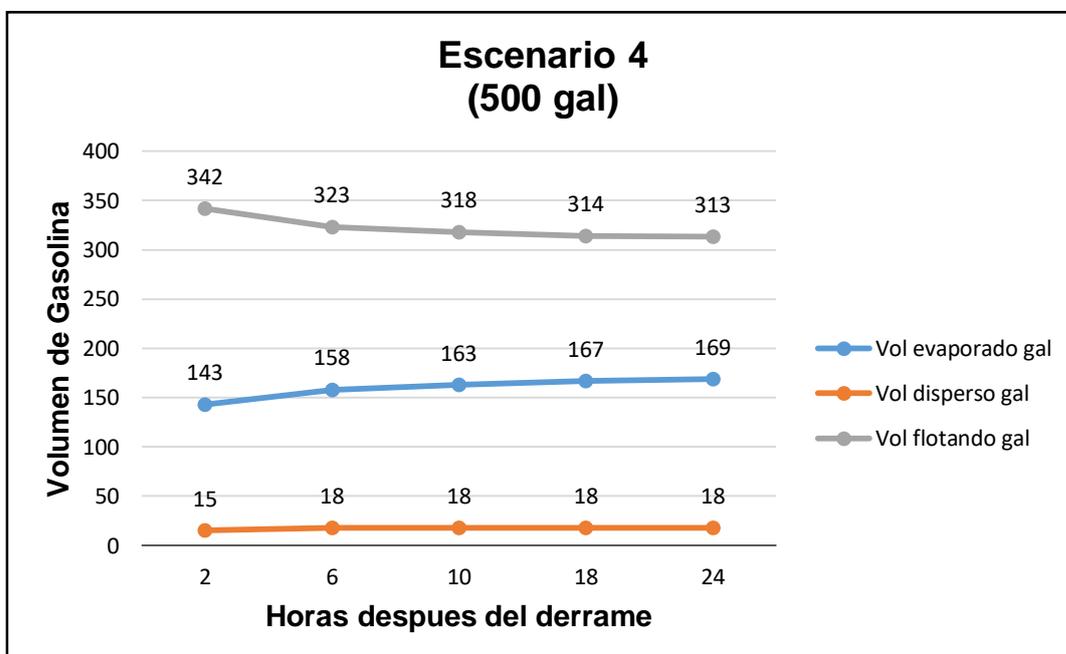


Figura 9. Resultado del escenario 4 software ADIOS 2 distribución de los 500 gal de gasolina derramados Anchudía, 2020

#### 4.1.1.5. Escenario N° 5 – 1000 gal de diésel (época Seca).

Los datos de referencia que se utilizó para la quinta simulación podemos verla en la tabla 3 la simulación fue modelada a una velocidad del viento distinta y temperatura diferente a las tres primeras simulaciones a continuación se resumen los resultados de nuestro modelo.

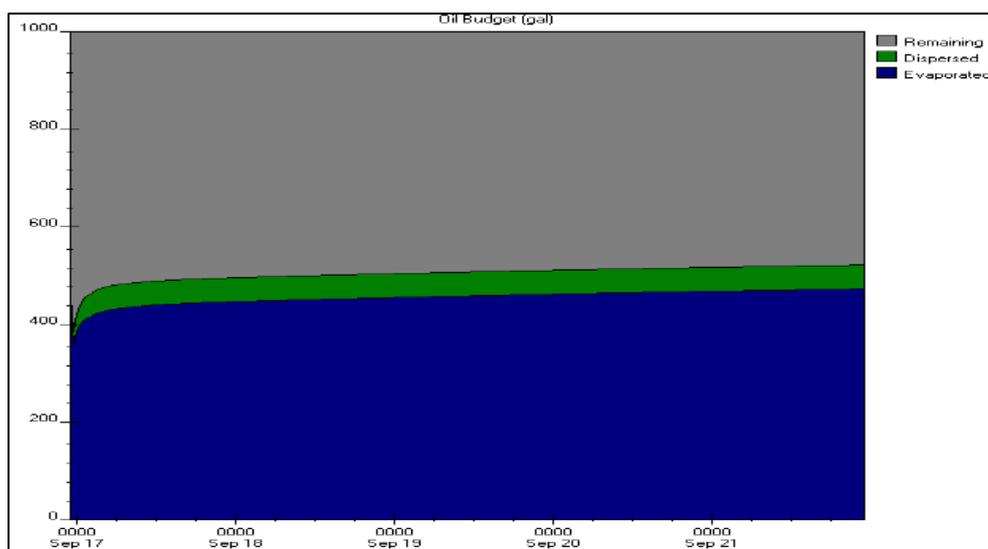


Figura 10. Resultado del escenario 5 software ADIOS 2 distribución de los 1000 gal de diésel derramados. Anchundia, 2020

Los resultados del quinto escenario lo podemos observar tanto la figura 11 como en la tabla 8 donde se puede observar el envejecimiento del contaminante en el transcurso de las 48 horas tiempo que designamos para este escenario las condiciones fueron distinta a las anteriores simulaciones se cambió la velocidad del viento y temperatura debido a que es un escenario en época lluviosa.

La conclusión para este escenario es que al final de nuestro modelo se ha perdido 455 gal (43 %) y 49 gal (3 %) se dispersó en al agua en condiciones normales del entorno, quedando 496 gal (55 %) aun flotando en el agua.

**Tabla 8. Resultados del software ADIOS 2 escenario 5**

Horas	Volumen Evaporado (Gal)	%	Volumen Dispersado (Gal)	%	Volumen Flotando (Gal)	%
6	429	38	49	2	523	60
12	439	40	49	3	512	58
24	447	43	49	3	563	56
36	451	42	49	3	500	56
48	455	43	49	3	496	55

Escenario 5 distribución de 1000 gal de diésel época seca.  
Anchudia,2020

En la figura 12 se puede observar 1000 galones de diésel modelados para el escenario 5 de esta manera podemos observar que la mayor parte del contaminante aún se encuentran flotando, nos facilitara la evaluación y el impacto que este causaría a la flora y fauna del estero salado.

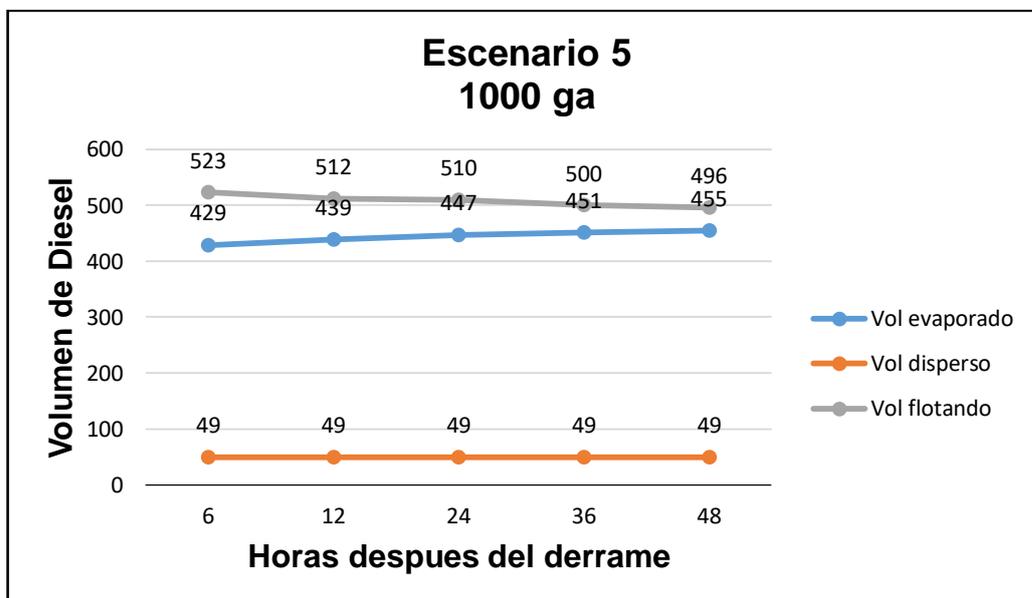


Figura 11. Distribución de los 1000 gal diésel época seca.  
Anchudia, 2020

#### 4.1.1.6. Escenario N° 6 – 2000 gal de fueloil 4 (época Seca).

Para el escenario seis utilizamos como contaminante el fueloil 4 se agregarán los datos correspondientes al escenario tabla 3 determinaremos la distribución del contaminante se evaluó el impacto que este derrame cause a la flora y fauna del estero salado de Guayaquil.

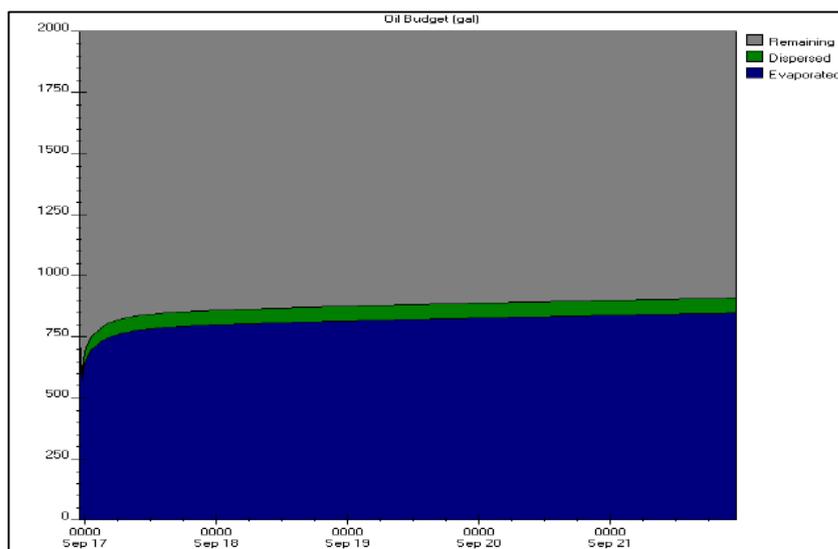


Figura 12. Resultado del escenario 6 software ADIOS 2 distribución de los 2000 gal de fueloil 4 derramados.

Anchundia, 2020

Para finalizar nuestras simulaciones con el software ADIOS 2 se obtuvieron los siguientes resultados, en 72 horas ocurrido el derrame el contaminante se ha distribuido de la siguiente manera 828 gal (41%) evaporados, 58 gal (3%) dispersados y 1.114 gal aun flotando en el agua.

**Tabla 9. Resultados del software ADIOS 2 escenario 6**

Horas	Volumen Evaporado (Gal)	%	Volumen Dispersado (Gal)	%	Volumen Flotando (Gal)	%
12	780	39	58	3	1,162	58
36	808	40	58	3	1,134	57
42	811	41	58	3	1,130	56
54	818	41	58	3	1,123	56
72	828	41	58	3	1,114	56

Escenario 6 distribución de 2000 gal de fueloil 4 época seca.  
Anchudia,2020

En la figura 14 se puede observar 2000 galones de fueloil 4 modelados para el escenario 6 de esta manera podemos observar que la mayor parte del contaminante aún se encuentran flotando, nos facilitara la evaluación y el impacto que este causaría a la flora y fauna del estero salado, los grafico se realizaron con la finalidad de que sirva como una herramienta para la toma de decisiones en nuestro proyecto.

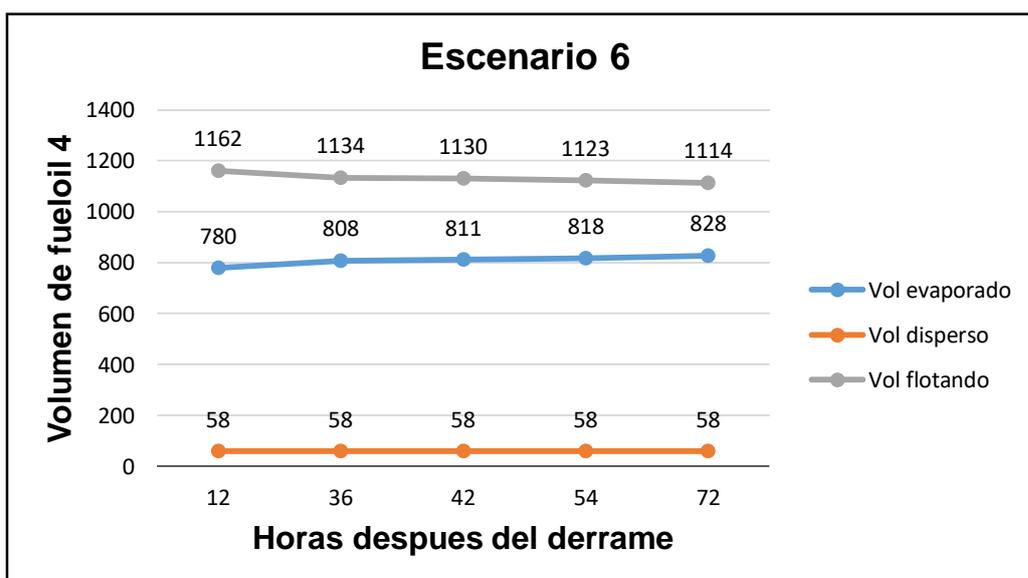


Figura 13. Distribución de los 1000 gal diésel.  
Anchudia, 2020

#### **4.3. Determinación de la dirección y distancia recorrida de la pluma de contaminación de los escenarios de derrames de hidrocarburos mediante resultados computarizados obtenidos de simulaciones y revisión bibliográfica.**

Luego de haber obtenido la distribución de los derrames, se determinó la dirección y velocidad de cada contaminante en diferentes escenarios en la tabla 2 y 3 podremos verificar. Se observó el desarrollo de la pluma de contaminación que es causado por los derrames utilizamos el software GNOME. La cual, mediante archivos de ubicación proporcionados por una plataforma del software en línea obtuvimos los datos faltantes para nuestra simulación como velocidad de la corriente y las características del contaminante.

Los puntos donde se producirá el derrame fueron elegidos aleatoriamente ver anexos figura 38 se la definió de esta manera debido a que la ubicación geográfica donde se realizó las simulaciones es una zona de tránsitos tanto de los buques como de los remolcadores, además. De que, el área es pequeña por este motivo las simulaciones tocan tierra dentro de las primeras horas ocurrido el derrame.

### 4.3.1. Aplicación de software GNOME

#### 4.3.1.1. Escenario 1 - 500 gal de gasolina (época seca).

Luego de analizar los resultados del software GNOME podemos observar que en la figura 15 el contaminante ya llega a la orilla del salado ubicándose en la parte SE lugar donde no se encuentra ningún tipo de vegetación, pero si afectara a la operación del puerto debido a que la cantidad que aún se encuentra flotando según y en la figura 16 observamos el contaminante luego de 12 y posteriormente luego de 24 horas en la figura 17, se determinó que el contaminante se desplazó 0.1797 km (179.7 m) desde el punto del derrame así el lugar donde se ubicó .

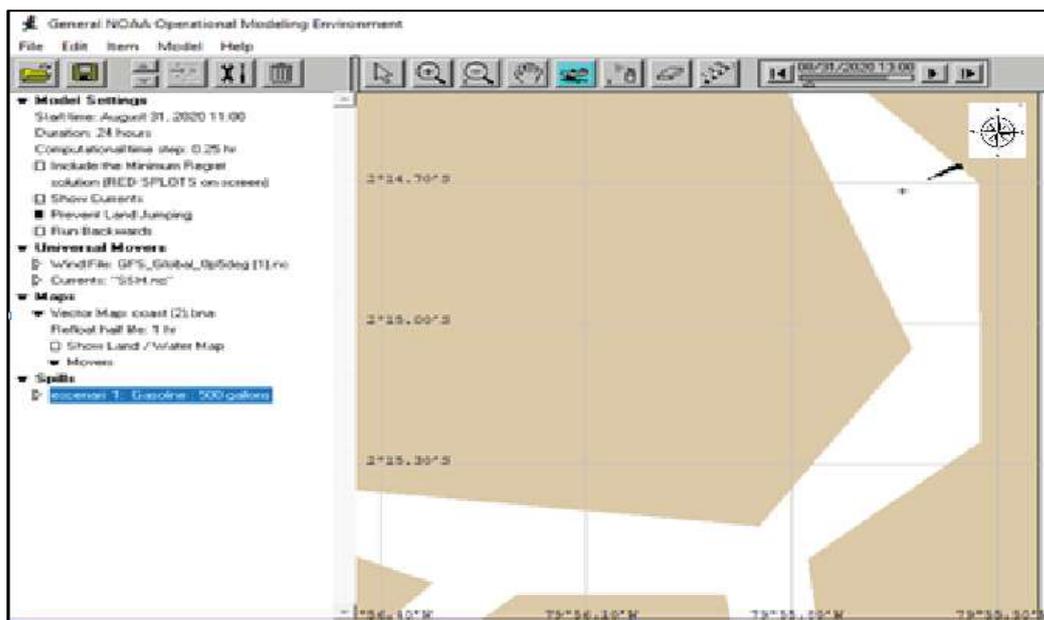


Figura 14. Resultado del software GNOME luego de 2 horas ocurrido el derrame 500 gal de gasolina escenario 1 época lluviosa. Anchundia,2020

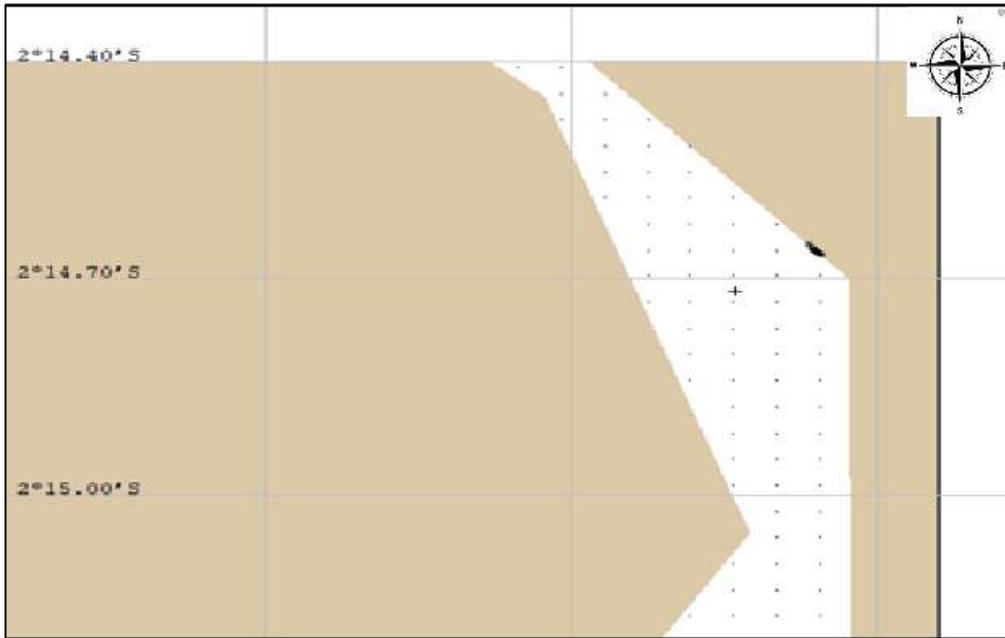


Figura 15. Resultado del software GNOME luego de 12 horas ocurrido el derrame de 500 gal de gasolina escenario 1 época lluviosa. Anchundia,2020

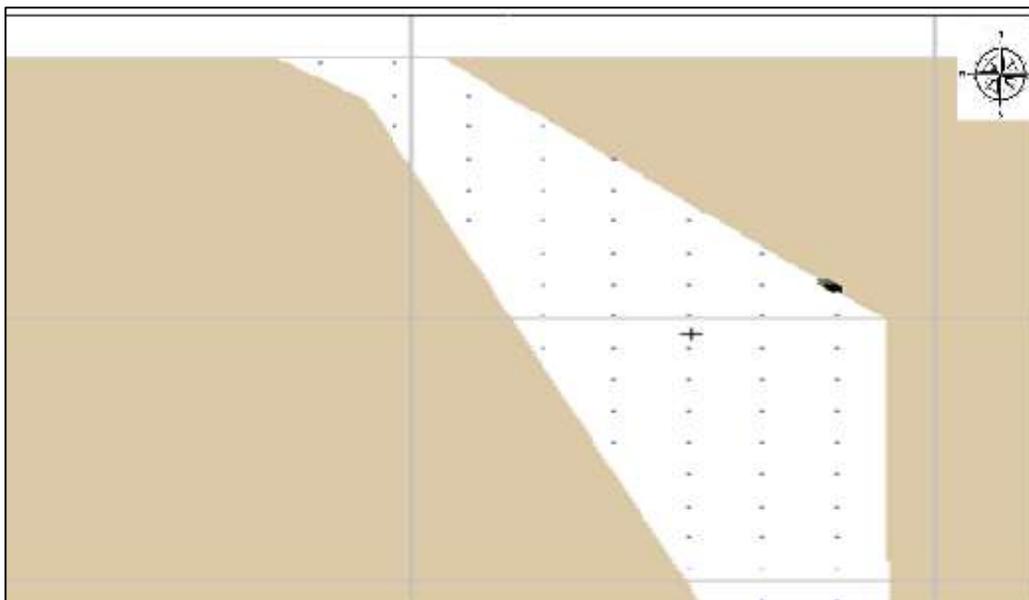


Figura 16. Resultado del software GNOME luego de 24 horas ocurrido el derrame de 500 gal de gasolina, escenario 1 Anchundia,2020

#### 4.3.1.2. Escenario 2 - 1000 gal de diésel (época seca).

Los resultados obtenidos por el software GNOME para el segundo escenario fueron los siguiente: podemos observar que en la figura 18 que en 6 horas el contaminante ha tomado dirección SE y ha llegado a la orilla del estero salado, en la figura 19 se pudo observar que el contaminante formo una gran mancha se expandió siguiendo la misma dirección ya antes mencionada.

El contaminante luego de 48 horas se ha ubicado a la orilla del estero figura 20 llegando alcanzar parte de la vegetación afectando además a la fauna (peces, crustáceos, moluscos, y aves que han hecho de su hogar los manglares la zona donde se ubicó el contaminante se verifico gracias a Google Earth (ver anexo figura 38) donde se pudo verificar que en ese lugar se encuentra vegetación, el contaminante se desplazó en línea recta 0.5893 km (589.3 m).

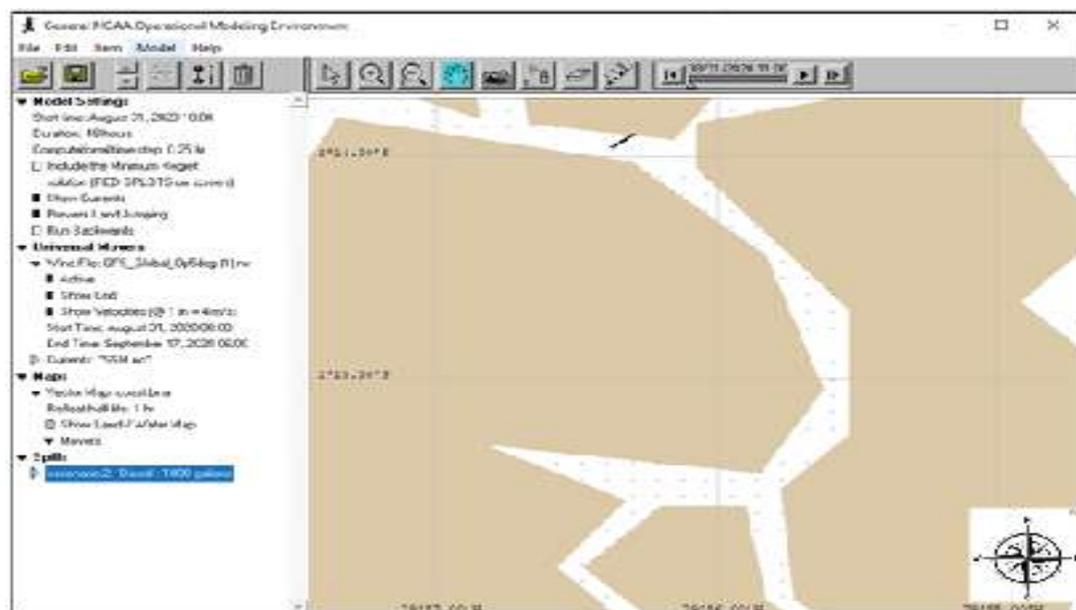


Figura 17. Resultado del software GNOME luego de 6 horas ocurrido el derrame de 1000 gal de diésel, escenario 2.  
Anchundia,2020

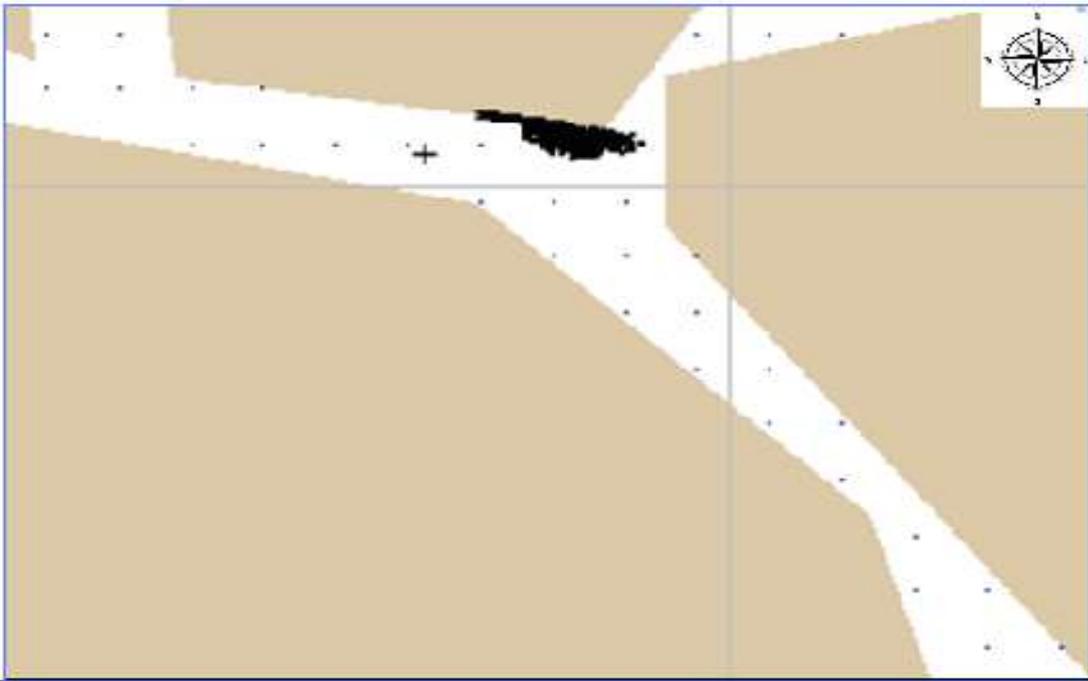


Figura 18. Resultado del software GNOME luego de 24 horas ocurrido el derrame de 1000 gal de diésel, escenario 2.  
Anchundia,2020

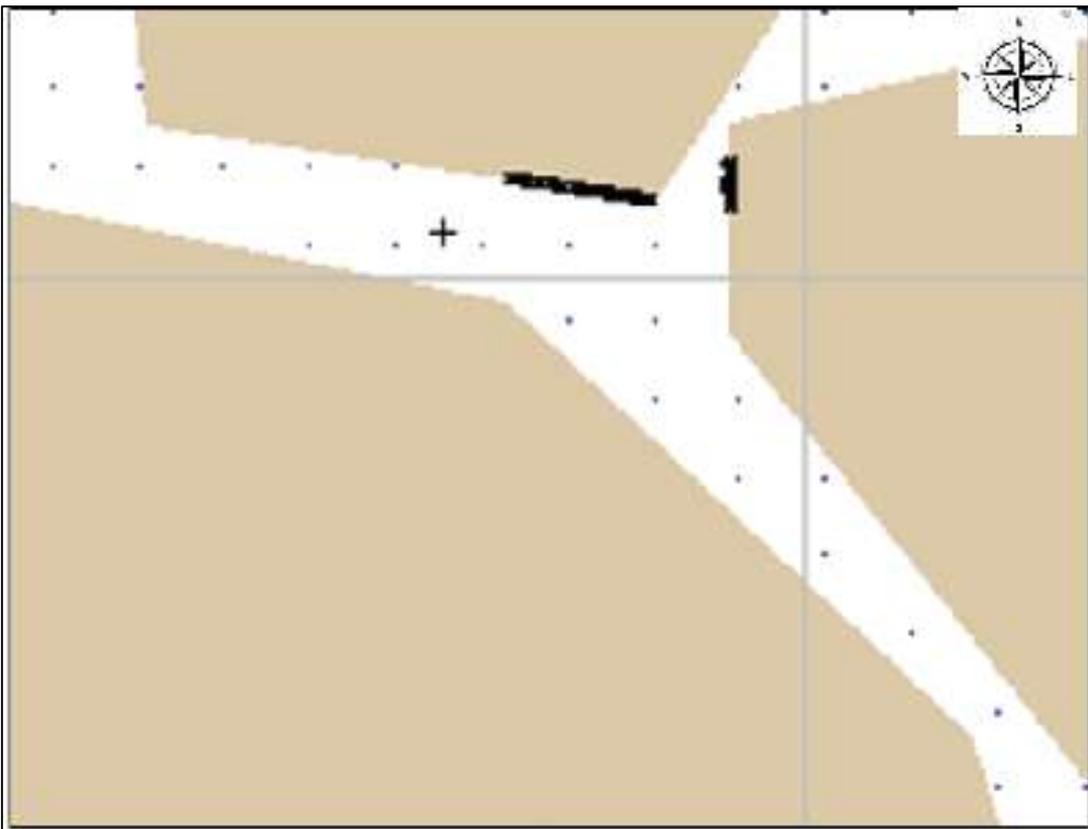


Figura 19. Resultado del software GNOME luego de 48 horas ocurrido el derrame de 1000 gal de diésel, escenario 2.  
Anchundia,2020

#### 4.3.1.3. Escenario 3 - 2000 gal fueloil 4 (época seca).

Se simuló un escenario modo diagnóstico en el software GNOME, se ingresaron los datos correspondientes al escenario 3, incluyendo los archivos de ubicación ya antes explicado en el capítulo 2 y se obtuvo los siguientes resultados: en las primeras 12 horas (figura 21) el contaminante (fueloil 4) tomó dirección SE y ya había tocado tierra. En la (figura 22) vemos que el contaminante ha formado una mancha dirigiendo al sur, la (figura 23) nos muestra el contaminante luego de 72 horas habiendo alcanzado y desplazándose por la vegetación cercana habiendo recorrido en línea recta 0.6233 km (623.3 m), afectando en gran parte a los manglares de la zona y a la fauna que habita en ella.

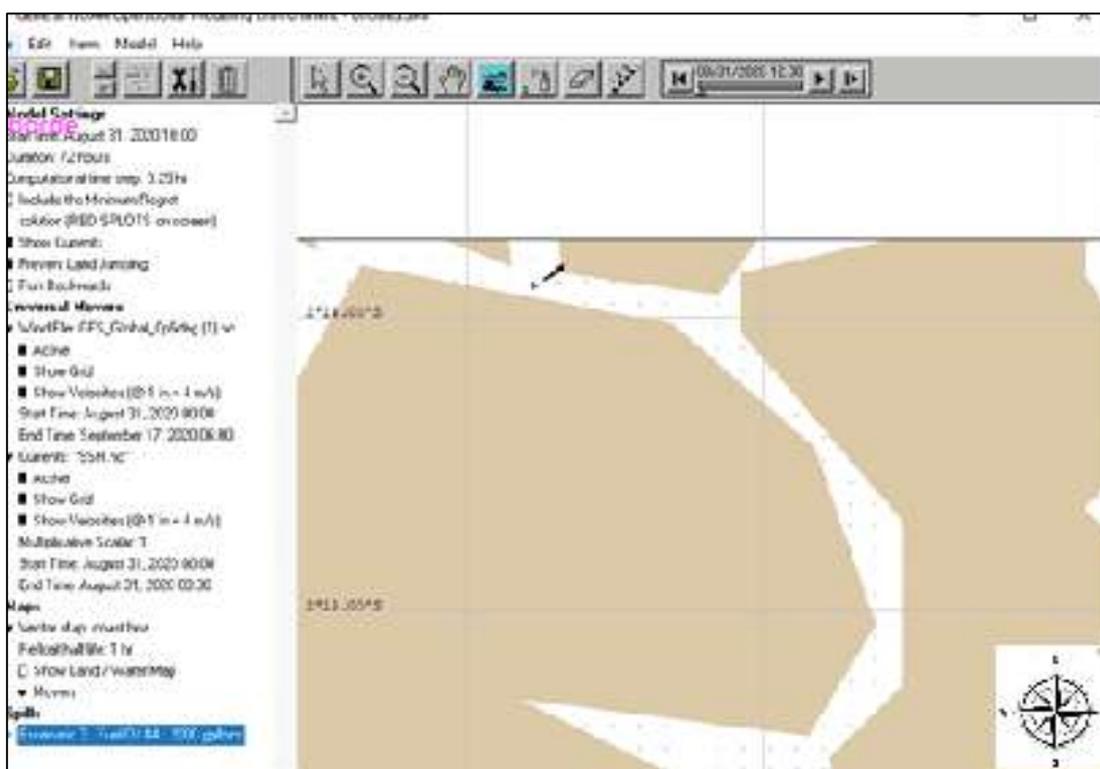


Figura 20. Resultado del software GNOME luego de 12 horas ocurrido el derrame de 2000 gal de fueloil 4, escenario 3.  
Anchundia, 2020



Figura 21. Resultado del software GNOME luego de 48 horas ocurrido el derrame de 2000 gal de fueloil 4, escenario 3.  
Anchundia,2020

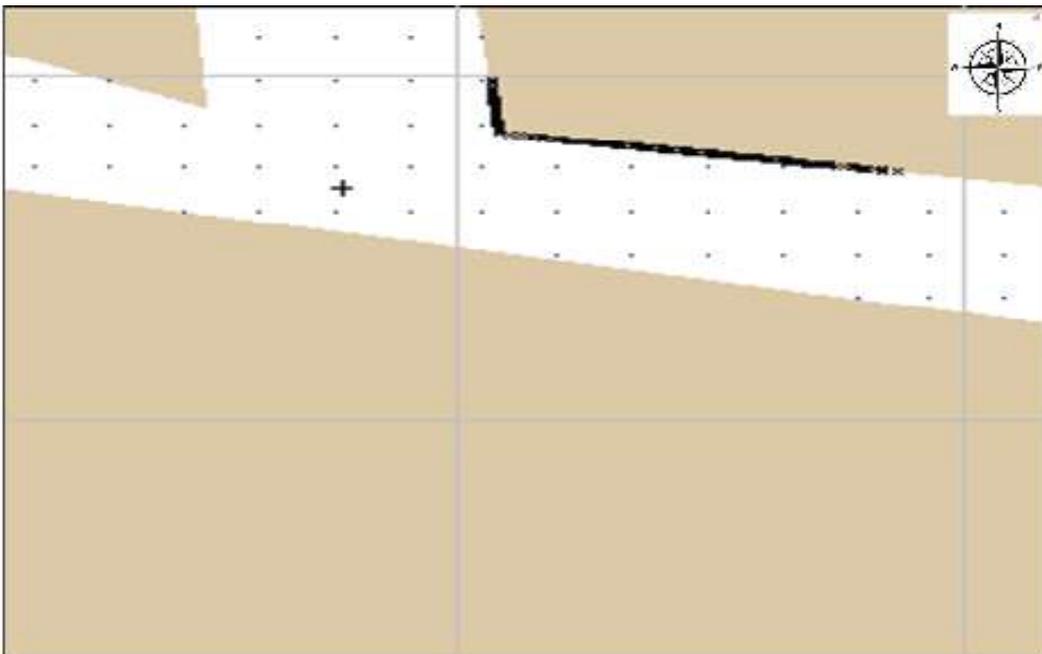


Figura 22. Resultado del software GNOME luego de horas 72 ocurrido el derrame de 2000 gal de fueloil 4, escenario 3 época seca.  
Anchundia,2020

#### 4.3.1.4. Escenario 4 – 500 gal de gasolina (época lluviosa).

Para el escenario 4 se utilizó una velocidad y dirección del viento diferente debido a que los escenarios fueron divididos en dos, épocas seca y lluviosa ver tabla 3 la zona donde ocurrió el derrame es cerca del puerto el contaminante a derramarse fue la gasolina tomando dirección a un lado del puerto ya en 6 horas (figura 24).

En 12 horas la mancha se había reducido en un 25 % figura 25 ubicándose en el mismo lugar, debido a esto no habría ningún impacto a la flora, pero si a los moluscos que se encuentran en las bases de hormigón del puerto y aves que van de paso el contaminante en figura 26 se observa el derrame luego 24 horas desplazó 0.2574 km (257.4 m) en dirección horizontal.

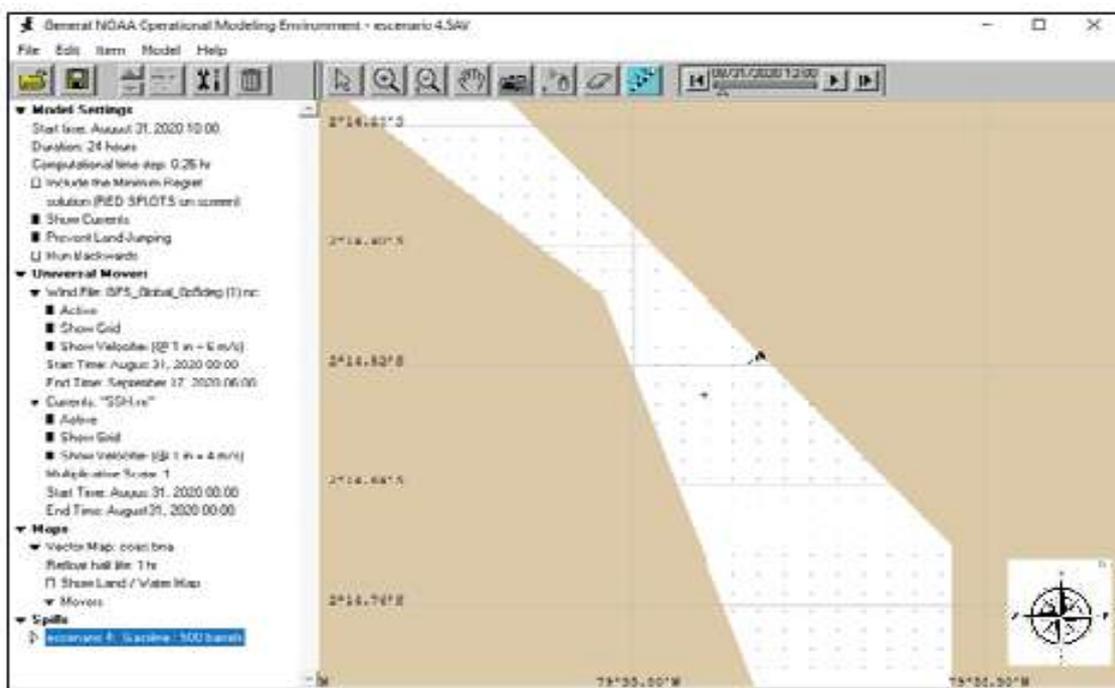


Figura 23. Resultado del software GNOME luego de 6 horas ocurrido el derrame de 500 gal de gasolina escenario 4 época lluviosa. Anchundia,2020

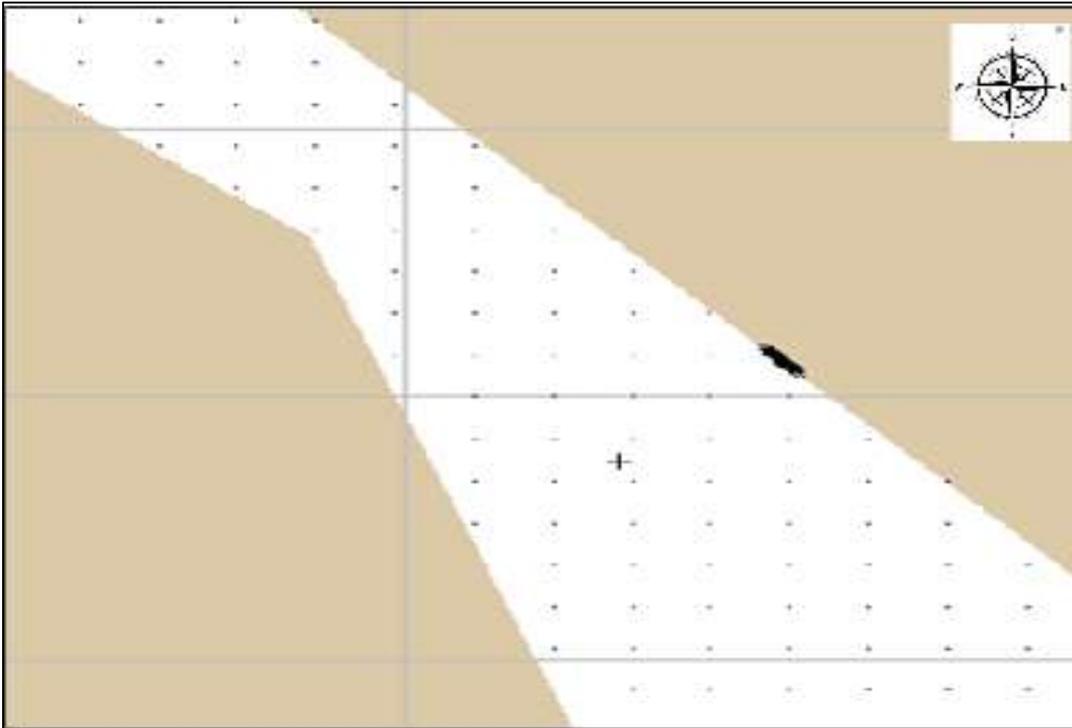


Figura 24. Resultado del software GNOME luego de 12 horas ocurrido el derrame de 500 gal de gasolina escenario 4 época lluviosa.  
Anchundia,2020

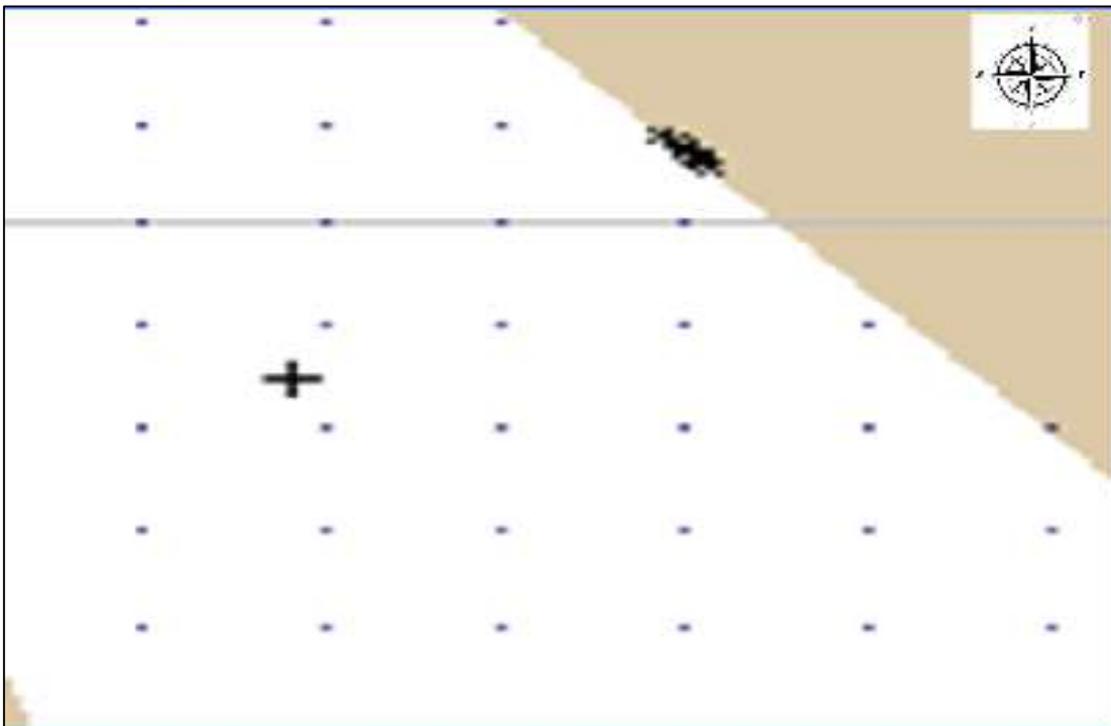


Figura 25. Resultado del software GNOME luego de 24 horas ocurrido el derrame de 500 gal de gasolina escenario 4 época lluviosa.  
Anchundia,2020

#### 4.3.1.5. Escenario 5 - 1000 gal de diésel (época lluviosa)

En el escenario 5 el derrame a simular fue de 1000 gal de diésel se utilizó una velocidad del viento y temperatura diferente a las 3 primeras simulaciones, por el motivo que la simulación se realizó en una condición climática diferente (época lluviosa) debido al aumento del viento nuestro contaminante se deslazo, la dirección que toma el contaminante es dirección sur dentro de las primeras 12 horas el contaminante ha llegado a la orilla del estero (figura 27).

En la figura 28 observamos como la mancha del se expandió en su mayor parte dirigiéndose asía el sur y ya en 24 horas haber alcanzado más vegetación, (Manglares) en la figura 29 podemos observar que ya habiendo pasado 48 horas el contaminante se ubicó a las orillas del estero parte sur y el software nos simula de color rojo como las partículas del contaminante pueden desplazarse en este escenario el contaminante se desplazó de manera vertical 0.8096 km (809.6 m).

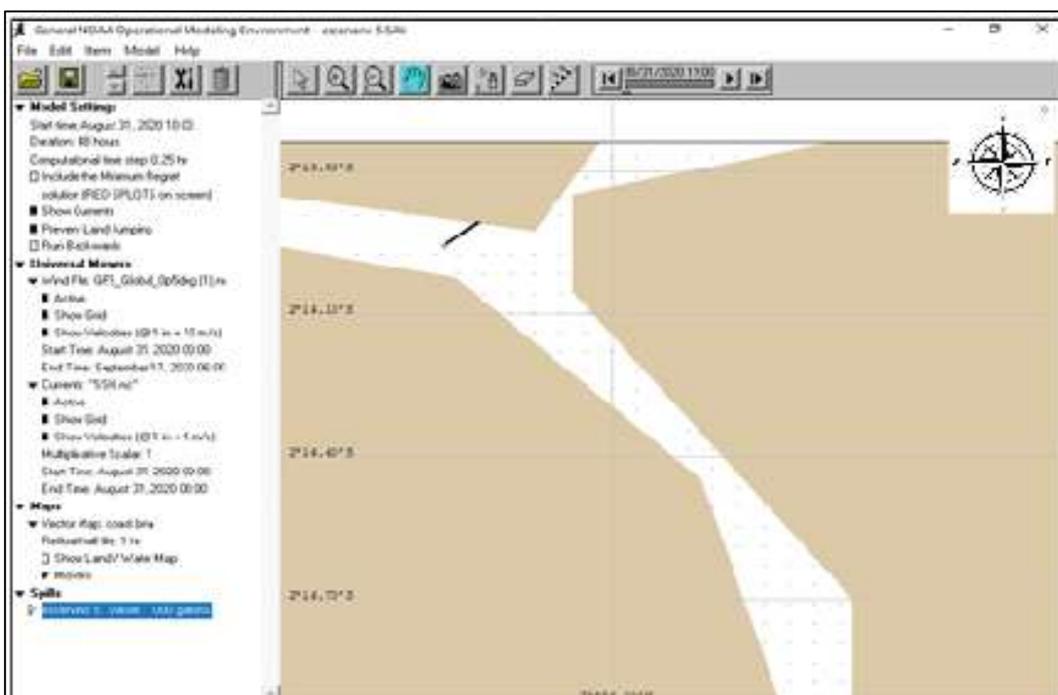


Figura 26. Resultado del software GNOME luego de 12 horas ocurrido el derrame de 1000 gal de diésel escenario 5 época lluviosa. Anchundia,2020

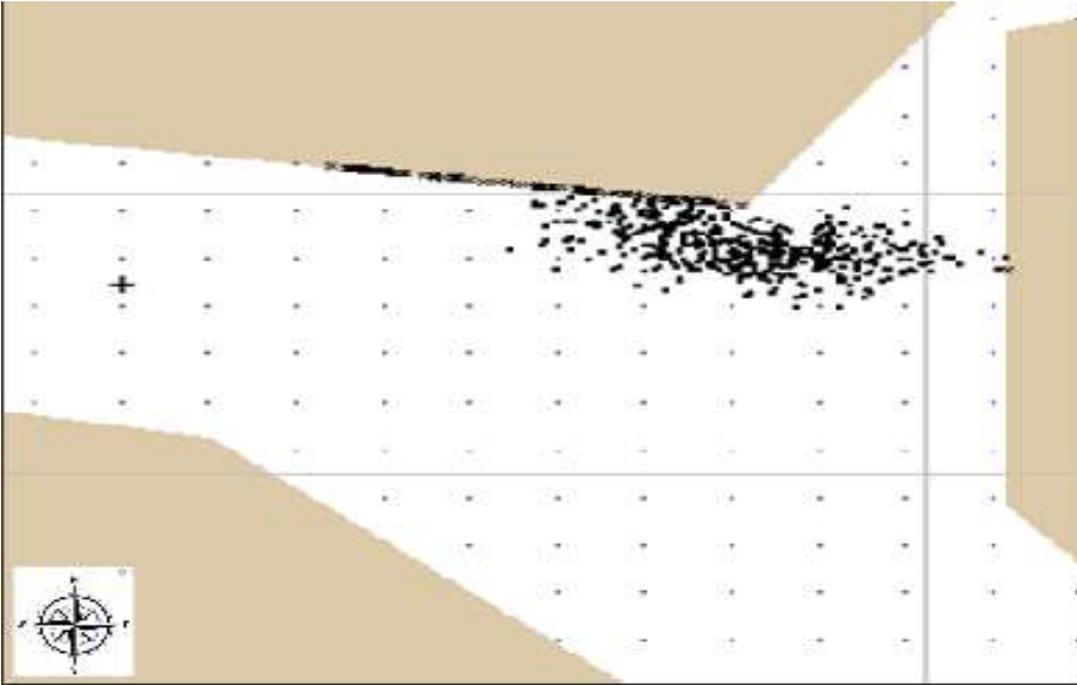


Figura 27. Resultado del software GNOME luego de 24 horas ocurrido el derrame de 1000 gal de diésel escenario 5 época lluviosa. Anchundia,2020

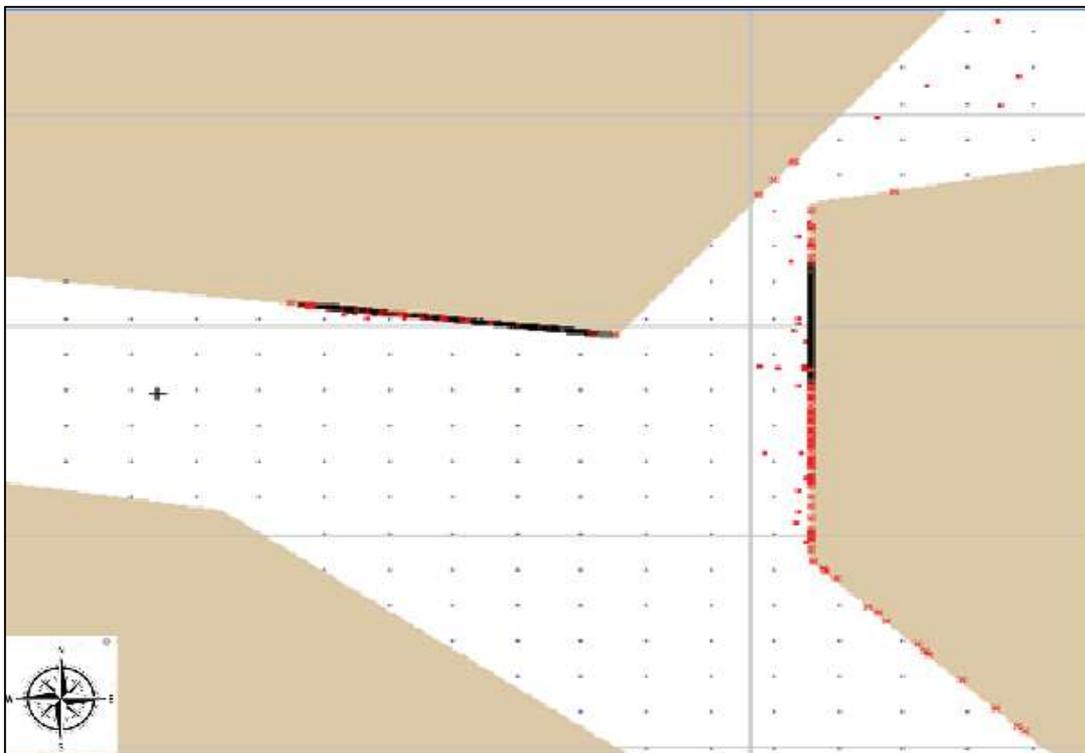


Figura 28. Resultado del software GNOME luego de 48 horas ocurrido el derrame de 1000 gal de diésel escenario 5 época lluviosa. Anchundia,2020

#### 4.3.1.6. Escenario 6 - 2000 gal fueloil 4 (época lluviosa)

Para la simulación final el contaminante a derramarse es el fueloil 4 se ingresaron los datos correspondientes al escenario a simular tabla 3, en la figura 30 observamos que en 24 horas el contaminante tomo dirección el SW, y en la figura 31 se observa el contaminante luego de 48 horas el contaminante ha formado una gran mancha dirigiéndose al SW, en la figura 32 observamos como el contaminante finalmente llega a afectar parte de los manglares de la zona.

Además de los diversos animales que habitan en las raíces de los manglares, como peces, crustáceo, y molusco además de las aves como la garza este tipo de aves se puede observar alimentándose cerca de la zona, podemos observar como las partículas del contaminante han alcanzado una gran parte de los manglares, siendo esto un derrame muy negativo la distancia que recorrió el contaminante para esta simulación fue de 0.8859 km (885.9 m).

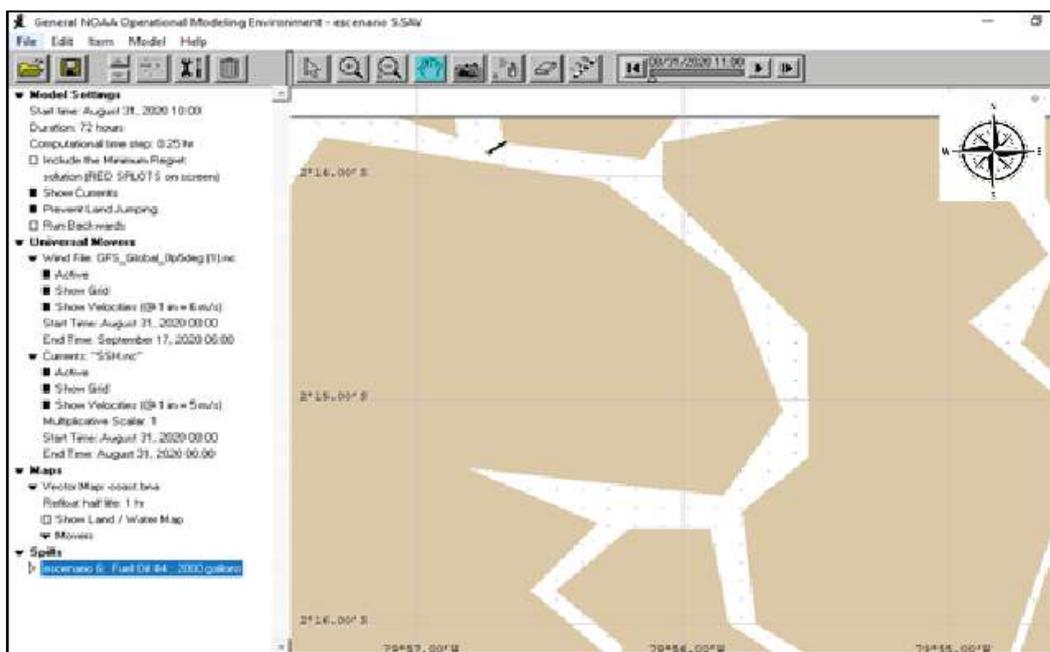


Figura 29. Resultado del software GNOME luego de 24 horas ocurrido el derrame de 2000 gal de fueloil 4 escenario 6 época lluviosa Anchundia, 2020

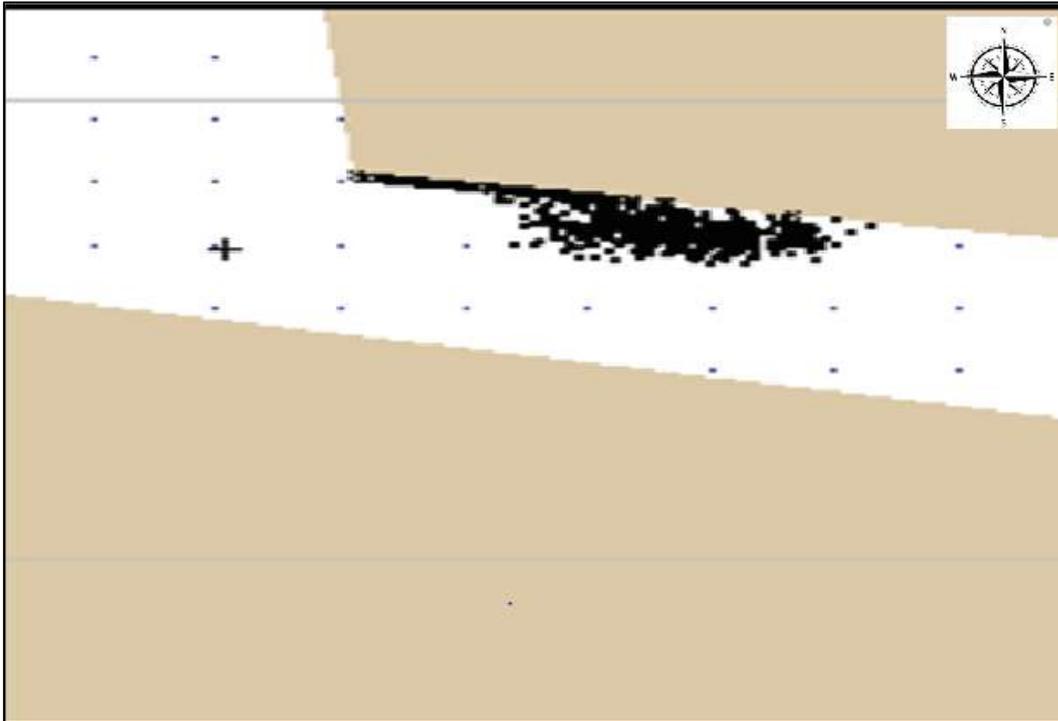


Figura 30. Resultado del software GNOME luego de horas 48 ocurrido el derrame de 2000 gal de fueloil 4 escenario 6 época lluviosa. Anchundia,2020

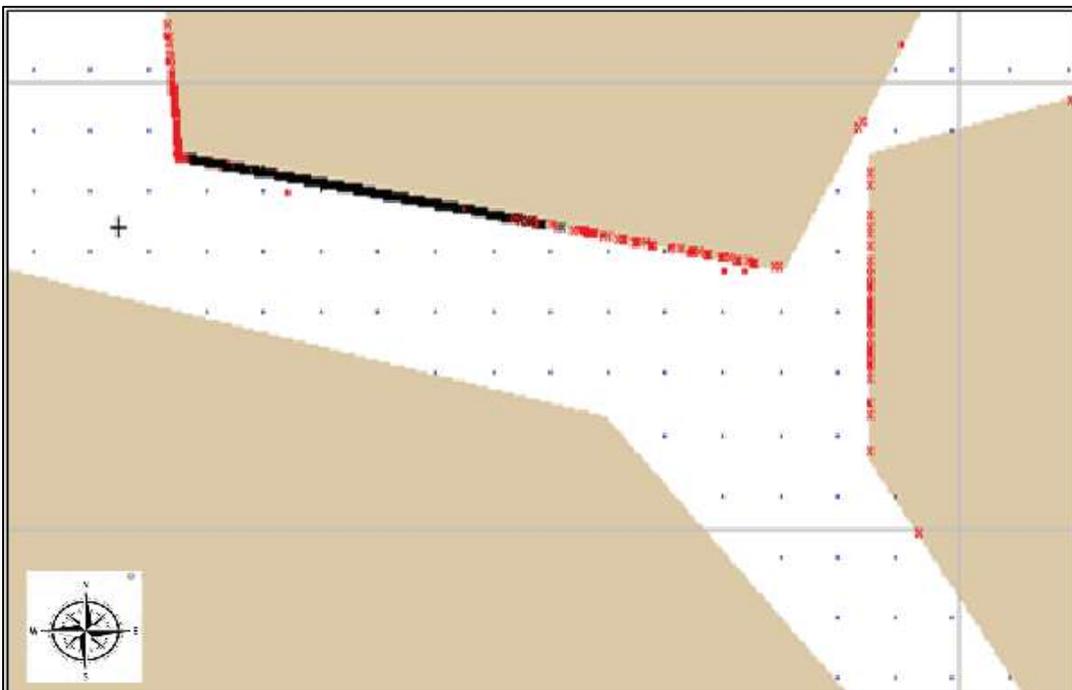


Figura 31. Resultado del software GNOME luego de horas 72 ocurrido el derrame de 2000 gal de fueloil 4 escenario 6 época lluviosa. Anchundia,2020

**Tabla 10. Área de extensión alcanzada por los contaminantes**

Escenario	Distancia recorrida del contaminante	Contaminante	Cantidad del contaminante
1	180 m	Gasolina	500 gal
2	590 m	Diésel	1000 gal
3	623 m	Fueloil 4	2000 gal
4	257 m	Gasolina	500 gal
5	809 m	Diésel	1000 gal
6	885 m	Fueloil 4	2000 gal

Dispersión de los contaminantes.  
Anchundia, 2020

#### 4.3.2. Interpretación grafica de la extensión alcanzada por los contaminantes

En la figura 32 podemos observar la comparación entre los derrames simulados en época lluviosa y época seca, la cual se puede determinar que la época seca representada en las barras de color naranja su expansión fue mucho mayor que a la de la época lluviosa barras de color azul.

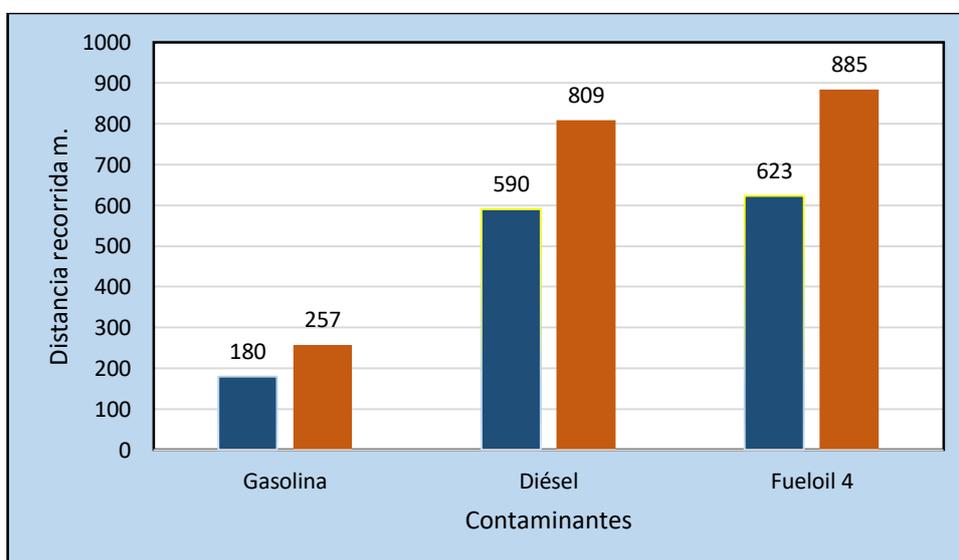


Figura 32. Comparación de los derrames 500 gal gasolina, 1000 gal diésel, 2000 gal de fueloil 4 en época seca y época lluviosa.  
Anchundia, 2020

### **4.3. Estimación de los posibles impactos ambientales mediante una matriz de Leopold causados por diferentes derrames de hidrocarburos a través de los resultados obtenidos y revisión bibliográfica.**

En nuestro cuarto objetivo se evaluó los impactos que causarían los diferentes derrames de gasolina, diésel, fueloil 4, en las diferentes condiciones en las que fueron expuestos, se utilizó la Matriz de Leopold para la evaluación, se consideró para la evaluación los resultados obtenidos de las simulaciones.

Se evaluó la distancia que recorrió y la dirección que tomó cada derrame y la cantidad que aún se mantiene flotando se estimó el contacto que este tuvo con la vegetación y la fauna de la zona esto se lo pudo determinar por el software ADIOS 2 y GNOME, y usando Google earth determinamos el lugar en donde terminó el derrame y el impacto que este causaría.

Para una mejor evaluación de nuestros trabajos en la Matriz de Leopold se realizó una búsqueda bibliográfica de los impactos que los hidrocarburos causan, a los ecosistemas a los que son expuestos cuyas revisiones bibliográficas se encuentran en el capítulo dos de nuestro trabajo de investigación.

#### **4.3.1. Matriz de Leopold aplicado al escenario simulado.**

Luego de dar valores a nuestra matriz los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

El mayor impacto causado por los derrames luego de evaluar nuestra matriz fue el medio biótico con un valor de (-1887) afectando a los subcomponentes flora (-747) y fauna (-1150), seguido del medio socio económico (-1043) y del componente físico (-721), como podemos determinar todos los componentes, muestran impactos negativos, esto concuerda con nuestras revisiones bibliográficas la cual no especificaba que todo derrame hidrocarburo no importa

que derivado o cantidad se derrame si era expuesto a cualquier ecosistema este causa un impacto difícil biorremediar.

#### 4.3.2. Resultado grafico de la matriz de Leopold

Para realizar un mejor análisis se graficó los resultados obtenidos de la matriz de Leopold expresado en los impactos por sub componentes y los impactos por componentes.

##### 4.3.2.1. Subcomponentes del medio físico.

Los resultados de los impactos por subcomponente se detallan en la figura 34 la cual podemos interpretar que el subcomponente agua es la más afectado con un 48 % a diferencia de la atmosfera y la tierra en el medio físico.

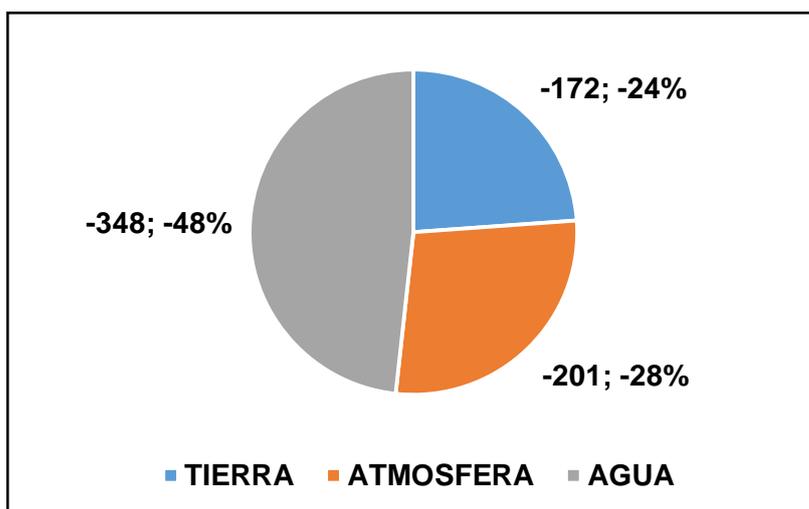


Figura 33. Resultados de la matriz de Leopold del medio físico por subcomponentes tierra, atmosfera, y agua. Anchundia 2020.

#### 4.3.2.2. Subcomponentes del medio biótico.

Los resultados de los impactos por subcomponente se detallan en la figura 35 la cual podemos interpretar que el subcomponente fauna es la más afectado con un 61% a diferencia del subcomponente flora.

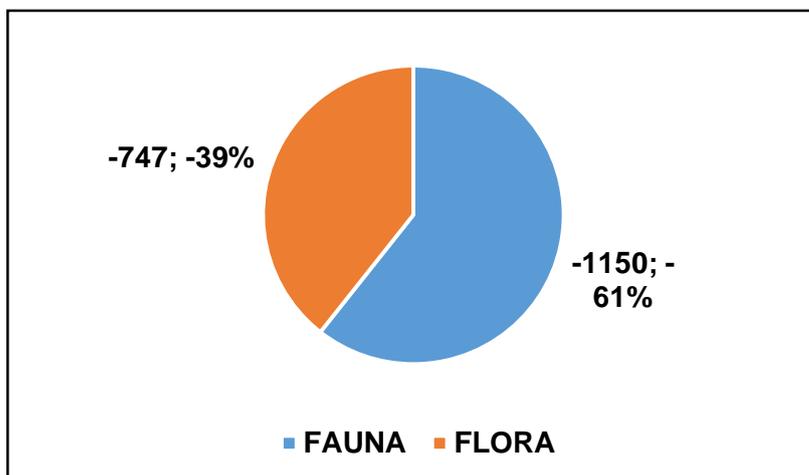


Figura 34. Resultados de la matriz de leopol del medio biótico por subcomponentes flora y fauna. Anchundia 2020.

#### 4.3.2.3. Subcomponentes del socio económico y social.

Los resultados de los impactos por subcomponente en la figura 36 se observa que el sub componente interés estético es la más afectado con un 41% a diferencia del subcomponente uso de tierra, recreación, y cultural.

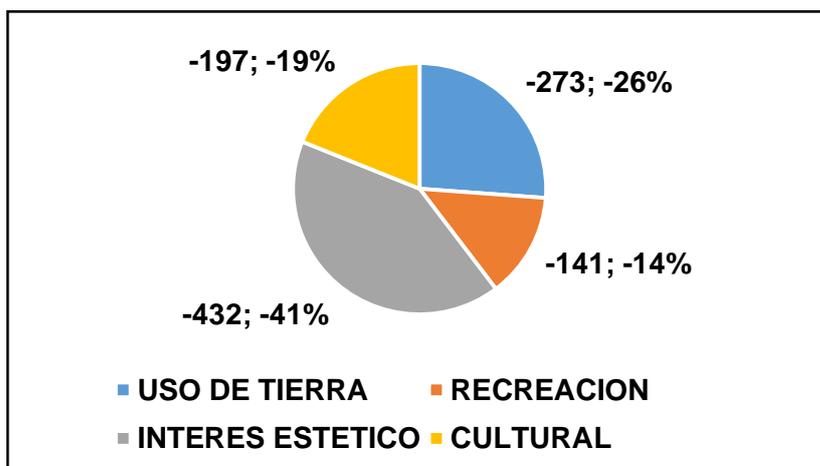


Figura 35. Resultados de la matriz de leopol del medio socio económico Anchundia 2020.

Para un mejor análisis de los resultados de nuestra matriz se graficó los resultados en sus componentes Físico, Biótico y Socio Económico, la cual se observó que el medio físico en nuestro proyecto fue el más afectado ante los derrames simulados en los softwares ADIOS 2 Y GNOME.

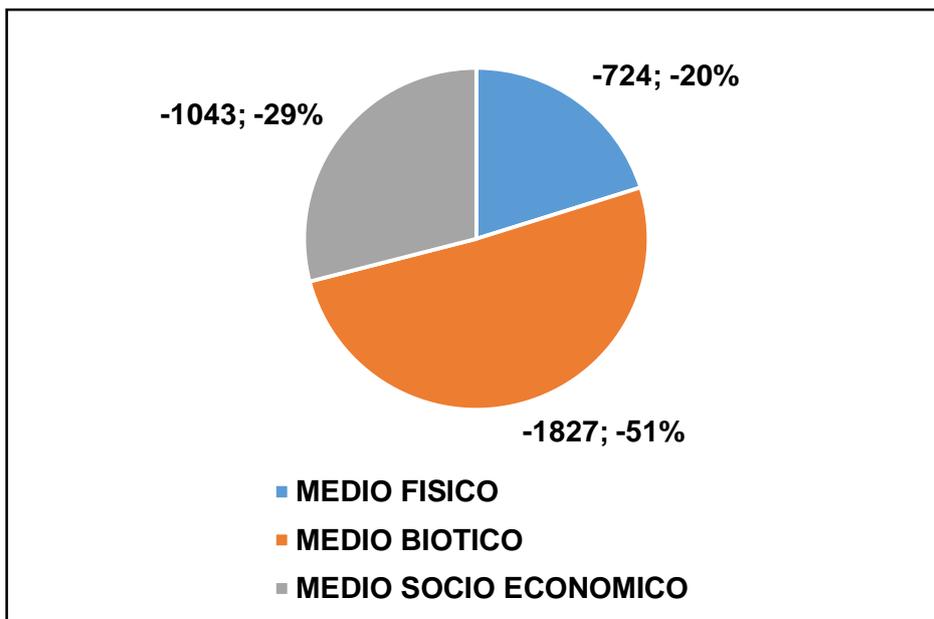


Figura 36. Resultados de la matriz de Leopold por medio general. Anchundia 2020.

**Tabla 11. Matriz de Leopold aplicada a los posibles derrames de hidrocarburo.**

EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES POR DERRAME DE HIDROCARBUROS EN EL ESTERO SALADO DE GUAYAQUIL			Simulaciones de derrames						Promedio positivos	Promedio negativos	Promedio aritméticos	Impacto por subcomponente	Impacto por componente	Impacto total del proyecto					
			Gasolina 500 GI	Diésel 1000 Gal	Fueloil 4 2000 GI	Gasolina 500 GI	Diésel 1000 Gal	Fueloil 4 2000 GI											
Medios	Componentes	Factores ambientales																	
Medio físico	Tierra	Paisaje	-2	-2	-3	-3	-3	-4	6	6	-51	-	172	-	721	-	291	4	
			3	3	3	3	3	3											
		Condiciones físicas únicas	-3	-4	-4	-4	-4	-5	6	6	-								120
			5	5	5	5	5	5											
		Forma del terreno	0	0	0	0	0	0	0	0	0								0
			0	0	0	0	0	0											
	Atmosfera	Calidad del aire	-4	-4	-5	-5	-5	-6	6	6	-	145							
			5	5	5	5	5	5											
		Generador de Gases y olores	-2	-2	-2	-3	-3	-3	6	6	-36	201							
			3	3	3	3	3	3											
		Ruido	-1	-1	-2	-2	-2	-2	6	6	-20								
			2	2	2	2	2	2											
Superficial	-4	-5	-5	-5	-6	-6	6	6	-	177									
	5	5	6	6	6	6													
Calidad de Agua	-4	-4	-4	-5	-5	-5					-								

			5	5	5	5	5	5	6	6	-	348		
											135			
		Temperatura	-1	-2	-2	-2	-2	-2	6	6	-36			
			3	3	3	3	3	3						
Medio biótico	Flora	Plantas Acuáticas	-4	-4	-5	-5	-6	-6	6	6	-			
			6	6	6	6	6	6			180			
		Especies en Peligro	-4	-4	-5	-5	-6	-6	6	6	-			
			6	6	6	6	6	6			180			
		Manglares	-5	-5	-6	-6	-7	-7	6	6	-			
			7	7	7	7	7	7			252			
	Plantas herbáceas	-4	-4	-4	-5	-5	-5	6	6	-				
		5	5	5	5	5	5			135				
	Fauna	aves	-5	-5	-6	-7	-7	-7	6	6	-			
			7	7	7	7	7	7			259			
		Animales terrestres incluyendo reptiles	-1	-1	-1	-2	-2	-2	6	6	-27			
			3	3	3	3	3	3						
Peces y moluscos		-5	-5	-5	-7	-7	-7	6	6	-				
		7	7	7	7	7	7			252				
Micro fauna	-7	-7	-7	-8	-8	-8	6	6	-					
	7	7	7	8	8	8			339					
Especies en peligro	-6	-6	-6	-7	-7	-7	6	6	-					
	7	7	7	7	7	7			273					
			-5	-5	-5	-6	-6	-6						

Medio socio económico	Uso de la tierra	Humedales	6	6	6	6	6	6	6	6	6	-138	-273	-1043
		Vida silvestre y espacios	-4	-4	-4	-5	-5	-5	6	6	-	135		
	5		5	5	5	5	5							
	Recreación	pesca	-2	-2	-2	-3	-3	-3	6	6	-45	-141		
			3	3	3	3	3	3						
		Recreación	-3	-3	-3	-4	-4	-4	6	6	-96			
			4	4	4	5	5	5						
	Interés estético y humano	Calidad de vida silvestre	-5	-5	-5	-6	-6	-6	6	6	-	216	-432	
			6	6	6	7	7	7						
		Alteración a Ecosistema	-5	-5	-5	-6	-6	-6	6	6	-	216		
			6	6	6	7	7	7						
		Seguridad y salud	-4	-4	-5	-5	-6	-6	6	6	-	167		
			5	5	5	6	6	6						
		Empleo	-1	-1	-2	-2	-2	-2	6	6	-	-30		
			3	3	3	3	3	3						

#### 4.3.3. Análisis estadístico Test U de Mann-Whitney

Para la elaboración del análisis estadístico se comparó nuestra variable dependiente: distribución del contaminante (vol. Evaporado, vol. disperso y volumen disuelto siendo nuestra variable independientes estación del año (época seca y época lluviosa), se utilizó software Minitab, mediante la prueba: U de Mann-Whitney, con el 95 % de confiabilidad al (0,05 nivel de significancia), y obtener los resultados con los que nos ayudaran a aceptar o rechazar las hipótesis descritas en el apartado de metodología del análisis estadístico.

#### **4.3.3.1. Variable volumen evaporado época seca y época lluviosa.**

Según el valor de probabilidad en la época lluviosa y época seca la evidencia es suficiente para afirmar que la diferencia entre las medianas de los volúmenes evaporado de las seis simulaciones es estadísticamente significativa, la tabla 8 indica a que los valores p en el volumen evapora simulación 1 y 4 además de la simulación 2 y 5 son menor al nivel de significancia 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, y en el escenario 3 y 6 es superior por la tanto se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alterna.

**Tabla 12. Comparación de la variable volumen evaporado en época seca y época lluviosa mediante la prueba no paramétrica U de Mann Whitney**

Variable	Epc. del año	Mediana	Valor W	Valor p
Vol. Evaporado sim 1 y 4	lluvioso	219	40,00	0,012
	seca	163		
Vol. evaporado sim 2 y 5	lluvioso	419	17,00	0,037
	seca	447		
Vol. Evaporado sim 3 y 6	lluvioso	805	24,00	0,531
	seca	811		

Valor W: estadístico de Mann-Whitney, Valor p: Valor de probabilidad  
Anchundia, 2020

#### **4.3.3.2. Variable volumen disperso época seca y época lluviosa.**

La prueba de U de Mann Whitney para la variable del volumen disperso nos indica un valor inferior en los seis escenarios al valor de probabilidad de 0.05, la tabla 9 nos demuestra lo mencionado por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

**Tabla 13. Comparación de la variable volumen disperso en época seca y época lluviosa mediante la prueba no paramétrica U de Mann Whitney**

Variable	Epc. del año	Mediana	Valor W	Valor p
Vol. Disperso esc 1 y 4	lluvioso	12	15,00	0,012
	seca	18		
Vol. Disperso Esc 2 y 5	lluvioso	26	15,00	0,012
	seca	49		
Vol. disperso Esc 3 y 6	lluvioso	45	15,00	0,012
	seca	58		

Valor W: estadístico de Mann-Whitney, Valor p: Valor de probabilidad  
Anchundia, 2020

En la tabla 9 indica a que los valores p son inferiores al nivel de significancia 0.05 en escenario 1 y 4 al igual que el escenario 2 y 5 por lo tanto por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna y el escenario 3 y 6 el valor p es mayor al valor de significancia. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

**Tabla 14. Comparación de la variable volumen flotando en época seca y época lluviosa mediante la prueba no paramétrica U de Mann Whitney**

Variable	Epc. del año	Mediana	Valor W	Valor p
Vol. flotando esc 1 y 4	lluvioso	270	15,00	0,012
	seca	318		
Vol. flotando Esc 2 y 5	lluvioso	563	37,50	0,047
	seca	512		
Vol. flotando Esc 3 y 6	lluvioso	1.150	36.00	0.095
	seca	1.130		

Valor W: estadístico de Mann-Whitney, Valor p: Valor de probabilidad  
Anchundia, 2020

## 5. Discusión

Los resultados obtenidos por las simulaciones realizadas en muestra trabajo de investigación, nos mostró como la distribución y dirección del contaminante eran influenciadas por el tiempo y velocidad del viento, ver tabla 4 y 7 donde nos muestra los 500 gal de gasolinas simulados con dos velocidades de viento diferente el contaminante se entiende mucho más. Por esto, se acepta lo mencionado por Calzada, Pérez, Reyes, y Casals (2019) donde menciona que las simulaciones que realizo al variar la velocidad y mientras más tiempo permanecía contaminante en el agua la pluma de contaminación se desplazaba mucho más.

Como se observa en la figura 23 el contaminante se mantiene en la costa debido a que al carecer de una velocidad de viento predominante no fluye con total libertad. Po lo cual, se acepta lo que Morris (2019) menciona que, al observar, durante la simulación el tamaño de la extensión del vertido, el vertido no se dispersa y se mantiene compacto, lo que potencialmente facilitaría las labores de limpieza.

En el presente trabajo se observó que como el contaminante dentro de las dos primeras horas llega a tierra ver figura 15,28, esto se debe a que el lugar donde ocurrió el derrame es pequeño, siendo un punto vulnerable. por tal motivo, se acepta lo dicho por Viteri (2016) donde en su estudio menciona que la probabilidad de riesgo que un derrame de diésel de 1000 gal es alto y este afectara al estero salado de Guayaquil los resultados de sus simulaciones fue de 11% que afecte el tramo 6% del manglar Y 15% en el muelle de COGUAR, pero a medida que transcurre el tiempo aumenta la probabilidad de que otros tramos se vean afectadas por el derrame, como los tramos 02 y 03 de manglar, muelle de COGUAR, puerto privado y esto debido a que los esteros de Guayaquil.

En el trabajo de investigación podemos darnos cuenta la importancia que tiene la tecnología, para elaboración de informes y preparación ante una amenaza como puede ser un derrame de hidrocarburo Habibi (2015) menciona que debido al crecimiento potencial del comercio, industria y turismo el transporte marítimo ha crecido, por tal motivo la utilización de la tecnología nos facilita el estudio de posibles derrames de hidrocarburos facilitando la evaluación a lo hora de tomar de decisiones.

Como se observa en la matriz de Leopold realizada en nuestro trabajo, para la evaluación del impacto causado por derrames de hidrocarburo podemos verificar que la parte más afectada por el derrame es la flora y fauna alterando los ecosistemas, y así afectando organismos invertebrados, fauna Ictiológica, Manglares siendo perjudicial coincidiendo con investigaciones pasadas como según Miranda y Restrepo (2005), menciona que el impacto causado por un derrame hidrocarburo es muy alto debido a la fragilidad de este tipo de ecosistema y que el impacto que este causaría dependerá de la cantidad y tipo de contaminante que se derrame, dado a que los derrames de hidrocarburos difícilmente serán eliminados la mejor manera de reducir el impacto que este causaría en la realización de adecuados planes de contingencia.

Se pudo verificar que la distribución y esparcimiento de un derrame de hidrocarburo fue amplio debido a las condiciones a la que fue expuesto las simulaciones de esta manera se acepta lo que menciona Corral, Vergara , y Barragán, (2012) la extensión de los hidrocarburos depende de una serie de factores agravantes, como la cantidad y las características del hidrocarburo, la meteorología durante el accidente la época del año etc.

## 6. Conclusiones

Obtenidos los resultados del siguiente trabajo se concluye que:

El uso de software para el cálculo de la distribución y comportamiento de los diferentes derivados de hidrocarburos, son eficientes para el estudio y evaluación del contaminante facilitando al investigador en su toma de decisiones.

Los softwares utilizados para las simulaciones de nuestro trabajo de investigación nos permitió estimar que el escenario 1 y 4 la cual contiene el mismo tipo de contaminante (500 gal de gasolina), con diferencia de la velocidad de viento 4 m/s (época lluviosa), a 6 m/s (época seca), se obtuvo resultados similares alcanzando un 45% de evaporación dentro de las 24 horas en época lluviosa, y un 45% de evaporación también en época seca, concluyendo que la velocidad y dirección no influye en la distribución del contaminante para esta simulación.

En el escenario 2 y 5 el cual el contaminante para esta simulación fue el diésel en una cantidad de (1000 gal) con velocidad del viento de 4m/s y 7m/s para los dos escenarios, al igual que la simulación anterior fueron consideradas en las dos épocas del año seca y lluviosa en un tiempo de 48 horas los porcentajes de evaporación fueron iguales con un 43 %, concluyendo para este caso no influyo la dirección y velocidad del viento para su distribución.

Para los escenarios 3 y 6 la velocidad de vientos que se considero fue de 5 m/s y 7m/s siendo el Fueloil 4 (2000 gal), el contaminante a derramarse obteniendo resultados parecidos en su porcentaje de evaporación según resultados obtenidos por el software ADIOS 2 (41%).

Para el caso de la distancia obtenida para nuestra pluma de contaminación se utilizó velocidad de viento de 4m/s en época lluviosa y 7 m/s en época seca, los

resultados obtenidos por el software GNOME fueron los siguientes que en la época seca el contaminante se expandió mucho más que en la época lluviosa (tabla 10), esto se debe a que el contaminante se desplazara mucho mas según la velocidad del viento que se le aplique.

El presente estudio concluyó que todo tipo derrame de hidrocarburo, el impacto que este causaría sería muy grave para el ecosistema siendo una amenaza para la flora y fauna y la economía.

## 7. Recomendaciones

El uso de este tipo de este tipo software para la modelación y distribución de otros tipos de hidrocarburos facilitando la evaluación del impacto que este causaría ayudando en la toma de decisión para el investigador, además de. ser de bajo costo para este tipo de investigación.

Realizar simulaciones con velocidades de viento superiores a 7m/s, además de utilizar diferentes derivados de hidrocarburos como por ejemplo el petróleo siendo este un hidrocarburo mucho más pesado el cual nos proporcionaría diferentes resultados, comparar los escenarios y determinar el impacto que este causaría en diferentes condiciones climatológicas.

Se recomienda la elaboración de un plan de respuesta ante un derrame de hidrocarburo para el terminal portuario de Guayaquil para de esta manera poder reaccionar ante este tipo de accidentes y tratar de que el impacto que este cause se ha lo más mínimo posible.

## 8. Bibliografía

- Aitor , C. (2015). *Iniciación a los derrames de hidrocarburos* (tesis de pregrado). Universidad de Cantabria, España.
- Adams, R., Morales, F., y Zavala, J. (2008). Concentración residual de hidrocarburos en el suelo del trópico - *Afectación a la fertilidad y su recuperación*, 7 (33), 483-48.
- Albers, P. H. (1994). Petroleum and individual polycyclic aromatic hydrocarbons. Handbook of Ecotoxicology, Estados Unidos: Editores Lewis.
- Amílcar , E., Calzada , E., Frank, E., Pérez, A., Dailín , R., y Reinaldo, T. (2015). Modelación de los derrames de petróleo mediante el empleo de PETROMAR. *Revista cubana de Meteorología*, 55-69.
- Angulo, L. (2010). *La jornada Ecologica*. Obtenido de La jornada Ecologica: <https://www.jornada.com.mx/2010/08/02/eco-k.html>
- Autoridad portuaria de Guayaquil. (2019). Estadísticas *portuarias*(1). Obtenido de: <http://www.puertodeguayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/04/Enero-2019.pdf>
- Bravo, L. (1987). *La Investigación documental y bibliográfica*. Caracas: Panapo. Obtenido de <https://www.urbe.edu/UDWLibrary/InfoBook.do?id=1737>
- Calzada, A., Pérez, F., Reyes, D., y Casals, R. (2019). Modelación de los derrames de petróleo mediante el empleo de PETROMAR. *Revista Cubana de Meteorología*, 66.67.
- Comerma, E. (2004). *Modelado numérico de la deriva y envejecimiento de los hidrocarburos vertidos al mar*. Obtenido de aplicación operacional en la lucha contra las mareas negras: <http://hdl.handle.net/2117/93716>

- Committee on Oil in the Sea. (2003). *Fate of hydrocarbons discharged eat sea*. Washington, DC: National Academy of Sciences. Obtenido de [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK220703/pdf/Bookshelf\\_NBK220703.pdf](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK220703/pdf/Bookshelf_NBK220703.pdf)
- Corral, M., Vergara , E., y Barragán, N. (2012). Estudio de dispersión de hidrocarburos en medio marino. . *XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, 7,8.
- Duran, R., Romeo, L., Whiting, J., Vielma, J., Rose, K., Bunn, A., y Bauer, J. (2018). Simulation of the 2003 Foss Barge - Point Wells Oil Spill: A Comparison between BLOSOM and GNOME Oil Spill Models. *Marine Science and Engineering*, 6(104), 1-39. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2077-1312/6/3/104/htm>
- Echarri, L. (1998). Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. *Editorial Teide, Madrid.*, 31: 29-34.
- Fay, J. A. (1971). Physical Processes in the Spread of Oil on a Water Surface. *Proceedings of the Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spills, Sponsored by API, EPA, and USCG, Washington, DC, American Petroleum Institute, Washington, DC*, 463–467.
- Flores, J. (2019). *Implementación del método de ensayo para la determinación de densidad y API para combustibles derivados del petróleo mediante el uso del densímetro digital en el laboratorio del Terminal El Beaterio bajo la norma ISO/IEC 17025*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Flores, D. (2017). Centro de Interpretación e Investigación de Manglar - El Estero Salado (tesis de pregrado). *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. Quito, Ecuador.

- French-McCay, D., DeborahCrowley, J.Rowe, J., Bock, M., Robinson, H., Wenning, R., Parkerton, T. (2018). Comparative Risk Assessment of spill response options for a deepwater oil well blowout: Part 1. Oil spill modeling. *Marine Pollution Bulletin*, 1001-1015. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X18303606>
- Gálvez, H., & Regalado, J. (2007). Características de las precipitaciones y temperatura del aire y los vientos de las costas Ecuatoriana. *Acta oceanografa del Pacifico*, 4-6.
- Gastañaga, M. D. (2018). Water, Sanitation And Health. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 32(2). Obtenido de [https://www.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342018000200181](https://www.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342018000200181)
- Gomez , V. (2019). *Prediccion de evolucion de un vertido de hidrocarburo en el puerto de cozumel mediante software GNOME*. Cozumel: Universidad de Cantabria.
- Gomez, V. L. (2019). *Ventajas y desventaja de la matriz de leopol*. Obtenido de [Ventajas y desventaja de la matriz de leopol: https://www.lifeder.com/matriz-de-leopold/](https://www.lifeder.com/matriz-de-leopold/)
- Guo, W., y Wang, Y. (2009). A numerical oil spill model based on a hybrid method. *Marine Pollution Bulletin*, 58(5), 726–734. doi:<http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.12.015>
- Gonzàles, N., Simarro, R., Molina, M. C., Bautista, L. F., Delga, L., & Villa, J. A. (2011). Effect of surfactants on PAH biodegradation by a bacterial consortium and on the dynamics of the bacterial community during the process. *Bioresource Technology*. , 102, 9438-9446.

- Habibi, A. (2015). *Derrame de Hidrocarburos sistemas de Modelacion Mohid*. Tenerife: Universidad de la laguna.
- Hampton, S., Kelly, p., y Carter, H. (2003). Tank vessel operations, seabirds and chronic oil pollution in California. *Marine Ornithology* , 31: 29-34.
- Henderson, A., Gamito, S., Karakassis, I., Pederso, P., y Smaal, A. (2001). Use of hydrodynamic and benthic models for managing environmental impacts of marine aquaculture. *Journal of Applied Ichthyology*, 17(4), 163-172.
- Hernandez, M., Eugenia, O., y Gloria, S. (2007). Contaminacion de los Manglares por hidrocarburos y Estrategias de biorremedacion. *Revista Internacional de contaminacion Ambiental*, 3.
- Hidalgo, J. C. (2009). Efectos de los derrames de petroleo sobre los habitats marinos. *Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Concepción*, 2.
- Hilgert, N. (2011). SITUACIÓN DE LA AVIFAUNA DEL ESTERO SALADO - GUYAQUIL (tesis de pregrado). *ESPOL*. Guayaquil, Ecuador:
- Lantanos, N., Graciela, P., Acuña, A., y Pucci, O. (2010). Derrame de hidrocarburos en la playa de Caleta Córdova, ciudad de Comodoro Rivadavia, Argentina: su evolución. *Ingeniería ambiental y sanitaria*, 100, 113-117. Obtenido de <http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/tratamientorep/wp-content/uploads/2016/08/Derrame-de-Hidrocarburos-ISA100.pdf>
- Latorre, L. (2018). *Propuesta de actualización preventiva a los Procedimientos de alije para evitar derrames de hidrocarburos en el mar* (tesis de pregrado). Universidad Técnica Federico Santa María, Concepción.
- Levin, R., y Rubin, D. (2004). *Estadística para administración y economía*. México: Pearson México. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=uPhtNCqC4isC&pg=PR10&dq=prue>

ba+u+de+mann-whitney+LIBRO&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjg6vC-v-  
rnAhXnkHIEHcE3DE0Q6AEIQDAD#v=onepage&q=prueba%20u%20de%2  
0mann-whitney%20LIBRO&f=false

Lonin, L. (1997). Hydrodynamic modelling and the problem of oil spills on the Colombian Caribbean shoreline. *Spil Technology Newsletter*, 22, (1-4), pp. 1-6.

Madariaga, E. D., y Cabo, A. R. (2015). *Iniciación a los derrames de hidrocarburos*. Cantabria: Universidad de Cantabria. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7506/Aitor%20Cabo%20Rivera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Marin, M. (2010). *Simulación de un derrame de hidrocarburos en el Puerto Pesquero de Santa Rosa en el cantón Salinas* (tesis de grado). Escuela Politécnica del Litoral, Guayaquil.

Maurice, B. L., y Quiroga, I. (2002). Total mercury distribution and importance of the biomagnification process in rivers of the Bolivian Amazon. *The Ecohydrology of south American rivers and wetlands*, 6:49-67.

Mazorca, D., y Perea, T. (2017). Propuesta metodológica para la modelación del impacto ambiental del derrame accidental de hidrocarburos en cuerpos de agua superficiales. *Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería química*, 1.

Ministerio del Ambiente. (2016). Ecuador suscribe Acuerdo de París sobre cambio climático (162). Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-suscribe-acuerdo-de-paris-sobre-cambio-climatico/>

- Miranda , D., y Restrepo, R. (2005). Los derrames de petroleo en ecosistemas tropicales impactos, consecuencia y prevencion. *International oil spill Conference* , 1(2) 571-575.
- Morris, V. (2019). *Prediccion de evolucion de un vertido de hidrocarburo en el puerto de cozumel mediante el software GNOME*. D.F: Universidad de Cantabria.
- Nezhad, M. M., Groppi, D., Laneve, G., Marzialetti, P., y Piras, G. (2018). Oil Spill Detection Analyzing “Sentinel 2” Satellite Images: A Persian Gulf Case Study. *AWSPT*, 134, 2-9. Obtenido de [https://avestia.com/CSEE2018\\_Proceedings/files/paper/AWSPT/AWSPT\\_134.pdf](https://avestia.com/CSEE2018_Proceedings/files/paper/AWSPT/AWSPT_134.pdf)
- NOAA. (2020). *Oficina de respuesta y autorizacion*. Obtenido de Oficina de respuesta y autorizacion.: <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/resources/setting-gnome-your-region.html>
- Nugili, S. C., y Leturia, M. F. (2013). La contaminación por hidrocarburos. *El caso “Magdalena”*, 1.
- Obida, A. I., Blackburn, G. A., Whyatt, J. D., y Semple, K. (2018). Quantifying the exposure of humans and the environment to oil pollution in the Niger Delta using advanced geostatistical techniques. *Envrnmental International*, 111, 32-42. Obtenido de [sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412017313193](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412017313193)
- Oreskes, N., Shrader, Frechette, K., y Belitz, K. (1994). Verification, validation, and confirmation of numerical models in the earth sciences. *Sciences*, 263(5147).

- Ortiz, D., & Silva, J. (2019). Efectos ambientales de los hidrocarburos. *Universidad Santiago de Cali*, 5,6.
- Otero, L., Pierini, J., Leitão, P., Malhadas, M., Ribeiro, J., Leitão, Jo., Restrepo, J. (2014). *Transporte y dispersión tridimensional de un derrame de petróleo en el mar debido a un evento "blowout"*. *Dyna* 8 (1). 42-50.
- Palavecino, J. (2019). *Análisis y simulación de procesos de contaminación en acuíferos costeros mediante modelos de transporte reactivo*.(tesis de pregrado). Santiago, Chile.
- Pardo, M., Manotas, v., Campanella, H., y Pàez, J. (2006). *Medodo de Medicion de combustible en una embarcacion fluvial*. Medellin: Ingeniería y Ciencia.
- Plitt, L. (2010). *BBC NEWS*. Obtenido de BBC NEWS: [https://www.bbc.com/mundo/internacional/2010/04/100428\\_derrame\\_petroleo\\_claves\\_lp](https://www.bbc.com/mundo/internacional/2010/04/100428_derrame_petroleo_claves_lp)
- Ramírez, M. (2017). Derrames de petróleos en Canarias (tesis de pregrado). Universidad de la laguna, España.
- Santana, E. (2010). Modelo cinético para determinar la capacidad depurativa de hidrocarburos del microcosmos, en agua y sedimento, de la bahía de Manzanillo, zona portuaria del Canal de Panamá y su aplicación a sistemas de tratamiento biológico (tesis de pregrado). Panamá, Panamá.
- Schiaffino, E. L. (2016). Derrame de petróleo en el mar Adriático es una muestra de las catástrofes naturales que se avecinan *Globalvoices*. Obtenido de <https://es.globalvoices.org/2016/05/27/derrame-de-petroleo-en-el-mar-adriatico-se-anticipan-mas-catastrofes-naturales/>
- Silva, A., Marin, V., y Delgado, L. (2014). An hydrodynamic model of rio cruces wetland: calculation of residence time using mohid Aqua-LAC, 2(6), 50-57 .

- Smail, J., Ainley, D., y Strong, H. (1971). Smail, J., D. Ainley, H. Strong. 1972. *San Francisco oil spill. California Birds*, 3:25-32.
- Valdés, L., Ortega, G., y Consuegra, J. (2019). Mapa de riesgos tecnológicos asociados al manejo de mercancías peligrosas en los puertos de Barranquilla. *Prospectiva*, 17(1), 62-69. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7002617>
- Velásquez, J. (2016). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA*, 6,7.
- Vidal, L. R., y Mendoza, Á. L. (2018). Quality of water for human consumption in the balsa communities in the middle, Julián and Severino of the Carrizal micro-basin, Ecuador. *Instituto de Investigación IIGMMg-unMSM*, 21(42), 39 - 46. Obtenido de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/15785/13521>
- Viteri, J. (2016). Estudios de escenario de derrames de hidrocarburos en el medio marino de la base naval sur de Guayaquil. *Universidad de Cantabria*, 57,58.
- Wang, S., Shen, Y., y Zheng, Y. (2005). Two-dimensional numerical simulation for transport and fate of oil spills in seas. *Ocean Engineering*, 32:1556-1571.
- Woyntowicz, D., Severson Baker, C., y Reynolds, M. (2005). Oil Sands Fever. The Environmental Implications of Canada's Oil Sands Rush. Canada. *The Pembina Institute*, 2.

Yapa, P. D., Shen, H. T., y Angamma, K. S. (1994). Modeling oil spills in a river lake system. *Journal of Marine Systems*, 453–471. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0924-7963\(94\)90021-3](http://dx.doi.org/10.1016/0924-7963(94)90021-3)

Zapata, C. A. (2013). *Determinacion de una pluma cntamiante por hidrocarburo mediante tomografia electrica en el municipio de texixtepec veracruz*. Mexico, D.F.: Universidad Nacional Autonoma.

## 9. Anexos

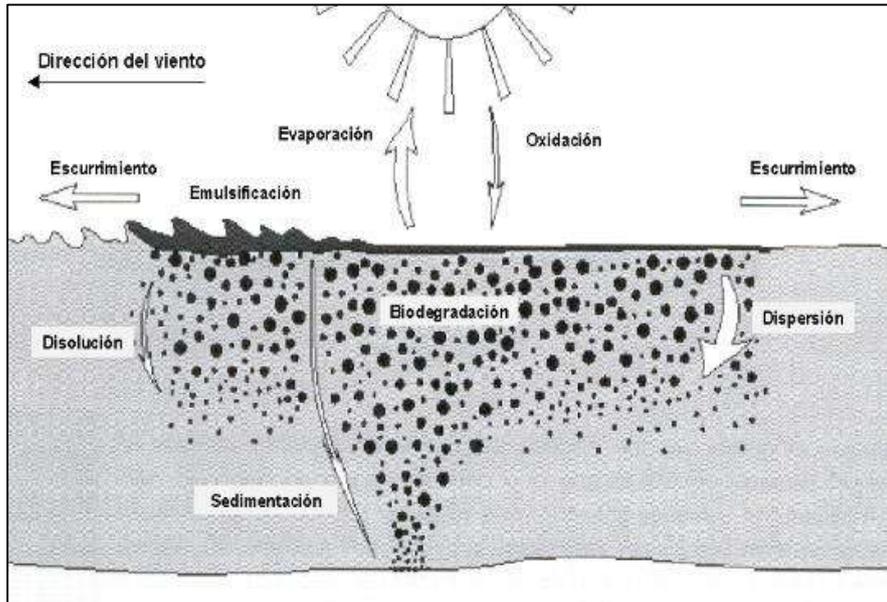


Figura 37. Proceso de degradación del petróleo  
Rodríguez,2004

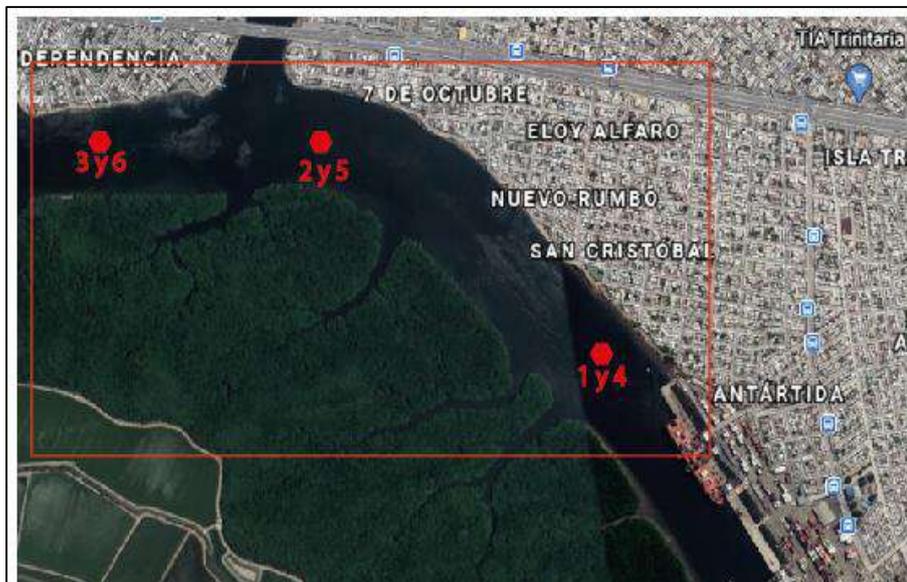


Figura 38. ubicación de los puntos de los derrames.  
Anchundia,2020

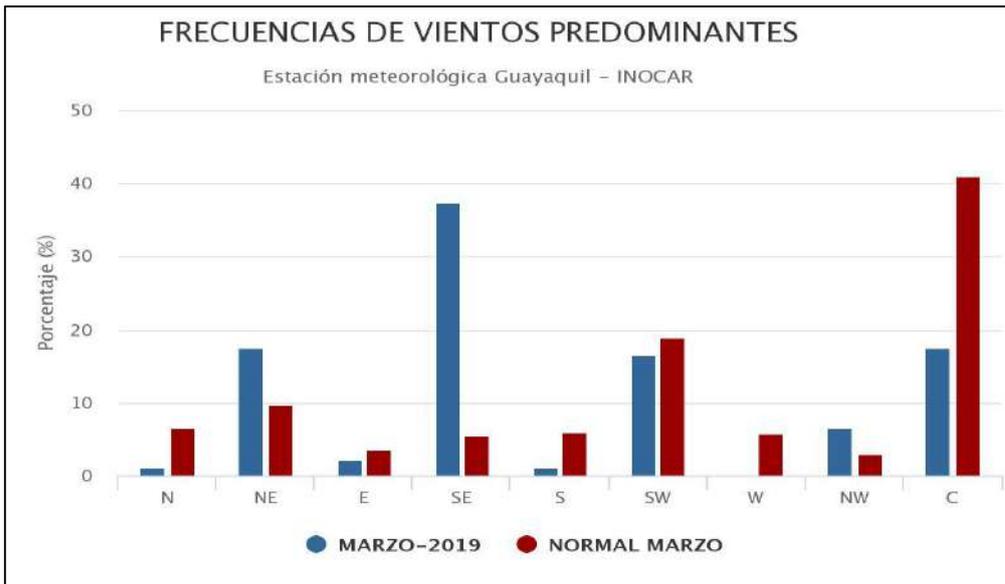


Figura 39. Frecuencia de vientos predominantes mes de marzo INOCAR,2019

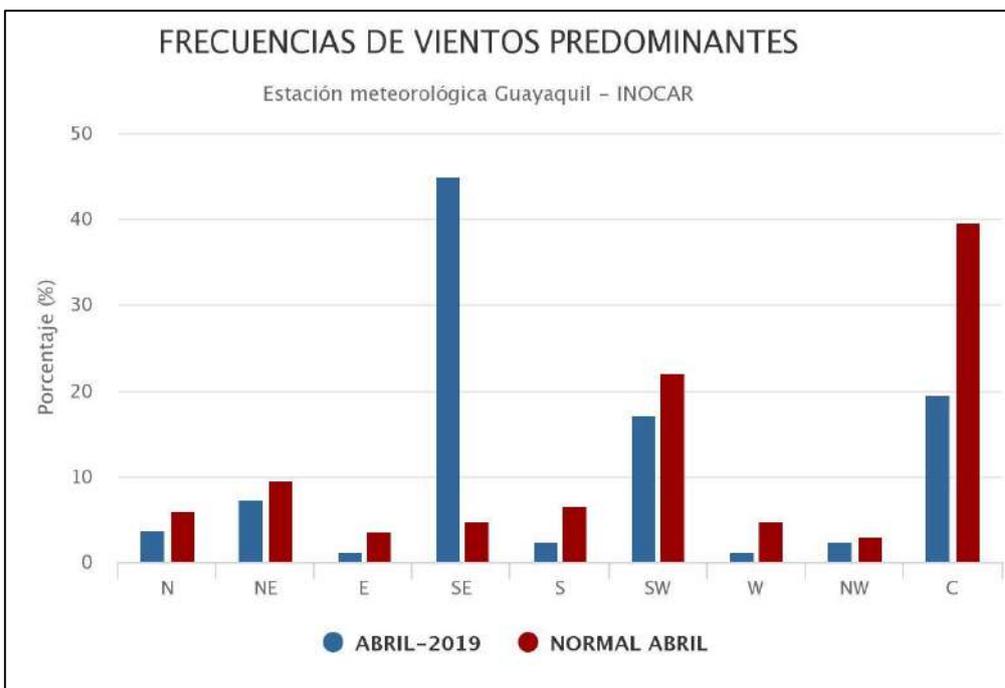


Figura 40. Frecuencia de vientos predominantes mes de abril INOCAR,2019

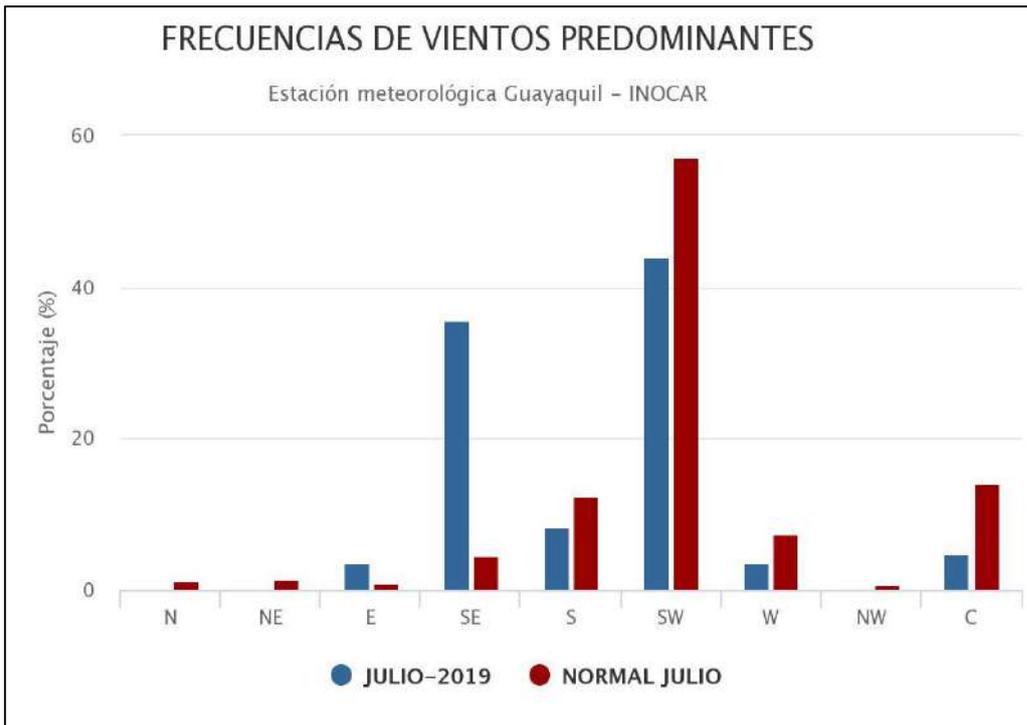


Figura 41. Frecuencia de vientos predominantes mes de julio INOCAR,2019

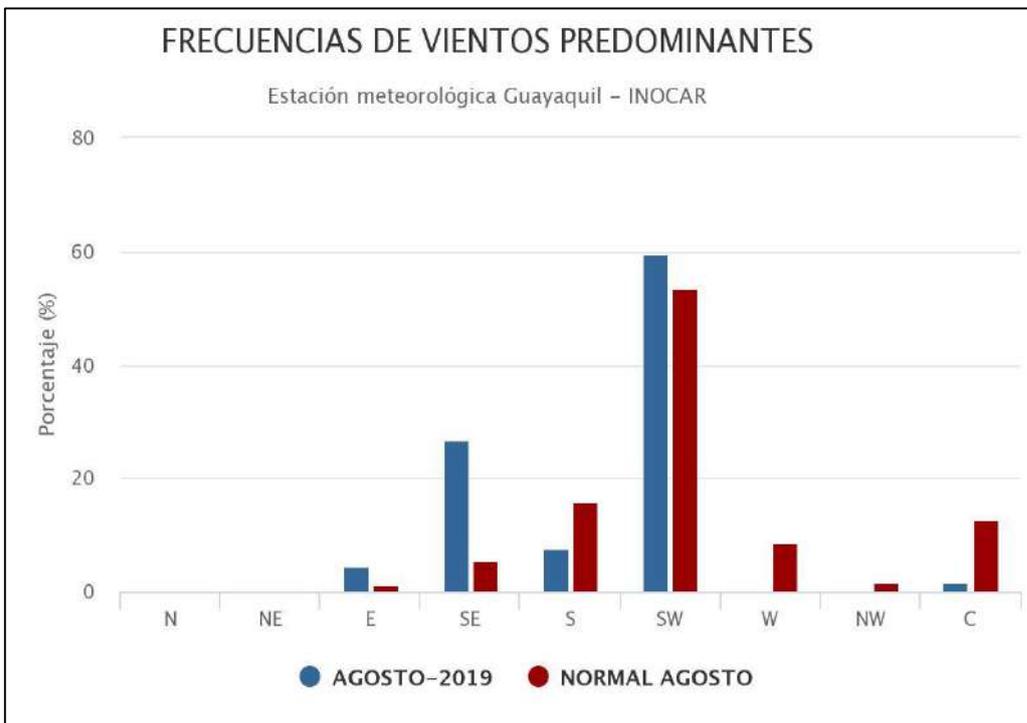


Figura 42. Frecuencia de vientos predominantes mes de agosto INOCAR,2019

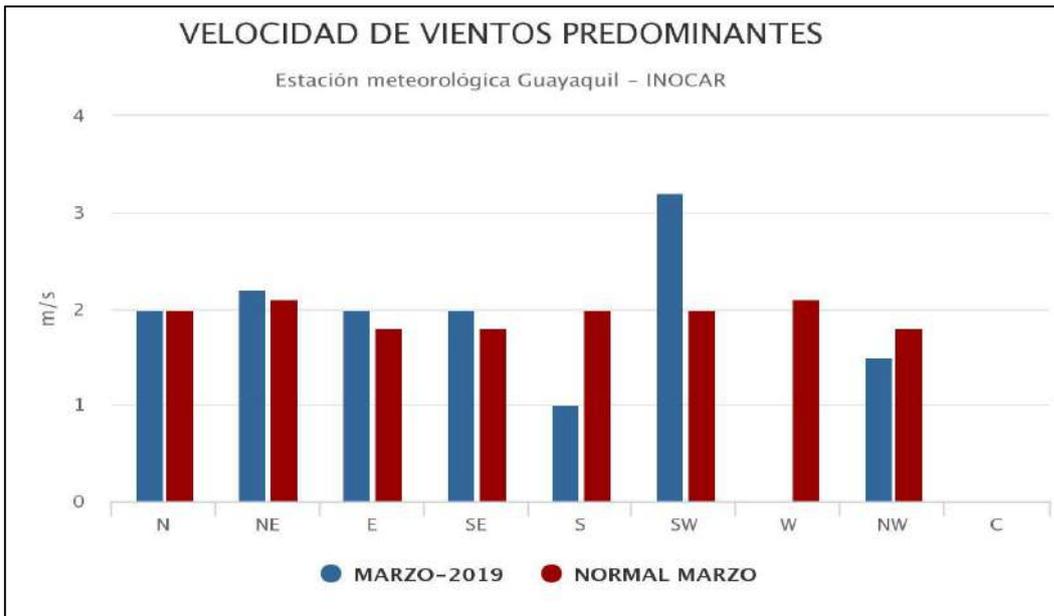


Figura 43. Velocidad de vientos predominantes mes de marzo INOCAR,2019

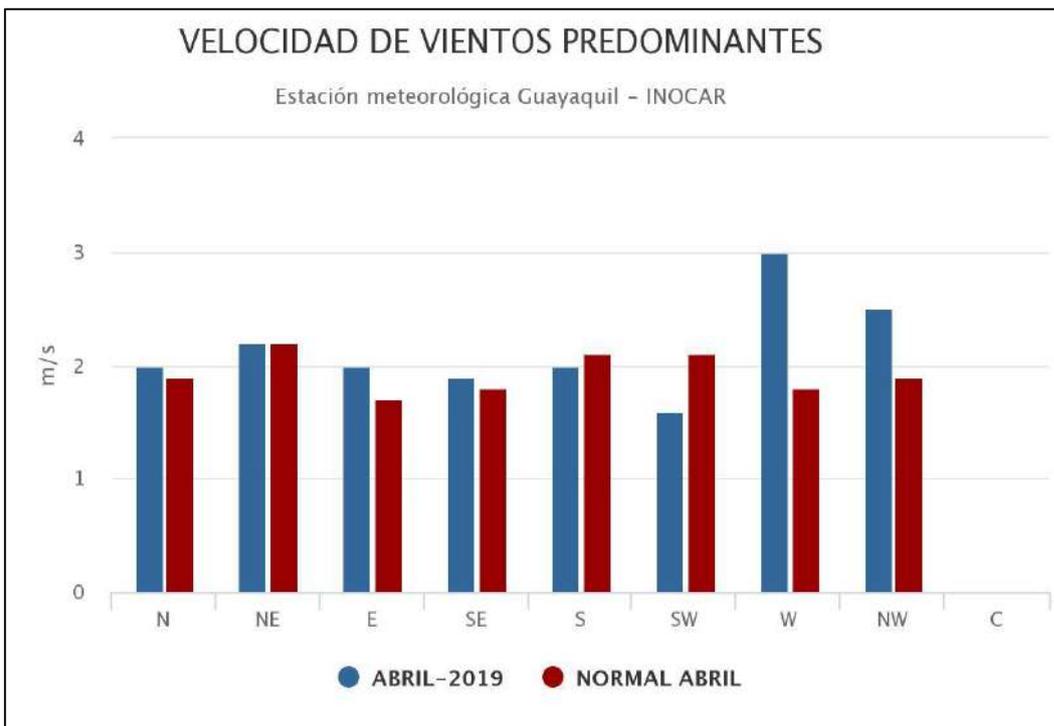


Figura 44. Velocidad de vientos predominantes mes de abril INOCAR,2019

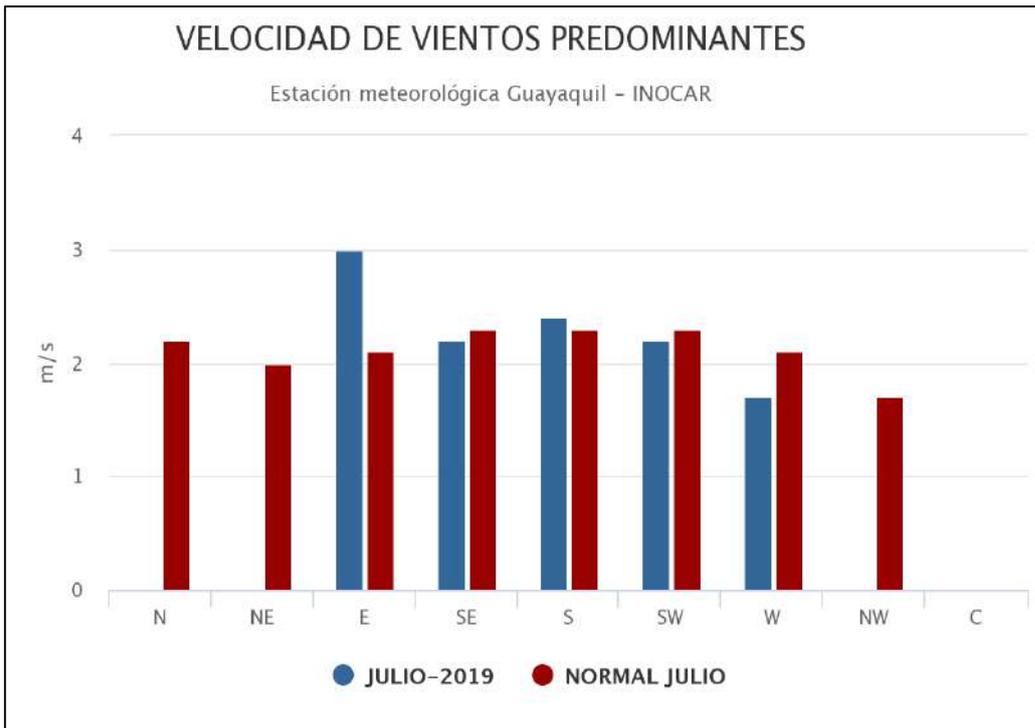


Figura 45. Velocidad de vientos predominantes mes de julio INOCAR,2019

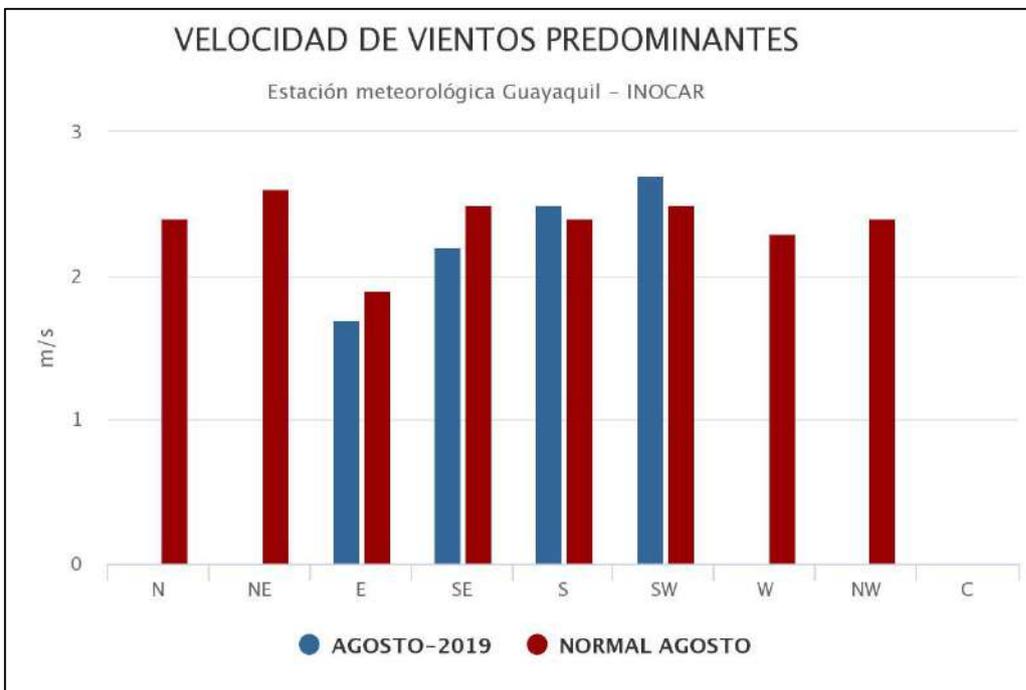


Figura 46. Velocidad de vientos predominantes mes de agosto INOCAR,2019

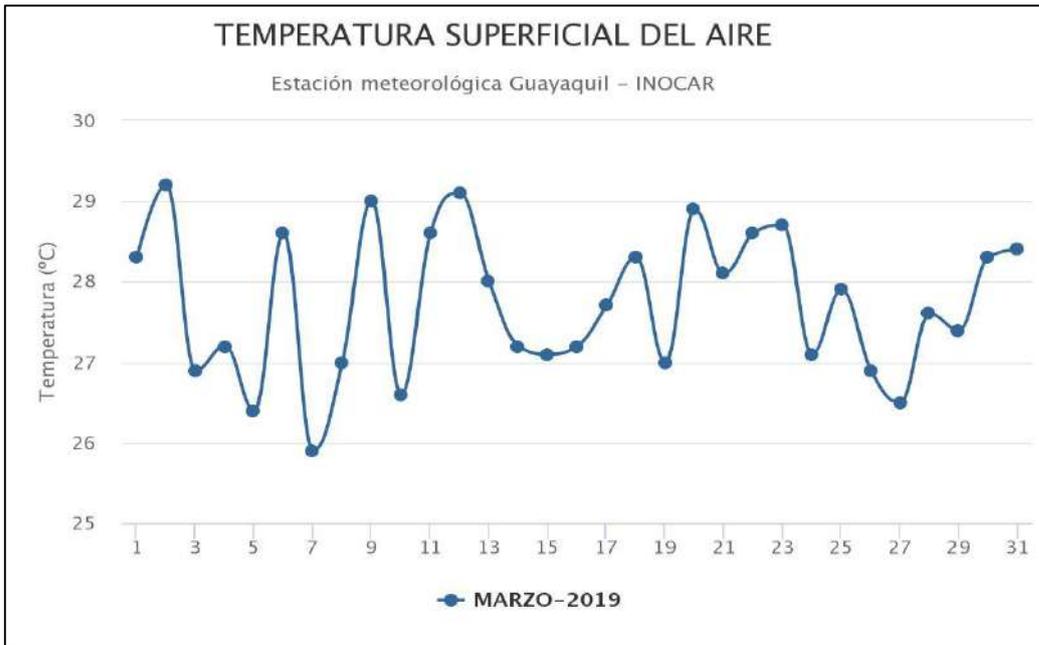


Figura 47. Temperatura superficial del aire mes de marzo INOCAR,2019



Figura 47. Temperatura superficial del aire mes de abril INOCAR,2019

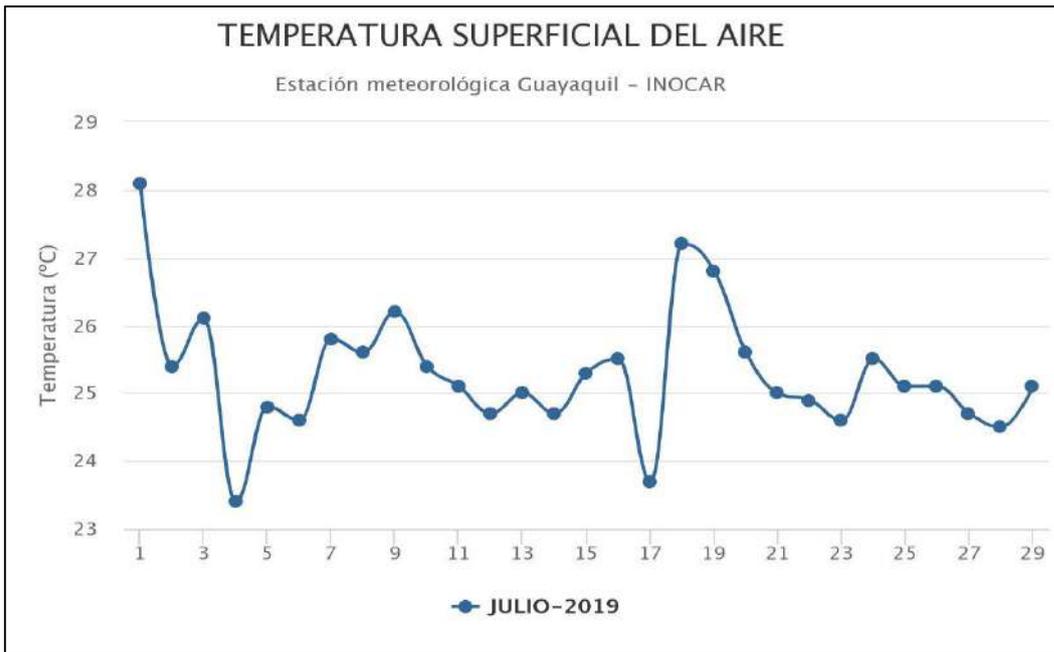


Figura 48. Temperatura superficial del aire mes de julio INOCAR,2019



Figura 50. Temperatura superficial del aire mes de agosto INOCAR,2019



Figura 51. Correo de la consulta a INOCAR por el uso de información Outlook,2020



Figura 52. Correo de la respuesta de consulta por parte del INOCAR Outlook,2020