

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
Dependencia		Aprobado		Pág.
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>		<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>i(129)</b>

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	MARIA ANGELICA PATIÑO
FACULTAD	CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA AMBIENTAL
DIRECTOR	VILMA VIVIANA OJEDA CAICEDO
TÍTULO DE LA TESIS	ESTUDIO DE VARIABLES OCEANICAS TEMPERATURA, SALINIDAD Y CORRIENTES DEL MAR CARIBE Y DESCRIPCION DE LA POSIBLE TRAYECTORIA DE UN DERRAME DE HIDROCARBURO

### RESUMEN

(70 palabras aproximadamente)

EL PRESENTE DOCUMENTO TRATA DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO REALIZADO BAJO LA MODALIDAD DE PASANTÍA, REALIZADO EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR, UBICADA EN LA CIUDAD DE CARTAGENA DE INDIAS. ESTE PROYECTO TUVO COMO FINALIDAD EL ESTUDIO DE LAS VARIABLES OCEÁNICAS TEMPERATURA, SALINIDAD Y CORRIENTES DEL MAR CARIBE Y DESCRIPCIÓN DE LA POSIBLE TRAYECTORIA DE UN DERRAME DE HIDROCARBURO, SE REALIZÓ UN ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD EN EL TIEMPO Y EL ESPACIO DE LA TEMPERATURA Y SALINIDAD DEL MAR DE 0 A 3000 M DE PROFUNDIDAD.

### CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 138	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1
--------------	---------	----------------	-----------



VÍA ACOLSURE, SEDE EL ALGODONAL, OCAÑA N. DE S.  
 Línea Gratuita Nacional 018000 121022 / PBX: 097-5690088  
[www.ufpso.edu.co](http://www.ufpso.edu.co)



**ESTUDIO DE VARIABLES OCEANICAS TEMPERATURA, SALINIDAD Y  
CORRIENTES DEL MAR CARIBE Y DESCRIPCION DE LA POSIBLE  
TRAYECTORIA DE UN DERRAME DE HIDROCARBURO**

**AUTOR:**

**MARIA ANGELICA PATIÑO PEÑALOZA**

**Trabajo de Grado Modalidad Pasantías para Optar el Título de Ingeniero Ambiental**

**Director(a):**

**VILMA VIVIANA OJEDA CAICEDO**

**PhD(C) en Ciencias del Mar**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE  
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Ocaña, Colombia**

**Agosto de 2016**

## Índice

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1. Estudio de variables oceánicas temperatura, salinidad y corrientes del mar caribe y descripción de la posible trayectoria de un derrame de hidrocarburo .....</b>	<b>3</b>
1.1 Descripción De La Empresa.....	3
1.1.1 Misión.....	3
1.1.2 Visión 2015.....	3
1.1.3 Objetivos De La Empresa.....	5
1.1.4 Descripción de la Estructura Organizacional .....	5
1.1.5 Descripción de la Dependencia y/o Proyecto al que fue asignado. ....	7
1.2 Diagnóstico Inicial .....	8
1.2.1 Planteamiento Del Problema .....	9
1.3 Objetivos De La Pasantía .....	11
1.3.1 Objetivo General.....	11
1.3.2 Objetivos Específicos .....	11
1.4 Descripción De Las Actividades A Desarrollar .....	12
1.5 Cronograma De Actividades .....	13
<b>Capítulo 2. Enfoque Referencial.....</b>	<b>14</b>
2.1 Enfoque Conceptual .....	14
2.2 Enfoque Legal .....	17
<b>Capítulo 3. Informe de Cumplimiento.....</b>	<b>23</b>
3.1 Contextualización de la Zona de Estudio.....	23
3.1.1 Mar Caribe.....	24
3.1.2 Mar Caribe Colombiano .....	27
<b>Capítulo 4. Cumplimiento de las Actividades Propuestas .....</b>	<b>30</b>
4.1 Identificación de Afectaciones del Medio Marino y de los Impactos Ambientales por posibles Derrames De Hidrocarburos. ....	30

4.1.1 Generalidades de los Hidrocarburos .....	30
4.1.2 Registro de Derrames de Hidrocarburos en el Mar y sus Consecuencias .....	35
4.1.3 Derrame de Hidrocarburos en el ambiente marino y su comportamiento .....	38
4.1.4 Proceso de envejecimiento de los hidrocarburos vertidos en el mar .....	38
4.1.5 Impacto por Derrame de Hidrocarburos en el Mar.....	43
4.2 Reconocimiento de zonas vulnerables a posibles derrames de hidrocarburos en zonas de actividad portuaria y marítima del Mar Caribe Colombiano. ....	47
4.2.1 Zonas Vulnerables a Derrame de Hidrocarburo en el Mar Caribe Colombiano .....	47
4.3 Extraer desde la base de datos HYCOM la información oceanográfica correspondiente a la región geográfica de interés para organizarla y procesarla. ....	49
4.4 Organización de base de datos de HYCOM, entre 200 a 3.000m de profundidad, de las variables oceánicas Temperatura, Salinidad y Corrientes del Mar Caribe Colombiano.....	49
4.5 Realización perfiles de Temperatura, salinidad y corrientes en regiones de posibles derrames de Hidrocarburos. ....	49
4.6 Analizar las variables oceánicas (Temperatura, Salinidad y Corrientes del mar) entre los periodos de 1996-2015 .....	51
4.6.1 Generalidades de las variables ambientales oceánicas .....	51
4.6.2 Salinidad del Mar.....	51
4.6.3 Temperatura del Mar .....	55
4.6.4 Corrientes Marinas Superficiales.....	56
<b>Capítulo 5. Presentación de Resultados .....</b>	<b>58</b>
<b>Capítulo 6. Diagnostico Final.....</b>	<b>92</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>93</b>
<b>Recomendación .....</b>	<b>94</b>
<b>Referencias Electrónicas .....</b>	<b>95</b>
<b>Apéndices .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## Listas de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Visión	5
<b>Tabla 2.</b> Matriz DOFA	9
<b>Tabla 3.</b> Descripción de las actividades a realizar	13
<b>Tabla 4.</b> Cronograma de Actividades	14
<b>Tabla 5.</b> Zonas portuarias del Caribe Colombiano y la carga de Hidrocarburos	35
<b>Tabla 6.</b> Representación de las áreas protegidas del litoral marítimo de Colombia, áreas protegidas del Caribe y Pacifico colombiano.	60
<b>Tabla 7.</b> Representación de los 11 principales iones que se encuentran presente en el océano, teniendo un total de 34,482 ‰ de salinidad total presente en el mar	66
<b>Tabla 8.</b> Coordenadas de la Zona de Estudio	75
<b>Tabla 9.</b> Coordenadas de la zona de estudio	101
<b>Tabla 10.</b> Codificación de los archivos descargados de la base de datos experimental HYCOM	114
<b>Tabla 11.</b> Perfiles de profundidad	115

## Listas de Figura

<b>Figura 1.</b> Estructura Organizacional de la empresa	7
<b>Figura 2.</b> Mapa del Óvalo del Mar Caribe	30
<b>Figura 3.</b> Zonas portuarias del Caribe Colombiano	34
<b>Figura 4.</b> Fenómenos físicos- químicos asociados con el transporte y reacción de manchas de contaminante en el agua	49
<b>Figura 5.</b> Perfil de Salinidad en niveles de estudios 0.0m- 10.0m – 30.0m - 100.0m – 500.0m – 1000.0m – 3000.0m	62
<b>Figura 6.</b> Perfil de Temperatura en niveles de estudios 0.0m- 10.0m – 30.0m - 100.0m – 500.0m – 1000.0m – 3000.0m	62
<b>Figura 7.</b> Perfil de Corrientes en niveles de estudios 0.0m- 10.0m – 30.0m - 100.0m – 500.0m – 1000.0m – 3000.0m	63
<b>Figura 8.</b> Zona de estudio: Mar Caribe	75
<b>Figura 9.</b> Temperatura Superficial Enero 1996	76
<b>Figura 10.</b> Temperatura Superficial Enero 1997	76
<b>Figura 11.</b> Temperatura Superficial Febrero 1996	76
<b>Figura 12.</b> Temperatura Superficial Febrero 1997	76
<b>Figura 13.</b> Temperatura Superficial Marzo 1996	77
<b>Figura 14.</b> Temperatura Superficial Marzo 1997	77
<b>Figura 15.</b> Temperatura Superficial Abril 1996	77
<b>Figura 16.</b> Temperatura Superficial Abril 1997	77
<b>Figura 17.</b> Temperatura Superficial Mayo 1996	78
<b>Figura 18.</b> Temperatura Superficial Mayo 1997	78
<b>Figura 19.</b> Temperatura Superficial Junio 1996	78

<b>Figura 20.</b> Temperatura Superficial Junio 1997	78
<b>Figura 21.</b> Temperatura Superficial Julio 1996	79
<b>Figura 22.</b> Temperatura Superficial Julio 1997	79
<b>Figura 23.</b> Temperatura Superficial Agosto 1996	79
<b>Figura 24.</b> Temperatura Superficial Agosto 1997	79
<b>Figura 25.</b> Temperatura Superficial Septiembre 1996	80
<b>Figura 26.</b> Temperatura Superficial Septiembre 1997	80
<b>Figura 27.</b> Temperatura Superficial Octubre 1996	80
<b>Figura 28.</b> Temperatura Superficial Octubre 1997	80
<b>Figura 29.</b> Temperatura Superficial Noviembre 1996	81
<b>Figura 30.</b> Temperatura Superficial Noviembre 1997	81
<b>Figura 31.</b> Temperatura Superficial Diciembre 1996	81
<b>Figura 32.</b> Temperatura Superficial Diciembre 1997	81
<b>Figura 33.</b> Temperatura Superficial Julio 1996	82
<b>Figura 34.</b> Temperatura Superficial Julio 1999	82
<b>Figura 35.</b> Temperatura Superficial Agosto 1996	82
<b>Figura 36.</b> Temperatura Superficial Agosto 1999	82
<b>Figura 37.</b> Temperatura Superficial Septiembre 1996	83
<b>Figura 38.</b> Temperatura Superficial Septiembre 1999	83
<b>Figura 39.</b> Temperatura Superficial Octubre 1996	83
<b>Figura 40.</b> Temperatura Superficial Octubre 1999	83
<b>Figura 41.</b> Temperatura Superficial Noviembre 1996	84
<b>Figura 42.</b> Temperatura Superficial Noviembre 1999	84
<b>Figura 43.</b> Temperatura Superficial Diciembre 1996	84

<b>Figura 44.</b> Temperatura Superficial Diciembre 1999	84
<b>Figura 45.</b> Temperatura Superficial Enero 1996	85
<b>Figura 46.</b> Temperatura Superficial Enero 2000	85
<b>Figura 47.</b> Temperatura Superficial Febrero 1996	85
<b>Figura 48.</b> Temperatura Superficial Febrero 2000	85
<b>Figura 49.</b> Temperatura Superficial del Mar	86
<b>Figura 50.</b> Temperatura del Mar a 10.0m de Profundidad	86
<b>Figura 51.</b> Temperatura del Mar a 30.0m de Profundidad	86
<b>Figura 52.</b> Temperatura del Mar a 100.0m de Profundidad	86
<b>Figura 53.</b> Temperatura del Mar a 500.0m de Profundidad	87
<b>Figura 54.</b> Temperatura del Mar a 1000.0m de Profundidad	8
<b>Figura 55.</b> Temperatura del Mar a 3000.0m de Profundidad	87
<b>Figura 56.</b> Salinidad Superficial del Mar	88
<b>Figura 57.</b> Salinidad del Mar a 10.0m Profundidad	88
<b>Figura 58.</b> Salinidad del Mar a 30.0m Profundidad	88
<b>Figura 59.</b> Salinidad del Mar a 100.0m Profundidad	88
<b>Figura 60.</b> Salinidad del Mar a 500.0m Profundidad	89
<b>Figura 61.</b> Salinidad del Mar a 1000.0m Profundidad	89
<b>Figura 62.</b> Salinidad del Mar a 3000.0m Profundidad	89
<b>Figura 63.</b> Enero 1996 Superficie	90
<b>Figura 64.</b> Enero 1996 a 10m de Profundidad	90
<b>Figura 65.</b> Enero 1996 a 30m de Profundidad	90
<b>Figura 66.</b> Enero 1996 a 100m de Profundidad	90
<b>Figura 67.</b> Enero 1996 a 500m de Profundidad	91

<b>Figura 68.</b> Enero 1996 a 1000m de Profundidad	91
<b>Figura 69.</b> Enero 1996 a 3000m de Profundidad	91
<b>Figura 70.</b> Enero 2015	92
<b>Figura 71.</b> Febrero 2015	92
<b>Figura 72.</b> Marzo 2015	93
<b>Figura 73.</b> Abril 2015	93
<b>Figura 74.</b> Mayo 2015	93
<b>Figura 75.</b> Junio 2015	94
<b>Figura 76.</b> Julio 2015	94
<b>Figura 77.</b> Agosto 2015	94
<b>Figura 78.</b> Septiembre 2015	95
<b>Figura 79.</b> Octubre 2015	95
<b>Figura 80.</b> Noviembre 2015	95
<b>Figura 81.</b> Diciembre 2015	96
<b>Figura 82.</b> Enero 2016	96
<b>Figura 83.</b> Febrero 2016	97
<b>Figura 84.</b> Marzo 2016	97
<b>Figura 85.</b> Mayo 2016	98
<b>Figura 86.</b> Junio 2016	98
<b>Figura 87.</b> Descripción de la dirección y velocidad de las Corrientes del Mar Caribe y de la zona del puerto de Ecopetrol en Tolú, se puede apreciar la dirección de la corriente en el Junio de 2016 y su velocidad que de aproximadamente 0,55 m/s.	99
<b>Figura 88.</b> Área de estudio delimitada	101
<b>Figura 89.</b> 10m Profundidad a Escala Pequeña	102
<b>Figura 90.</b> 30m Profundidad a Escala Pequeña	102

<b>Figura 91.</b> 100m Profundidad a Escala Pequeña	103
<b>Figura 92.</b> 500m Profundidad a Escala Pequeña	103
<b>Figura 93.</b> 1000m Profundidad a Escala Pequeña	103
<b>Figura 94.</b> 3000m Profundidad a Escala Pequeña	104
<b>Figura 95.</b> Web Data Sever HYCOM	116
<b>Figura 96.</b> Descripción del sistema y acceso a datos	117
<b>Figura 97.</b> Listado de Opciones de Datos	118
<b>Figura 98.</b> Formatos de paquetes de datos	119
<b>Figura 99.</b> Ventana de descarga de datos	119
<b>Figura 100.</b> Almacenamiento de los datos en los años comprendidos de 1996 hasta el presente	120
<b>Figura 101.</b> Almacenamiento de los datos por mes de cada año	121
<b>Figura 102.</b> Datos descargados de la base de datos HYCOM, almacenados de manera codificada en 1, 2, 3	122
<b>Figura 103.</b> Carpetas de almacenamiento de las gráficas de las variables oceánicas	123
<b>Figura 104.</b> Almacenamiento por Niveles	124
<b>Figura 105.</b> Graficos de Corrientes	124
<b>Figura 106.</b> Graficos de Salinidad	125
<b>Figura 107.</b> Gráficos de Temperatura	125
<b>Figura 108.</b> Programa Escrito en Matlab, para la lectura de los archivos descargados de la base de datos HYCOM	126
<b>Figura 109.</b> Graficas 2D	127
<b>Figura 110.</b> Graficas de Flujo de Corrientes	128

## Lista de Apéndices

<b>Apéndices A.</b> Guía de descarga de los archivos base de datos HYCOM	114
<b>Apéndices B.</b> Organización de base de datos de HYCOM, entre 200 a 3.000m de profundidad, de las variables oceánicas temperatura, salinidad y corrientes del mar caribe colombiano	120
<b>Apéndices C.</b> Descripción del programa diseñado para la lectura de los datos	126

## Resumen

Este proyecto tiene como objetivo principal el describir el patrón de corrientes del Mar Caribe para determinar la posible trayectoria que tomaría una mancha de petróleo en el momento que se es derramado en la zona de estudio, a parte de la identificación de la dirección y velocidad de las corriente se pretende realizar un estudio de la variabilidad en el tiempo y el espacio de la temperatura y salinidad del mar de 0 a 3000m de profundidad, para así tener un mejor conocimiento de la zona de estudio. Los datos que se escogieron para este estudio son de la base de datos HYCOM se fue escogido esta base de dato debido a que tiene una mejor resolución y los cual nos permitió tener un mejor análisis, dentro del documento se encuentran explicado las propiedades y características de los hidrocarburos y su comportamiento en medios acuático, de igual forma se encuentra explicado los diferentes impactos que esto ocasiona al sector ambiental y social, de la misma manera se encuentra la guía de cómo se han descargados los datos de la plataforma de HYCOM y la descripción del programa que se diseñó para la visualización de los datos.

## Introducción

El presente documento trata del informe final del trabajo realizado bajo la modalidad de pasantía, titulado ESTUDIO DE VARIABLES OCEANICAS TEMPERATURA, SALINIDAD Y CORRIENTES DEL MAR CARIBE Y DESCRIPCION DE LA POSIBLE TRAYECTORIA DE UN DERRAME DE HIDROCARBURO. Para su desarrollo se hizo necesario establecer unos objetivos específicos que fueron divididos en actividades, cada actividad fueron organizadas y programadas dentro de un cronograma para así darle cumplimiento al tiempo requerido en la pasantía.

En el documento se encuentra descripta la empresa en la cual se realizaron los cuatro meses de pasantías, la pasantía realizada en la Universidad Tecnológica de Bolívar se trató de una pasantía investigativa la cual estuvo orientada por la Doctora Vilma Viviana Ojeda en su calidad como coordinadora de pasantía, la investigación que lleva como título el expuesto en este documento se encuentra basado en el estudio de la variabilidad en el tiempo y el espacio de variables como la Temperatura, Salinidad y Corrientes del Mar Caribe de 0 a 3.000 m de profundidad entre los periodos de 1996 hasta el presente (2016-06) y el comportamiento de los hidrocarburos en el momento que son derramados en medio marinos, mediante la obtención de los mapas de velocidad y dirección de las corrientes del Mar Caribe se realizó una descripción para así poder mirar cual sería la trayectoria que seguiría la mancha de petróleo en el momento que fuera derramado sin tener en cuenta los diferentes procesos físicos, químicos y biológicos que sufren los hidrocarburos al momento que son derramados en medios acuáticos.

La temperatura superficial del mar (TSM) es una de las variables oceanográficas más utilizadas como indicador ambiental por estar relacionada con aspectos físicos como corrientes marinas, intensidad de los vientos superficiales, dinámica de la capa de mezcla, precipitación e intensidad de la radiación solar, surgencias y cambios del nivel del mar. Por otro lado se relaciona con los ciclos de vida, metabolismo, factores poblacionales, estrés de los organismos, y en general con toda la variabilidad biológica relacionada con los factores físicos mencionados. Por esa razón, el estudio de la variabilidad espacial y temporal de la

TSM en la Costa Caribe colombiana es importante y relevante desde los puntos de vista tanto físico y climático, como biológico y ambiental.

El estudio de la Salinidad junto con la Temperatura del Mar y la Presión son parámetros que nos ayuda a conocer la Densidad de las aguas de mar, la salinidad es la concentración media de sales disueltas, en los océanos es de aproximadamente 35 ‰ (partes por mil) en el océano hay alrededor de 11 de los principales iones que se encuentran presente en este medio. Cuando existen variaciones en la salinidad superficial del mar por muy pequeña que sea, puede tener efectos dramáticos en el ciclo del agua y en la circulación de los océanos.

En cuanto a los resultados muestra cómo fue variando la Temperatura Superficial de Mar en los años de estudios que fueron 20 años, al igual se muestran de cómo va descendiendo la Temperatura del Mar a diferentes niveles en el caso de estudios los niveles que se estudiaron fueron de 0.0m, 10.0m, 30.0m, 100.0m, 500.0m, 1000.0m, 3000.0m pudiendo observar que a mayor profundidad menor temperatura obteniendo un rango de 1-4°C a los 3000m y de 25-30°C en superficie. En cuanto a la Salinidad del Mar la literatura comenta que la salinidad del océano no varía mucho de acuerdo a la profundidad y efectivamente debido que llegados a los 3000m de profundidad la salinidad se mantuvo en un rango de 34-35 partes por millón.

Para obtener los datos que nos ayudaría a realizar los diferentes imágenes de Temperatura, Salinidad y las de Velocidad y dirección de Corrientes del Mar Caribe en el periodo de tiempo antes mencionado, fueron obtenidos de la base de datos HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) fueron escogido estos datos debido a que fueron registrados con una mejor resolución espacial ( $1/12^\circ$ ) lo cual nos permitió un mejor análisis de las variables físicas del medio marino, el procesamiento y lectura de los datos se realizó mediante un programa escrito en Matlab.

# **Capítulo 1. Estudio de variables oceánicas temperatura, salinidad y corrientes del mar caribe y descripción de la posible trayectoria de un derrame de hidrocarburo**

## **1.1 Descripción De La Empresa**

Somos una institución bilingüe con vocación internacional, situada en Cartagena de Indias, el corazón del Caribe. Las empresas de la ciudad son los socios corporativos de la universidad desde 1975 y nuestro campus principal es el Parque Industrial y Tecnológico, ubicado en el barrio Ternera de la ciudad. En la UTB te ofrecemos una completa estructura académica, acompañada de los mejores servicios para alcanzar la excelencia y el éxito profesional. De igual manera estamos comprometidos con el desarrollo del Caribe Colombiano, brindamos las bases necesarias para alcanzar la excelencia académica y entregar a la sociedad profesionales enteramente preparados para asumir nuevos retos y capaces de generar grandes cambios.

### **1.1.1 Misión**

“Somos una institución de formación e investigación, con vocación empresarial, donde la comunidad académica – estudiantes y profesores, los empresarios y la sociedad, encuentran el escenario adecuado para compartir un proyecto educativo crítico, flexible y global, a través del cual aprenden a Conocer, Hacer, Convivir y Ser, dentro de altas exigencias académicas, organizacionales y con un sentido de responsabilidad social conducente al mejoramiento de la calidad de vida de nuestra ciudad y del Caribe.”

### **1.1.2 Visión 2015**

La Meta al 2015 de la UTB es: “Ser referente nacional de Educación Superior, con vocación global y socio estratégico del sector empresarial para el desarrollo económico, humano y social”. Una perspectiva para su logro, se aprecia en el siguiente:

**Tabla 1***Visión*

2011	2015
Universidad con fortaleza en los posgrados y con acreditación nacional	Ser referente nacional de Educación Superior, con vocación global y socio estratégico del sector empresarial para el desarrollo económico, humano y social.
Redes de investigación a nivel nacional consolidadas e inserción en redes internacionales	Rasgos de calidad consolidados y la reacreditación institucional
Profesores de tiempo completo con altos estándares académicos e investigativos	Profesores de tiempo completo con alta productividad científica reconocida internacionalmente
Ambiente internacional en los campus	Insertados en la comunidad global con socio estratégicos a nivel nacional e internacional
Modelo pedagógico integral, flexible enfatizado en competencias	Modelo educativo integral, innovador y flexible
Liderazgo regional aportando al desarrollo y competitividad de la región	Competitiva nacional, internacionalmente, adelantando proyectos colaborativos de alto impacto para la transformación del entorno
Desarrollo periférico y expansión territorial, nueva oferta de programas virtuales y facilidades de accesos a los más capaces	Focalización de una oferta flexible de formación técnica y tecnológica, con pertinencia y calidad, para transformación productiva
Un modelo de articulación Universidad – Empresa	Socios estratégicos del sector empresarial y social, contribuyendo al desarrollo regional
Gestión Institucional Innovadora	Gestión Sostenible, innovadora y de desarrollo institucional

**Nota:** Tomada de (UTB, Estructura Organizacional, 2015)

### **1.1.3 Objetivos De La Empresa**

Promover, apoyar y fortalecer la investigación y la innovación para generar, difundir, apropiar y transferir el conocimiento y mejorar la calidad y pertinencia de los procesos de formación y de articulación efectiva de la Universidad con su entorno.

Construir una nueva cultura de internacionalización a nivel institucional (profesores, estudiantes y administración) que reconozca la importancia de esta dimensión en la formación.

Desarrollar en los estudiantes habilidades para desempeñarse en ambientes académicos y profesionales multiculturales y multilingües, y estimular el componente internacional en las metodologías y estrategias curriculares y extracurriculares de todos los programas.

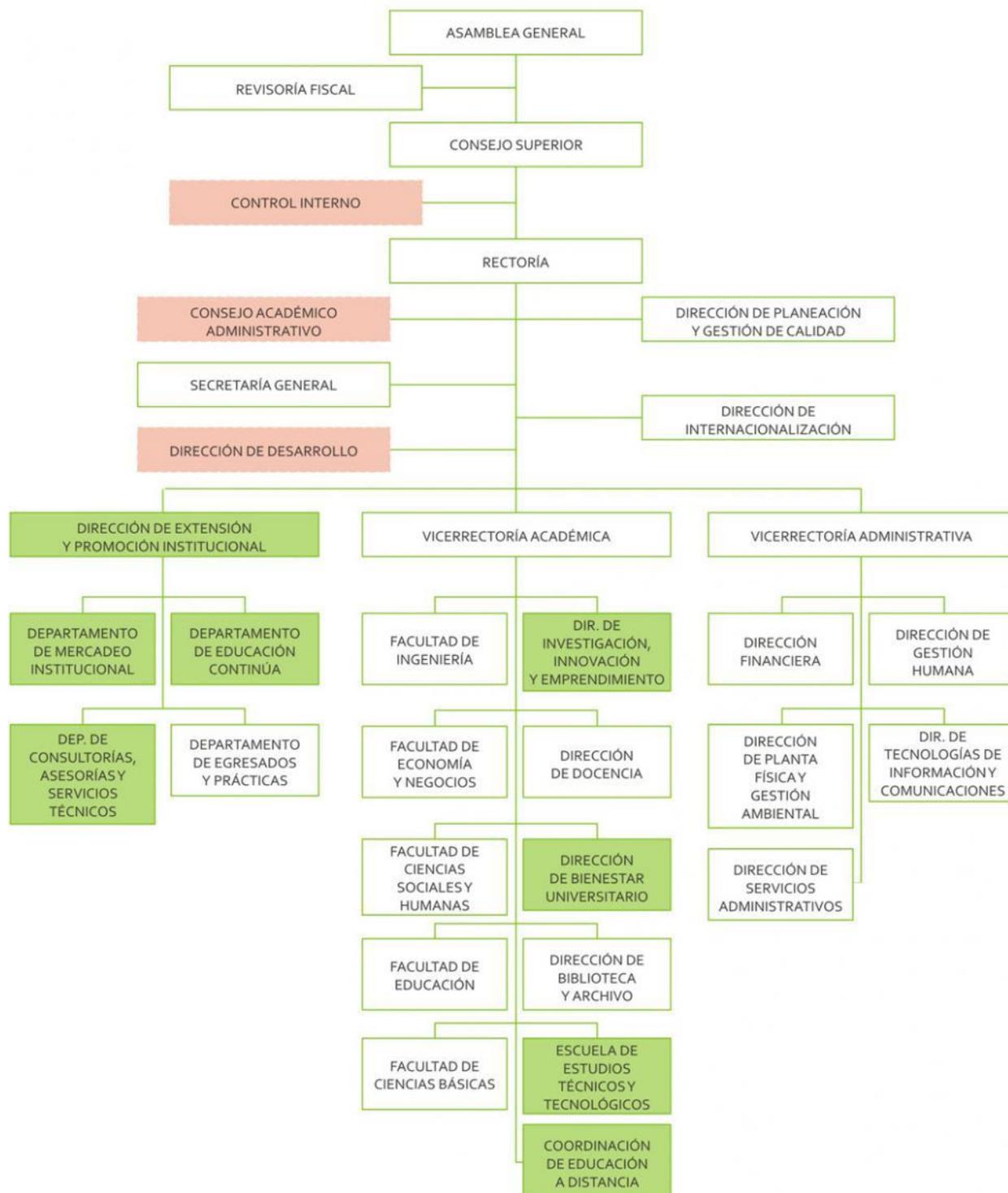
Desarrollar desde el diseño y ejecución del Proyecto Educativo las distintas estrategias que posibiliten la formación integral de todos los estudiantes de los programas de la UTB, entendida como un proceso mediante el cual la persona desarrolla y supera su capacidad intelectual, y se desarrolla como un individuo culto, y miembro responsable de la sociedad. En el ámbito de este concepto se apunta tanto a la formación de un profesional, como a la formación de la persona.

Constituirse en socio académico del sector empresarial para coadyuvar la transformación productiva mediante el fortalecimiento de una cultura de emprendedurismo en el proceso de formación, desarrollo de proyectos de innovación e investigación para el desarrollo económico del entorno, mediante la formación y actualización permanente de profesionales para hacerlos altamente competitivos y prestación de servicios técnicos de asesoría y consultoría.

### **1.1.4 Descripción de la Estructura Organizacional**

La Universidad Tecnológica de Bolívar se describe en forma de organigrama, para cada cargo establecido se le asigna un perfil y una descripción de roles y responsabilidades, mediante las cuales se describe los niveles de autoridad por cada jerarquía.

## ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL



**Figura 1:** Estructura Organizacional de la empresa (UTB, Universidad Tecnológica de Bolívar, 2015)

### **1.1.5 Descripción de la Dependencia y/o Proyecto al que fue asignado**

El día 14 de Marzo de 2015, ingreso María Angélica Patiño Peñaloza a la oficina de Ciencias Básicas de la Universidad Tecnológica de Bolívar, donde se le indico las funciones a realizar en dicha dependencias, una de estas funciones a realizar es la Formulación de un Proyecto de Investigación que tiene como descripción la Identificación de afectaciones de variables Oceánicas (temperatura, salinidad y corrientes) por posibles derrames de hidrocarburo en zonas vulnerables del Mar Caribe Colombiano, cuya investigación se realizará mediante el estudio de bases de datos de 200 a 3000m de profundidad a partir de las base de datos HYCOM, ya que los datos de HYCOM fueron registrado con mayor resolución espacial (1/12o) en comparación con otras bases de datos, lo cual permite un mejor análisis de la variabilidad de los componentes físicos del medio marino; a parte de la formulación del proyecto anteriormente explicado, esta como profesional de apoyo en el grupo de investigación de Física Aplicada y Procesamiento de Imágenes y Señales, de igual manera a la asistencias de varios seminarios.



las variables ambientales oceánicas		
<b>AMENAZAS</b>	<b>FA (MAXI-MINI)</b>	<b>DA (MINI-MINI)</b>
Tiempo computacional para el procesamiento de las variables.  Presupuesto	Desarrollar una base de datos de variables oceánicas del Mar Caribe, con la utilización de equipo computacionales y asistencias técnicas de profesionales con conocimiento en el tema, y en la asistencia a semillero para el fortalecimiento del conocimiento.	Invertir más tiempo computacional para el procesamiento de las variables.

**Nota:** Realizada por el pasante

### 1.2.1 Planteamiento Del Problema

El Mar Caribe es un mar tropical semicerrado, conocido también como mar de las Antillas, se localiza entre las latitudes de 8° N y 24° N y las longitudes de 90°W y 60° W, es considerado como el mar con mayor extensión fronteriza con el Océano Atlántico, dispone de una extensión superficial de  $2.52 \times 10^6$  Km<sup>2</sup> y un volumen de  $6.5 \times 10^6$  Km<sup>3</sup> (Gallegos, A, 1996).

El estudio de las variables oceanográficas del Mar Caribe Colombiano es de gran importancia debido que es un papel fundamental en la formación del sistema de la Corriente del Golfo y por ende en la circulación del Atlántico Norte. Entonces se hace necesario entender los cambios estacionales e interanuales para mejorar la comprensión que se tiene hasta el momento de la dinámica del Atlántico Norte y del sistema climático global. Los procesos de transferencia de momento, energía y masa en la capa superficial del océano son los que producen la mayoría de los movimientos oceánicos y son indispensables para determinar el balance de calor océano-atmósfera. El contenido de calor del océano es un indicador fundamental de la variable climática del planeta, la evaluación de series de tiempo de calor del océano ha permitido identificar la tendencia del aumento de la temperatura.

Este aumento de temperatura o bien podría llamarse este calentamiento ha ocasionado aumento en el nivel del mar debido a la expansión física que sufre el agua cuando se calienta y se afectan otros procesos oceánicos que pueden ocasionar condiciones diferentes a los corales, plancton, en general al ecosistema marino, alterando la cadena alimenticia natural. Así como los cambios de temperaturas alteran algunos procesos oceánicos, los cambios en la salinidad también ocasionan daños en especial en el ciclo del agua y en la circulación de los océanos.

Con todas estas variables oceánicas anteriormente explicadas e incluyendo la corriente y altura del mar, dan la importancia para que sea estudiadas continuamente y así poder aportar un mejor entendimiento de la variabilidad climática de la zona de estudio.

Con la perspectiva de exploraciones en el Mar Caribe Colombiano tipo offshore, y del alto transporte de Hidrocarburos por vía marítima en Colombia, se hace necesario tener claro como es el comportamiento de las corrientes con el fin de poder predecir cómo será la trayectoria de la mancha de petróleo ante un posible derrame de hidrocarburos en zonas vulnerables, con el fin de mitigar los posibles daños ambientales

El grupo de Investigación **Física Aplicada y Procesamiento de Imágenes y Señales**, de la Universidad Tecnológica de Bolívar, realizara el estudio de las variables oceánicas (Temperatura, Salinidad y Corrientes del Mar) en el tiempo y espacio de 200 a 3.000m de profundidad del Mar Caribe Colombiano, para tener un mejor conocimiento de la zona de estudio y poder prevenir daños en el ambiente marino por posible derrame de hidrocarburos, el estudio de estas variables oceánicas se realizara mediante datos proporcionados por el Hybrid Coordinate Ocean Model HYCOM, debido a que esta base de datos tiene un registro con mayor resolución espacial ( $1/12^\circ$ ) en comparación con otras bases de datos, que permite un mejor análisis de la variabilidad de los componentes físicos del ambiente marino.

## **1.3 Objetivos De La Pasantía**

### **1.3.1 Objetivo General**

Describir el patrón de corrientes de 0 a 3.000m de profundidad, para determinar posibles trayectorias de derrames de Hidrocarburos, que permitan evaluar afectaciones de Temperatura y Salinidad en el Mar Caribe Colombiano.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Procesar los datos de Corrientes, Temperatura y Salinidad obtenidos de la base de datos experimental HYCOM del Área de Estudio.

Analizar las variables oceánicas (Temperatura y Salinidad del Mar) en el tiempo entre los periodos de 1996-2015.

Identificar la tendencia del Campo de Corriente en zonas vulnerables a derrame de Hidrocarburo, para evaluar las afectaciones de la Temperatura y Salinidad del Mar Caribe Colombiano.

## 1.4 Descripción De Las Actividades A Desarrollar

**Tabla 3**

*Descripción de las actividades a realizar*

Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividades A Desarrollar En La Empresa Para Hacer Posible El Cumplimiento De Los Obj. Específicos
<p>Describir el patrón de corrientes de 0 a 3000m de profundidad, para determinar posibles trayectorias de derrames de Hidrocarburos, que permitan evaluar afectaciones de Temperatura y Salinidad en el Mar Caribe Colombiano.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Procesar los datos de Corrientes, Temperatura y Salinidad obtenidos de la base de datos experimental HYCOM del Área de Estudio.</li> <li>2. Analizar las variables oceánicas (Temperatura, y Salinidad del Mar) en el tiempo entre los periodos de 1996-2015.</li> <li>3. Identificar la tendencia del Campo de Corriente en zonas vulnerables a derrame de Hidrocarburo..</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.1 Identificación de afectaciones del medio marino y de los impactos ambientales por posibles derrames de hidrocarburos en las zonas.</li> <li>1.2 Reconocimiento de las zonas vulnerables a posibles derrames de hidrocarburos en zonas de actividad portuaria y marítima del Mar Caribe Colombiano.</li> <li>1.3 Extraer desde la base de datos HYCOM la información oceanográfica correspondiente a la región geográfica de interés para organizarla y procesarla.</li> <li>1.4 Organización de base de datos de HYCOM, entre 200 a 3.000m de profundidad, de las variables oceánicas Temperatura, Salinidad y Corrientes del Mar Caribe Colombiano.</li> <li>1.5 Realización perfiles de Temperatura, salinidad y corrientes en regiones de posibles derrames de Hidrocarburos.</li> </ol>

**Fuente:** Pasante



## Capítulo 2. Enfoque Referencial

### 2.1 Enfoque Conceptual

Para el enfoque conceptual se citan los términos más relevantes que estarán presentes en el informe de la pasantía.

**Salinidad del Mar:** La salinidad es la cantidad total de material disuelto en gramos en un kilogramo de agua de mar (IDEAM, 2001), por lo tanto, la salinidad es una cantidad sin dimensiones, lo que quiere decir que no tiene unidades (Dicco, 2010). Se puede decir que la salinidad ronda en un valor de 35 gramos por kilogramo de agua. El agua de mar está compuesta en promedio de un 96,52% de agua y un 3,49% de sustancias disueltas (mayormente sales); la abundancia relativa de los iones es constante en aguas oceánicas bien mezcladas.

**Temperatura del Mar:** Es la medida de la energía cinética molecular media que tienen las moléculas de agua. La temperatura del agua de mar generalmente oscila entre 2 C y 30 C y con valores extremos entre (-4 C y +42 C). La temperatura del agua de mar es influida por la cantidad de calor proveniente de tres fuentes principales: calor original del interior de la tierra, calor de degradación radiactiva y calor de la radiación solar.

**Corrientes Marinas:** Son movimientos horizontales de traslación de masa de agua de entidad apreciables que ocurren en los océanos de forma permanente, estacional u ocasional, los fenómenos oceánicos están directamente influenciados por la atmósfera (Almeida, 2009) a través de flujo de calor, el esfuerzo de los vientos y flujos de agua. La circulación de los océanos constituye a mitigar los desequilibrios energéticos sobre el planeta, al ser un potente mecanismo de redistribución de los excedentes calóricos desde las bajas latitudes a los dominios polares deficitarios.

**Modelamiento de Trayectoria:** un modelo constituye una representación abstracta de cierto aspecto de la realidad, en su estructura intervienen los elementos que caracterizan la realidad modelizada y las relaciones que existen entre ellos. Un modelo es un tipo de herramienta basada en lógica matemática.

**Hidrocarburos:** Son sustancias orgánicas cuya molécula está constituida por átomos de hidrogeno y carbono, pueden ser gaseoso, líquidos o sólidos (Heredia, 2000), La estructura molecular consiste en un armazón de átomos de carbono a los que se unen los átomos de hidrógeno. Las cadenas de átomos de carbono pueden ser lineales o ramificadas y abiertas o cerradas. Los hidrocarburos se pueden diferenciar en dos tipos que son **Alifáticos** y **Aromático**. Los representantes más claros de los hidrocarburos son el petróleo crudo y el gas natural (Sociedad Nacional de Minería, 2009), que son una combinación de diferentes hidrocarburos, los cuales se encuentra formado por una mezcla compleja de átomos de carbono e hidrogeno; entonces se podría decir que el petróleo crudo es un hidrocarburo en estado líquido que se encuentras compuesto por átomos de hidrogeno y carbono en mayores cantidades y de azufre, nitrógeno y oxígeno en cantidades mucho más pequeña, mientras que el gas natural es un hidrocarburo en estado gaseoso compuesto de metano, principalmente, y de propano y butano en menor medida.

**Transporte Marítimo:** El transporte marítimo, como actividad que se desarrolla en el medio marino, provoca una contaminación de diversos tipos. Una parte importante de las mercancías mundiales son transportadas por vía marítima en grandes buques y cargueros, que crea un impacto sobre el medio, siendo una fuerte fuente de contaminación de forma directa o indirecta.

**Contaminación:** Es la introducción en un ecosistema o medio de elementos físicos, químicos o biológicos en formas o cantidades que rebasan la capacidad del receptor de procesarlos naturalmente. El término “contaminación” es un término cualitativo, que se usa para indicar que el nivel de contaminantes en la zona.

**Contaminación Marina:** de acuerdo al Decreto 1875 de 1979 en la cual se define el concepto de contaminación marina, su definición hace referencia a que contaminación marina (AGRICULTURA, 1979) es la introducción por el hombre, directa o indirecta de sustancias o energía en el medio marino cuando produzca o pueda producir efectos nocivos, tales como daños a los recursos vivos y a la vida marina, tenga peligro para la salud humana, obstaculicen las actividades marítimas, incluyendo las actividades de pesca entre otros usos legítimos del mar, influyan en el deterioro de la calidad del agua del mar y menos acabo de los lugares de esparcimiento.

**HYCOM:** El consorcio HYCOM es un esfuerzo multi-institucional patrocinado por el Programa Nacional de Asociaciones del océano (NOPP), como parte del Experimento Mundial de Estados Unidos asimilación de datos oceánicos (GODAE), para desarrollar y evaluar un híbrido-sigma-presión isopícnica técnica de asimilación (generalizada) coordinar modelo oceánico (llamada HYbrid coordenadas modelo océano o HyCom). Los objetivos EADOM de imagen tridimensional del estado del océano en la resolución fina en tiempo real, la provisión de condiciones de contorno para los modelos costeros y regionales, y la provisión de condiciones de contorno oceánicas para un modelo de predicción acoplado océano-atmósfera mundial, están siendo atendidas por una colaboración de las instituciones que representan un amplio espectro de la comunidad oceanográfica. El modelo oceánico de coordenadas híbridas, Hybrid Coordinate Ocean Model, todavía experimental, emplea un sistema de coordenadas verticales con coordenadas sigma desde la superficie hasta el final de la capa de mezcla, cambiando después a coordenadas de densidad en el océano más profundo. El sistema HYCOM admite la evolución de las coordenadas verticales en tiempo y espacio con los cambios en profundidad de la capa de mezcla ósea que varía de un lugar a otro y de un paso de tiempo a otro, lo cual permitirá dar mejores resultados.

**NetCDF:** es un (formulario de datos comunes en red) formato de archivo destinado a almacenar datos científicos multidimensionales (variables) como la temperatura, la humedad, la presión, la velocidad del viento y dirección. NetCDF fue desarrollado por Unidata que es una comunidad de instituciones educativas y de investigación con el objetivo de compartir datos geo científicos y herramientas para acceder y visualizar datos. Unidata es uno de los programas de la Corporación Universitaria para la investigación atmosférica (UCAR) creado para realizar y coordinar proyectos que fortalezcan la educación y la investigación en las ciencias de la tierra, atmosféricas y oceánicas.

**MatLab:** es un sistema interactivo basado en matrices para cálculos científicos y de ingeniería, es un entorno matemático de simulación que se puede utilizar para modelar y analizar sistemas. Sirve para estudiar sistemas continuos, discretos, lineales y no lineales, donde los problemas y las soluciones son expresados como se escriben matemáticamente, sin la programación tradicional. El nombre de MatLab proviene de “MATrix LABoratory” (Laboratorio de Matrices), MATLAB es un sistema interactivo cuyo elemento básico de

datos es una matriz que no requiere dimensionamiento. Esto permite resolver muchos problemas numéricos en una fracción del tiempo que llevaría hacerlo en lenguajes como *C*, *BASIC* o *FORTTRAN* (Mathworks, s.f ).

**Base de Datos:** Una base de datos es como un conjunto de información relacionada que se encuentra agrupada ó estructurada, la base de datos es un sistema formado por un conjunto de datos almacenados en discos que permiten el acceso directo a ellos y un conjunto de programas que manipulen ese conjunto de datos (Valdés, 2007).

## 2.2 Enfoque Legal

**Decreto 2811 de 1974:** decreta EL CÓDIGO NACIONAL DE RECURSOS RENOVABLES Y PROTECCION DEL MEDIO AMBIENTE, Regula integralmente la gestión ambiental y el manejo de los recursos naturales renovables (aguas, bosques, suelos, fauna etc.).

En artículo 1, se habla que el ambiente es patrimonio común, el Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social. En su artículo 2 se establece el objeto del Código que en su numeral 2 el Código tiene como objetivo “Prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos. En su artículo 9 el código establece los principios que se establecen para el uso de los elementos ambientales y de recursos naturales renovables.

De manera general el Decreto regula el manejo de los Recursos Renovables y No Renovables, la defensa del ambiente y sus elementos.

**Decreto 1875 de 1979:** Por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones.

El decreto 1875 de 1979 Se define el concepto de contaminación marina y se dictan normas de protección, en su artículo 1 se define contaminación marina y el concepto de contaminante, el artículo 2 establece que la Dirección General Marítima y Portuaria, podrá

autorizar, previa solicitud presentada por conducta de la Capitanía de Puerto respectiva, la descarga, derrame o vertimiento al mar sustancias contaminantes o potencialmente contaminantes, en cantidad y concentración tales, que no sobrepasan los límites de regeneración del medio particular donde se autorice tal descarga, derrame o vertimiento fijado por dicha entidad, y podrá solicitar a su juicio, según el caso, concepto al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (INDERENA), al Ministerio de Salud y/o al Instituto de Asuntos Nucleares, el Artículo 3 indica los tipos de vertimientos que no se podrán autorizar para ser descargado en el mar. En su artículo 8 el decreto establece que las Entidades que posean instalaciones para el cargue o descargue de hidrocarburos, sus derivados y/o demás sustancias contaminantes, incluyendo aquellas situadas en las riberas de los ríos que desembocan directamente al mar, además de obtener las autorizaciones y permisos correspondientes para ejercer tal actividad, deberán dotarlas de los dispositivos adecuados, para evitar el vertimiento al mar y su posible contaminación; igualmente, deberán proveerlas de todos los elementos necesarios para controlar y limitar los posibles derrames que puedan provenir del cargue o descargue y operación de las naves o artefactos navales.

**Constitución Política De Colombia De 1991:** en su Título 1 que habla de LOS PRINCIPIOS FUNDAMENTALES, en el artículo 8 hace mención que “Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación”.

En la misma carta magna en su Capítulo 3 que son LOS DERECHOS COLECTIVOS Y DEL AMBIENTE, en su artículo 79, 80, 88 y 95 trata de:

**Artículo 79:** dice que Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.

Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

**Artículo 80:** El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

**Artículo 88:** La ley regulará las acciones populares para la protección de los derechos e intereses colectivos, relacionados con el patrimonio, el espacio, la seguridad y las salubridades públicas, la moral administrativa, el ambiente, la libre competencia económica y otros de similar naturaleza que se definen en ella.

**Artículo 95:** de los deberes y obligación del ciudadano colombiano; entra en sus deberes en el numeral 8: Proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.

**Decreto 838 de 1992:** Por medio del cual se reglamenta el régimen de concesiones y licencias portuarias previstas en la Ley 1a. de 1991. El presente de Decreto regula el otorgamiento de las concesiones portuarias y de las licencias portuarias, la Superintendente General de Puertos es el que le corresponde aprobar y otorgar las concesiones portuarias mediante resolución motivada, en firme la resolución que otorgue la Superintendente General de Puertos, otorga licencias portuarias para construir y operar embarcaderos ubicados fuera del puerto; el objetivo de la concesiones contemplado en su artículo 3 las concesiones portuarias recaerán sobre los siguientes bienes ubicados dentro de las zonas portuarias establecidas en el Plan de Expansión Portuaria.

a) Playas y terrenos de bajamar.

b) Las zonas marinas accesorias a las playas y zonas de bajamar.

c) De conformidad con el artículo 45 de la Ley 1a. de 1991, la concesión puede recaer sobre playas ribereñas de los ríos en las que Puertos de Colombia tuviere propiedades o ejerciere funciones públicas.

**Ley 99 de 1993:** Crea el Ministerio del Medio Ambiente y Organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Reforma el sector Público encargado de la gestión ambiental. Organiza el Sistema Nacional Ambiental y exige la Planificación de la gestión ambiental de proyectos. Los principios que se destacan y que están relacionados con las actividades portuarias son: La definición de los fundamentos de la política ambiental, la estructura del SINA en cabeza del Ministerio del Medio Ambiente, los procedimientos de licenciamiento ambiental como requisito para la ejecución de proyectos o actividades que puedan causar daño al ambiente y los mecanismos de participación ciudadana en todas las etapas de desarrollo de este tipo de proyectos.

**Artículo 2:** Creación y establece los Objetivos del MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Créase el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de impulsar una relación de respeto y armonía del hombre con la naturaleza y de definir, en los términos de la presente ley, las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación a fin de asegurar el desarrollo sostenible.

El Artículo 5 consagra las funciones del Ministerio del Medio Ambiente contempladas en 45 numerales y seis párrafos. En el Numeral 24 se le asigna la función de “Regular la conservación, preservación, uso y manejo del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, en las zonas marinas y costeras; coordinar las actividades de las entidades encargadas de la investigación, protección y manejo del medio marino, de sus recursos vivos, las costas y playas; asimismo, regular las condiciones de conservación y manejo de ciénagas, pantanos, lagunas y demás ecosistemas hídricos continentales”.

Con base en lo anterior, a la DIMAR, en su calidad de autoridad marítima nacional, que le corresponde dentro de sus funciones la conservación, preservación y protección del medio marino, desarrolla actividades al respecto en coordinación y bajo los parámetros y regulaciones expedidas para tal fin por el Ministerio del Ambiente. En el Numeral 25, consagra como función del Ministerio el “Establecimiento de los límites máximos permisibles de emisión, descargue, transporte o depósito de sustancias, productos,

compuestos o cualquier otra materia que pueda afectar el medio ambiente o los recursos naturales renovables; del mismo modo prohibir, restringir o regular la fabricación, distribución, uso, disposición o vertimiento de sustancias causantes de degradación ambiental”.

**Artículo 16:** el Ministerio de Medio Ambiente tiene adscrita una entidades científica tales como: el IDEAM, INVEMAR, el Instituto de investigación de Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt”, SINCHI y el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico “John von Neumann”; en su **artículo 18**, la ley 99 del 93 establece el cargo que tiene el Instituto de investigación Marinas y costera (INVEMAR), tendrá como encargo principal la investigación ambiental básica y aplicada de los recursos naturales renovables y el medio ambiente; y los ecosistemas costeros y oceánicos de los mares adyacentes al territorio nacional. El INVEMAR emitirá conceptos técnicos sobre la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos marinos, y prestará asesoría y apoyo científico y técnico al Ministerio, a las entidades territoriales y a las Corporaciones Autónomas Regionales. El MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE promoverá y creará una red de centros de investigación marina, en la que participen todas las entidades que desarrollen actividades de investigación en los litorales colombianos, propendiendo por el aprovechamiento racional de toda la capacidad científica de que ya dispone el país en ese campo.

**Decreto 2190 (diciembre 14 de 1995):** Este decreto ordena la elaboración del Plan Nacional de Contingencia Contra Derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en Aguas Marinas, Fluviales y Lacustres, PNC. Desarrolla normas como: la Ley 46 de 1988, que creó la Oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y su Decreto Reglamentario 919 de 1989; la Ley 99 de 1993, la cual en su Artículo 1, Numeral 9 consagra: “La prevención y atención de desastres es materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento”, y la Directiva Presidencial N° 33 de 1991, que hace referencia al “Componente de emergencias en los planes de desarrollo locales y regionales”. En desarrollo de este Decreto se ha formulado un plan que fue aprobado por el Gobierno Nacional mediante el Decreto 321 del 17 de febrero de 1999.

**Decreto 321 de 1999:** Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas.

**Artículo 1:** dice que se Adóptese el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres, aprobado mediante Acta número 009 del 5 de junio de 1998 del Comité Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, y por el Consejo Nacional Ambiental, cuyo texto se integra como anexo del presente decreto.

**Artículo 2:** trata acerca del objeto del Plan Nacional de Contingencia Contra Derrame de Hidrocarburos, El objeto general del Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres que será conocido con las siglas -PNC- es servir de instrumento rector del diseño y realización de actividades dirigidas a prevenir, mitigar y corregir los daños que éstos puedan ocasionar, y dotar al Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres de una herramienta estratégica, operativa e informática que permita coordinar la prevención, el control y el combate por parte de los sectores público y privado nacional, de los efectos nocivos provenientes de derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas en el territorio nacional, buscando que estas emergencias se atiendan bajo criterios unificados y coordinados.

**Ley 56 de 1987:** Por medio de la cual se aprueban el "Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe" y el "Protocolo relativo a la Cooperación para Combatir los Derrames de Hidrocarburos en la Región del Gran Caribe" lo estipulado en los artículos 5, 6 y 7 hacen referencia a las contaminación causada por buques, causada por vertimientos, y procedente de fuentes terrestres, las cuales explica que las partes contratantes adoptaran todas las medidas adecuadas para prevenir, reducir y controlar la contaminación de la zona de aplicación del convenio causada por descargas desde buques, por vertimientos de desechos y otras materias en el mar, por la evacuación de desechos en las zonas costeras o por descargas provenientes de ríos, estuarios, establecimientos costeros, instalaciones de desagüe o cualquiera otra situada en sus territorios.

## Capítulo 3. Informe de Cumplimiento

En los 4 meses de duración de la pasantía en la Universidad Tecnológica de Bolívar se realizaron diferentes actividades, las cuales fueron en pro del cumplimiento de los objetivos propuestos al iniciar la pasantía, estos objetivos fueron establecidos de tal manera que se pudiera tener una base de datos de variables oceánicas de la Región Caribe para posteriores investigaciones. La pasantía realizada en la Universidad Tecnológica de Bolívar, se trató de un pasantía de investigación informativa, la cual fue orientada por la Directora de la pasantía la Doctora Vilma Viviana Ojeda Caicedo, la investigación que se realizó tiene como título “ESTUDIO DE VARIABLES OCEANICAS TEMPERATURA, SALINIDAD Y CORRIENTES DEL MAR CARIBE Y DESCRIPCION DE LA POSIBLE TRAYECTORIA DE UN DERRAME DE HIDROCARBURO”, el cual trata del estudio de las Variables Oceánicas (Temperatura, Salinidad y Corrientes del Mar), en un área de coordenadas  $12^{\circ}\text{N}$   $8^{\circ}\text{N}$ ;  $73^{\circ}\text{O}$   $77^{\circ}\text{O}$ , coordenadas que dan lugar a lo que conocemos como Mar Caribe Colombiano. Para el estudio de Variables Oceánicas, se obtuvieron datos de Salinidad, Temperatura, y Corrientes del Mar Caribe Colombiano de la base de datos HYCOM, esta base de datos fue escogida debido a que estos datos fueron registrados con una mayor resolución espacial ( $1/12^{\circ}$ ), lo cual nos permitió tener un mejor análisis de las variables oceánicas. Se obtuvieron los datos de la base de datos HYbrid Coordinate Ocean Model, HYCOM, (<https://hycom.org/dataserver/glb-reanalysis>) para el periodo de 1996-2015 (19 años), de estos datos se extrajeron la información correspondiente a corrientes, temperatura, salinidad de 0 a 3.000 m de profundidad y de la altura superficial del mar del área de estudio. Luego se procesaron para su análisis, la extracción de las variables y el procesamiento de los datos se realizaron con Matlab.

### 3.1 Contextualización de la Zona de Estudio

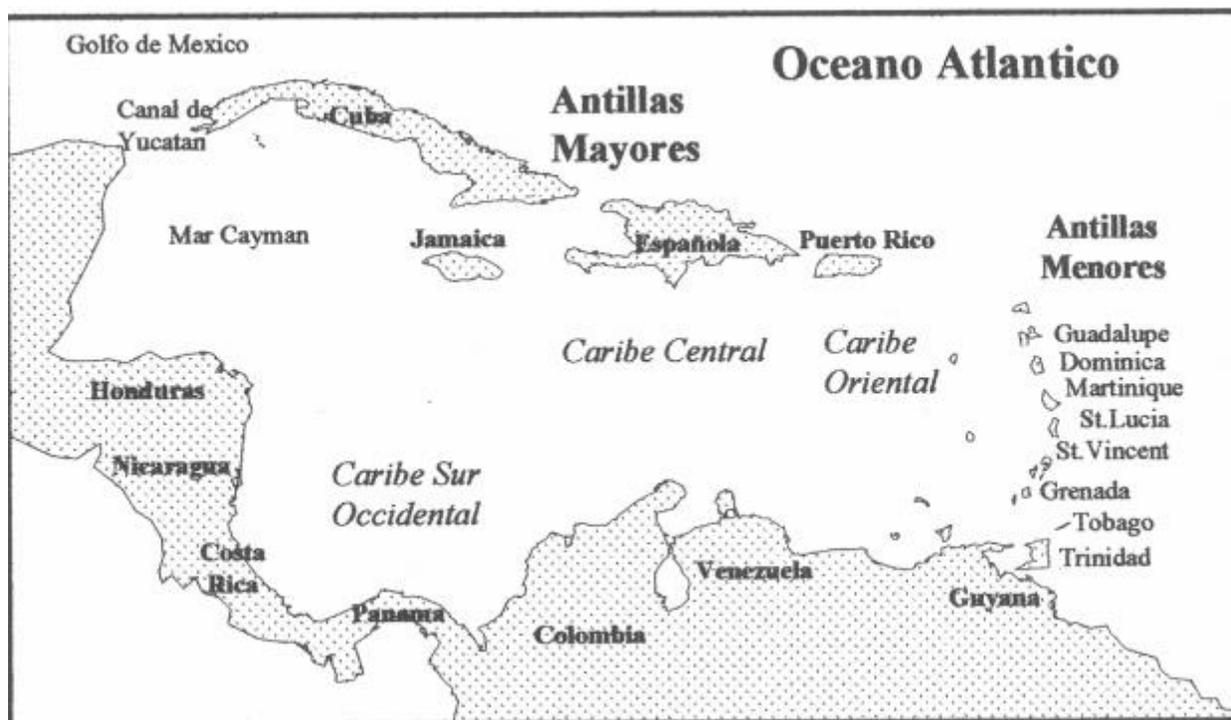
El área de estudio comprendida en la temática de investigación se encuentra en las coordenadas  $12^{\circ}\text{N}$   $8^{\circ}\text{N}$  y  $77^{\circ}\text{O}$   $73^{\circ}\text{O}$ , en este apartado se hace la descripción de la zona de estudios, área que se encuentra dentro del Mar Caribe y más precisamente en lo que se conoce como Mar Caribe Colombiano, debido a esto se hace una descripción general de las

características del Mar Caribe, en el cual se muestran los límites, la extensión de la cuenca, las oscilaciones de las temperaturas y los diferentes países que conforman el óvalo del Mar Caribe y en un contexto más local, se realizó una descripción del Mar Caribe Colombiano. También se realizó una descripción de los diferentes puertos que tiene la Región Caribe, esta descripción se hizo con la finalidad de conocer los diferentes elementos que transitan por el Mar Caribe colombiano, para así conocer la cantidad de hidrocarburos que anualmente está transitando por este medio transporte.

### 3.1.1 Mar Caribe

El conjunto geográfico del Mar Caribe se puede observar sobre el mapa en la formación de un óvalo que inicia desde la península de Yucatán, Belice, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Venezuela, Trinidad y Tobago, Granada, Santa Lucía, Martinica y Guadalupe, Dominica, San Vicente, Puerto Rico, República Dominicana, Haití, Jamaica, y por último la isla de Cuba (NOVOA, 1983), son alrededor de 20 países que acceden al inmenso lago en que las comunicaciones modernas la ha llamado también Mar de las Antillas. El Mar Caribe es un mar tropical semicerrado, se localiza entre las latitudes de 8° N y 24° N y las longitudes de 90° W y 60° W, es el mar más grande fronterizo al Océano Atlántico, cuenta con extensión superficial de  $2,52 \times 10^6 \text{ km}^2$ , y con un volumen de aproximadamente de  $6,5 \times 10^6 \text{ km}^3$  (Gallegos, A, 1996), el Mar Caribe limita al este con el Océano Atlántico y al noroeste con el Golfo de México, está delimitado al norte por las Antillas Mayores (Cuba, Jamaica, República Dominicana y Puerto Rico); al sur por Venezuela, Colombia y Panamá, al oeste los países Centroamericano (Costa Rica, Nicaragua, Guatemala, Honduras y Belice); y al este con las Antillas Menores (Barbados, Dominica, Granada, San Cristóbal y Nieves, Santa Lucía, Trinidad y Tobago, etc.) Figura 2 (OCHINA, s.f); sus límites según la Organización Hidrográfica Internacional (IHO) son el canal de Yucatán, entre la península de Yucatán y Cuba; el paso de los vientos, entre Cuba y República Dominicana y las Antillas Menores, el Mar alberga más de 7.000 islas, islotes y arrecifes, este mar baña las costas de 12 territorios continentales y 22 territorios insulares, que conforman lo que llamamos como la

Región Caribe, las islas cubren aproximadamente de 235.688 Km<sup>2</sup>, siendo Cuba la más grande de todas, mientras que Anguilla es la más pequeña (GeoEnciclopedia, s.f).



**Figura 2:** Mapa del Óvalo del Mar Caribe. Fuente: (Andrade Amaya, 2001)

El Mar Caribe tiene una profundidad promedio de 4.400m y consta de cinco cuencas principales la primera cuenca es de Granada con una profundidad media de 3.000m, que se encuentra entre el arco de las Antillas Menores y la cordillera de las Aves; la segunda cuenca es la de Venezuela con promedio de 5.000m, la cual se encuentra entre la cordillera de las Aves y la Cordillera Beata; como tercero esta la cuenca de Colombia con una profundidad media de 4.000m, esta cuenca se encuentra entre la Cordillera de Beata y la Cordillera de América Central; la cuarta cuenca es la cuenca de Caimán con una profundidad máxima de 7.100m, ubicada entre la Cordillera de América Central y la Cordillera de Caimán y el Estrecho de Yucatán.

La temperatura promedio del Mar Caribe es aproximadamente de 27°C, con una variación no mayor a 3°C. En relación con la salinidad del mar esta es alta entre los meses de enero y mayo, y más baja entre junio y diciembre. Durante época de lluvias las

descargas de las cuencas del Río Orinoco y el Río Amazonas causan descenso de la salinidad en el extremo sur este mar.

La temperatura en el Mar Caribe tiene poca variabilidad espacial y temporal, por su posición geográfica, cercana al Ecuador, esto permite que durante todo el año reciba gran cantidad de radiación solar. Pero existe una importante variabilidad estacional en los campos de la presión atmosférica modulada por la declinación solar, conocidos como la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que es un cinturón semi-continuo de bajas presiones que rodea la Tierra muy cerca del Ecuador, y hace una intervención significativa en los campos de viento y precipitación (Andrade Amaya, 2001).

La circulación del Mar Caribe está bajo la constante influencia de los vientos Alisios del Atlántico Tropical, que son más fuertes por lo general durante el verano y además están geos-tróficamente balanceados, originando que los vientos de la Región Caribe sean persistentes tanto en dirección como en magnitud. En el Caribe se presenta dos épocas climáticas, la seca y la época de lluvias. La época seca va de diciembre a abril, cuando la ZCIT se encuentra posicionada más hacia el sur. En este período los vientos Alisios del noreste, dominan la región, presentándose escasa precipitación por ejemplo en la costa de Colombia y en las Antillas, pero, ocasionando lluvias sobre Panamá y Costa Rica. Existe también una época de transición, entre abril y junio, en la cual los vientos del este se debilitan y alguna precipitación ocurre en las costas colombianas. Aunque, por lo general hacia el final de esta época, los vientos Alisios del norte aumenten su intensidad, impidiendo la precipitación en la zona. Este fenómeno en el Caribe es conocido como el "Veranillo de San Juan" o "la sequía media del verano", la cual inicia aproximadamente a mediados de junio, con una duración de un mes. En la época lluviosa, que va desde mediados de agosto hasta noviembre, la ZCIT se ubica hacia los 12° de latitud Norte, en esta época, los vientos provenientes del suroeste son débiles sobre el Mar Caribe, ocasionando altas precipitaciones (Tous Herazo, Castro Mercado, Cañón Páez, Quintalia Saavedra, & Torres, 2007).

### **3.1.2 Mar Caribe Colombiano**

El Caribe Colombiano está localizado en el extremo noroeste de Suramérica. Limita al norte con Jamaica, Haití y República Dominicana; al noroeste con Nicaragua y Costa Rica; al este con Venezuela, en la zona de Castilletes y al oeste con Panamá, en la zona de Cabo tiburón (Invemar, 2007). Políticamente está conformado por ocho departamentos distribuidos de norte a sur de la siguiente manera: La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Antioquia y Choco. Como rasgo notorio del paisaje, por su belleza e importancia ecológica sobre salen la península de La Guajira y las bahías de Honda y Portete; el sector de acantilado del alto de los Muchachitos; la barra de Salamanca y el complejo de la Ciénaga Grande de Santa Marta que hace parte del sistema del Río Magdalena, el cual se extiende en casi todo el departamento del Atlántico, en donde se localiza Boca de Cenizas. En Bolívar, destacan la isla Barú; en Córdoba, el delta del río Sinú y el golfo de Urabá y el río Atrato.

En la plataforma continental, los rasgos a destacar son las islas del Rosario y San Bernardo que forma parte del relieve asociado al Cinturón del Sinú y se encuentra colonizados por Corales; las formaciones coralinas asociadas a las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta y los cañones profundos como el del Magdalena, La Aguja y el del río Ranchería.

#### **- Actividad Portuaria en El Mar Caribe Colombiano**

Existen diferentes vías de transporte de mercancías entre países, departamentos y/o municipios; pero uno del transporte de mayor eficiencia y económicamente más viable es el transporte por vías marítimas, Colombia por su posición geográfica por estar limitando por dos grandes afluentes que son el Mar Caribe y el Océano Pacífico, debido a este privilegio, la mayor parte del comercio exterior se realiza a través de este medio de transporte. El sistema portuario en el comercio exterior es un mecanismo vital para las actividades comerciales entre economías del mundo; la actividad portuaria favorece a la libertad económica de los países, representa un papel importante en el comercio internacional (SuperIntendencia de Industria y Comercio, 2013), se estima que el 80% del comercio exterior se realiza por vía marítima, debido a que este medio es el más económico en cuanto a distancias largas. El país cuenta con 150 puertos en sus dos

litorales, la cual se encuentran dividido en nueve zonas portuarias, siendo la de la Costa Caribe con mayor actividad. La zona portuaria de la Costa Caribe se encuentra ubicada en 6 departamentos Bolívar, Guajira, Magdalena, Sucre, Atlántico y Córdoba, sin dejar atrás zona insular portuaria del Caribe Colombiano (San Andrés Isla).



**Figura 3:** Zonas portuarias del Caribe Colombiano (Viloria de la Hoz, 2006)

Según (REDCAM, 2008) en el Mar Caribe Colombiano la actividad portuaria cuenta con una carga total de más de 100 millones toneladas, entre los tipo de movilidad por las aguas del Mar Caribe Colombiano se encuentran entre Cargas generales, Transporte de Pasajeros, Transporte de Carbón y el transporte de Hidrocarburos, entre las diferentes ciudades colombiana que componen el sur del Mar Caribe, considerado como la Región Caribe, donde se involucran 6 departamentos (Guajira, Bolívar, Atlántico, Córdoba, Sucre y Magdalena) que tienen influencia directa con las aguas del mar, sin olvidar la Isla de San Andrés; las zonas portuaria del Mar Caribe Colombiano están ubicada en las ciudades de; Cartagena, Santa Marta, Barranquilla, San Andrés, Tolú y Puerto Bolívar (*Véase tabla 5*).

**Tabla 5***Zonas portuarias del Caribe Colombiano y la carga de Hidrocarburos*

<i>Zona Portuaria</i>	<i>Tipo de Movilización</i>	<i>Profundidad</i>	<i>Carga (ton)</i>
San Andrés	Carga general y Pasajeros	Aguas someras	126.970
Puerto Bolívar	Carbón	Aguas profundas	30.456.147
Santa Marta	Hidrocarburos, carbón, carga general y pasajeros	Aguas someras	35.142.833
Barranquilla	Hidrocarburos, carbón, carga general y pesquero	Aguas someras	6.452.025
Cartagena	Hidrocarburos, carbón, carga general y pesquero	Aguas medias	16.299.328
Tolú	Hidrocarburos y carga general	Aguas someras	11.766.146

**Nota:** Tomado de (REDCAM, 2008)

Los cuatro Zonas Portuarias (Cartagena, Barranquilla, Santa Martha y Riohacha), se encuentran comunicadas entre sí por el corredor portuario (Hoz, 2006) por la carretera transversal del Caribe. Esta vía se extiende a lo largo del litoral Caribe, desde Cartagena hasta la frontera con Venezuela (Paraguachón), pasando por las ciudades de Barranquilla, Santa Marta y Riohacha. La transversal del Caribe conecta con la troncal de Oriente (Ciénaga San Alberto-Bucaramanga y derivación hacia Bogotá) y troncal de Occidente (Cartagena-Medellín).

En la actualidad, la zona costera de los departamentos del Caribe, tienen explotación de gas natural, exploración de yacimientos de petróleo y un creciente tráfico de transporte marítimo, entre países de la región e incluso con Europa.

## Capítulo 4. Cumplimiento de las Actividades Propuestas

### 4.1 Identificación de Afectaciones del Medio Marino y de los Impactos

#### Ambientales por posibles Derrames De Hidrocarburos

Para el cumplimiento de esta actividad se realizó mediante consultas bibliográficas de las cuales pudimos extraer información de los impactos que generan los hidrocarburos al momento que son derramados al mar, se registró los diferentes desastres ambientales que han ocurrido por derrames de hidrocarburos en el lecho marino como lo ocurrido por el barco carguero EXXON VALDES en 1989 y lo que ocurrió en 2010 en el Golfo de México a partir de la investigación realizada para conocer las diferentes afectaciones que trae este tipo de desastres, se hizo necesario explicar la características, composición y clasificación de los hidrocarburos así como también fue necesario exponer los procesos físicos, biológicos y químicos (proceso de envejecimiento de los hidrocarburos) que sufre los hidrocarburos en el mar, el poder conocer estas características de los hidrocarburos se hace un poco más fácil el poder predecir que tendencia o que finalidad tendrá la mancha de petróleo al momento que son descargados al mar.

#### 4.1.1 Generalidades de los Hidrocarburos

**Hidrocarburos.** Son sustancias orgánicas cuyas moléculas estas constituidas por átomos de hidrógeno y carbono, pueden ser gaseoso, líquidos o sólidos (Heredia, 2000). La estructura molecular consiste en un armazón de átomos de carbono a los que se unen los átomos de hidrógeno. Las cadenas de átomos de carbono pueden ser lineales o ramificadas y abiertas o cerradas. Los hidrocarburos se pueden diferenciar en dos tipos que son Alifáticos y Aromático.

Los representantes más claros de los hidrocarburos son el petróleo crudo y el gas natural (Sociedad Nacional de Minería, 2009), que son una combinación de diferentes hidrocarburos, los cuales se encuentra formado por una mezcla compleja de átomos de carbono e hidrogeno; entonces se podría decir que el petróleo crudo es un hidrocarburo en estado líquido que se encuentras compuesto por átomos de hidrogeno y carbono en

mayores cantidades y de azufre, nitrógeno y oxígeno en cantidades mucho más pequeña, mientras que el gas natural es un hidrocarburo en estado gaseoso compuesto de metano, principalmente, y de propano y butano en menor medida.

Los hidrocarburos de origen natural, extraído como líquido son denominados como petróleo, mientras que los extraídos en forma gaseosa se denominan gas natural. Los dos hidrocarburos tanto líquido como gaseoso son la fuente principal de combustibles fósiles.

El petróleo o el crudo es una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos, cuya composición puede variar enormemente de un campo petrolífero a otro, e incluso en un mismo pozo de extracción en función del tiempo o de la profundidad. De esta forma, hay una enorme variedad de crudos, cada uno con una composición y comportamiento bien distintos.

**El Petróleo.** El petróleo o crudo, es una de las fuentes principales de energía para muchas de las actividades humana, tales como la industria, la minería y el transporte; al igual que el carbón, el petróleo es un producto de origen fósil, que se encuentra formado por una mezcla compleja de hidrocarburos (Monroy), es decir, compuestos formados por átomos de carbono e hidrogeno en cantidades variables, tiene una consistencia muy viscosa, más ligero que el agua (Madrid, 2002). El petróleo se tiene de la descomposición de los minúsculos organismos acuáticos que vivían en los antiguos mares hace millones de años, cuando los microorganismos, animales y vegetales morían estos caían al fondo de las grandes masas de agua, seguidos por capas de sedimentos inorgánicos (arenas y arcillas), se depositaban encima, enterrándolos cada vez más profundo (Engineers, s,f), la elevada presión ejercida por las capas de la tierra, las altas temperaturas y la acción de las bacterias anaeróbicas fueron transformando lentamente los restos de los organismos en lo que se conoce el petróleo crudo, este proceso de descomposición de la materia orgánica y la formación del petróleo tarda entre 10 a 100 millones de años (Madrid, 2002).

Una de las características del petróleo es la miscibilidad de todas sus fracciones, por lo cual forma una fase orgánica continua, mientras que los hidrocarburos son poco solubles en el agua y por ser tan ligeros, siempre forman una capa sobre la superficie, el petróleo no forma grandes lagos subterráneos, sino que esta sustancia llena los poros de las rocas

sedimentarias; los productos ligeros que lo componen se evaporan y el resto se oxida (proceso de evaporación y fotólisis). El petróleo se encuentra bajo tierra, en diferentes regiones distribuidas conocidas como cuencas sedimentarias, estas se encuentran formada por capas una sobre otra.

De acuerdo con la NOAA (1995), el petróleo crudo contiene entre 50 y 98% de hidrocarburos y con una fracción que generalmente se encuentra compuestos por nitrógeno, azufre, oxígeno y metales pesados como el níquel y vanadio. Esta fracción es considerada como impureza. La impureza impide la utilización directa del petróleo y generalmente son solubles en el agua, afectado su calidad. Los hidrocarburos que están presentes en el petróleo, por simplicidad se pueden agrupar en tres grandes grupos, de acuerdo a su estructura molecular así:

**Parafinas:** Son también conocidas como alcanos, cuando sus carbonos están unidos por enlaces simples; alquenos, por enlaces dobles, y alquinos por enlaces triples. Se caracterizan por tener sus átomos de carbono unidos en cadenas abiertas. Pueden estar en estado gaseoso, líquido, sólido o coloidal, dependiendo del número de átomos de carbono presentes. Los hidrocarburos parafínicos son siempre menos densos que los hidrocarburos cíclicos con el mismo número de carbonos.

**Naftenos:** Son conocidos como compuestos alicíclicos y generalmente algunos a todos sus carbonos están organizados en cadenas cíclicas. Los naftenos son resistentes a la degradación y ligeramente más densos que las parafinas con el mismo número de carbonos.

**Aromáticos:** El clásico aromático es el benceno, que posee una fuerte estructura cíclica de 6 carbonos unidos por doble enlace. Los compuestos aromáticos siempre están formados por varias combinaciones de anillos de benceno que posteriormente se ligan a cadenas de parafinas o compuestos no hidrocarburos, como los citados inicialmente. Generalmente, la cantidad de aromáticos presente en el petróleo es pequeña comparada con la de parafinas y naftenos. Los compuestos aromáticos son considerados como altamente cancerígenos y tóxicos.

Según su peso molecular también es posible agrupar a los hidrocarburos en tres grupos:

**Hidrocarburos ligeros:** Se caracterizan por contener compuestos hasta de 10 átomos de carbono y tener un punto de ebullición menor a 150 °C. La mayoría de los componentes de bajo peso molecular son alcanos y cicloalcanos los cuales se evaporan rápida y completamente, usualmente en el primer día, por lo que no son bioacumulables. Estos hidrocarburos tienen una alta solubilidad, usualmente contribuyen al 95% de la fracción soluble, pudiendo llegar a tener un efecto tóxico si contienen hidrocarburos mono aromáticos como benceno, tolueno o xileno, esta situación tendría lugar si el hidrocarburo derramado se mezcla rápidamente en aguas frías y condiciones meteorológicas de calma, lo cual ha ocurrido en derrames en ríos.

**Hidrocarburos medios:** De peso molecular medio se caracterizan por contener compuestos entre 10 y 22 átomos de carbono y un punto de ebullición entre 150 y 400 °C. Estos hidrocarburos se evaporan en varios días, dejando algunos residuos que no se evaporan a temperatura ambiente. Su fracción soluble es baja, ya que contienen hidrocarburos diaromáticos, como los naftalenos, por lo que son moderadamente tóxicos. Su potencial de bioacumulación es moderado, asociado también con la presencia de hidrocarburos diaromáticos.

**Hidrocarburos pesados:** Los hidrocarburos de alto peso molecular se caracterizan por contener compuestos de más de 20 átomos de carbón y tener un punto de ebullición mayor a 400 °C. Su fracción evaporable y soluble es mínima. Se bioacumulan vía absorción en los sedimentos y su potencial de toxicidad es elevado debido a la presencia de hidrocarburos aromáticos polinucleares, como los antracenos y fenaltrenos, que a largo plazo por su lenta degradación dan lugar a las conocidas barras flotantes. Otro de los efectos negativos que los hidrocarburos pesados tienen sobre los ecosistemas acuáticos es la interrupción del paso de luz y oxígeno.

**Explotación de hidrocarburos:** Se inicia principalmente por la fase de exploración o prospección, donde se inicia con la Exploración Sísmica, (Ambiente, 1997) método que utiliza la transmisión de una onda sonora que cuando esta atraviesa los estratos del subsuelo

rebotan y son recogidas por sismógrafos que se encuentran situados en la superficie y los datos obtenidos por los sismógrafos son procesado y/o analizados por un ordenador, la velocidad de propagación de la onda permite determinar la estructura del terreno, la existencia de capas duras y su profundidad (IAPG, s,f). Si bien la mayor parte del petróleo se encuentra entre los 900 y los 5.000 m de profundidad, las perforaciones pueden ser hasta de 8.000 m, el diámetro del pozo, es de uno 45 cm que en el fondo, se estrecha hasta los 15 cm, cuando los yacimiento se encuentran bajo del mar, las torres se instalan en plataforma, conocida como offshore; Actualmente la totalidad del petróleo se transporta, bien sea por vía marítima, en buques- tanques que pueden llegar a contener alrededor de 500.000 toneladas, o por vía terrestres a través de oleoductos, conductos de más de un metro de diámetro y centenares de kilómetros de longitud, a través de los cuales se impulsa el aceite mineral, por los mares y océanos del planeta, navega constantemente una flota de petroleros con una capacidad de más de 250 millones de toneladas de petróleo crudo. Después de su aislamiento subterráneo (Madrid, 2002), al ser extraído, se inicia un largo viaje donde será llevado a diversos lugares del mundo, los Barcos superpetroleros y extensas tuberías de transporte lo ponen al alcance de los grandes centros de consumo, donde será tratado para extraer sus valiosos componentes e incorporarlo a la cadena productiva humana.

El petróleo y sus productos de refinación no son sustancias específicas y únicas, puesto que son mezclas de varios hidrocarburos y otros compuestos cuya propiedades físicas y químicas son muy diferentes, este hecho determina su impacto sobre los elementos del ambiente (recursos, físicos, recursos biológicos y actividades socioeconómicas). La explotación y el transporte de petróleo son las principales fuentes de contaminación por hidrocarburos debido a que el 60% de la producción mundial de petróleo se transporta por vía marítima y se calcula que el 0,1% de esta se derrama en lecho marítimo, es decir más de 2.2 millones de toneladas al año. El petróleo, aunque no es necesariamente la más peligrosa de las sustancias transportada a granel por vía marítima, es indudablemente la más importante desde el punto de vista del tonelaje acarreado y en consecuencia la sustancia de mayor posibilidad de derramarse en el mar y de producir daños en el medio marino.

#### 4.1.2 Registro de Derrames de Hidrocarburos en el Mar y sus Consecuencias

Los grandes derrames de hidrocarburos que ha existido en la historia de hundimientos de baque de cargas como el de “TORREY CANYON” (1967) y los accidentes de otros Buques Tanqueros como “METULA” (1974), “ARGO MERCHANT” (1976), “URQUIOLA” (1976), “AMOCO CADIZ” (1978), el “BETELGEUSE” (1979), el EXXON VALDEZ(1989), dieron a indicios a que países del Reino Unido y de todos los países de Europas afectados por los derrames que sean presentado a lo largo de la historia, hicieron que se reunieran con el objetivo de crear una agencia especializada que tenga como principal función “el de velar por los daños ecológicos que sufrían su mares territorial y zonas costera”, de esta manera se crea la Organización Marítima Internacional (OMI), con esta organización buscaron determinar, regular y aplicar los diferentes dispersantes que se formularon para contrarrestar los daños ecológicos teniendo conocimiento de que cada año se vierten al mar, más de 10 millones de toneladas de crudo y que la flota de petroleros que navega en aguas internacionales es de 6.000 buques sólo un tercio de los petroleros más modernos poseen doble casco para evitar los vertidos de petróleo (Universidad de Guayaquil).

El superpetrolero **Torrey Canyon** de 120.000 toneladas, viajaba el 18 marzo de 1967 a 17 nudos de velocidad cuando golpeo contra los arrecifes de Seven Stones, en el archipiélago de las Scilly, al Suroeste de Cornwall (Inglaterra), el violento impacto rasgo los tanques del superpetrolero y dejo que rápidamente se derramaran 120.000 toneladas de crudo, con la ayuda del golpes de las olas, generaron en unos pocos días una inmensa marea o mancha negra, que alcanzaron las costas y playas de Cornwall, isla de Guernsey y el litoral francés (Carvajal Ortiz & Jara Gutierrez, 2005).

METULA a tierra en el Estrecho oriental de Magallanes, Chile, el 9 de agosto de 1974. Se estima que cerca de 47.000 toneladas de crudo de Arabia luz y entre 3.000 y 4.000 toneladas de fuel oíl pesado al parecer se han perdido. Los grandes volúmenes de emulsión de agua en aceite que se producen en las condiciones de mar gruesa y gran parte de este aterrizaron en las costas del norte de Tierra del Fuego. La mayor parte de las costas afectadas eran de mezcla de arena y grava, pero también quedaron contaminados dos

pequeños estuarios, incluyendo marismas. Se conocen alrededor de 4.000 aves que han muerto, incluyendo cormoranes y pingüinos (ITOPF, METULA, Chile, 1974).

ARGO MERCHANT, era un petrolero que encalló súper sureste de la isla de Nantucket, Massachusetts, el 15 de diciembre de 1976. Seis días más tarde, el 21 de diciembre del naufragio se rompió, causando uno de los mayores derrames de petróleo en la historia cargado 7,7 millones de galones estadounidenses (29 millones) de fuel oíl No. 6 en Puerto La Cruz, Venezuela, navegando por Boston, El 21 de diciembre de 1976 ARGO MERCANTE MV se separaron y se derramó toda su carga de fuel oíl, de manera afortunada los vientos del noroestes estaban tan fuertes que hizo que la mancha de petróleo no alcanzaran las costas (Lettens, 2014).

EXXON VALDEZ, Era el 23 de marzo de 1989, a las 9:12 p.m., en la terminal petrolera de Alyeska, Valdez, Alaska. El barco Exxon Valdez partía rumbo a Long Beach, California, con un cargamento de 200. 962. 720 litros de petróleo crudo North Slope. Tres horas más tarde el Exxon Valdez se impactó en el Risco Bligh, fracturando 11 de sus tanques de carga, y derramando 40. 878. 000 de litros de crudo, causando uno de los más grandes y catastróficos accidentes ecológicos en el mundo. La afectación al entorno, la vida animal y el turismo fue inimaginable. Miles de especies animales y vegetales de la región murieron por intoxicación o problemas relacionados con el derrame, muchos kilómetros de playas estaban impregnados por el crudo, y los daños a la industria pesquera fueron incalculables.

En 1976 las costas Ecuatorianas (zona norte) fueron afectadas por un gran derrame 12 proveniente del hundimiento del buque tanquero “SAINT PETER” que tuvo un accidente marítimo explosivo-incendio-hundimiento aflorando a la superficie del agua aproximadamente 40.000 toneladas de hidrocarburos que eran transportados desde el Puerto de Tumaco de Colombia hasta el Puerto de Callao en el Perú, este accidente ocurrió aproximadamente entre 25 y 30 millas de la costa Colombiana y que por el volumen derramado y por los efectos ambientales permitieron que el hidrocarburo contamine las costas Ecuatorianas, especialmente la parte norte de Esmeraldas (Universidad de Guayaquil). De acuerdo con los estudios efectuados por instituciones del Estado y la FAO,

el impacto de la contaminación afectó un área de 1.300 km<sup>2</sup>, equivalente al 10% del Pacífico colombiano (Buitrago, 2006).

En 1979 en el Mar Caribe ocurrió un derrame de hidrocarburos en el pozo de petróleo IXTOC I, en el Banco de Campeche, al sureste del Golfo de México durante las operaciones de perforación de gas y petróleo. Esta explosión ocasiono la fuga de aproximadamente 30 mil barriles diarios de petróleo crudo ligero durante diez día meses para un total de 475,000 toneladas métricas, el petróleo derramado contamina gran parte del litoral del Golfo de México y daño severamente su franja costera, constituida principalmente de playas arenosas e islas de barreras que protegían a lagunas costeras, estuarios y humedales, ecosistemas que aún no se han estabilizado (Botello, Rendon, Gold-Bouchot, & Agraz-Hernandez, 2005).

El 20 de abril de 2010 en el Golfo de México la compañía British Petroleum, donde hubo una explosión y hundimiento de la plataforma Deepwater Horizon en el Golfo de México, este accidente dejo alrededor de 11 muertos. La plataforma estaba haciendo las exploraciones submarinas enmarcadas dentro del proyecto Macondo de la compañía británica, se encontraba ubicada a 68 kilómetros al sureste de Venice, Luisiana, específicamente a 1.525 metros bajo el agua y a 13.000 pies del lecho marino, se calculan que al menos 76 millones de litro de crudo (478.000 barriles) han sido derramados en el Golfo. La mancha de petróleo ha afectado más de 110 kilómetros de la costa de Luisiana, los expertos y especialistas consideran que este derrame excede al ocurrido por el Exxon Valdez (BBC Mundo, 2010). También se estima que este derrame supera la explosión que hubo en 1979 en Campeche en la costa mexicana, donde se vertieron cerca de 40.0000 toneladas de petróleo, la fuga ha creado una enorme mancha de aceite brillante y petróleo, que por la dirección del viento pudieron alcanzar las costas estadounidenses (Figueras, 2010).

La M/N SAETA de bandera maltes se encontraba a las ocho de la mañana del 20 de abril de 2005 saliendo de la bahía de Cartagena por el canal colonial, cargada con 311.000 barriles de combustible cuando por razones aún por establecer sufrió una avería lo que originó un derrame de producto del tipo IFO (Industrial Fuel Oil), indicaban que la emergencia se estaba dando dentro de la bahía de Cartagena, por lo que se iniciaron los

cálculos para conocer los efectos y pronósticos de la deriva de la mancha en ese sector. Los primeros cálculos arrojaron un panorama en el cual, el impacto producido por el derrame se concentraría para las próximas 24 horas en el área de Bocachica (Babra, s.f).

#### **4.1.3 Derrame de Hidrocarburos en el ambiente marino y su comportamiento**

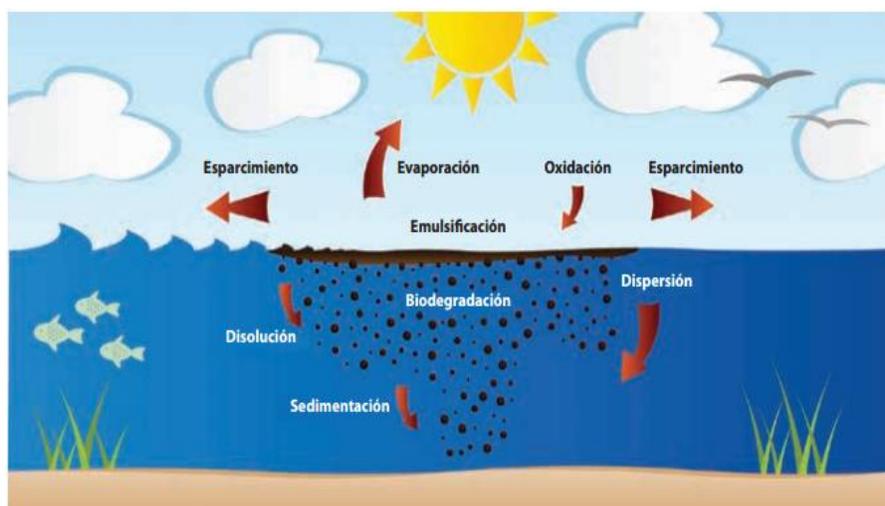
Es considerado **derrame o fuga de hidrocarburos** a todo vertimiento o descargas de estos en el ambiente, accidentalmente o por las prácticas comunes, afectando zonas litorales, mares y costas en efecto persistentes en el tiempo. Un derrame puede originarse (Marzialetti, 2011) por una serie de razones, pero de acuerdo al historial de ocurrencias estos tienen una estrecha relación con las rutas marítimas y muchos se encuentran vinculados a la plataforma offshore (explotación lejos de la costa), después que ocurre un derrame su comportamiento físico es un factor trascendental a considerar para evaluar los peligros sobre el ambiente. En el momento que ocurre un derrame de hidrocarburo en el ambiente marino (Corral, Vergara, & Barragan, 2012), este se dispersa sobre la superficie de acuerdo a la dinámica de los vientos y las corrientes marinas que esté presente en el área afectada. Así una vez ocurrido un derrame de petróleo en el mar se forma una capa delgada sobre la superficie del agua y se producen diversos procesos físicos, químicos y biológicos que determinan el grado de daño que el hidrocarburo causa al ambiente marino.

#### **4.1.4 Proceso de envejecimiento de los hidrocarburos vertidos en el mar**

El Petróleo y sus derivados, después de ser derramados o vertidos en el mar, están sujetos a una serie de cambios físico-químico que alteran sus propiedades y modifican su composición, proceso que se le conoce como envejecimiento y se debe a la actuación de diversos procesos físicos y biológicos. El grado de envejecimiento que puede llegar a sufrir un fuel depende de muchos factores, tanto propios (composición y características físicas) como ajenos (factores ambientales y biológicos). Los fueles con menor proporción de hidrocarburos volátiles, solubles o biodegradables, sufrirán procesos de envejecimiento muy suaves, y sus características variarán poco. Otros fueles más ligeros pueden sufrir

envejecimientos más acusados y sus características al cabo de varias semanas en el mar serán muy diferentes a las de partida (Iniesta & Blanco, 2005).

Para predecir las consecuencias exacta que puede traer un derrame de hidrocarburos en el mar, se deben tener en cuenta varios factores como es la rápida expansión, el rápido alejamiento de las fuentes del vertido, la dirección de las corrientes de la zona donde se produjo el derrame y los cambios en la composición del hidrocarburo desde que es derramado al mar por procesos físicos, químicos y biológicos; el conocimiento de la forma como se dispersa, mueve y reacciona la sustancia vertida en el agua, ayuda a trazar anticipadamente la trayectoria que llevara la sustancia derramada, el conocer los tiempos que tardara la sustancia contaminante en llegar a una costa o a una población, evaluara con anticipación los impactos que tiene la sustancias en ecosistemas sensible o en algún asentamiento humano (Urueña, 2009), para predecir el comportamiento del hidrocarburo en el mar es necesario estudiar fenómeno físicos, químicos y biológicos como lo son: la difusión, dispersión, escurrimiento, evaporación, emulsificación, foto-oxidación, biodegradación; fenómenos conocido como proceso de envejecimiento de los hidrocarburos en el mar. En la (Figura 4) se tiene una ilustración de los fenómenos físico-químicos asociado al comportamiento de la mancha del derrame en el océano.



**Figura 4:** Fenómenos físicos- químicos asociados con el transporte y reacción de manchas de contaminante en el agua. Fuente (ITOPF, Destino de los derrames de hidrocarburos en el medio marino, 2014)

**Dispersión Vertical.** El proceso de dispersión vertical y re dispersión es importante para la disolución del hidrocarburo en el agua del mar. Con mal tiempo, una proporción significativa del hidrocarburo se dispersa en la columna de agua, debido principalmente al efecto de las olas rompientes. Las gotitas oleosas dispersas tienden entonces a volver a la superficie o a ser re dispersadas por las fuerzas de flotabilidad. Las gotas más grandes emergen enseguida, mientras que las gotas más pequeñas pueden ser transportadas por las corrientes lejos del lugar del vertido y permanecen dispersas durante semanas (GÓMEZ, s.f).

La dispersión puede ser un mecanismo para eliminar el petróleo de la superficie del mar. La cantidad dispersada depende de las propiedades del petróleo (viscosidad y tensión superficial, en particular) y de las condiciones del mar. Los productos de petróleo de baja viscosidad, como gasolina y queroseno, tienen más tendencia a dispersarse en el mar debido al oleaje que los petróleos altamente viscosos como los crudos IFO 380 u Oficina pesado. Por tanto, las fracciones de gasolina o queroseno dispersas en mar gruesa pueden ser relativamente importantes. Un posible tratamiento de los derrames de petróleo consiste en rociar la mancha con dispersantes químicos. Los dispersantes químicos favorecen la dispersión natural disminuyendo la tensión superficial (NOAA, 2001).

**Esparcimiento.** Cuando un líquido más ligero es derramado sobre otro se produce un esparcimiento natural producido por una serie de fenómenos físicos y químicos, cuando se presenta un derrame de hidrocarburo en el mar, estas sustancias se esparcen rápidamente sobre la superficie, abarcando grandes extensiones del área. El proceso de esparcimiento evoluciona temporalmente hasta llegar a un estado, donde el espesor de la capa llega al denominado espesor mínimo, a partir del cual el esparcimiento mecánico cesa. Este espesor es una característica propia de cada producto petrolífero y depende de su viscosidad y su densidad. Una vez alcanzado el espesor mínimo, debido a los procesos propios de envejecimiento o por una fuerte turbulencia del medio, la mancha de hidrocarburo en la superficie se puede fragmentar en pequeñas sub-manchas.

Estés fenómeno se encuentra con una relevancia relativa en mares abiertos, es el principal causante de la expansión, debido a que la capa o espesor mínimo se alcanza en menos de un día.

**Evaporación.** El petróleo natural y sus refinados están constituidos por una mezcla de varios hidrocarburos, unos más volátiles que otros, en el momento que ocurre un derrame los componentes más ligeros se evaporan a medida que esto sucede, el petróleo se hace más denso y viscoso hasta llegar a hundirse. Este proceso depende principalmente de la composición del hidrocarburo al igual que las condiciones del área afectada y de la expansión superficial, ya que a mayor extensión y/o menor espesor más rápido se produce la evaporación.

El proceso de evaporación es el más importante, debido a que produce pérdidas importantes de hidrocarburos que causan cambios en las propiedades de los hidrocarburos como en la densidad y la viscosidad.

La evaporación en hidrocarburos ligeros como la gasolina es de mayor importancia, debido a que puede perder el 95% de su masa por proceso de evaporación en 2-3 días. Un crudo ligero puede perder por evaporación el 75% de su volumen inicial en pocos días y un crudo medio el 40% (Iniesta & Blanco, 2005).

El proceso de evaporación empieza a dar en el instante en que el hidrocarburo es derramado sobre la superficie; propagándose en pocas horas a unos cuantos días según el producto. El porcentaje de eliminación del volumen derramado es un aspecto que también depende del tipo de hidrocarburo; este porcentaje oscila entre 100% en los productos más ligeros y apenas el 10% para los fuel-oils pesados. El viento en superficie, la temperatura y la exposición solar son agentes que alteran la velocidad de evaporación del producto derramado. A mayor temperatura más rápidamente se alcanza la tasa máxima de evaporación y a mayor viento, mayor efecto de arrastre, mayor transferencia de masa fluido-gas y por lo tanto mayor velocidad de evaporación. Asimismo, la propia evaporación interactúa significativamente con el resto de reacciones físico-químicas del envejecimiento, provocando cambios en la reología del producto derramado.

**Emulsionado.** La energía del oleaje mezcla de forma espontánea el hidrocarburo con el agua marina, formándose en ocasiones una emulsión “agua-en-aceite”. Este proceso afecta a los productos pesados y es inexistente en productos ligeros. El nuevo producto agua + hidrocarburo tendrá mayor densidad que la inicial, su viscosidad se verá aumentada

drásticamente y será más inalterable frente a efectos externos. En el contexto de un suceso de vertido de hidrocarburo en el mar, este proceso se considera crítico en cuanto a su recuperación se refiere, si la viscosidad del producto aumenta excesivamente, el bombeo resulta impracticable. En ciertos casos, se alcanzan proporciones de agua en la mezcla de hasta el 80%, llegando a multiplicar el volumen de contaminante por cinco.

En una emulsión, dos líquidos inmiscibles se mezclan por dispersión de uno de ellos en el interior del otro. Las emulsiones estables de hidrocarburo y agua se forman cuando pequeñas gotas de agua quedan atrapadas en el interior del hidrocarburo. Suelen tener un porcentaje de agua entre el 50 y 85 %. Las emulsiones se conocen comúnmente con el nombre de “mousse” o “mousse de chocolate” por su coloración marrón oscura y elevada viscosidad (NOAA, 2001). Para su formación es necesaria cierta agitación del agua, es decir, presencia de viento y oleaje, mayor cuanto más viscoso es el producto. No todas las mezclas de hidrocarburos son susceptibles de formar emulsiones estables con agua. Los fueles pesados con mayor viscosidad y mayor contenido en hidrocarburos de gran peso molecular forman emulsiones más estables que los fueles ligeros.

La temperatura afecta a la formación de la emulsión variando la viscosidad del fuel. En algunos casos, la disminución de la temperatura hasta valores cercanos al punto de fluidez del fuel permite la formación de emulsiones independientemente del contenido en asfáltenos. En cambio, las variaciones bruscas de temperatura pueden desestabilizar la emulsión.

**Biodegradación.** Los vertidos de hidrocarburos también son afectados por la biodegradación, proceso extremadamente lento pero que es importante a largo plazo (GÓMEZ, s.f). Sin embargo, no todos los componentes de un hidrocarburo son degradados por los microorganismos. La biodegradación es un proceso natural en cual actúan los microorganismos que descomponen los hidrocarburos en compuestos más sencillos. El petróleo es un producto que se encuentra de forma natural en el medio; es normal que ciertas especies de bacterias marinas, hongos y otros organismos sean capaces de descomponer los hidrocarburos para utilizarlos como fuente de alimento.

La biodegradación es un proceso natural y además muy lento debido al agotamiento continuo de oxígeno y nutriente, a la formación de emulsiones de agua en petróleo y se puede ver limitada por la presencia de compuestos tóxicos. La tasa de degradación por medio de microorganismos presentes en el mar depende del contenido de nutrientes, oxígeno disuelto, salinidad, área superficial del derrame y de la composición, tamaño de la población microbiana presente en el área. Existen diversas técnicas para potenciar y favorecer esta degradación, uno de la más usadas es el de añadir artificialmente los nutrientes para las bacterias. Como regla general, el porcentaje de eliminación del volumen derramado en esta degradación va desde el 50% para productos ligeros a apenas un 5% para productos pesados (Iniasta & Blanco, 2005).

**Foto-oxidación.** La radiación ultravioleta solar produce la oxidación fotoquímica, dependiendo de la intensidad de la radiación solar. Esta acción altera las propiedades físico-químicas de los productos petrolíferos modificando su estructura química, lo que implica una estabilización de las emulsiones. La combinación química de hidrocarburos con el oxígeno atmosférico y contribuye a la descomposición o degradación final del petróleo. Cuanta más área expuesta exista, mayor será la oxidación y mayor la velocidad de degradación. Este proceso es lento puesto que sólo una pequeña cantidad de oxígeno puede penetrar en una mancha de petróleo.

#### **4.1.5 Impacto por Derrame de Hidrocarburos en el Mar**

Los derrames de hidrocarburos pueden afectar gravemente el medio marino como resultado de la asfixia y los efectos tóxicos. La intensidad del impacto depende normalmente de la cantidad y el tipo de hidrocarburo derramado, de las condiciones ambientales y de la sensibilidad de los organismos afectados y sus hábitats. La contaminación por hidrocarburos se encuentra originados por las actividades que se realizan en las famosas plataformas offshore, por descargas operaciones de los barcos, por derrame de buques, por fuentes naturales y las descargas de aguas residuales (Impactos Ambientales, 2012).

El impacto que causa es de forma inmediata en el momento que es derramado un hidrocarburo al mar, este crea una película sobre la superficie del mar lo que se conoce como “Mancha negra” o “Mancha de petróleo”, al momento que esta pequeña capa se forma esta impide la entrada de luz al agua, situación que afecta directamente a las algas que depende de la llegada de la luz para poder realizar el proceso de fotosíntesis, después se obtiene una contaminación grave que puede llegar hasta la muerte de muchos organismos porque los compuestos del crudo son muy tóxicos. Los efectos por la contaminación de derrame o vertidos de hidrocarburos en ecosistemas marinos son variados y su impacto depende de estos factores: si el vertido alcanza la costa, si alcanza a ecosistemas sensibles, si alcanza a poblaciones de animales sensibles o si alcanza asentamientos humanos. Los vertidos por hidrocarburos pueden afectar a los ecosistemas costeros y marinos de esta manera:

Mortalidad e impactos a largo plazo en mamíferos y hábitats marinos

Daños físicos a los ecosistemas marinos

Daños a las reservas de acuicultura

Asfixia y daños a la vegetación y biota intermareal

## ❖ Impacto Ambiental

**Fauna Marina.** La fauna marina se encuentra en una compleja relación entre los organismos y su ambiente físico, los efectos adversos causados por derrame de hidrocarburos dañan a más de una especie que incluso puede llegar a dañar cadenas alimenticias enteras, estos efectos dependen del nicho ocupado por esta población marina, costera o de transición entre ambas. En mar abierto, los peces y las ballenas pueden alejarse de los efectos tóxicos del petróleo nadando a mayor profundidad, pero para aquellos animales que viven en zonas costeras como las tortugas marinas, los delfines y las focas son mucho más sensibles a toxicidad del hidrocarburo derramado, en aguas someras,

el petróleo puede dañar pastos marinos, los cuales son sitios de anidación, abrigo y sustento de varias especies (Valverde). La presencia de petróleo en el agua de mar afecta la salud de plantas y animales microscopio que forman la base de la cadena alimenticia oceánica, los huevos y larvas de camarón, peces, entre otras especies importantes de comercio y recreación están en riegos, al igual que los peces adultos, tortugas de mar, mamíferos y aves marinas. Debajo de la superficie, los corales y otras comunidades de las aguas profundas también podrían ser afectados.

**Aves Marinas.** Las aves marinas son los animales en aguas abiertas más vulnerables a este tipo de contaminación, los patos marinos, alcas y otras especies que se agrupan en manadas sobre la superficie del mar están especialmente expuestas. La contaminación del plumaje es el efecto más evidente de los hidrocarburos en las aves, la función del plumaje en las aves es principalmente el de proporcionar flotabilidad y aislamiento, cuando estas se bañan de hidrocarburos la delicada estructura de la capa de protección que crean las plumas y el aislamiento que proporcionan se ven afectados y el agua de mar entra en contacto directo con la piel, para así provocar una pérdida de calor corporal con la posibilidad de que las aves marinas mueran por hipotermia. Una pequeña mancha de hidrocarburo en el plumaje de las aves podría provocar su muerte, en varias especies, una vez pega la mancha de hidrocarburos en el plumaje de las aves marinas estas por instinto natural incita al ave a limpiarse con el pico, lo que podría esparcir los hidrocarburos por otras partes limpias de su cuerpo. Aun no se tiene registro de cuantas especies de aves marinas han muertas por derrames de hidrocarburos, pero lo que sí es claro que un pequeño derrame en épocas de crías o cuando haya más conglomeraciones de aves puede ser más perjudicial que un derrame en otra época, se afirma que algunas aves marinas logran sobrevivir después de la limpieza del hidrocarburos, pero aun así existen pérdidas de especies (ITOPF, 2014).

**Mamíferos y Reptiles marinos.** El hidrocarburos flotante pueden poner en riesgo a las ballenas, delfines y entre otros especies de cetáceos cuando estos se desplazan por la superficie para respirar o lo atraviesan los hidrocarburo provocan daños en los tejidos nasales y oculares. Las especies que dependen del pelaje para regular su temperatura

corporal son las más vulnerables a los hidrocarburos, debido a que estos animales podrían morir de hipotermia o sobrecalentamiento según la estación, los hidrocarburos flotante representa una amenaza para los reptiles marinos; las tortugas marinas son vulnerables durante la época de nidificación, si por ejemplo la mancha del hidrocarburos llegara a las playas podrían producir perdidas de huevos y crías de tortugas, aunque existen casos de tortugas adultas que soportan un poco a los hidrocarburos han podido ser devueltas al mar después del proceso de limpieza, es importante proteger estas especies de animales marinos, debido a que todas las especies de tortugas se encuentran extinto o amenazados.

### ❖ **Impacto Socioeconómico**

Los derrames de hidrocarburos pueden provocar pérdidas económicas por la llegada de la mancha en zonas costeras, debido que en esta área se realizan diferentes actividades económicas, las zonas costeras es una área donde las actividades recreativas o de producción de peces, se pueden ver afectada por un derrame de hidrocarburo, siempre y cuando la tendencia de la mancha de petróleo sea la de llegar a zonas costeras.

**Sector Pesquero y/o Acuicultura.** Un derrame de hidrocarburos provoca graves daños en los recursos del sector de pesca y acuicultura debido a que los peces y mariscos explotados para su comercialización pueden sufrir daños como resultado de la toxicidad de los hidrocarburos y la asfixia. El pescado y los mariscos pueden contaminarse físicamente o macularse, obteniendo un sabor desagradables por los hidrocarburos, también sufrirían afectación los equipos de cultivos y los aparatos de pesca que podrían pegarse de hidrocarburos lo que provocaría contaminación de las capturas de peces (ITOPF, 2014), otras de las actividades que se ven interrumpida por los derrames son las actividades recreativas (buceo, deportes acuáticos, pesca deportivas, entre otras), que se realizan muy a menudo en zonas costeras, si la mancha llegara alcanzar las costas estas actividades se verían seriamente afectada y la económica de la ciudad y de los habitantes también.

**Turismo.** Es un sector que se puede ver afectado por la presencia de hidrocarburos en el agua o en la costa, especialmente justo antes o durante de la temporada de mayor actividad turística. La interrupción de las actividades costeras como la navegación, la pesca con caña y el buceo también se ven afectados por los derrames de crudos, el uso de la playa podría interrumpir por las acciones de limpieza, esto ocasiona muchas pérdidas económicas para las empresas o personas que se dedican a esta actividad.

#### **4.2 Reconocimiento de zonas vulnerables a posibles derrames de hidrocarburos en zonas de actividad portuaria y marítima del Mar Caribe Colombiano.**

El Reconocimiento de zonas vulnerables se realizó mediante revisiones bibliográficas, se hizo la identificación de toda el área marítima protegida las cuales se ven afectada por derrame de hidrocarburo alrededor de 15 Áreas que se encuentran en protección por el Sistema de Parque Nacionales, la gran mayoría tiene en sus límites geográficos tiene partes costeras que dentro de un posible derrame de hidrocarburos las actividades económicas y las especies sensibles (arrecife y corrales) se pueden ver directamente afectadas por la mancha de petróleo.

##### **4.2.1 Zonas Vulnerables a Derrame de Hidrocarburo en el Mar Caribe**

##### **Colombiano**

Colombia por su localización geográfica y las condiciones especiales del territorio debido a su amplio número de vertientes, la abundancia de ríos, la variedad de lagos, extensas zonas marinas y continentales, poseedor de gran biodiversidad está obligado a su preservación y protección, debido a esto es un país potencialmente vulnerable a eventos de origen natural y antrópicos con una alta probabilidad de ser afectados por contaminación causada por derrame de Hidrocarburos.

Según la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales tiene gran relevancia el estudio de la Costa Atlántica y la Costa Pacífica, por contar con áreas protegidas y a su vez estas son vulnerables por la ubicación de la

infraestructura petrolera, cargue, descargue, y que las rutas de transporte de los hidrocarburos coinciden con las áreas limítrofes de los Parques Nacionales Naturales (Rengifo, 2006). Especialmente los Parques que cuentan con zonas costeras como son: (Ver Tabla 7)

**Tabla 6**

*Representación de las áreas protegidas del litoral marítimo de Colombia, áreas protegidas del Caribe y Pacífico colombiano*

Zona	Área protegida	Tipo	Área (ha)*
Caribe continental	PNN Tayrona	Marino costero	15000
	PNN Sierra Nevada de Santa Marta**	Costero	383000
	PNN Corales del Rosario y San Bernardo	Marino	120000
	Vía Parque Isla de Salamanca	Costero	56200
	SFF Los Flamencos	Costero	7682
	SFF Ciénaga Grande de Santa Marta	Costero	26810
	SFF Mono Hernández	Costero	4144
Caribe insular	PNN Old Providence McBean Lagoon	Marino costero	995
	PNN Utría***	Marino costero	54000
Pacífico continental	PNN Gorgona	Marino costero	61887
	PNN Sanquianga	Costero	80000
	PNN Uramba Bahía Málaga	Marino	47094
Pacífico insular	SFF Malpelo	Marino	872500

**Nota:** Tomada de: ( Segura, David Alonso C, & Ramírez, 2012)

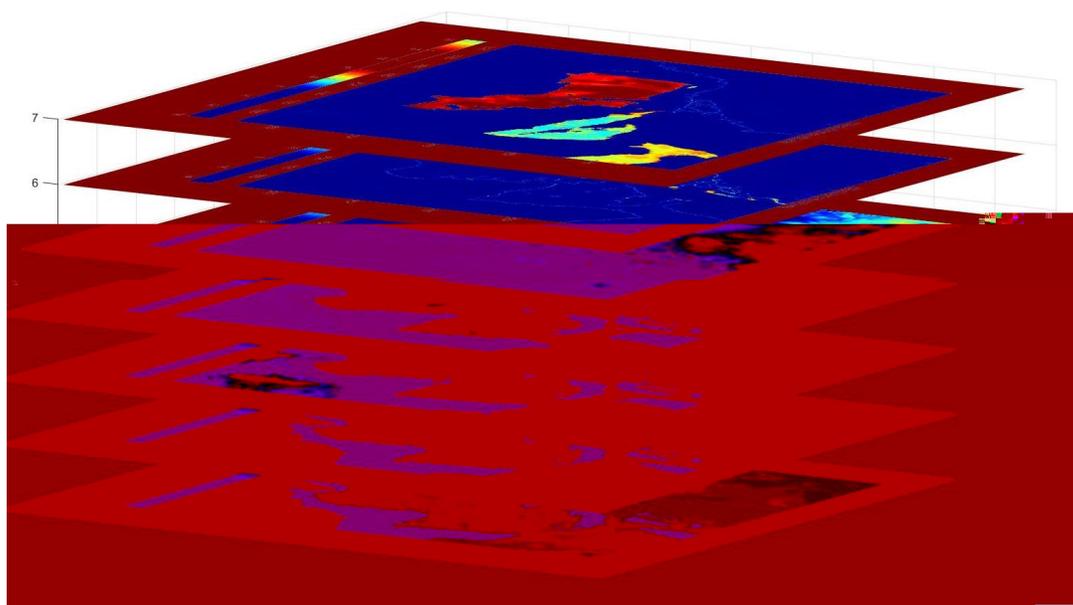
Con respecto a lo anterior mencionado las principales zonas a ser afectada por un derrame de Hidrocarburo en el Mar Caribe Colombiano, se encuentran los Parque Nacionales Tayrona, PNN Sierra Nevada de Santa Marta, PNN Corales del Rosario y San Bernardo, Vía Parque Isla Salamanca, Santuario de Flora y Fauna los Flamencos, SFF Ciénaga Grande de Santa Marta y SFF Mono Hernández, esto se debe por el alto flujo de transporte de Hidrocarburos en esta zona del país, y no se hace referencia solo a la exportación de hidrocarburos sino también al proceso de limpieza de descarga y carga de los diferentes barcos transportadores.

**4.3 Extraer desde la base de datos HYCOM la información oceanográfica correspondiente a la región geográfica de interés para organizarla y procesarla. (Ver Anexo A)**

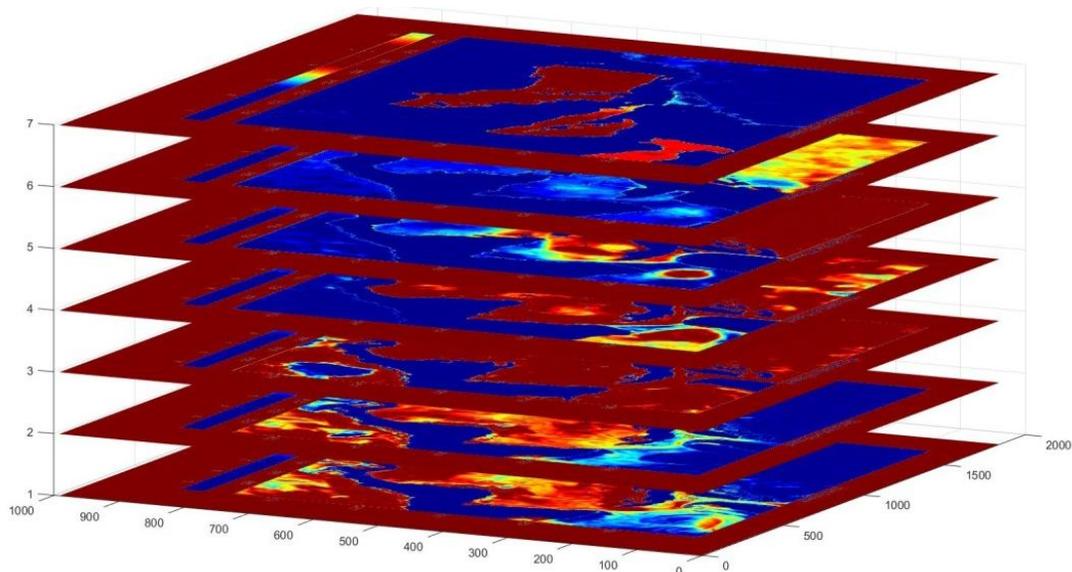
**4.4 Organización de base de datos de HYCOM, entre 200 a 3.000m de profundidad, de las variables oceánicas Temperatura, Salinidad y Corrientes del Mar Caribe Colombiano. (Ver Anexo B)**

**4.5 Realización perfiles de Temperatura, salinidad y corrientes en regiones de posibles derrames de Hidrocarburos.**

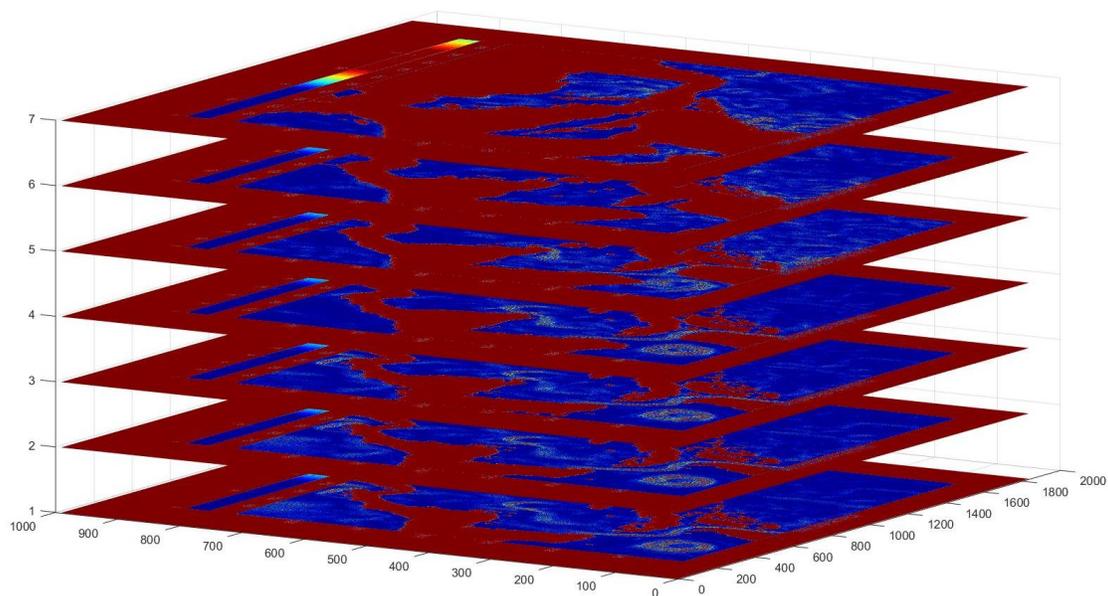
Para la realización de los perfiles de las variables oceánicas se utilizó el programa escrito en Matlab, del cual se pudo hacer perfiles de profundidad en las diferentes variables, los perfiles se hicieron en profundidades de 0.0m- 10.0m – 30.0m - 100.0m – 500.0m – 1000.0m – 3000.0m



**Figura 5:** Perfil de Salinidad en niveles de estudios 0.0m- 10.0m – 30.0m - 100.0m – 500.0m – 1000.0m – 3000.0m, Pasante



**Figura 6:** Perfil de Temperatura en niveles de estudios 0.0m- 10.0m – 30.0m - 100.0m – 500.0m – 1000.0m – 3000.0m, Pasante



**Figura 7:** Perfil de Corrientes en niveles de estudios 0.0m- 10.0m – 30.0m - 100.0m – 500.0m – 1000.0m – 3000.0m, Pasante

## **4.6 Analizar las variables oceánicas (Temperatura, Salinidad y Corrientes del mar) entre los periodos de 1996-2015**

Para analizar el comportamiento de las variables oceánicas (Temperatura, Salinidad y Corrientes del Mar) en un periodo de 19 años, para así poder mirar la tendencia que han tenido este cambio, se necesitó conocer cada una de estas variables oceánicas.

### **4.6.1 Generalidades de las variables ambientales oceánicas**

Los flujos de calor, la evaporación, la lluvia, el río de flujo de entrada y de congelación y fusión del hielo marino, todos estos influyen en la distribución de la temperatura y salinidad en la superficie del océano.

Los cambios de temperaturas y de salinidad aumentan o disminuyen la densidad del agua en la superficie, que puede conducir a la convección. Si el agua de los lavabos superficiales en el océano profundo, que conserva una relación entre la temperatura distintivo y la salinidad que ayuda a los oceanógrafos a seguir el movimiento de las aguas profundas. Además, la temperatura, la salinidad y la presión se utilizan para calcular la densidad, la distribución de la densidad en el interior del océano está directamente relacionada con la distribución del gradiente de presión y las corrientes oceánicas. Por tales razones se es necesario conocer muy sobre la distribución de la temperatura, la salinidad y la densidad en el océano (Stewart, 2008).

### **4.6.2 Salinidad del Mar**

La salinidad es la cantidad total de material disuelto en gramos en un kilogramo de agua de mar, por lo tanto, la salinidad es una cantidad sin dimensiones lo que quiere decir que no tiene unidades (Dicco, 2010). Se puede decir que la salinidad ronda en un valor de 35 gramos por kilogramo de agua. El agua de mar está compuesta en promedio de un 96,52% de agua y un 3,49% de sustancias disueltas (mayormente sales); la abundancia relativa de los iones es constante en aguas oceánicas bien mezcladas. No obstante, existen variaciones en el contenido total de las sales entre aguas oceánicas de latitudes altas y bajas, al mismo tiempo hay diferencias en la salinidad a lo largo del perfil de profundidad. El contenido de los iones de ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{So}_4^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) estas sales que representa el

99% del total de sales en el océano y se encuentran en proporciones constantes debido a que su concentración, está controlada por la adición o remoción de ellos hacia la columna de agua, por tal razón estas sustancias se denominan iones conservativos, también existen otros compuesto y elementos presentes en el agua de mar que no se encuentran en proporciones constantes, ya que sus concentraciones son alteradas por procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en la columna de agua y sedimentos a estas sustancias químicas se les denominan no conservativas (Landivar, 2013).

El ion de sodio es el catión más abundante en el agua de mar con aproximadamente 30,4%, mientras que el ion cloruro es el anión principal con aproximadamente 55,2%. La sal más abundante en los océanos es el cloruro sódico, que se supone que es la mayor parte de sal disuelta en el mar, pero existes gran cantidad de otros iones que se presentan en concentraciones menores pero muy significativos lo que es esencial para la vida en el mar. La salinidad en el océano varía muy poco, en la superficie el valor de la salinidad depende directamente de la relación entre la evaporación y la precipitación, por lo tanto, de las condiciones climáticas. La salinidad por debajo de 1.000 metros de profundidad la influencia de estas variaciones superficiales no es apreciable y la salinidad suele mantenerse constante entre 34,5 y 35 en cualquiera latitud.

Cuando existen variaciones en la salinidad superficial del mar por muy pequeña que sea, puede tener efectos dramáticos en el ciclo del agua y en la circulación de los océanos.

Como anteriormente se ha dicho la salinidad es la concentración media de sales disueltas, en los océanos es de aproximadamente 35 ‰ (partes por mil) en el océano hay alrededor de 11 de los principales iones que se encuentran presente en este medio que componen el 99% de los constituyentes disueltos del agua de mar (*vea tabla 7*).

**Tabla 7**

*Representación de los 11 principales iones que se encuentran presente en el océano, teniendo un total de 34,482 ‰ de salinidad total presente en el mar*

<b>Ion</b>	<b>‰ por peso</b>
Cloruro Cl <sup>-</sup>	18,980
Sulfato SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,649
Bicarbonato HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,140
Bromuro Br <sup>-</sup>	0,065
Baroto H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,026
Fluoruro F <sup>-</sup>	0,001
Sodio Na <sup>+</sup>	10,556
Magnesio Mg <sup>2+</sup>	1,272
Calcio Ca <sup>2+</sup>	0,400
Potasio K <sup>+</sup>	0,380
Estroncio Sr <sup>2+</sup>	0,013

**Nota:** Tomada de (Wright & Colling, 2007)

En las aguas superficiales de los océanos abiertos, la salinidad oscila entre 33 y 37‰, pero cuando las mareas de la plataforma y las condiciones locales se tienen en cuenta, el rango que puede ser tan amplio como 28-40‰ o más. El agua salobre tiene una salinidad de menos de aproximadamente 25, mientras que el agua hipersalina tiene una salinidad mayor entre 40.

El ciclo hidrológico proporciona la mayor parte de los constituyentes disueltos al agua del mar, las rocas de las cortezas tienen una composición de diferentes elementos que al momento de ser lavado por el mar la mayor parte de estos elementos se van con el arrastre del agua; la razón radica en que el grado de solubilidad y el comportamiento químico de los diferentes elementos, cuando las rocas son degradado y los productos resultantes son arrastrados por los ríos al mar, muchos de los elementos más comunes en

las rocas (Silicio, aluminio y hierro) no son muy solubles y por lo tanto son transportados y depositados en partículas sólidas de arenas, y otros elementos como el sodio, calcio y potasio que son relativamente solubles se transportan en solución, soluciones hidrotermales asociados con la expansión del suelo marino, los suministros de algunos elementos a la solución del agua de mar (calcio, silicio, manganeso) y retira los demás desde el interior de los océanos son controladas por reacciones biológicas del agua de mar.

**Distribución de la Salinidad con la profundidad.** La salinidad se determina por el equilibrio entre la precipitación y la evaporación en la superficie, la influencia de las fluctuaciones de la superficie es generalmente pequeña por debajo de aproximadamente 1.000 m donde las salinidades son en su mayoría entre 34,5 y 35‰ en todas las latitudes.

- ✓ Las zonas donde la salinidad disminuye con la profundidad se encuentran normalmente en las latitudes bajas y medias, entre la capa superficial mixta y la parte superior de la capa profunda, en la que la salinidad es más o menos constante, a estas zonas se les conoce como haloclinas; este término también se aplica donde la salinidad aumenta con la profundidad.
- ✓ la distribución vertical y lateral de la salinidad en los océanos no cambian significativamente de un año a otro, pero las mismas aguas se están moviendo continuamente en un sistema tridimensional de corrientes superficiales y profundas.

**Distribución de Salinidad en la Superficie.** La salinidad superficial de los océanos es máxima en las latitudes tropicales y subtropicales, donde la evaporación excede la precipitación, estas regiones corresponden a los áridos desiertos calientes que existen en latitudes similares en la tierra. La salinidad disminuye tanto hacia latitudes más altas y hacia el ecuador, las modificaciones locales se superponen a este patrón regional en particular cerca de las masas de tierra. La salinidad superficial se puede reducir por la afluencia de agua dulce en las desembocaduras de los grandes ríos, y por el derretimiento de hielo y nieve en las latitudes altas, por otro lado, la salinidad superficial tiende a ser altos en lagunas y en cuencas marinas poco profundas parcialmente cerradas en las latitudes bajas, donde la evaporación es alta y el flujo de entrada de agua de las zonas adyacentes de la tierra es limitada.

- ✓ La salinidad superficial en los océanos abiertos es mayor hasta 38‰ en las latitudes tropicales y subtropicales, donde la evaporación excede a la precipitación estas son más bajas cercas en el Ecuador y en altas latitudes, debido a la mayor precipitación y el derretimiento del hielo y la nieve. En las latitudes medias y bajas existe un halocline de la base de la capa de superficie mixta alrededor de 1.000 m de profundidad, por debajo del cual la salinidad esta generalmente entre (34,5 y 35‰).

#### **4.6.3 Temperatura del Mar**

Es la medida de la energía cinética molecular media que tienen las moléculas de agua. La temperatura del agua de mar generalmente oscila entre 2°C y 30°C y con valores extremos entre (-4°C y +42°C). La temperatura del agua de mar es influenciada por la cantidad de calor proveniente de tres fuentes principales: calor original del interior de la tierra, calor de degradación radiactiva y calor de la radiación solar.

La temperatura y la salinidad son dos factores importantes que afecta la densidad de los mares, y es por ello que en la medida que la temperatura desciende la densidad del agua de los océanos aumenta constantemente hasta el punto de congelación (-1,94°C), así como también el aumento de la salinidad provoca un aumento de la densidad del mar, sin embargo, la temperatura muestra mayores efectos que la salinidad sobre la densidad del mar (Dicco, 2010).

**Temperatura Superficial del Mar (TSM).** La temperatura superficial del mar, es una de las variables oceanográfica más utilizadas como indicar ambiental, por lo que se encuentra relacionada con los aspectos físicos como corrientes marinas, intensidad de los vientos superficiales, dinámica de la mezcla, precipitación e intensidad de la radiación solar, surgencia y cambios del nivel del mar (Bernal, Poveda, Roldán, & Andrade, 2006).

**Distribución de la Temperatura con la Profundidad.** La medición de la temperatura en la superficie del océano y mucho menos bajo de ella, no habría sido posible sino hasta el siglo 17 cuando fue inventado el termómetro, después de la creación del termómetro se realizaron las primeras mediciones sobre aguas recogidas en baldes de hierro de las aguas superficiales. Se dieron cuenta que la temperatura disminuye con la profundidad, pero la medición precisa de la temperatura sub - superficial se hizo posible

sólo cuando los termómetros protegidos contra la presión del agua y capaz de grabar en temperaturas in situ, estaban en inventada a mediados del siglo 19.

La temperatura en los océanos se mide hoy en día con termistores, y la grabación continua de la temperatura, tanto vertical y lateral - ahora es un procedimiento de rutina oceanográfica.

La mayor parte de energía solar absorbida dentro de unos pocos metros de la superficie del océano calienta directamente las aguas superficiales proporcionando la energía para la fotosíntesis de las plantas marinas y algas. Entre 200-300 m y 1.000 m de profundidad la temperatura disminuye rápidamente en gran parte del océano. Esta región de fuerte gradiente de temperatura se conoce como la termoclina permanente, bajo la cual, a partir de unos 1.000 metros al fondo del océano no hay prácticamente ninguna variación estacional y la temperatura disminuye gradualmente aproximadamente  $0^{\circ}\text{C}$  y  $3^{\circ}\text{C}$ . Este rango estrecho se mantiene a través de los océanos profundos, tanto geográfica y estacionalmente, ya que es determinado por la temperatura del agua fría y densa que se hunde desde las regiones polares y fluye hacia el Ecuador (Wright & Colling, 2007).

#### **4.6.4 Corrientes Marinas Superficiales**

Las corrientes superficiales del océano son el resultado de varios procesos, especialmente la fuerza del viento que actúa en la superficie del agua y las diferencias de densidad ( Pontificia Universitaria Católica de Chile). las corrientes marinas superficiales son un gran sistema de transporte de agua que se mueve debido a la fricción entre el aire y el agua en la dirección que sopla el viento se mueven las corrientes, pero la localización de los continentes y la rotación de la Tierra afecta a la dirección de las corrientes marinas superficiales, si la Tierra no tuviera continentes las corrientes se moverían en la misma dirección que las corrientes del viento, sin embargo los continentes actúan como barreras topográficas que desvían las corrientes superficiales, por ejemplo la Corriente Circumpolar Antártica CCA, esta se mueve de oeste a este bordeando a la Antártica en la franja oceánica que queda al sur de América del Sur, África y Oceanía, en esta zona no hay continentes que contengan y desvíen a la corriente, en contraste, existen unas corrientes en el Océano Atlántico cuya circulación está afectada por la localización de los continentes.

Estas corrientes se forman por los vientos alisios que soplan desde el noreste en el hemisferio norte y desde el sureste en el hemisferio sur en la zona subtropical y tropical. Estas corrientes marinas se conocen como la Corriente Ecuatorial del Norte y la Corriente Ecuatorial del Sur. Al llegar a la parte occidental de la cuenca del Atlántico, el agua no puede seguir su rumbo hacia el oeste debido a que allí se encuentran con una barrera, las Américas (Llerandi-Román, 2012). Esta situación, unida al efecto de Coriolis, hace que las corrientes se desvíen hacia el norte (derecha) en el hemisferio norte y hacia el sur (izquierda) en el hemisferio sur, discurriendo por la parte oeste de sus respectivas cuencas oceánicas (por la costa este de América del Norte y de América del Sur). La Corriente del Golfo y la Corriente de Brasil son ejemplos de las corrientes que se mueven hacia el norte y el sur respectivamente luego de desviarse de las corrientes marinas ecuatoriales, característica interesante de las corrientes superficiales marinas en la zona ecuatorial es que las corrientes mueven tal cantidad de agua hacia el oeste que esta se acumula en los límites occidentales de las cuencas oceánicas. Al acumularse el agua se forman lomas leves que elevan el nivel del mar en la zona occidental de la cuenca. Este fenómeno causa la formación de una contracorriente que se mueve en dirección contraria a la Corriente Ecuatorial del Norte y la Corriente Ecuatorial del Sur. Esto se debe a que la gravedad hace que el agua regrese a las zonas más bajas.

Hay dos tipos de corrientes en el océano están; las corrientes superficiales, que constituyen el 10% del agua del océano y se encuentra desde los 400 m de profundidad hacia arriba y las corrientes de agua profunda que son el otro 90% del océano (Guemes, 2010). Los fenómenos que afectan a las corrientes superficiales están;

**Corrientes Geostroóficas**, están son provocadas por los gradientes de densidades de las distintas masas de agua del océano, el cual está relacionado con los campos de temperatura y salinidad.

**Corrientes de Mareas**, estas se desplazan a grandes cantidades de agua debido a la atracción gravitacional de la luna. Estas tienen un comportamiento armónico y su patrón suele ser bien conocido. El rango de velocidades varía mucho según la localización.

## Capítulo 5. Presentación de Resultados

Para la realización del estudio de las variables oceánicas (Temperatura, Salinidad y Velocidad de Corrientes) del Mar Caribe se utilizaron los datos obtenidos de la base de datos HYCOM, que a través de un programa escrito en Matlab (Anexo C) se procesaron para su posterior análisis. De acuerdo con las imágenes de las variables anteriormente mencionadas que fueron obtenidas a través del programa escrito en Matlab, se pudo realizar el análisis entre los periodos de (1996 - 2016-06), para así mirar la tendencia y el cambio que han tenido estas variables a través de los años y poder para ver si fenómeno como el ENSO (El Niño) a provocados cambio en la Temperatura Superficial del Mar. Para el estudio de las variables oceánicas se utilizaron las coordenadas que se muestran en la Tabla 8, estas coordenadas dan lugar a la zona del Mar Caribe, en la cual se realizaron los estudios de Temperatura, Salinidad y Velocidad de Corrientes.

También se visualizaron las variables en 6 niveles de profundidad, estos niveles van desde 0.0m – 10.0m – 30.0m – 100.0m – 500.0m – 1000.0m – 3000.0m. En una escala más pequeña se realizaron estudios en las coordenadas de la Tabla 9, coordenadas que dan lugar al Mar Caribe Colombiano.

Teniendo en cuenta que son muchas imágenes se realizaron diferentes videos, donde se pueden apreciar el cambio que han tenido a lo largo de los 20 años que es el periodo que se escogió para el análisis de todas estas variables oceánicas estudiadas.

Por medio de las descargas de los datos realizados de la base de datos HYCOM se obtuvieron datos de Temperatura del Mar Caribe de 1996 a 2015 (19 años), para visualizar esta serie de tiempo se optó por hacer un video donde se puede apreciar el cambio que ha tenido la temperatura a lo largo de los 20 años. *(Ver Video de Temperatura del Mar)*

Después se realizó el mismo análisis pero en diferentes profundidades tomando realizando en profundidades de 0.0m- 10m- 30m- 100m- 500m- 1000m- 3000m, para así poder observar el comportamiento de la temperatura con respecto a la profundidad. *(Ver Video de Temperatura del Mar con respecto a la profundidad)*

De la misma manera como se explicado en los incisos anteriores que realizaron videos para observar el comportamiento de la Salinidad y de Velocidad de Corrientes del Mar entre los periodos de (1996-2016), y en las diferentes profundidades (0.0m- 10m- 30m- 100m- 500m- 1000m- 3000m)

Ver Video de Salinidad del Mar (1996-2016)

Ver Videos de Salinidad del Mar con respecto a la Profundidad

Ver Video de Velocidad de Corrientes del Mar (1996-2016)

Ver Video de Velocidad de Corrientes del Mar con respecto a la profundidad

### **Tabla 8**

*Coordenadas de la Zona de Estudio*

<b>COORDENADAS</b>	
28°N	58° O
6°N	92°O

**Fuente:** Pasante



**Figura 8:** Zona de estudio: Mar Caribe, Pasante

Se realizó una comparación de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en periodos normales, época del Fenómeno del Niño y Épocas del Fenómeno de la Niña para así poder observar si esta zona ha tenido alguna variación con respecto a las temporadas frías y calientes. A continuación se muestran las imágenes comparadas desde el año 1996 que se considera que fue un periodo normal donde no hubo ningún tipo de fenómeno y el año de 1997 que se considera como periodo del Fenómeno del Niño, al igual una comparación con el año 1996 y (Julio de 1999 hasta Febrero del 2000) que son años del Fenómeno de la Niña.

### Periodo Normal

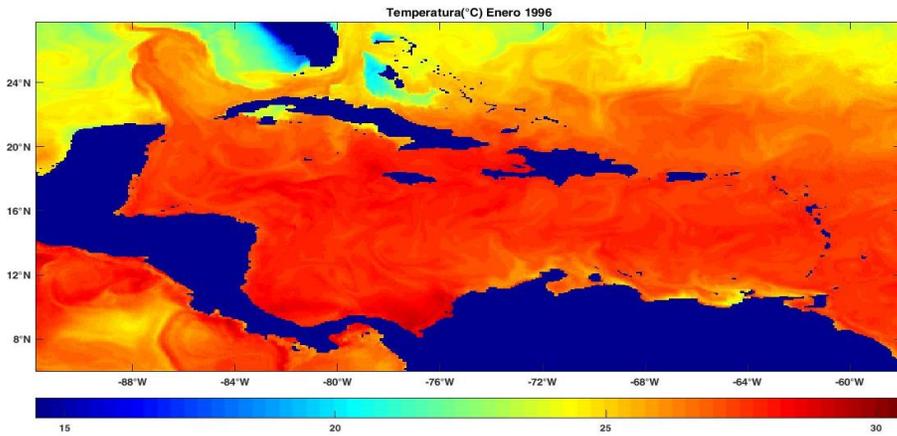


Figura 9: Temperatura Superficial Enero 1996, Pasante

### Fenómeno Niño

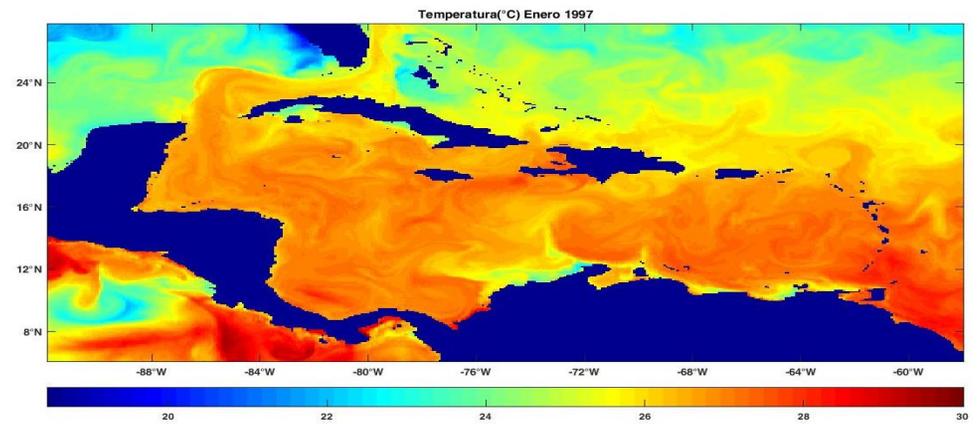
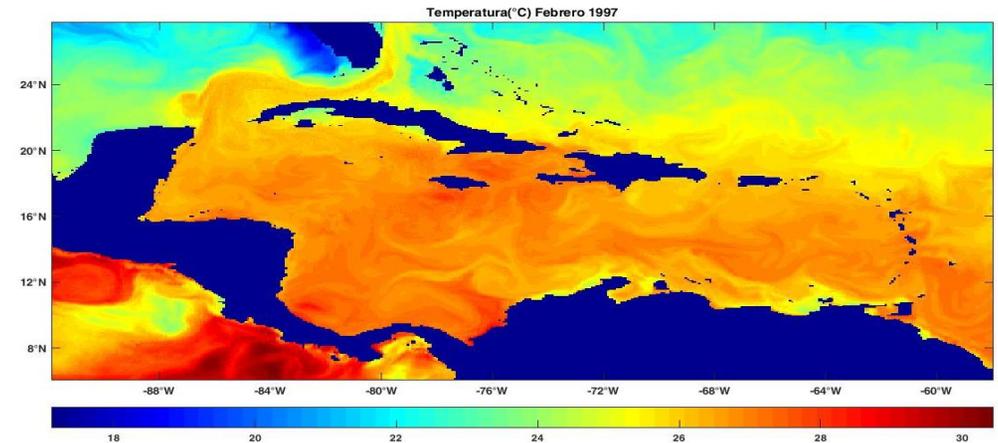
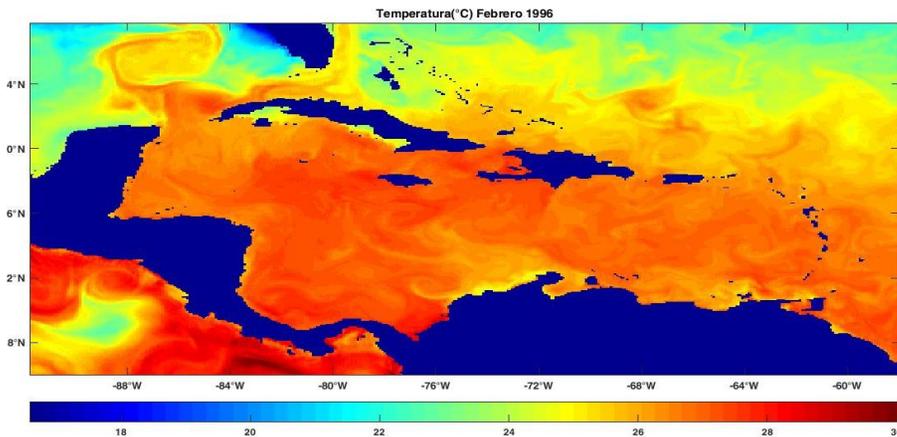


Figura 10: Temperatura Superficial Enero 1997, Pasante

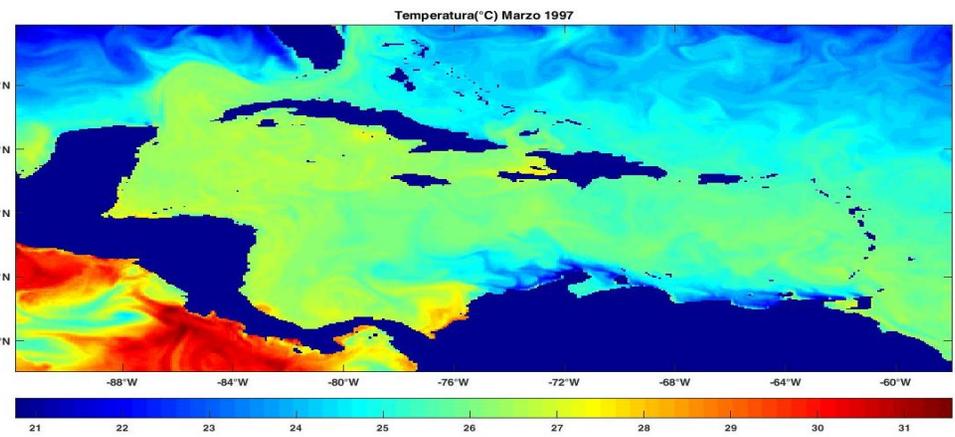
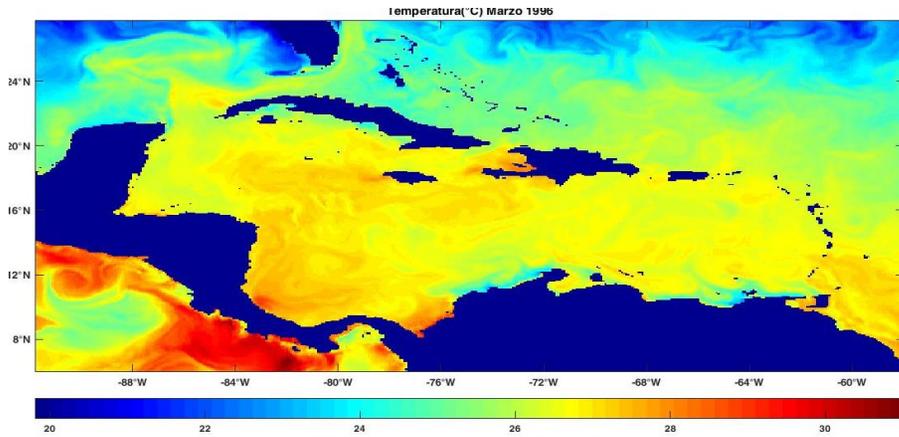
En la figura 9 y 10 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Enero de los años 1996 y 1997, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar (°C) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Enero.



*Figura 11:* Temperatura Superficial Febrero 1996, Pasante

*Figura 12:* Temperatura Superficial Febrero 1997, Pasante

En la figura 11 y 12 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Febrero de los años 1996 y 1997, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar (°C) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Febrero.



*Figura 13:* Temperatura Superficial Marzo 1996, Pasante

*Figura 14:* Temperatura Superficial Marzo 1997, Pasante

En la figura 13 y 14 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Marzo de los años 1996 y 1997, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar (°C) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Marzo.

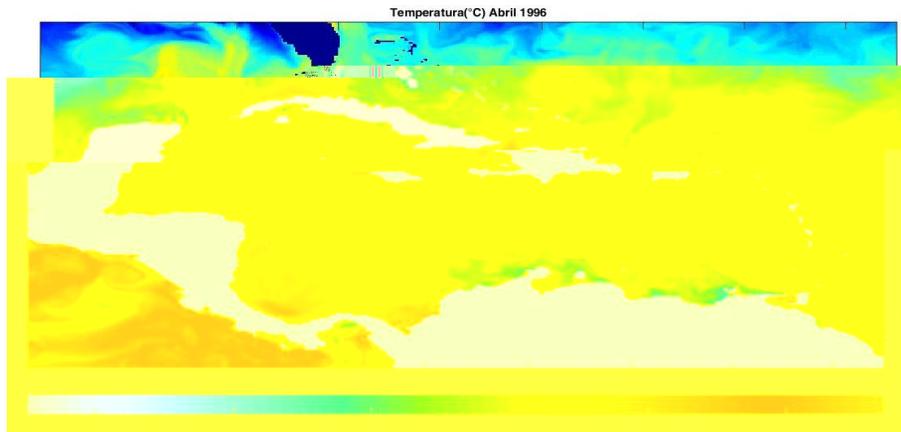


Figura 15: Temperatura Superficial Abril 1996, Pasante

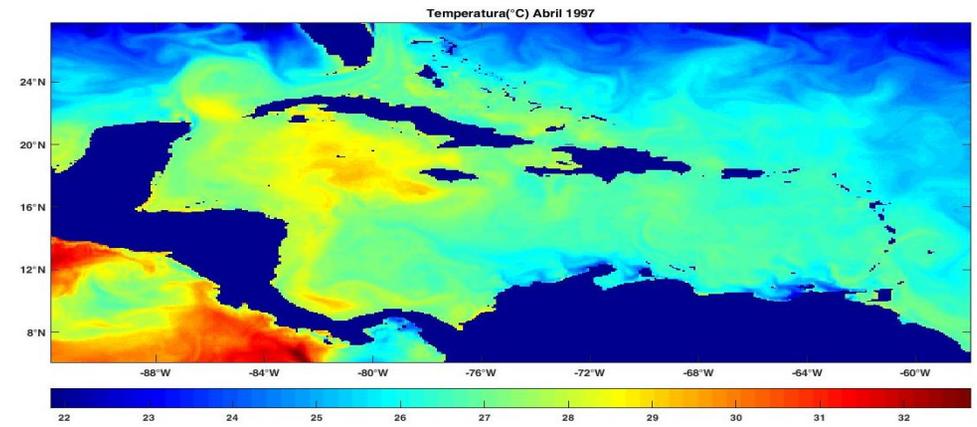


Figura 16: Temperatura Superficial Abril 1997, Pasante

En la figura 15 y 16 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Abril de los años 1996 y 1997, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar (°C) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Abril.

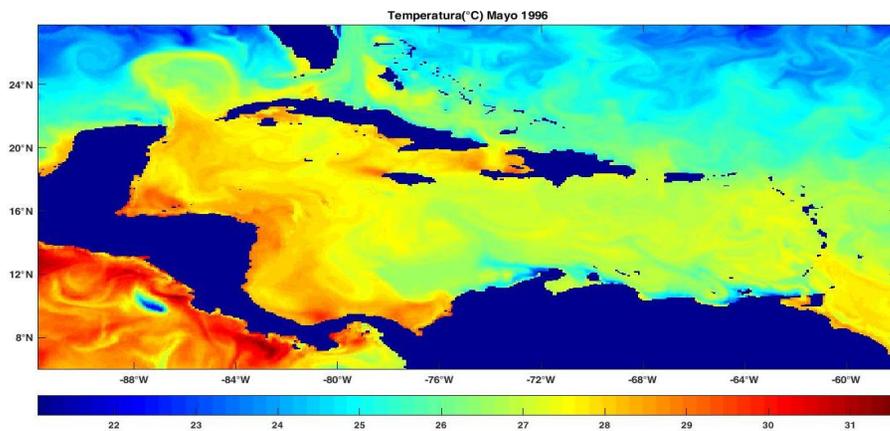


Figura 17: Temperatura Superficial Mayo 1996, Pasante

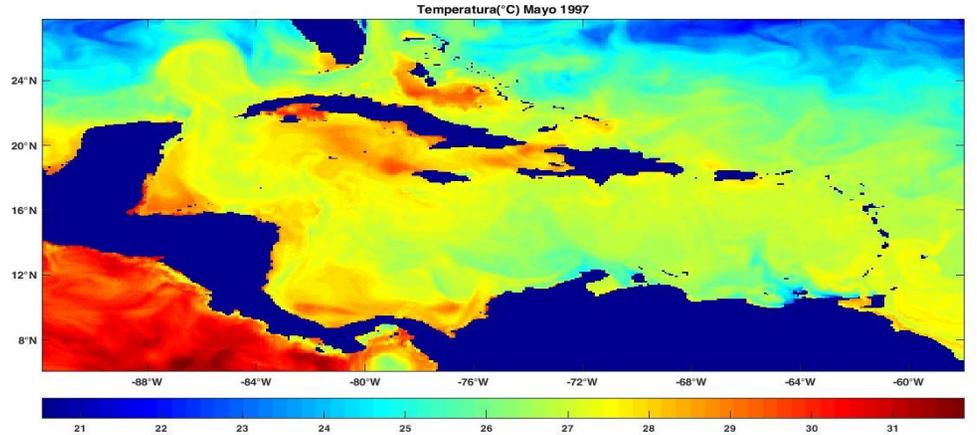
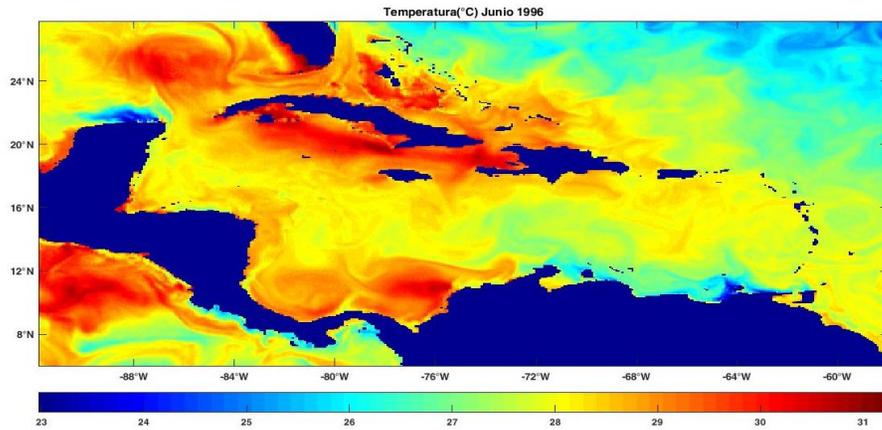


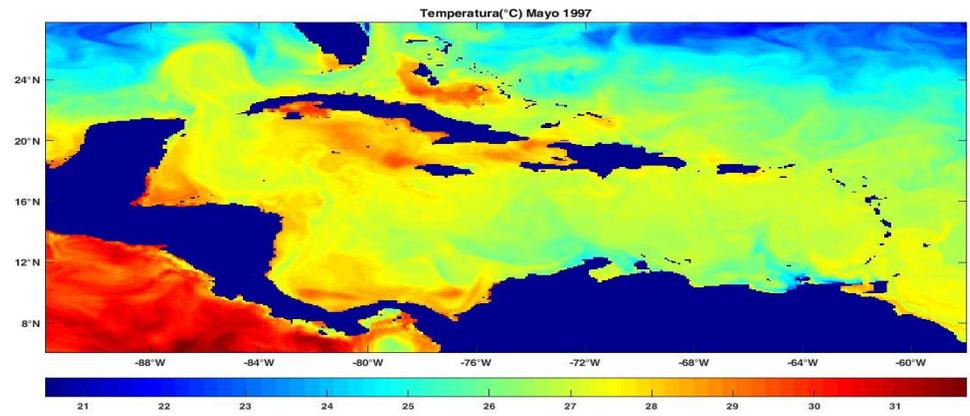
Figura 18: Temperatura Superficial Mayo 1997, Pasante

En la figura 17 y 18 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Mayo de los años 1996 y 1997, donde se pueden ver los valores de la Temperatura

Superficial del Mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Mayo.



*Figura 19:* Temperatura Superficial Junio 1996, Pasante



*Figura 20:* Temperatura Superficial Junio 1997, Pasante

En la figura 19 y 20 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Junio de los años 1996 y 1997, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Junio.

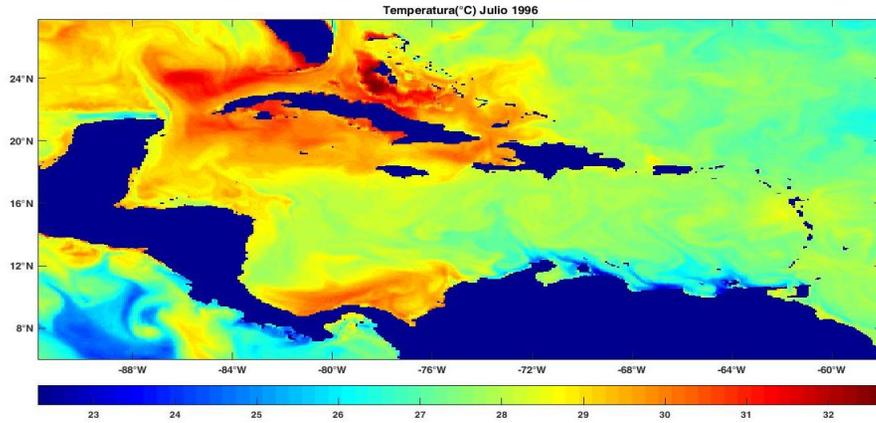


Figura 21: Temperatura Superficial Julio 1996, Pasante

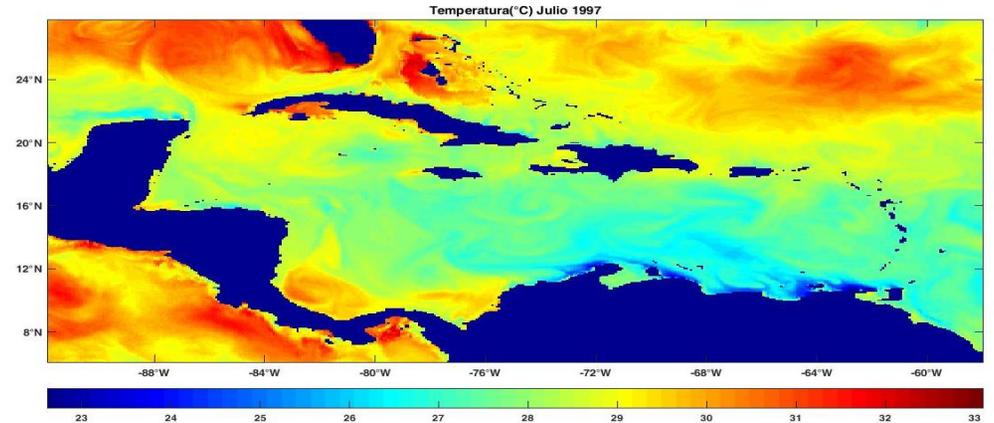


Figura 22: Temperatura Superficial Julio 1997, Pasante

En la figura 21 y 22 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Julio de los años 1996 y 1997, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar (°C) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Julio.

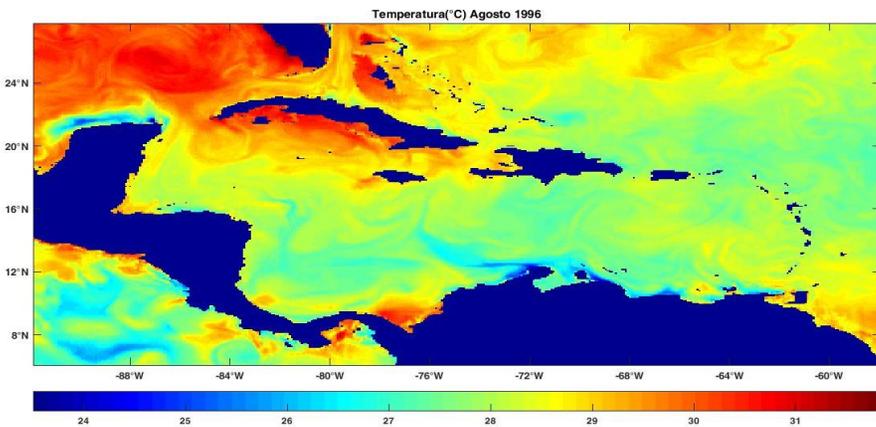


Figura 23: Temperatura Superficial Agosto 1996, Pasante

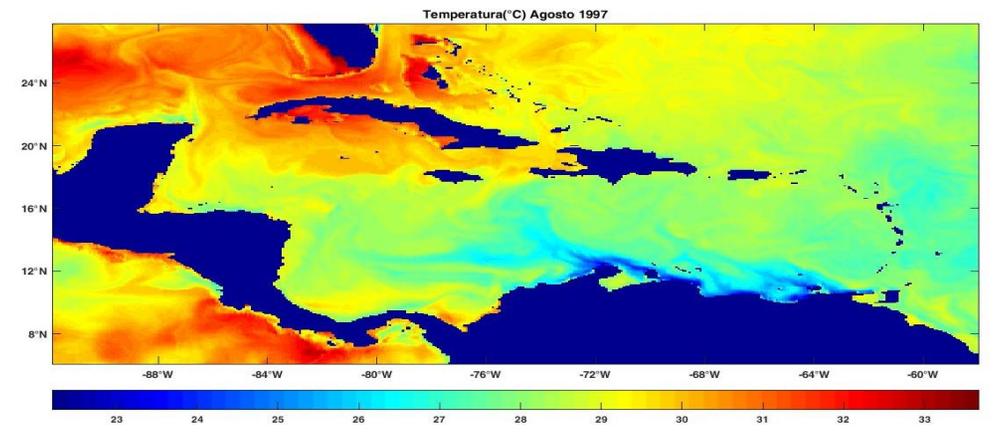
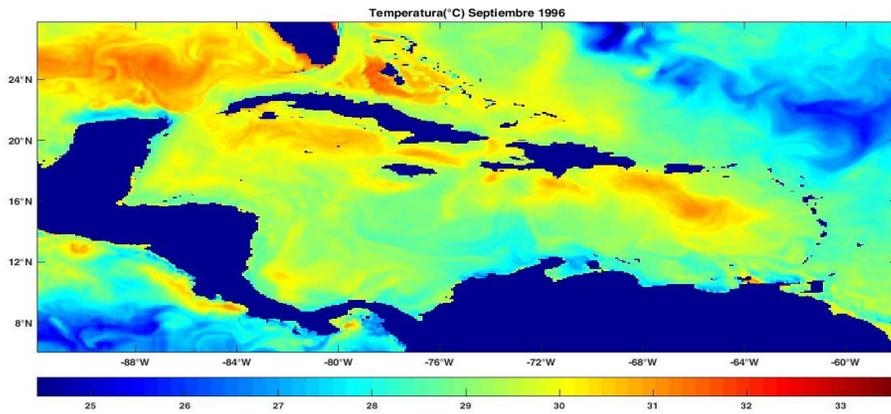


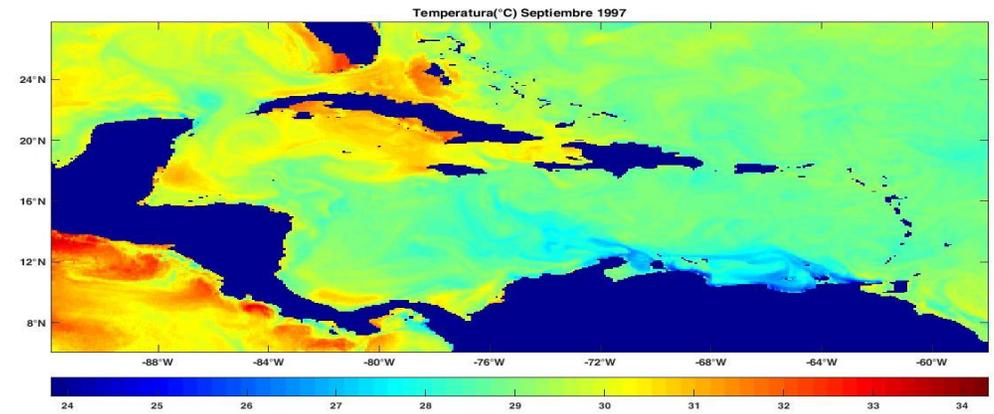
Figura 24: Temperatura Superficial Agosto 1997, Pasante

En la figura 23 y 24 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Agosto de los años 1996 y 1997, donde se pueden ver los valores de la Temperatura

Superficial del Mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Agosto.



*Figura 25:* Temperatura Superficial Septiembre 1996, Pasante



*Figura 26:* Temperatura Superficial Septiembre 1997, Pasante

En la figura 25 y 26 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Septiembre de los años 1996 y 1997, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Septiembre.

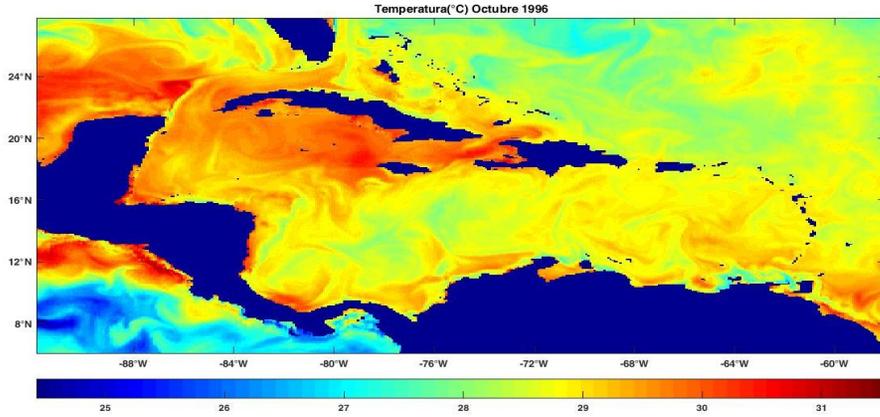


Figura 27: Temperatura Superficial Octubre 1996, Pasante

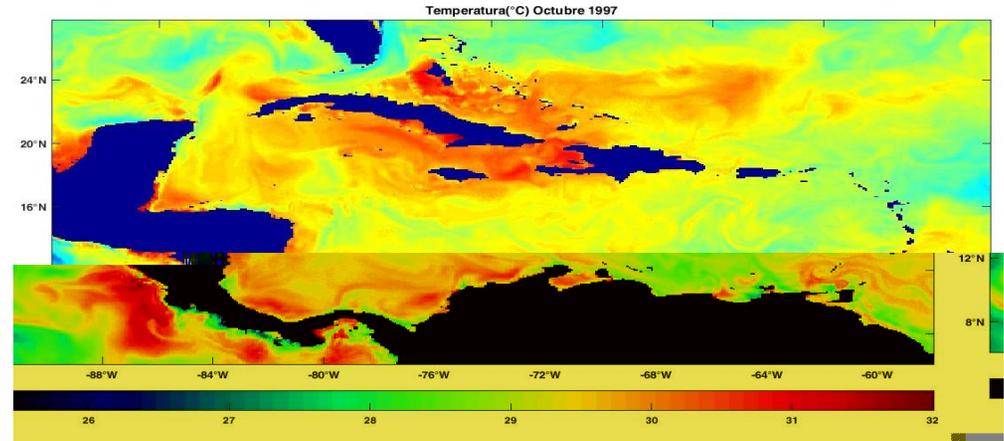


Figura 28 Temperatura Superficial: Octubre 1997, Pasante

En la figura 27 y 28 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Octubre de los años 1996 y 1997, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar (°C) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Octubre.

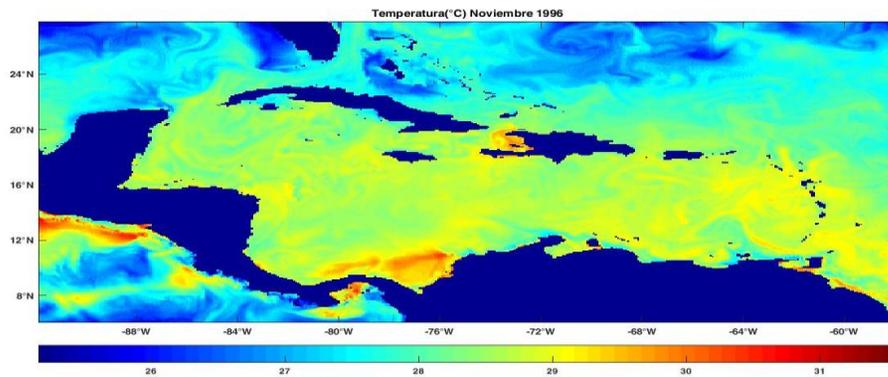


Figura 29: Temperatura Superficial Noviembre 1996, Pasante

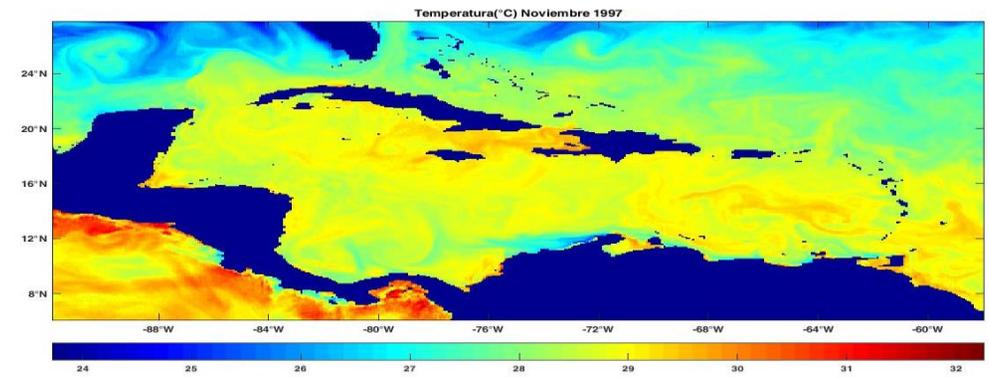
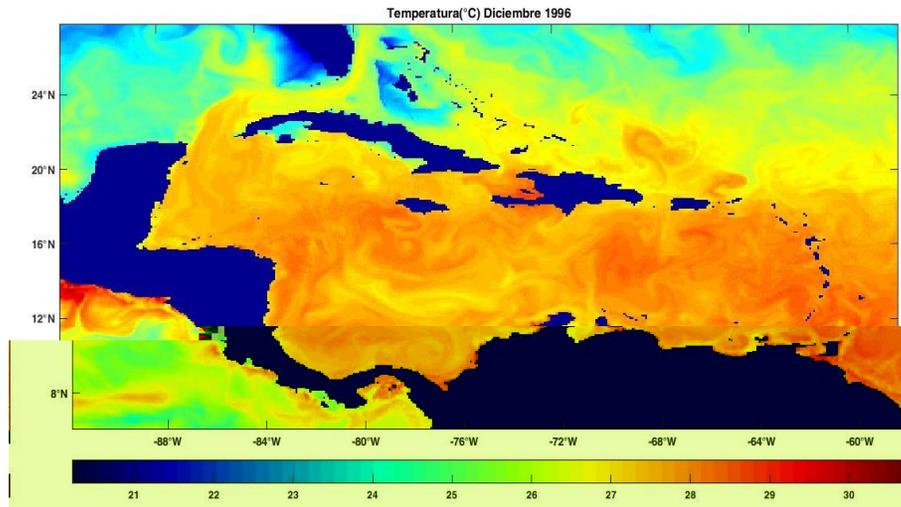


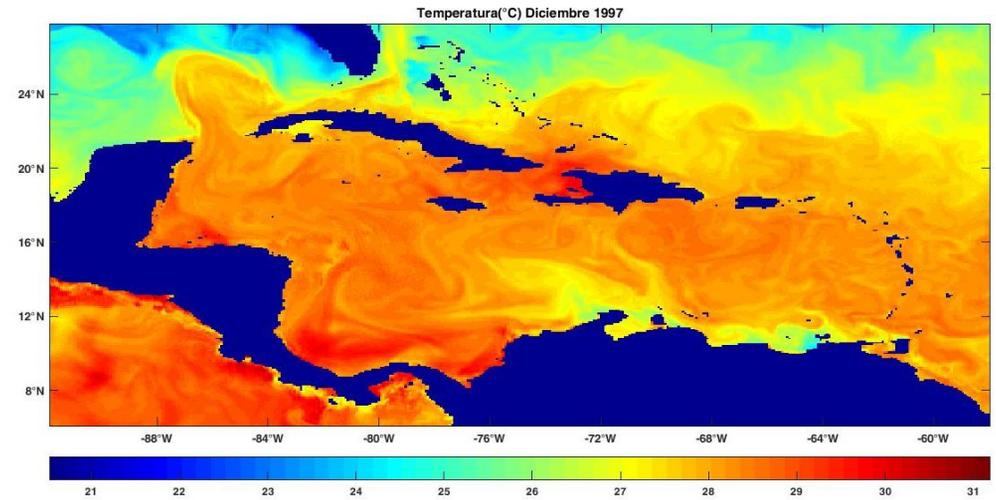
Figura 30: Temperatura Superficial Noviembre 1997, Pasante

En la figura 29 y 30 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Noviembre de los años 1996 y 1997, donde se pueden ver los valores de la Temperatura

Superficial del Mar (°C) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Noviembre.



*Figura 31:* Temperatura Superficial Diciembre 1996, Pasante



*Figura 32:* Temperatura Superficial Diciembre 1997, Pasante

En la figura 31 y 32 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Diciembre de los años 1996 y 1997, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar (°C) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Diciembre.

### Periodo Normal

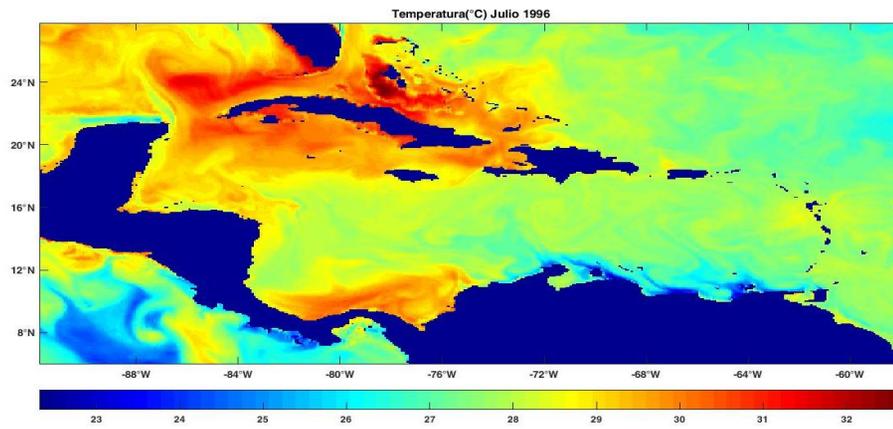


Figura 33: Temperatura Superficial Julio 1996, Pasante

### Fenómeno Niña

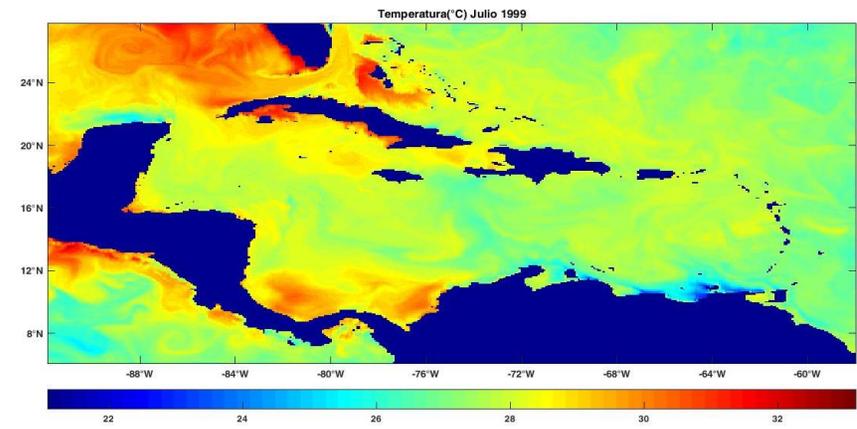
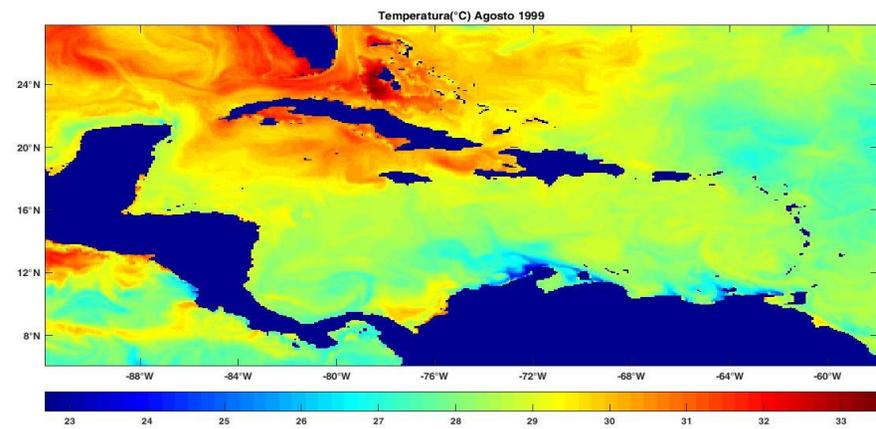
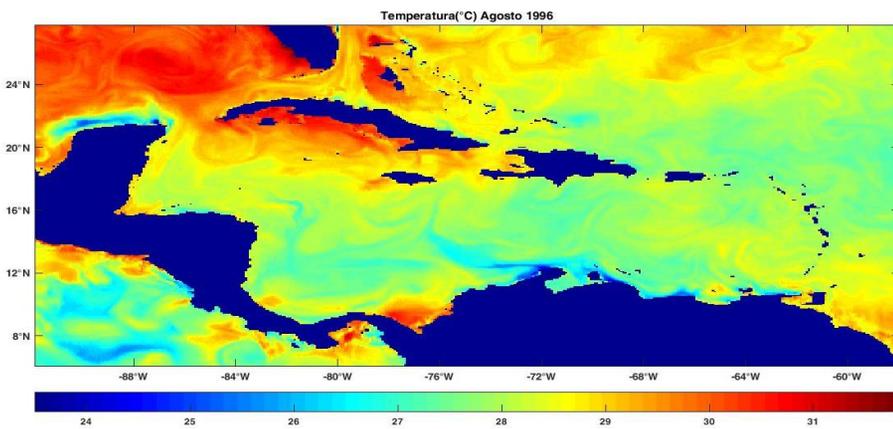


Figura 34: Temperatura Superficial Julio 1999, Pasante

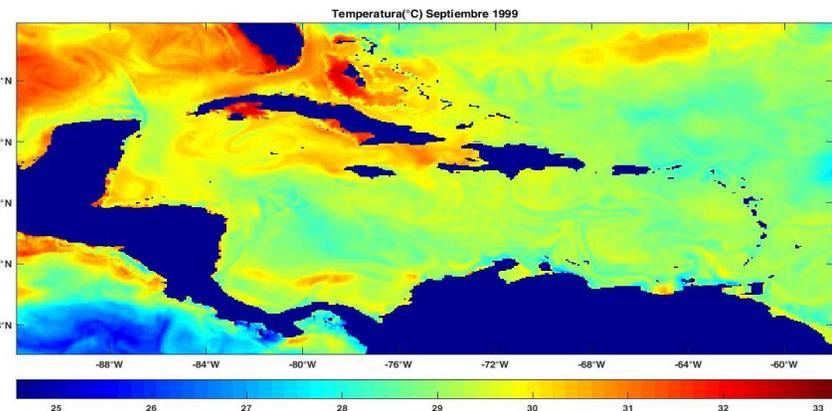
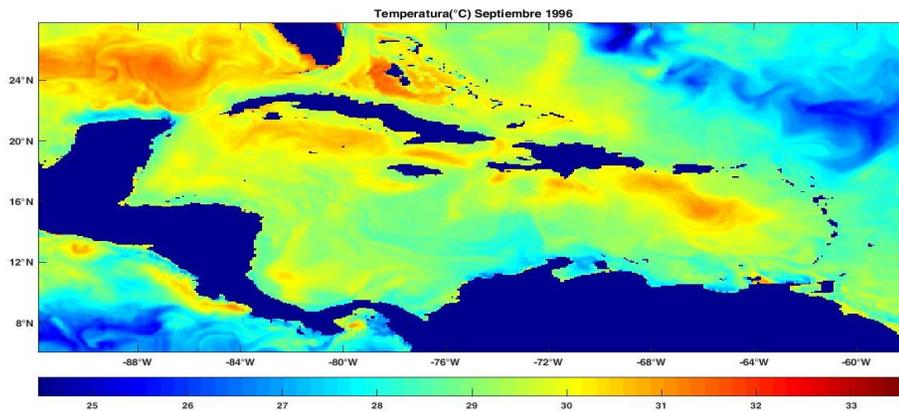
En la figura 33 y 34 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Julio de los años 1996 y 1999, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar (°C) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Julio.



*Figura 35:* Temperatura Superficial Agosto 1996, Pasante

*Figura 36:* Temperatura Superficial Agosto 1999, Pasante

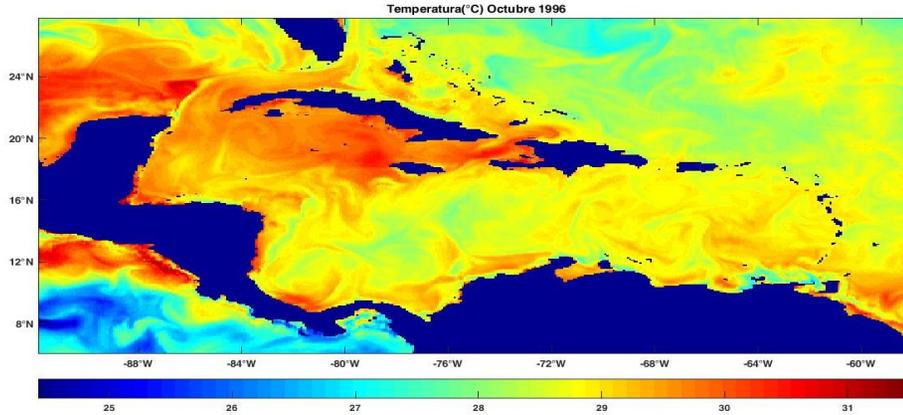
En la figura 35 y 36 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Agosto de los años 1996 y 1999, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Agosto.



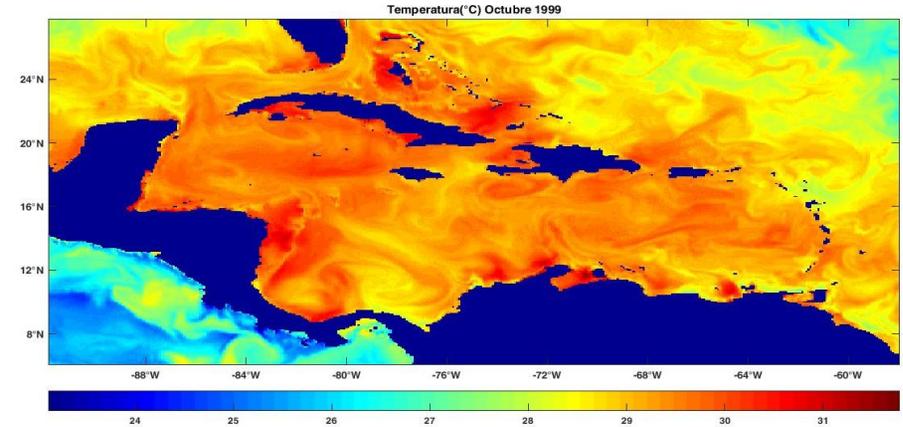
*Figura 37:* Temperatura Superficial Septiembre 1996, Pasante

*Figura 38:* Temperatura Superficial Septiembre 1999, Pasante

En la figura 37 y 38 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Septiembre de los años 1996 y 1999, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Septiembre.

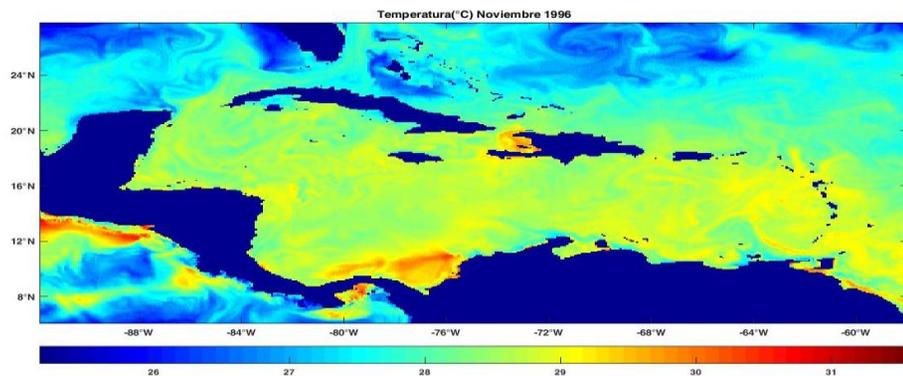


*Figura 39:* Temperatura Superficial Octubre 1996, Pasante

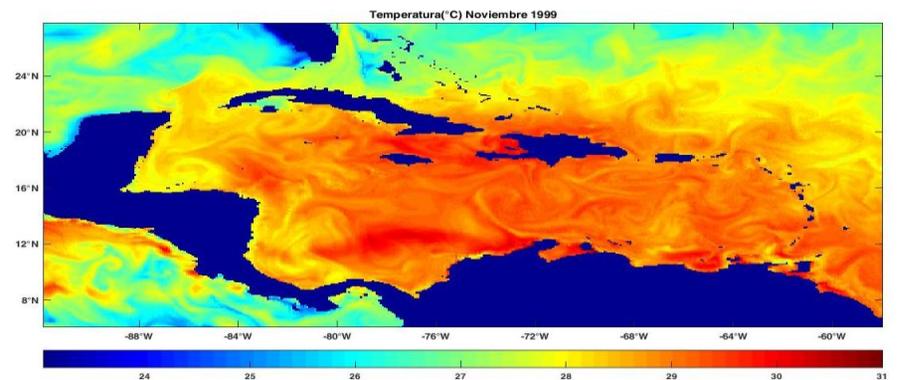


*Figura 40:* Temperatura Superficial Octubre 1999, Pasante

En la figura 39 y 40 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Octubre de los años 1996 y 1999, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar (°C) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Octubre.



*Figura 41:* Temperatura Superficial Noviembre 1996, Pasante



*Figura 42:* Temperatura Superficial Noviembre 1999, Pasante

En la figura 41 y 42 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Noviembre de los años 1996 y 1999, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar (°C) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Noviembre.

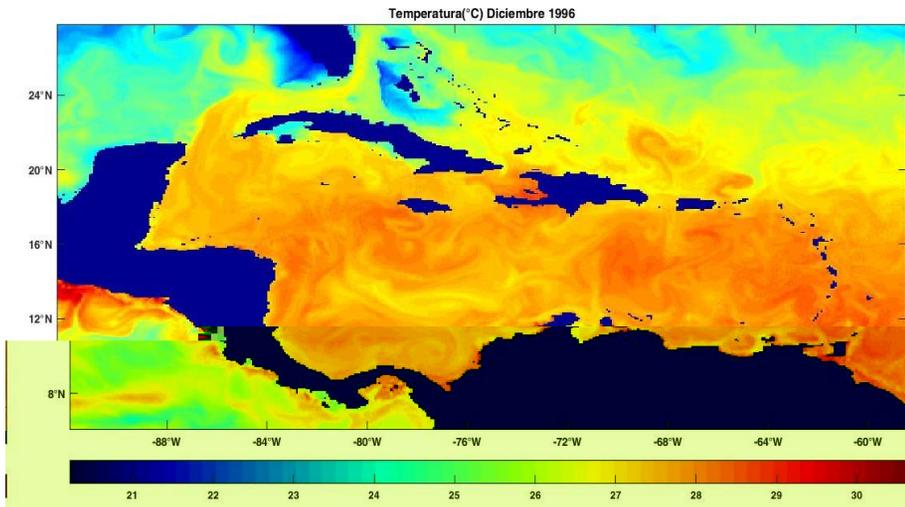


Figura 43: Temperatura Superficial Diciembre 1996, Pasante

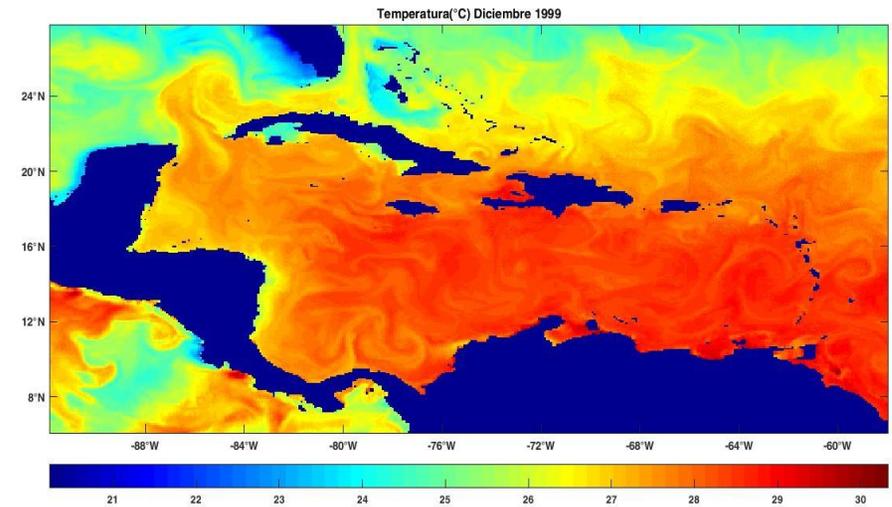
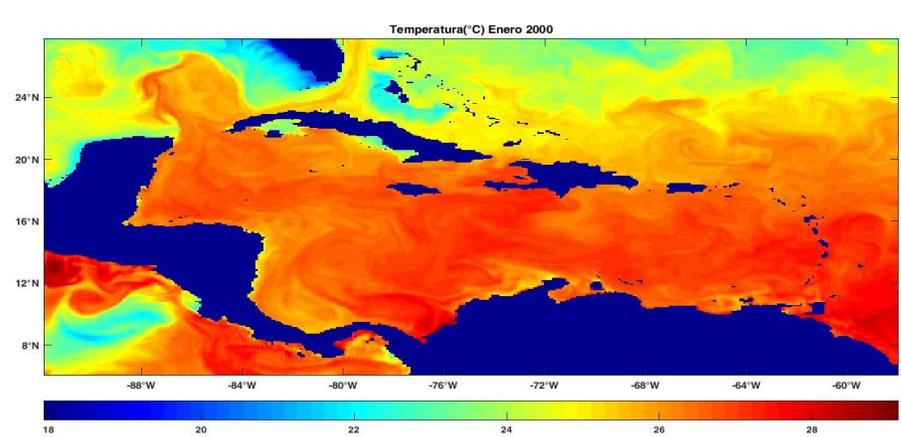
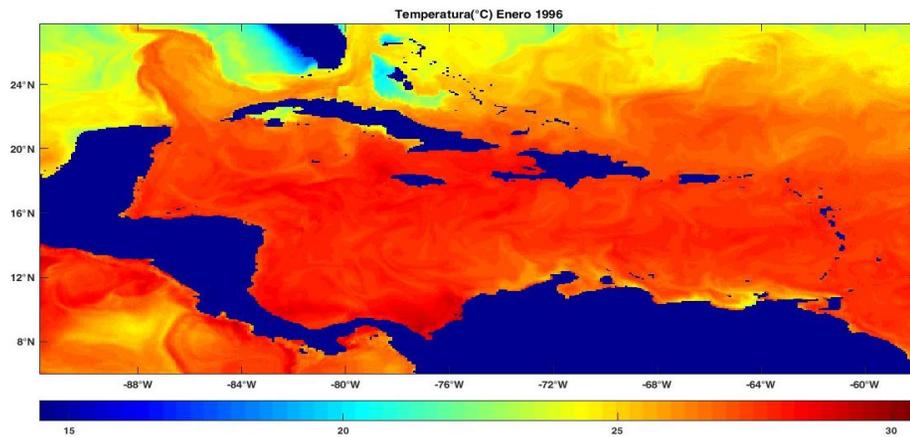


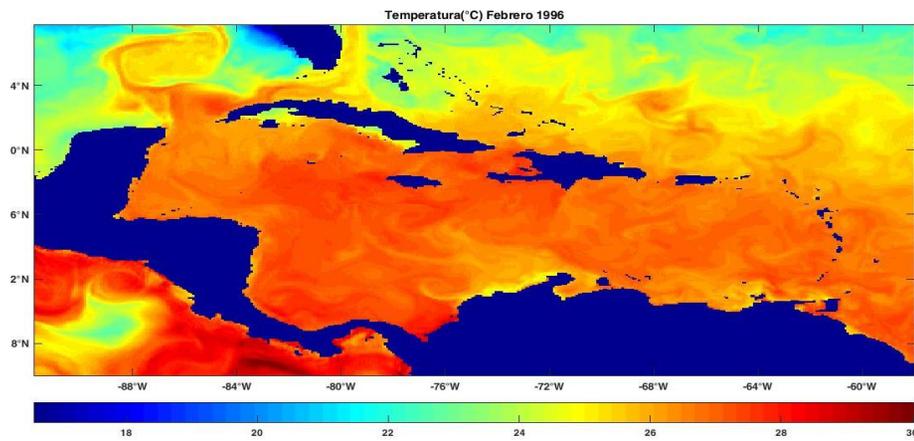
Figura 44: Temperatura Superficial Diciembre 1999, Pasante

En la figura 43 y 44 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Diciembre de los años 1996 y 1999, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar (°C) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Diciembre.



*Figura 45:* Temperatura Superficial Enero 1996, Pasante

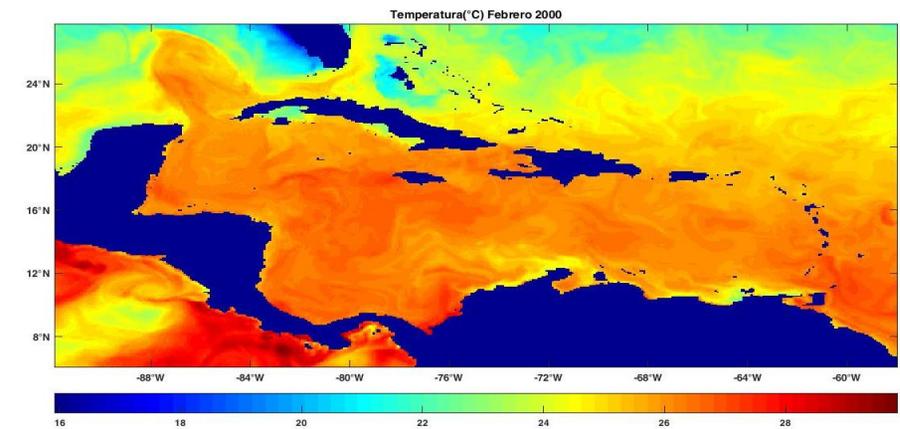
En la figura 45 y 46 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Enero de los años 1996 y 2000, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Enero.



*Figura 47:* Temperatura Superficial Febrero 1996, Pasante

En la figura 47 y 48 se puede apreciar los valores de promedios del mes de Febrero de los años 1996 y 2000, donde se pueden ver los valores de la Temperatura Superficial del Mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) y mirar las diferencias que hubo de un año al otro en el mes de Febrero.

*Figura 46:* Temperatura Superficial Enero 2000, Pasante



*Figura 48:* Temperatura Superficial Febrero 2000, Pasante

## VISUALIZACION DE LA TEMPERATURA EN LOS DIFERENTES NIVELES

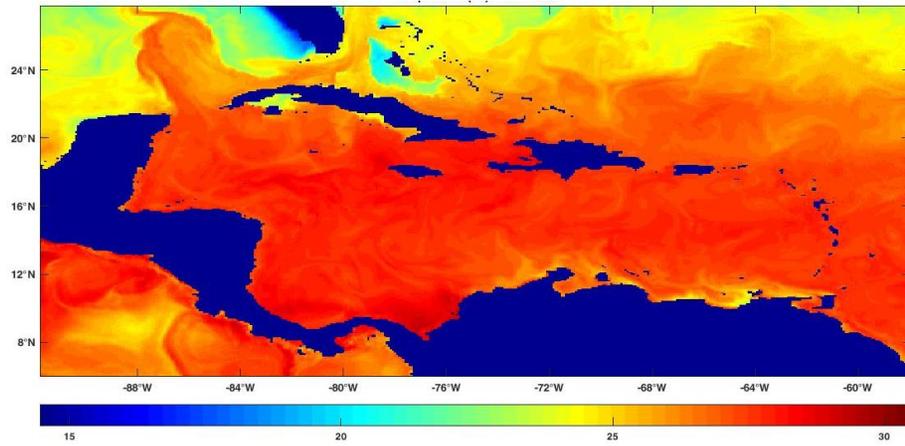


Figura 49: Temperatura Superficial del Mar, Pasante

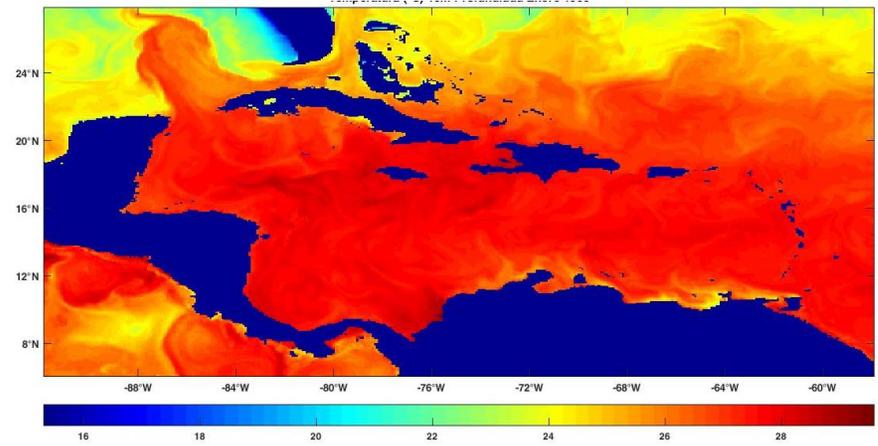


Figura 50: Temperatura del Mar a 10.0m de Profundidad, Pasante

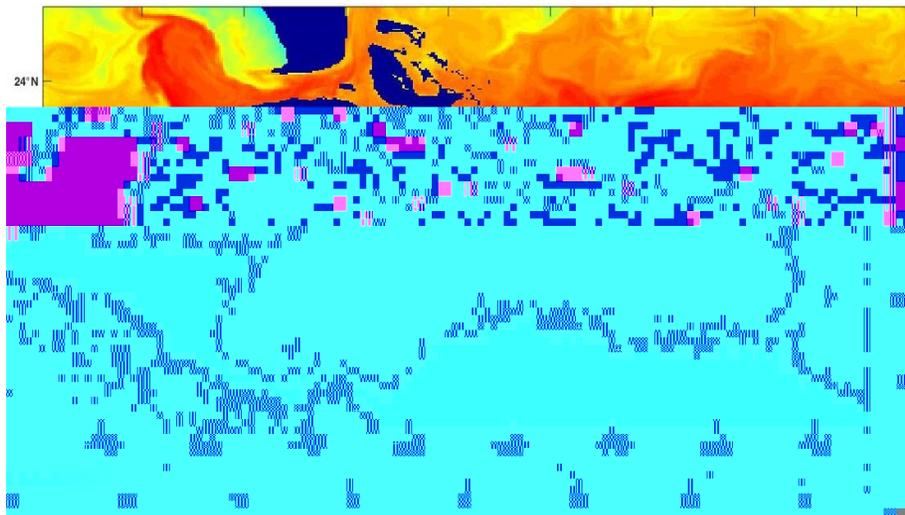


Figura 51: Temperatura del Mar a 30.0m de Profundidad, Pasante

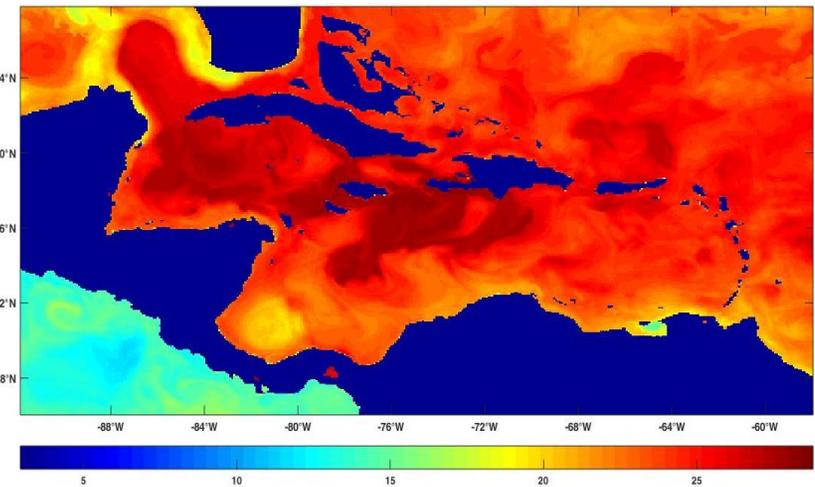


Figura 52: Temperatura del Mar a 100.0m de Profundidad, Pasante

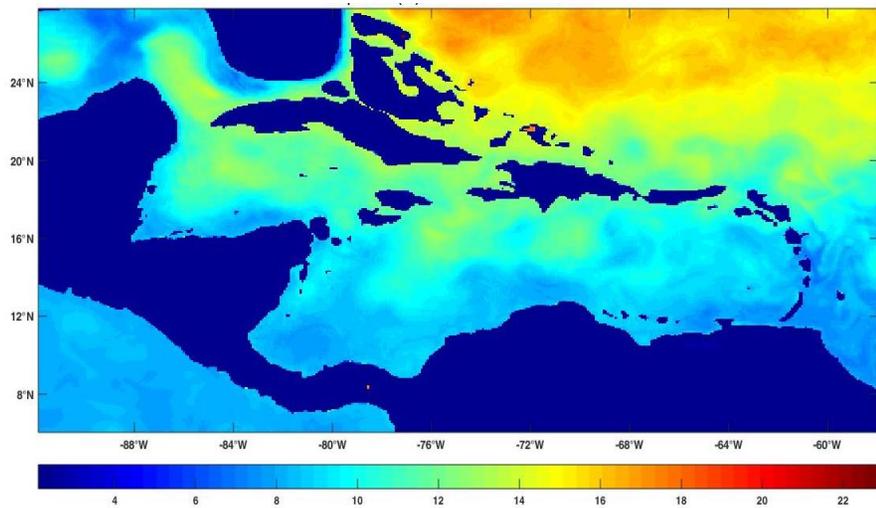


Figura 53: Temperatura del Mar a 500.0m de Profundidad, Pasante

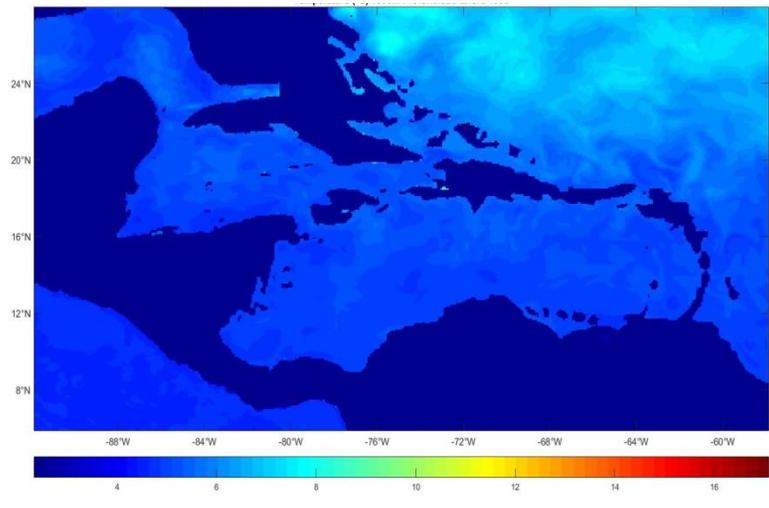


Figura 54: Temperatura del Mar a 1000.0m de Profundidad, Pasante

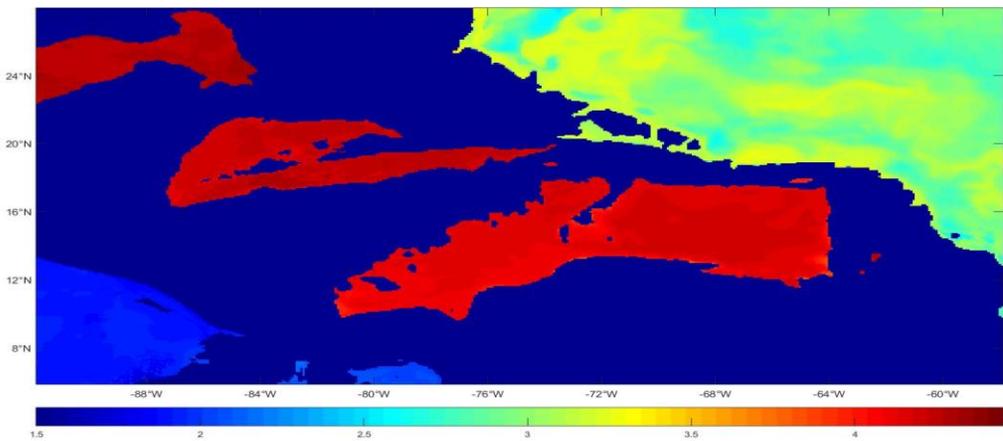
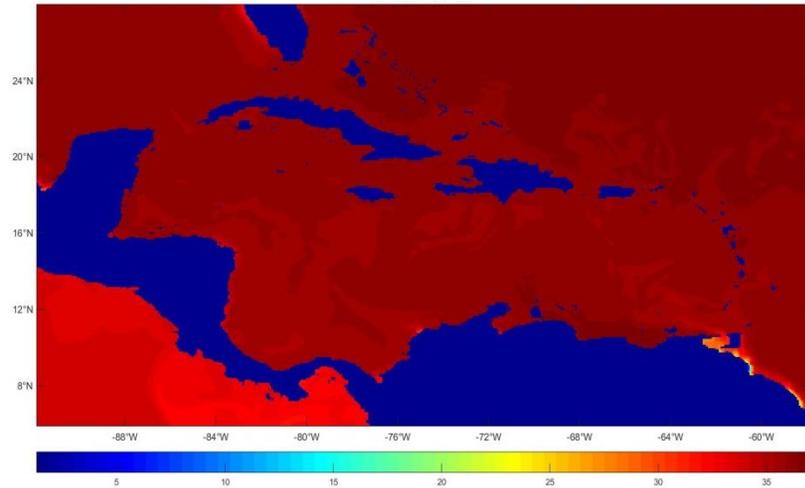
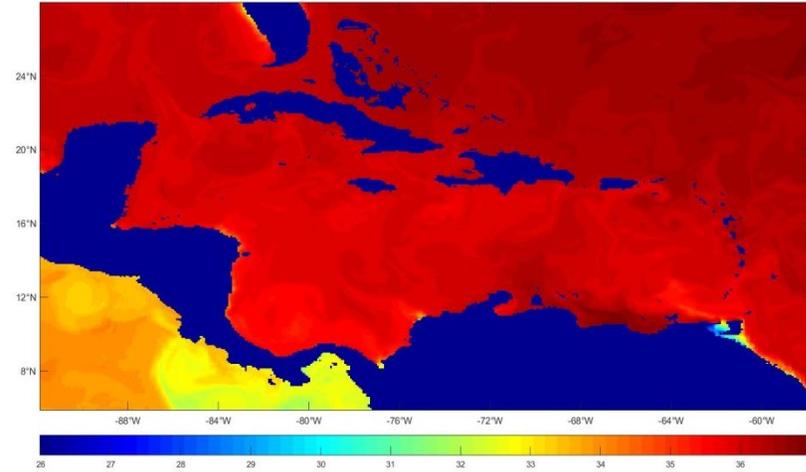


Figura 55: Temperatura del Mar a 3000.0m de Profundidad, Pasante

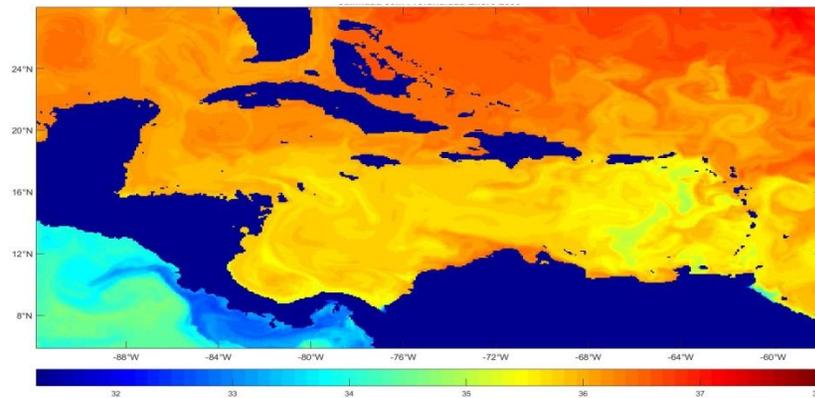
## VISUALIZACION DE LA SALINIDAD EN LOS DIFERENTES NIVELES



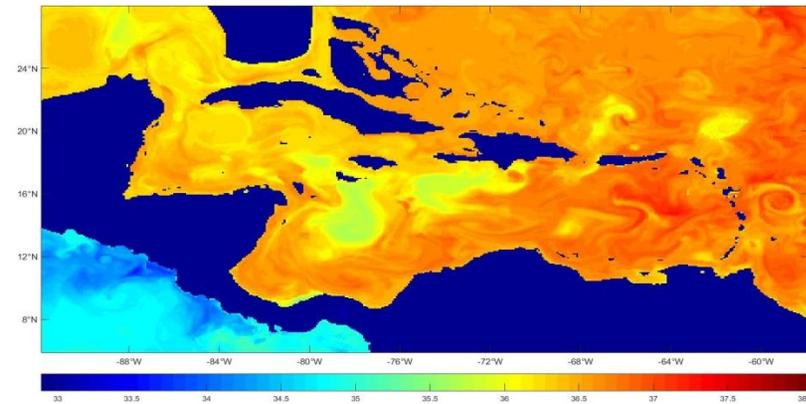
*Figura 56:* Salinidad Superficial del Mar, Pasante



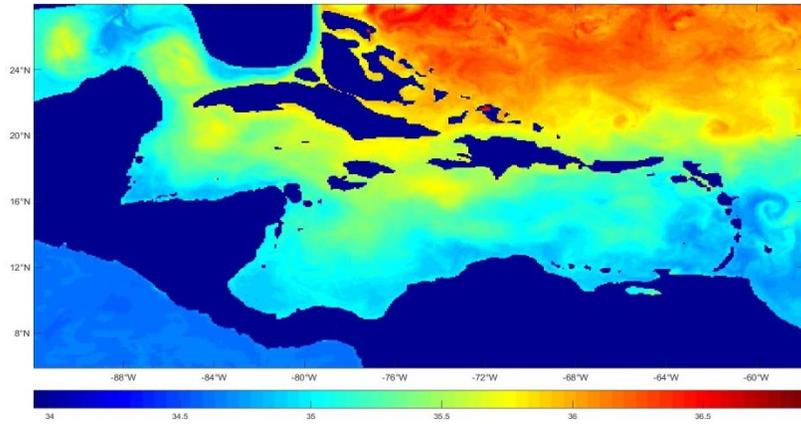
*Figura 57:* Salinidad del Mar a 10.0m Profundidad, Pasante



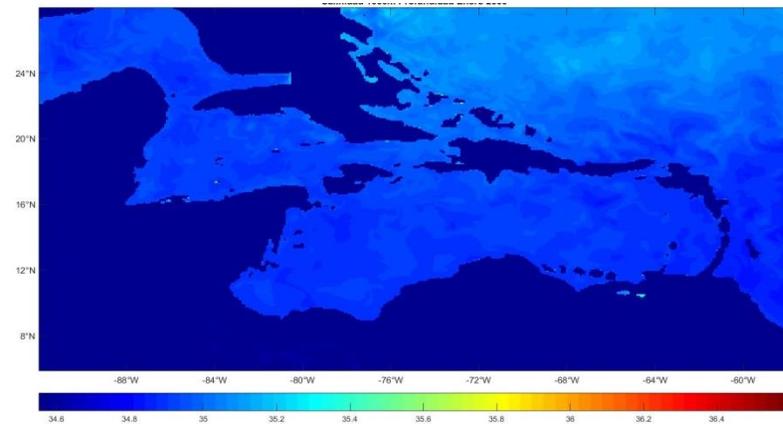
*Figura 58:* Salinidad del Mar a 30.0m Profundidad, Pasante



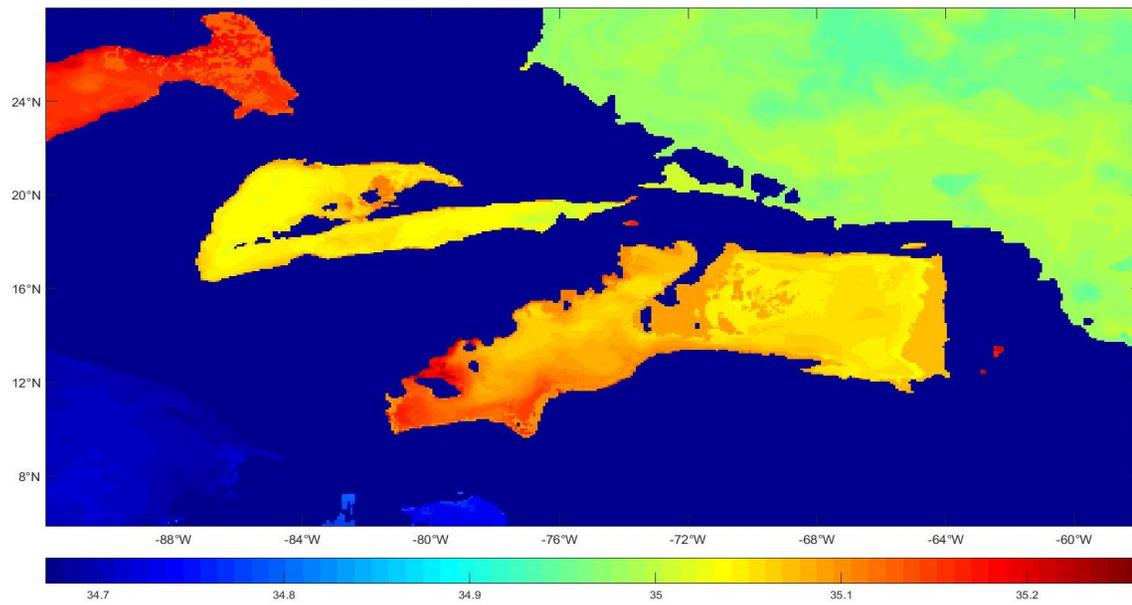
*Figura 59:* Salinidad del Mar a 100.0m Profundidad, Pasante



*Figura 60:* Salinidad del Mar a 500.0m Profundidad, Pasante



*Figura 61:* Salinidad del Mar a 1000.0m Profundidad, Pasante



*Figura 62:* Salinidad del Mar a 3000.0m Profundidad, Pasante

## VISUALIZACION DE VELOCIDAD Y DIRECCION DE CORRIENTE DEL MAR CARIBE A DIFERENTES NIVELES DE PROFUNDIDAD

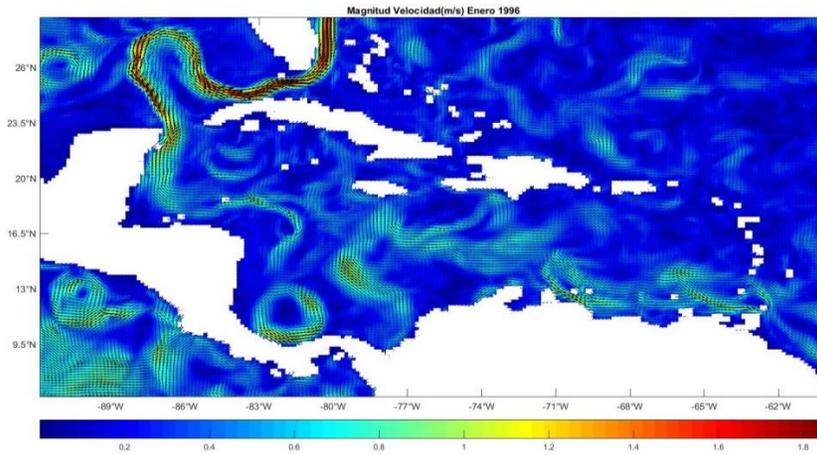


Figura 63: Enero 1996 Superficie, Pasante

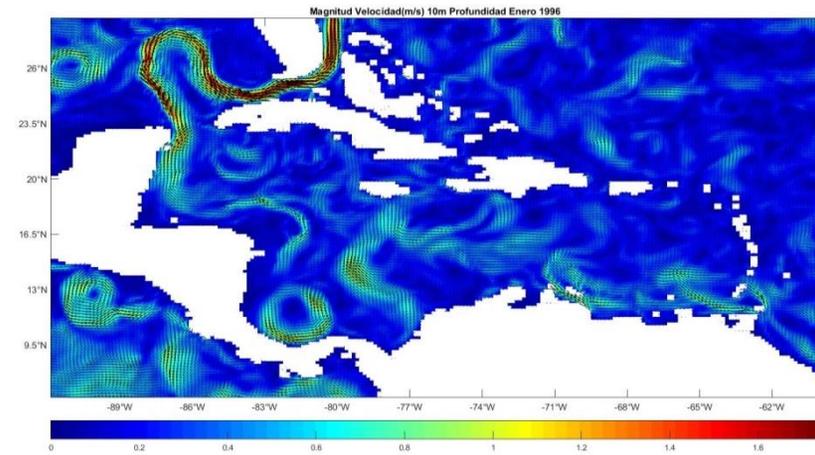


Figura 64: Enero 1996 a 10m de Profundidad, Pasante

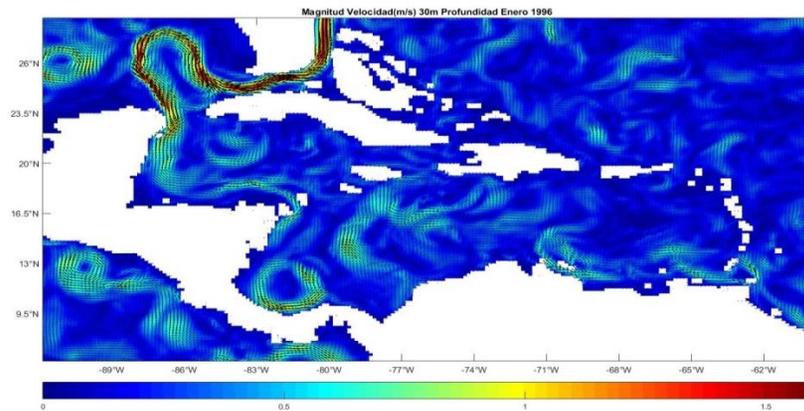


Figura 65: Enero 1996 a 30m de Profundidad, Pasante,

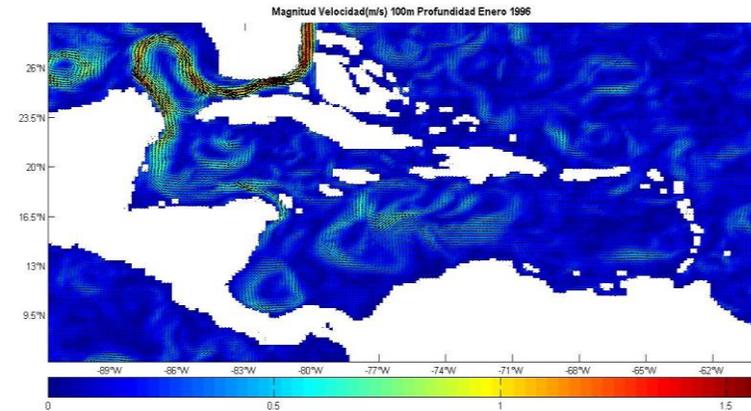


Figura 66: Enero 1996 a 100m de Profundidad, Pasante

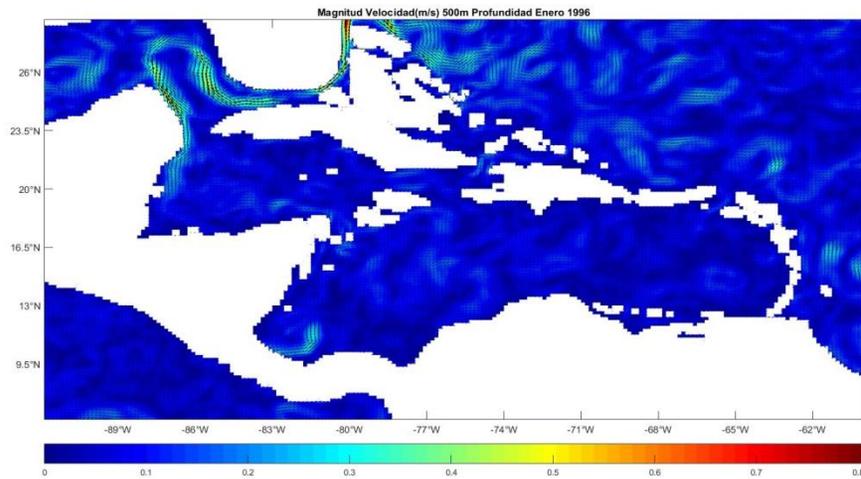


Figura 67: Enero 1996 a 500m de Profundidad, Pasante

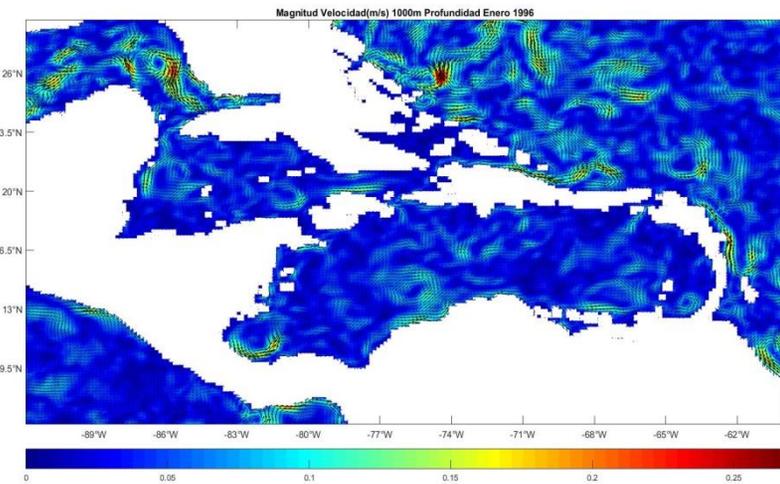


Figura 68: Enero 1996 a 1000m de Profundidad, Pasante

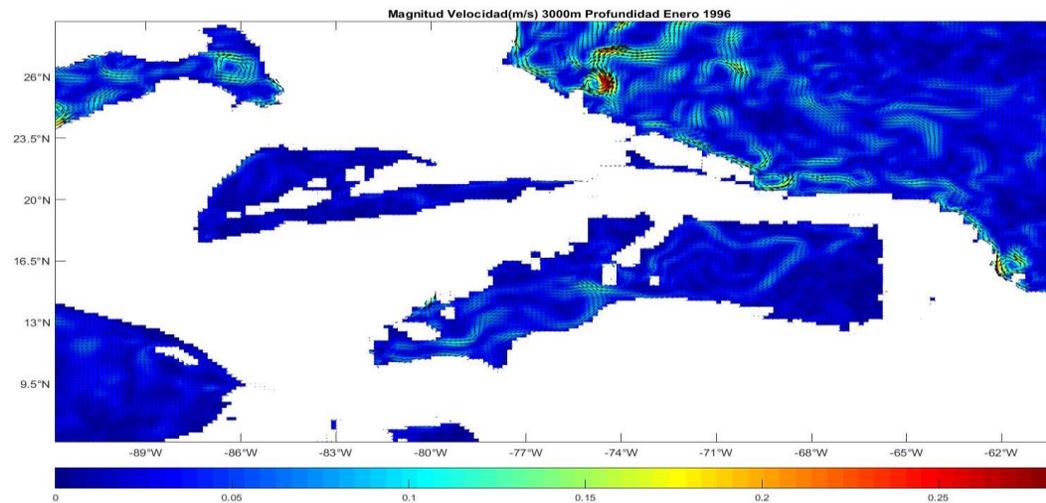
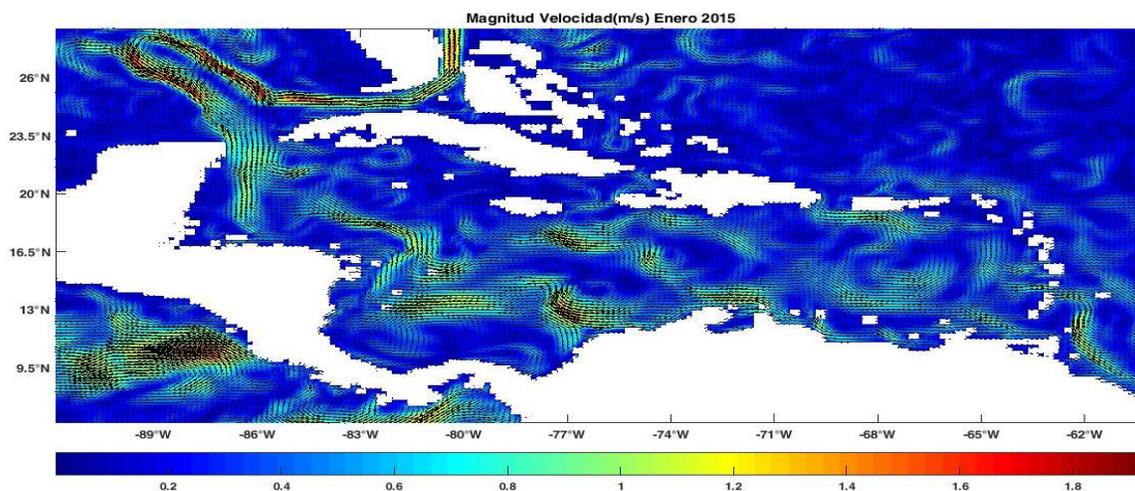
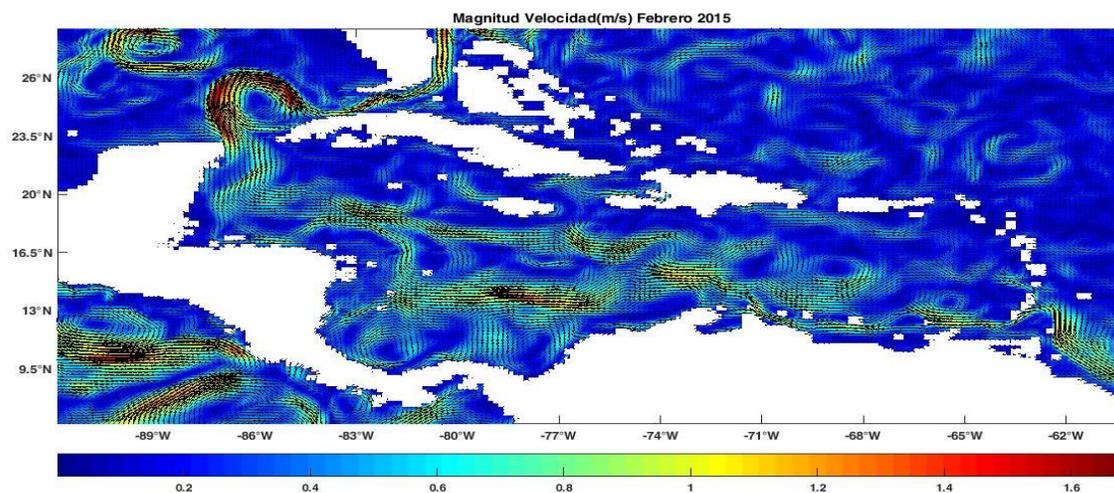


Figura 69: Enero 1996 a 3000m de Profundidad

**DESCRIPCION DE LAS CORRIENTES DEL MAR CARIBE.** Para la descripción de la corrientes del Mar Caribe para predecir que tendencia cogería una mancha de petróleo en el caso que fuera derramadas en esta zona se optó por describir de la base de datos la velocidad y la dirección del mes de Junio del presente año debido a que es el último registro que se tiene de la base de datos HYCOM, pero antes se mostraran una secuencia del comportamiento que han tenido las corrientes en el año 2015 y en los mes de Enero, Febrero, Marzo y Mayo del presente año.



*Figura 70: Enero 2015, Pasante*



*Figura 71: Febrero 2015, Pasante*

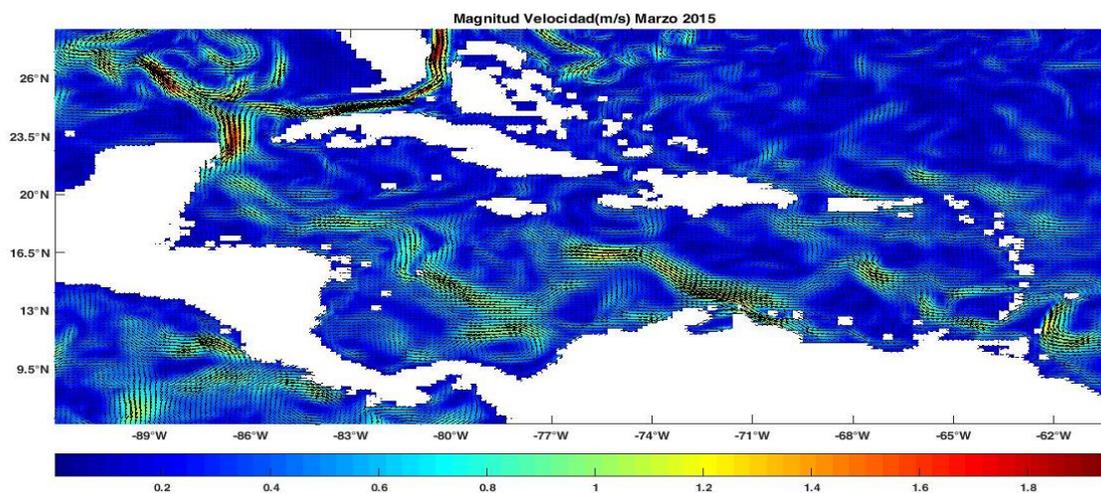


Figura 72: Marzo 2015, Pasante

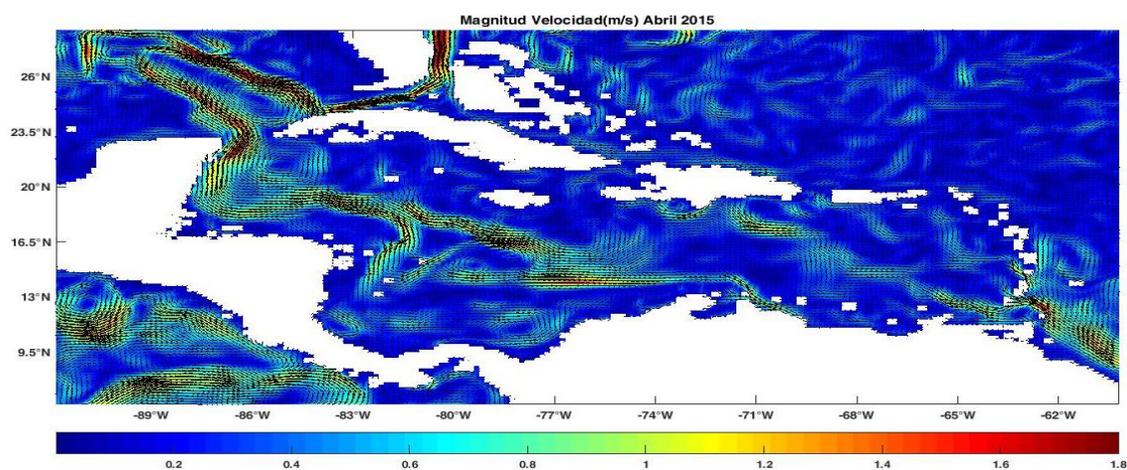


Figura 73: Abril 2015, Pasante

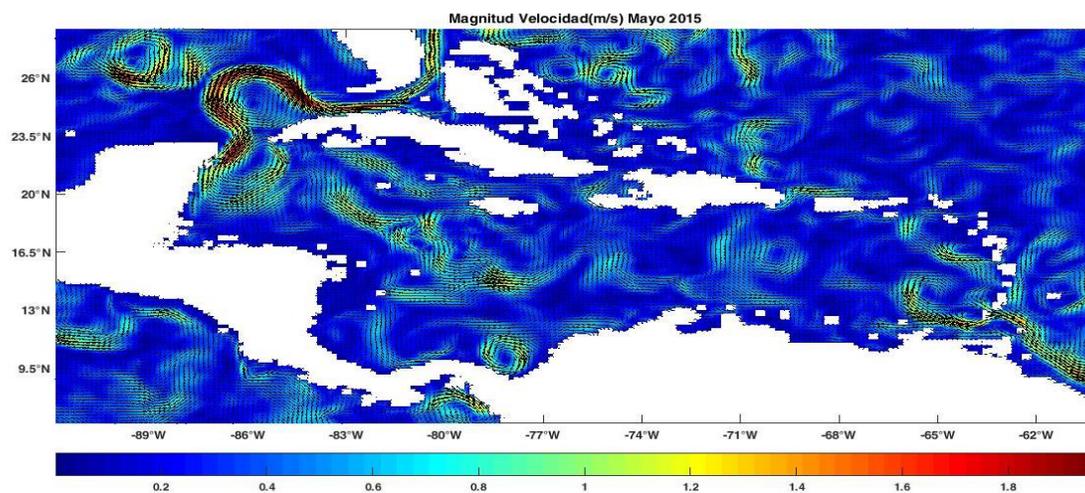


Figura 74: Mayo 2015, Pasante

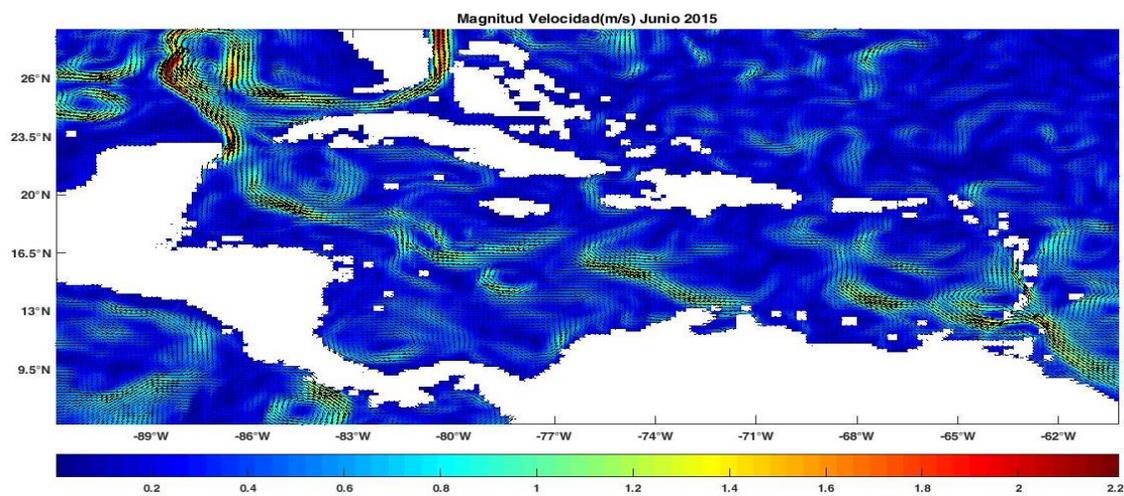


Figura 75: Junio 2015, Pasante

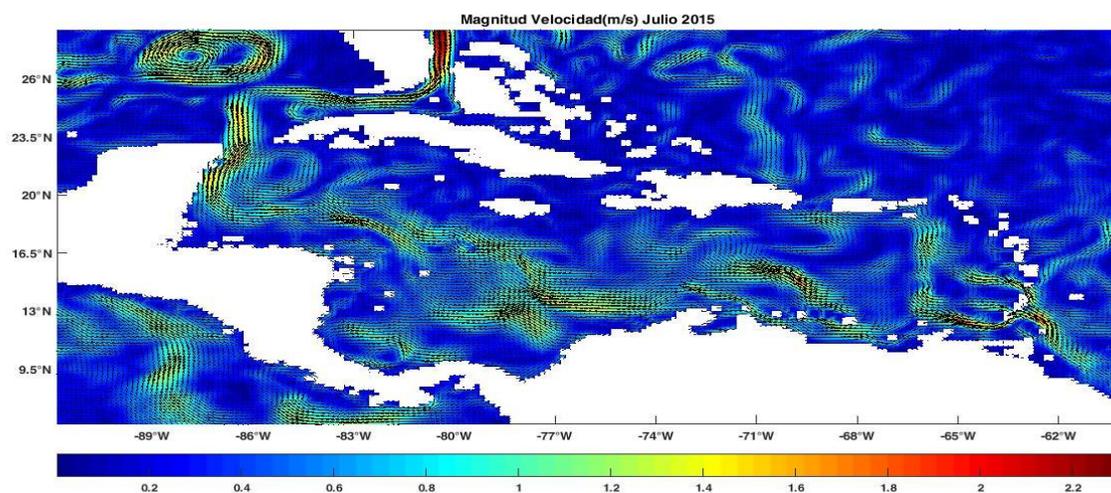


Figura 76: Julio 2015, Pasante

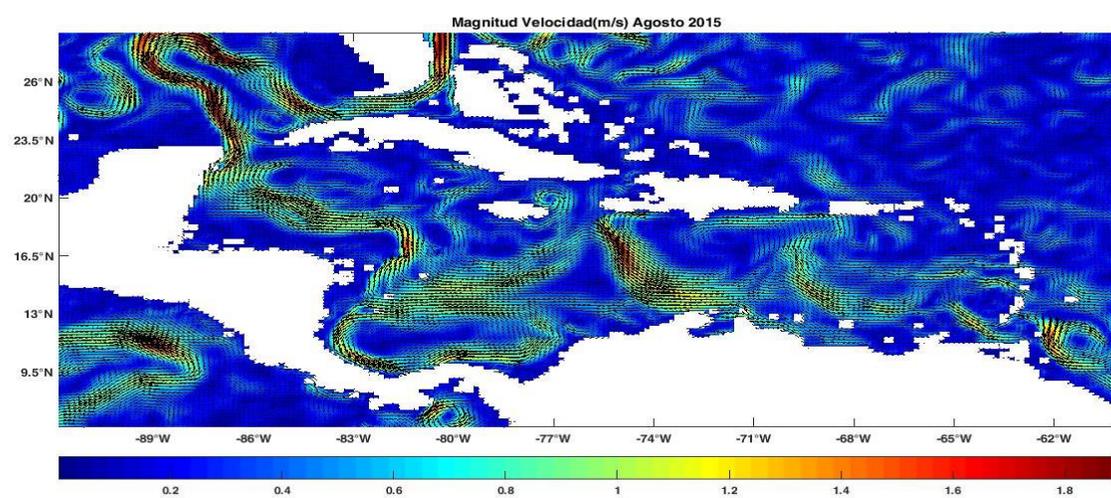


Figura 77: Agosto 2015, Pasante

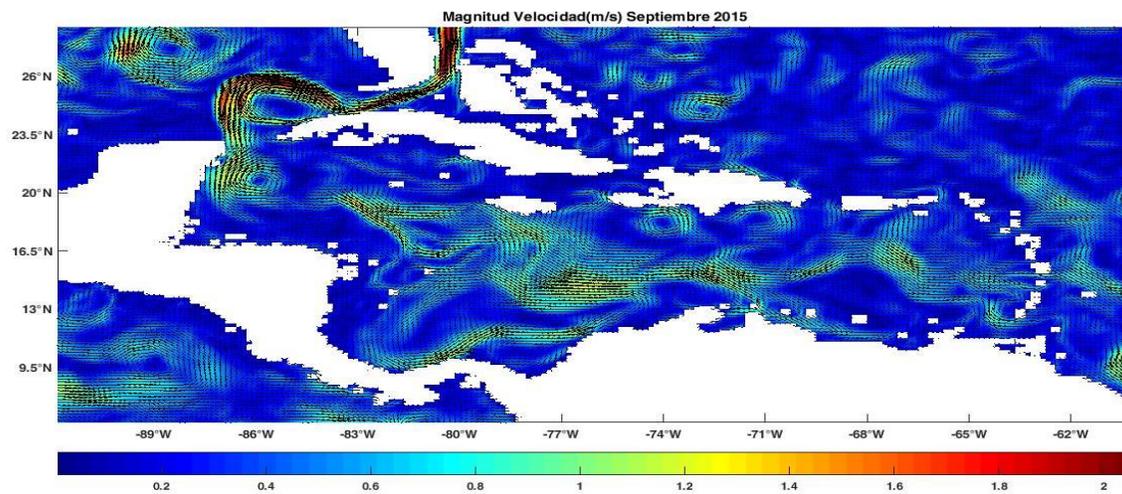


Figura 78: Septiembre 2015, Pasante

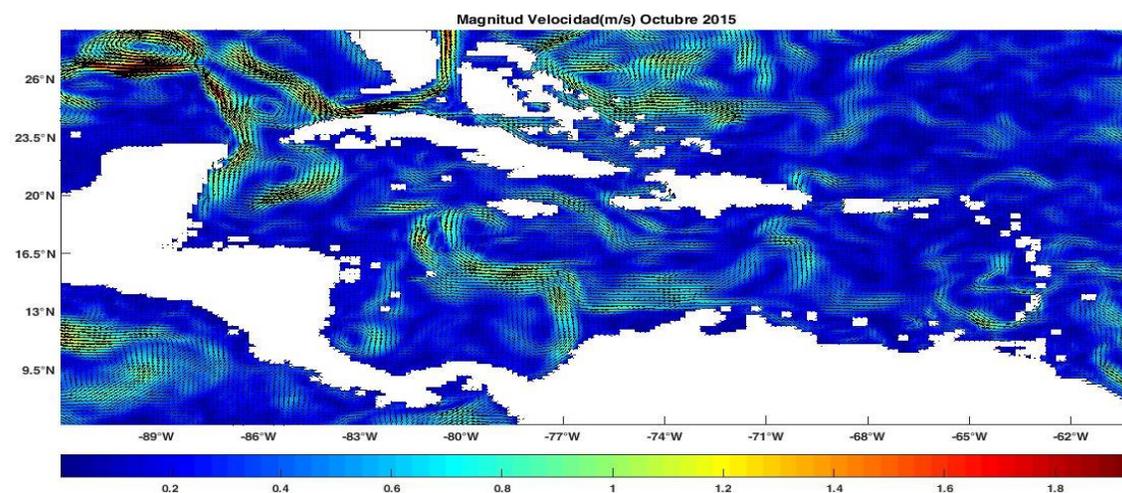


Figura 79: Octubre 2015, Pasante

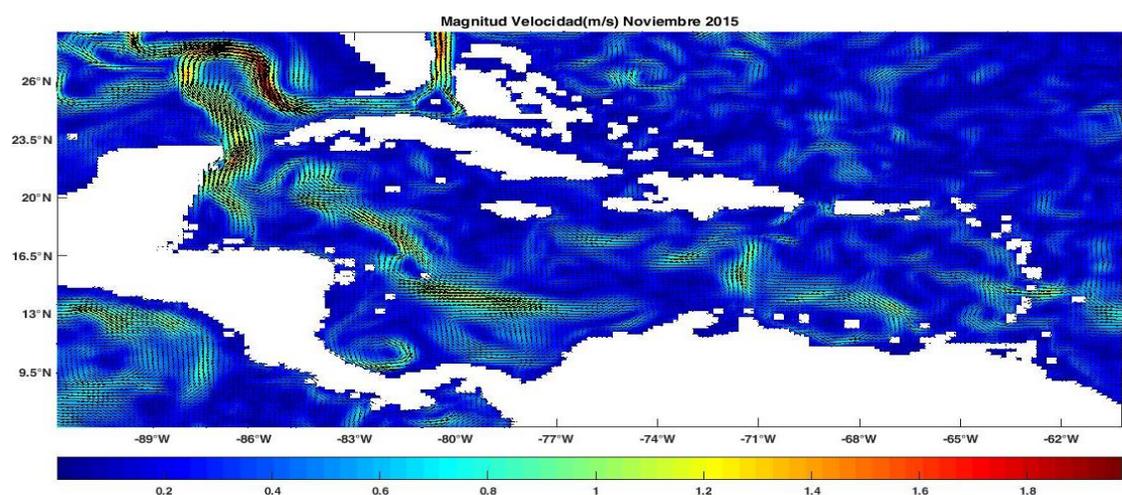


Figura 80: Noviembre 2015, Pasante

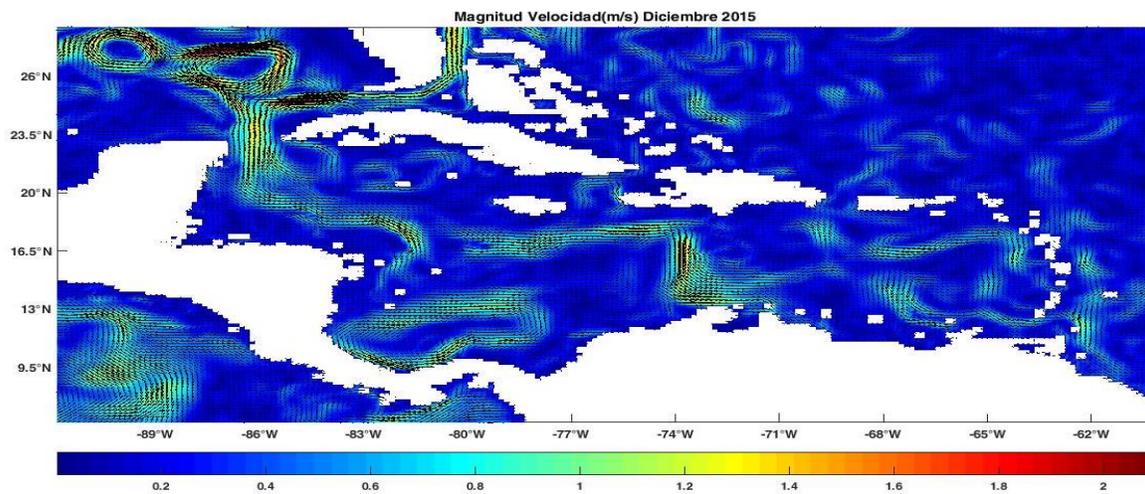


Figura 81: Diciembre 2015, Pasante

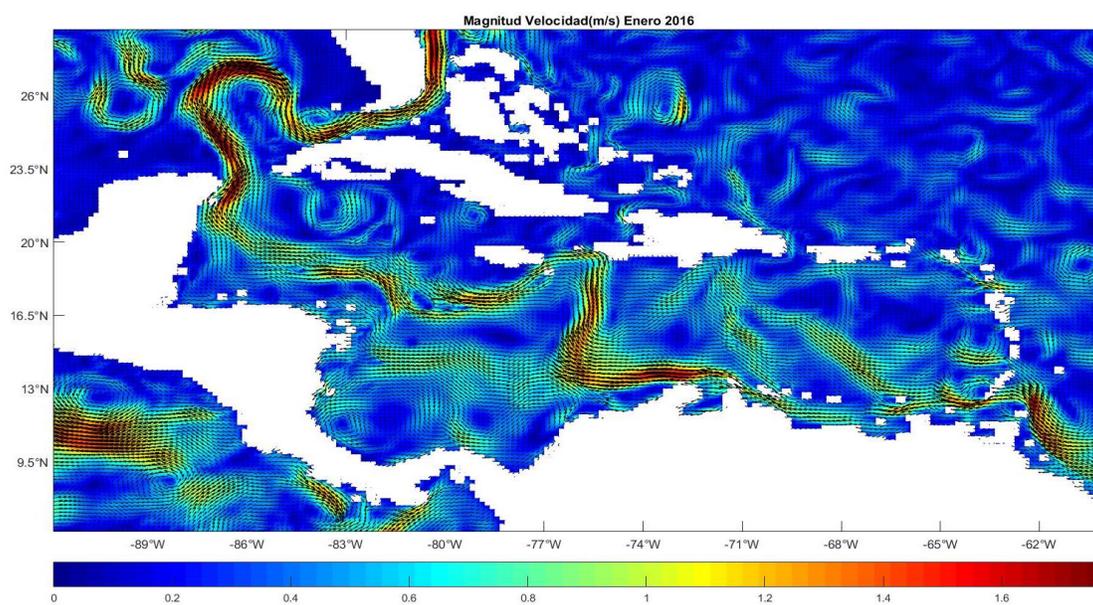
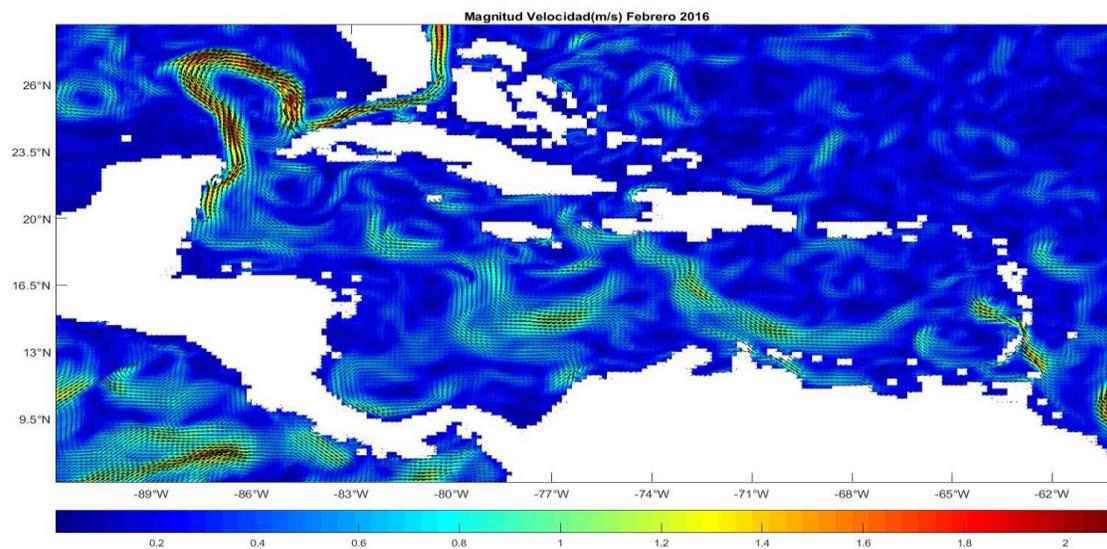
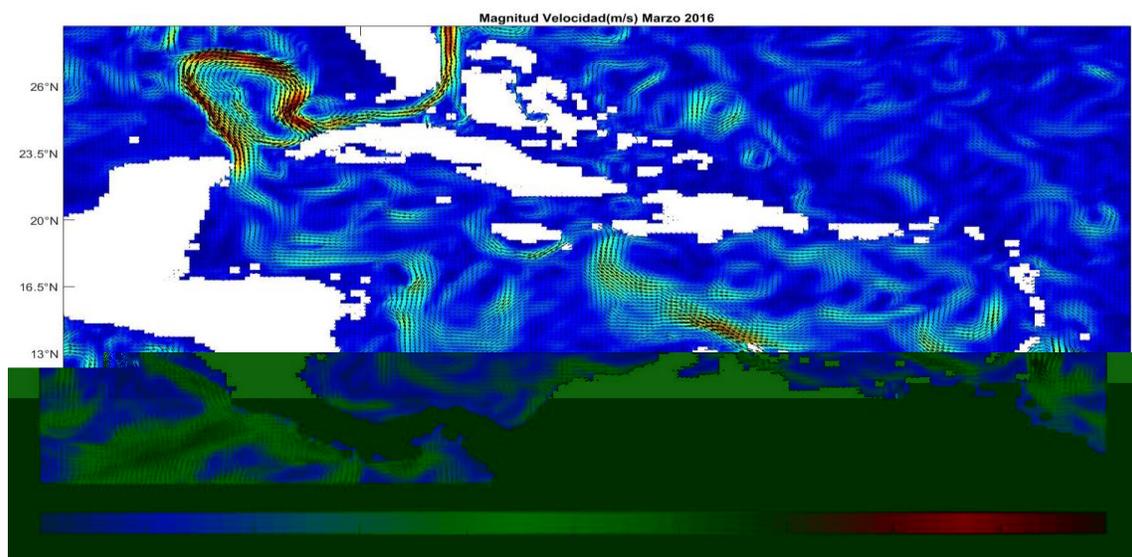


Figura 82: Enero 2016, Pasante



*Figura 83: Febrero 2016, Pasante*



*Figura 84: Marzo 2016, Pasante*

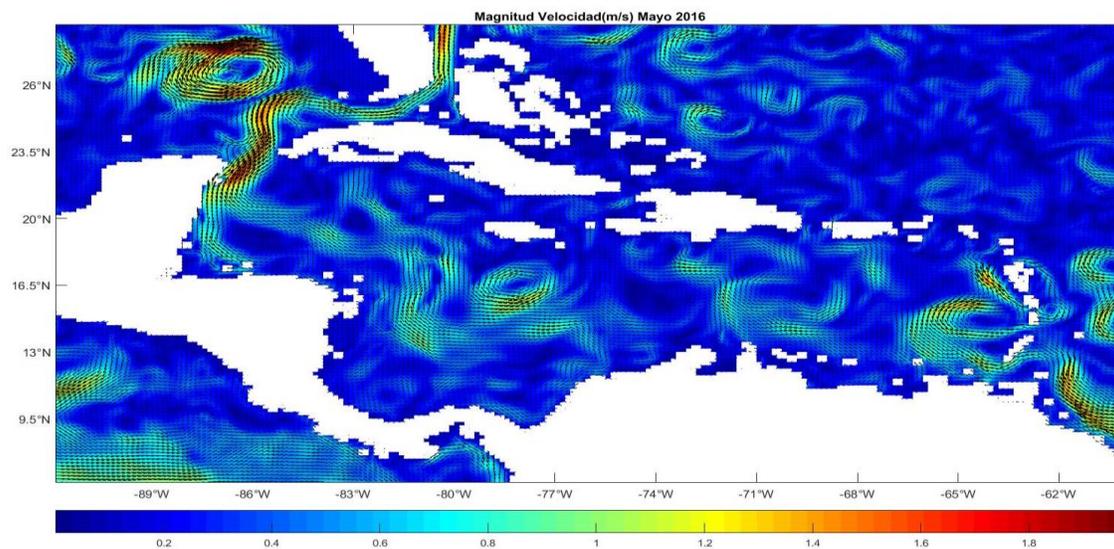


Figura 85: Mayo 2016, Pasante

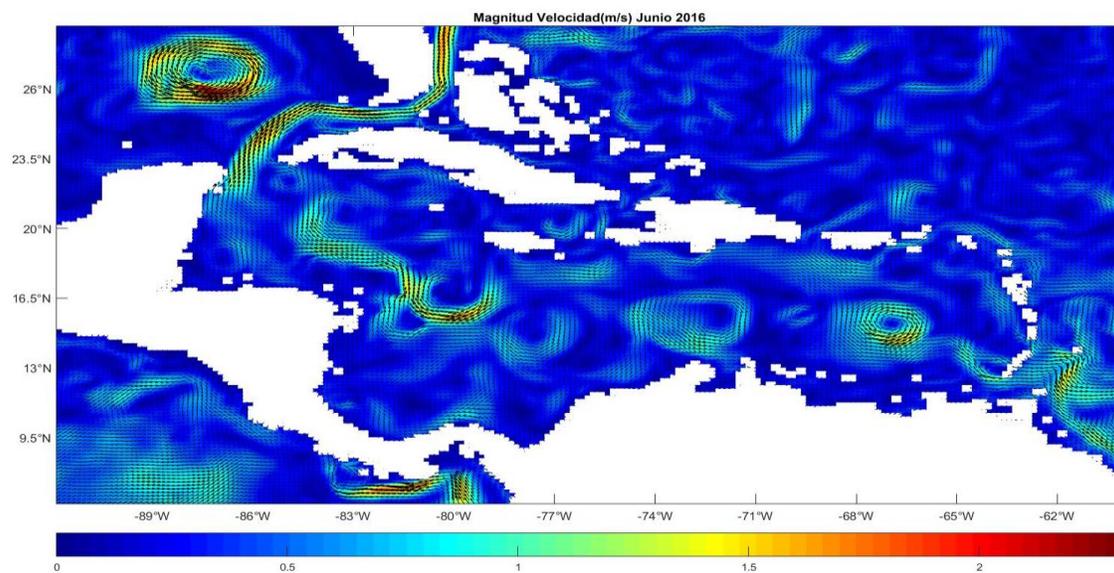


Figura 86: Junio 2016, Pasante

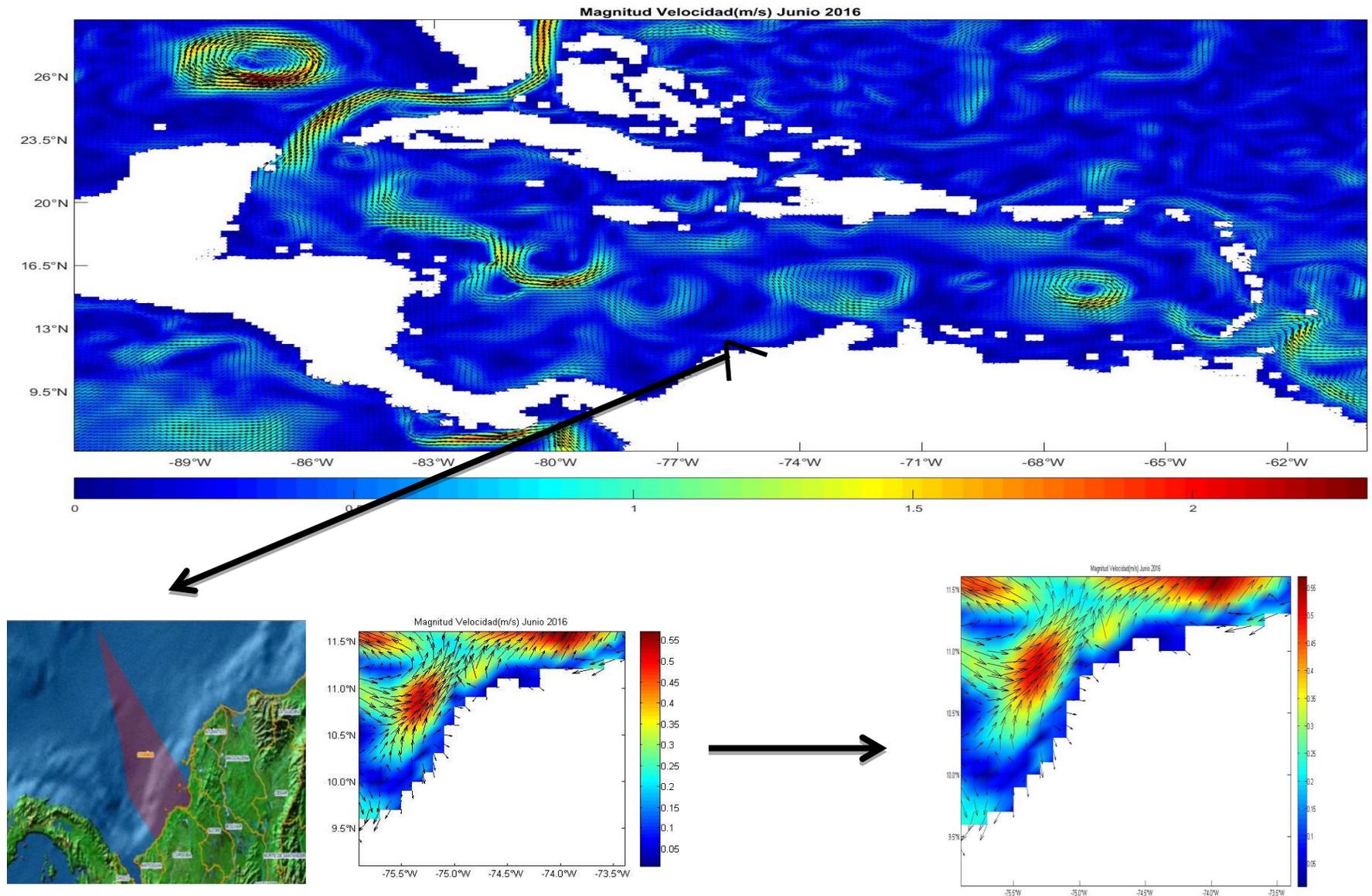


Figura 87: Descripción de la dirección y velocidad de las Corrientes del Mar Caribe y de la zona del puerto de Ecopetrol en Tolu, se puede apreciar la dirección de la corriente en el Junio de 2016 y su velocidad que de aproximadamente 0,55 m/s.

La descripción de la dirección y velocidad de las corrientes se hará en el punto de la zona de embarque y descarga de Ecopetrol en Tolú, debido a que en esta zona se descargan alrededor de 1.000.000 de galones petróleo, en esta zona en la figura anterior se muestran un mapa de velocidad y dirección de corrientes del mes de Junio del 2016 se realizó en este mes debido que hasta fecha tenemos datos de Corrientes del Mar, se puede ilustrar la zona donde hacen las descargas del crudo, en la siguiente imagen se muestra más de cerca la trayectoria tendería a coger el crudo si hubiera un derrame en esta zona, aquí se puede apreciar que la velocidad de las corrientes es de 0.05 m/s, aunque es muy predecible tener conocimiento de la trayectoria o a donde ir a terminar la mancha de petróleo, porque existen diferentes factor que está muy directamente involucrados en la trayectoria del petróleo porque esto depende de las características del hidrocarburo, su densidad y peso influye mucho en la predicción de la mancha además existen procesos físicos, químicos y biológicos que se encuentran relacionado con la dirección o finalidad de una mancha de crudo que sea derramado, existen hidrocarburos que por proceso como la evaporación se evaporen en menos de un día rápidamente esto depende directamente de la densidad del hidrocarburos que si tiene una densidad muy ligera como el de la gasolina este se evaporar completamente su masa, lo cual traería otras complicaciones de tipo atmosféricas porque al evaporarse este también lo hace los elementos que los constituyen que pueden ocasionar alteraciones o afectaciones atmosféricas, existen otros hidrocarburos que en su densidad son más pesados como los fuel oil que al sufrir por este proceso solo pierde el 40 % de su masa, el resto puede que se extienda por proceso de dispersión y mantenerse en el mar por varios días o semanas.

En esta parte se muestra como se ve la velocidad y las dirección de las corrientes en los diferentes niveles de profundidad, se muestras figuras de 10m, 30m, 100m, 500m, 1000m, 3000m.

**Zona de Estudio.** El área de estudio se encuentra comprendida en las coordenadas 12° N 8°N 73°W y 77°W (Figura 88) área que se encuentra influenciada por los principales puertos de Colombia, de alto transporte marítimos. Esta área se encuentra en la parte norte de Colombia en lo que se conoce como Región Caribe, cabe aclarar que se encuentra entre

las costas de las principales ciudades de la Región que son: Cartagena, Barranquilla, Santa Marta, Sucre y Córdoba (Invemar, 2007).

**Tabla 9:**  
*Coordenadas de la zona de estudio*

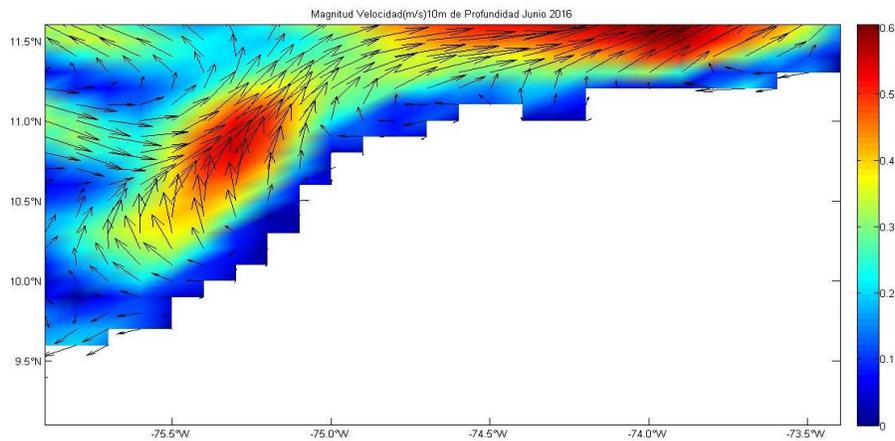
COORDENADAS	
12°N	73°O
8°N	77°O

Fuente: Pasante

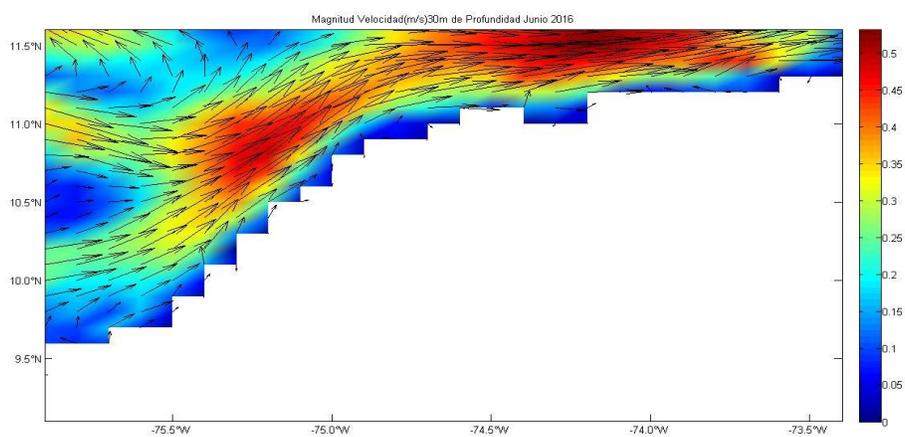


Figura 88: Área de estudio delimitada. Google Earth

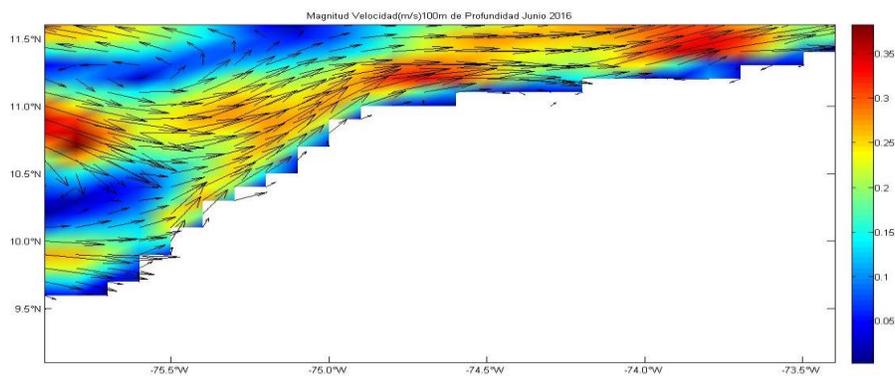
Las imágenes siguientes muestran cómo van cambiando la dirección y velocidad de las corrientes a medida que se desciende se puede observar que la velocidad a medida que se va descendiendo en profundidad la velocidad de las corrientes va disminuyendo, estas imágenes muestran las direcciones de la corriente en una escala menor de la zona donde puede ocurrir un derrame de hidrocarburo que es en la plataforma de Ecopetrol en Tolú.



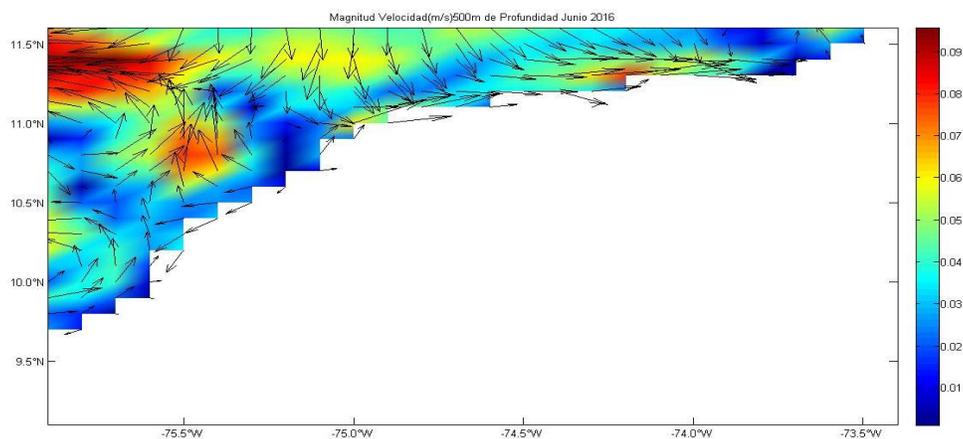
*Figura 89: 10m Profundidad a Escala Pequeña, Pasante*



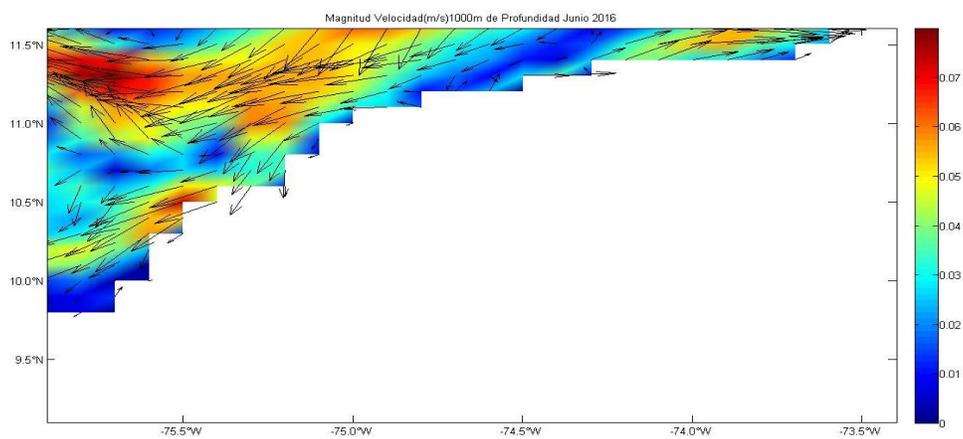
*Figura 90: 30m Profundidad a Escala Pequeña, Pasante*



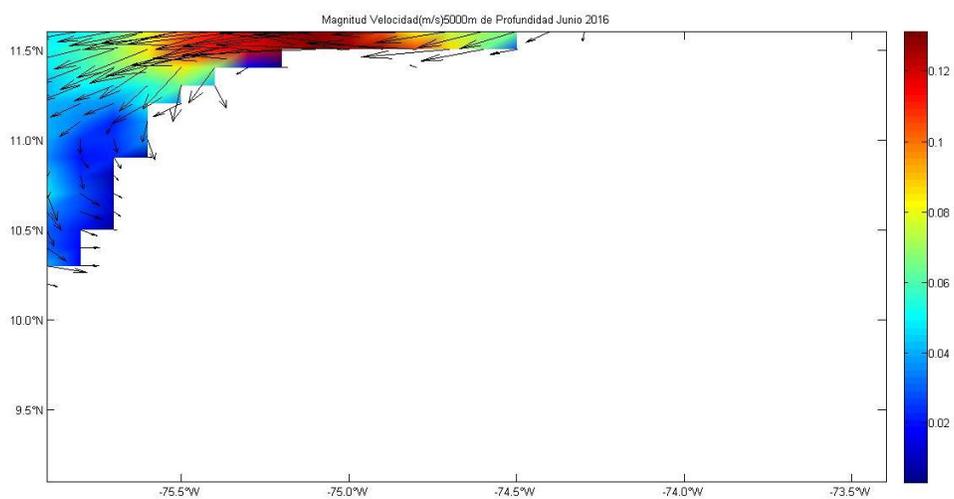
*Figura 91: 100m Profundidad a Escala Pequeña, Pasante*



*Figura 92: 500m Profundidad a Escala Pequeña, Pasante*



*Figura 93: 1000m Profundidad a Escala Pequeña, Pasante*



*Figura 94: 3000m Profundidad a Escala Pequeña, Pasante*

## Capítulo 6. Diagnostico Final

Con el presente trabajo de grado de modalidad pasantía, titulado ESTUDIO DE VARIABLES OCEANICAS TEMPERATURA, SALINIDAD Y CORRIENTES DEL MAR CARIBE Y DESCRIPCION DE LA POSIBLE TRAYECTORIA DE UN DERRAME DE HIDROCARBURO, realizado en la Universidad Tecnológica de Bolívar, en Cartagena Bolívar se logró obtener la información necesaria para el desarrollo del mismo, con la realización de este proyecto se logró formar una base de datos con información de variables oceánicas Temperatura, Salinidad, Corrientes y Altura Superficial del Mar Caribe entre los años de 1996 hasta el presente año, además se logró diseñar un programa escrito en Matlab para procesar y visualizar los datos para obtener las gráficas y poder realizar el análisis.

Este proyecto fue necesario para el conocimiento de los hidrocarburos y su comportamiento en medio marino, la realización de los mapas de velocidad y dirección de corrientes nos fue útil para determinar la trayectoria de la mancha de petróleo en el momento que sea derramado en esta zona. Este trabajo es una investigación preliminar ya que está expuesto a que la información suministrada sirve para investigaciones más adelantes debido a que este sería una guía para nuevas investigaciones ya que cuentas con una buena base de datos de variables oceánicas que pueden ser objeto de diferentes estudios.

## Conclusiones

Con el presente trabajo de grado, se pudo generar mapas de Temperatura, Salinidad y Velocidad y Dirección de las Corrientes del Mar Caribe, en donde se muestran los cambios que han tenido las variables oceánicas a lo largo de 19 años debido a una base de datos construidas desde la base de datos HYCOM el cual nos permitió construir una base de datos desde 1992 hasta lo recorrido del 2016, esto nos permitió evaluar y analizar los diferentes cambios que han tenidos las variables, para el procesamiento de los datos fue necesario realizar un programa escrito en Matlab el cua nos permitió generar las diferentes imágenes que se aprecian en el trabajo, este trabajo es un estudio preliminar el cual sirve como base para otras investigaciones relacionados con las variación de la Temperatura Superficial del Mar y asociarlos con los fenómenos climáticos, en la descripción de la corriente del Mar Caribe se pueden apreciar muy bien la dirección que tendrán una mancha de petróleo dado el caso que se llegue a derramar en la zona de descarga de Ecopetrol ubicada en Tolú, con el estudio de las direcciones de la corrientes nos ayuda a poder predecir la trayectoria de la mancha de crudo si es posible a que afecta a zonas costeras o a ecosistemas sensibles.

## **Recomendación**

Para la realización de este proyecto fue necesario aprender a manejar el Software matemático MATLAB, debido a que la mayoría del trabajo se realizó mediante programación.

## Referencias Electrónicas

- Pontificia Universitaria Católica de Chile.* (s.f.). Obtenido de [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/geo\\_mar/html/h61.html](http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h61.html)
- Segura, C., David Alonso C, & Ramírez, L. (Julio de 2012). *Scielo*. Recuperado el 1 de Mayo de 2016, de Scielo: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-97612012000200004](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97612012000200004)
- Greenpeace.* (Enero de 2012). Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de Greenpeace: [http://www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2012/1/impactos\\_ambientales\\_petroleo.pdf](http://www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2012/1/impactos_ambientales_petroleo.pdf)
- ITOPF.* (30 de Junio de 2014). Obtenido de ITOPF: [www.itopf.com/uploads/translated/TIP11\\_SPEffectsofOilPollutiononFisheriesandMariculture.pdf](http://www.itopf.com/uploads/translated/TIP11_SPEffectsofOilPollutiononFisheriesandMariculture.pdf)
- AGRICULTURA, R. D. (2 de Agosto de 1979). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 23 de Marzo de 2016, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/25-dec\\_1875\\_1979.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/25-dec_1875_1979.pdf)
- Almeida, F. (2009). *OCW Open Courseware- Universidad de Malaga*. Recuperado el 27 de Abril de 2016, de OCW Open Courseware- Universidad de Malaga: [http://ocw.uma.es/ciencias-sociales-y-juridicas/mediterraneo/materiales-de-clase-docs/TEMA\\_5\\_Oceanografia\\_del\\_Mediterraneo.pdf](http://ocw.uma.es/ciencias-sociales-y-juridicas/mediterraneo/materiales-de-clase-docs/TEMA_5_Oceanografia_del_Mediterraneo.pdf)
- Ambiente, M. d. (1997). *Ministerio de Medio Ambiente*. Obtenido de <http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MMA-0330/MMA-0330.pdf>
- Andrade Amaya, C. A. (2001). Las corrientes superficiales en la cuenca de Colombia observadas con boyas de deriva. (U. N. Bogotá, Ed.) *Revista de la Academia Colombia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.*, 25, 321-335.
- Andrade, C. A. (s,f). *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Obtenido de [http://www.accefyn.org.co/revista/Vol\\_25/96/321-335.pdf](http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_25/96/321-335.pdf)
- Artega, J. K., & Herrera Gonzalez, A. D. (2014). *Repositorio de la Universidad Católica de Colombia*. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/jspui/bitstream/10983/2577/1/Estado-arte-estructuras-offshore-caribe-colombiano.pdf>

- Babra, R. M. (s.f). *Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH*. Recuperado el 24 de Abril de 2016, de Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH: <https://www.cioh.org.co/index.php/140-otros-articulos/1124-de-la-teoria-a-la-practica.html>
- BBC Mundo. (2 de Junio de 2010). *BBC Mundo*. Recuperado el 22 de Abril de 2016, de BBC Mundo: [http://www.bbc.com/mundo/internacional/2010/06/100602\\_derrame\\_petroleo\\_bp\\_cifras\\_golfo\\_mexico\\_amab.shtml](http://www.bbc.com/mundo/internacional/2010/06/100602_derrame_petroleo_bp_cifras_golfo_mexico_amab.shtml)
- Bernal, G., Poveda, G., Roldán, P., & Andrade, C. (2006). *Universidad del Norte*. Recuperado el 31 de Mayo de 2016, de [www.uninorte.edu.co/documents/266486/0/Bernal+et+al\\_2006.pdf](http://www.uninorte.edu.co/documents/266486/0/Bernal+et+al_2006.pdf)
- Botello, A. V., Rendon, J., Gold- Bouchot, G., & Agraz-Hernandez, C. (2005). *Golfo de Mexico Contaminacion e Impacto Ambiental* (2da ed.). Mexico.
- Buitrago, D. L. (2006). *ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR UN DERRAME DE HIDROCARBUROS SOBRE UNA ZONA ESTUARINA, ALEDAÑA AL TERMINAL DE ECOPETROL EN TUMACO*. Tesis de Grado, Universidad de la Salle, Bogota D.C.
- Buleon, P. (s.f.). *Atlas Caribe*. Recuperado el 24 de Abril de 2016, de Atlas Caribe: <http://atlas-caraibe.certic.unicaen.fr/es/>
- Carvajal Ortiz, L. H., & Jara Gutierrez, F. (2005). *Repositorio Universidad Industrial de Santander*. Recuperado el 21 de Abril de 2016, de Repositorio Universidad Industrial de Santander: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/994/2/116216.pdf>
- Chávez, M. A. (s.f.). *Grid Morelos*. Obtenido de Grid Morelos: <http://www.gridmorelos.uaem.mx/~mcruz/cursos/miic/bd1.pdf>
- Corral, M., Vergara, E. P., & Barragan, N. (2012). [http://www.aepro.com/files/congresos/2012valencia/CIIP12\\_0838\\_0845.3761.pdf](http://www.aepro.com/files/congresos/2012valencia/CIIP12_0838_0845.3761.pdf). Recuperado el 22 de Abril de 2016, de [http://www.aepro.com/files/congresos/2012valencia/CIIP12\\_0838\\_0845.3761.pdf](http://www.aepro.com/files/congresos/2012valencia/CIIP12_0838_0845.3761.pdf)
- Dicco, R. A. (Marzo de 2010). *Centro Latinoamericano de Investigacion Cientifica y Tecnicas CLICet*. Recuperado el 25 de Abril de 2016, de Centro Latinoamericano de Investigacion Cientifica y Tecnicas CLICet: [http://www.cienciayenergia.com/Contenido/pdf/100301\\_rad\\_ta.pdf](http://www.cienciayenergia.com/Contenido/pdf/100301_rad_ta.pdf)
- Elizondo, J. J. (Noviembre de 2002). *Universidad de Guadalajara*. Recuperado el 22 de Abril de 2016, de Universidad de Guadalajara: <http://proton.ucting.udg.mx/~cheko/pdf/matv.pdf>

- Engineers, S. o. (s.f). *Energy4me, Essential Energy Education*. Obtenido de Energy4me, Essential Energy Education: <http://energy4me.org/wp-content/uploads/Formation-of-Oil-ES.pdf>
- Escribano, R., & Castro, L. (s.f). Obtenido de <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/BioMarina/10.pdf>
- Figuera, A. (29 de Abril de 2010). *Madrid ciencias marinas y otros asuntos*. Recuperado el 26 de Abril de 2016, de Madrid Ciencias Marinas y otros asuntos: [http://www.madrimasd.org/blogs/ciencia\\_marina/2010/04/29/131462](http://www.madrimasd.org/blogs/ciencia_marina/2010/04/29/131462)
- Gallegos, A. (1996). *Descriptive physical oceanography of the caribbean sea*. Washington, DC.
- Gallegos, A. (1996). Descriptive physical oceanography of the Caribbean Sea. En A. Gallegos, *Gallegos, A* (págs. 36-55). Washington DC.
- Gallegos, A. (1996). *Descriptive physical oceanography of the caribbean sea*. Washington, DC.
- GeoEnciclopedia. (s.f). *GeoEnciclopedia*. Obtenido de <http://www.geoenciclopedia.com/mar-caribe/>
- GÓMEZ, A. O. (s.f). *Repositorio de la Universidad de Cantabria*. Recuperado el 27 de Abril de 2016, de Repositorio de la Universidad de Cantabria: <http://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/6361/Alejandro%20Orviz%20G%C3%B3mez.pdf?sequence=1>
- Guemes, A. S. (1 de Julio de 2010). *Universidad Politecnica de Catalunya*. Recuperado el 29 de Abril de 2016, de Universidad Politecnica de Catalunya: [http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12620/Tesina\\_Augusto\\_2010.pdf](http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12620/Tesina_Augusto_2010.pdf)
- Heredia, U. P. (2000). *Universidad Nacional de Educacion Enrique Guzman y Valle*. Recuperado el 10 de Abril de 2016, de <http://www.une.edu.pe/docentesune/jjhoncon/Descargas/Fasciculos%20CTA/Los%20Hidrocarburos.pdf>
- Herrera Andres, A. J. (2014). <http://repository.ucatolica.edu.co/>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/>: <http://repository.ucatolica.edu.co/jspui/bitstream/10983/2577/1/Estado-arte-estructuras-offshore-caribe-colombiano.pdf>
- Hoz, J. V. (Noviembre de 2006). *Banco de la Republica, Centro de Estudios Regionales (CEER)- Cartagena*. Obtenido de Banco de la Republica, Centro de Estudios Regionales (CEER)- Cartagena: [http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura\\_finanzas/pdf/DTSER-80.pdf](http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-80.pdf)

- IAPG. (s,f). *Camara Argentina del Gas Natural Comprimido*. Recuperado el 23 de Abril de 2016, de [http://www.gnc.org.ar/downloads/abc\\_petroleo\\_gas/capitulo\\_6.pdf](http://www.gnc.org.ar/downloads/abc_petroleo_gas/capitulo_6.pdf)
- IDEAM. (2001). *Ideam*. Recuperado el 27 de Abril de 2016, de Ideam: [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/002342/inocar/pages/oceanografia/capitulo1/int\\_cap1\\_imp.html](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/002342/inocar/pages/oceanografia/capitulo1/int_cap1_imp.html)
- IDEAM. (Enero de 2010). *Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales de Colombia*. Obtenido de Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales de Colombia: [http://www.ideam.gov.co/documents/21021/23877/E\\_\\_Portal\\_VARIABILIDAD+DE+L+A+TEMPERATURA+SUPERFICIAL+DEL+MAR+EN+EL+CARIBE+COLOMBIANO%5B1%5D.pdf/c3b0a31f-0e02-47e5-b6ff-109c92fd8b20](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/23877/E__Portal_VARIABILIDAD+DE+L+A+TEMPERATURA+SUPERFICIAL+DEL+MAR+EN+EL+CARIBE+COLOMBIANO%5B1%5D.pdf/c3b0a31f-0e02-47e5-b6ff-109c92fd8b20)
- Iniesta, R., & Blanco, J. (2005). *Revista Galegas-dos Recursos Marinos*. Obtenido de [http://www.recmar-galicia.org/pdf/IniestaRGRM\\_Monog2\\_2005.pdf](http://www.recmar-galicia.org/pdf/IniestaRGRM_Monog2_2005.pdf)
- Invemar. (2007). Diagnostico de la erosion en la zona costera del Caribe Colombiano. En INVEMAR, *Diagnostico de la erosion en la zona costera del Caribe Colombiano* (pág. 11). Bogota D.C, Colombia: Ediprint Ltda. Obtenido de INVEMAR.
- ITOPF. (30 de Junio de 2014). *ITOPF*. Obtenido de ITOPF: <http://www.itopf.com/es/knowledge-resources/documents-guides/document/2-destino-de-los-derrames-de-hidrocarburos-en/>
- ITOPF. (30 de Junio de 2014). *ITOPF*. Recuperado el 1 de Mayo de 2016, de ITOPF: [http://www.itopf.com/uploads/translated/TIP13\\_SPEffectsofOilPollutionontheEnvironment.pdf](http://www.itopf.com/uploads/translated/TIP13_SPEffectsofOilPollutionontheEnvironment.pdf)
- ITOPF. (30 de Junio de 2014). *ITOPF*. Recuperado el 3 de Mayo de 2016, de ITOPF: [www.itopf.com/uploads/translated/TIP11\\_SPEffectsofOilPollutiononFisheriesandMariculture.pdf](http://www.itopf.com/uploads/translated/TIP11_SPEffectsofOilPollutiononFisheriesandMariculture.pdf)
- ITOPF. (s.f.). *ITOPF*. Recuperado el 21 de Abril de 2016, de ITOPF: <http://www.itopf.com/in-action/case-studies/case-study/metula-chile-1974/>
- Landivar, U. R. (2013). *Biblioteca de la Universidad Rafael Landivar*. Recuperado el 25 de Abril de 2016, de Biblioteca de la Universidad Rafael Landivar: <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/BioMarina/04.pdf>
- Letzens, J. (11 de Noviembre de 2014). *Wreck Site*. Recuperado el 21 de Abril de 2016, de Wreck Site: <http://www.wrecksite.eu/wreck.aspx?18911>
- Llerandi-Román, P. A. (15 de Febrero de 2012). *Ciencias Terrestres, Geología y Puerto Rico Artículos sobre nuestro planeta*. Recuperado el 29 de Abril de 2016, de Ciencias

- Terrestres, Geología y Puerto Rico Artículos sobre nuestro planeta:  
<https://geolpr.wordpress.com/2012/02/15/las-corrientes-marinas-superficiales/>
- Lopez Martinez, M., & Acosta Rodriguez, J. A. (2004). *Universidad de Sevilla*. Recuperado el 21 de Abril de 2016, de <http://www.esi2.us.es/~mlm/RAN/ManualMatlabRAN.pdf>
- Madrid, C. d. (2002). El Petroleo, el recorrido de la energia. En C. d. Madrid, *El Petroleo, el recorrido de la energia* (págs. 4-7). Madrid, España: E.I.S.E. Domenech, S.A.
- Marzialetti, P. A. (Noviembre de 2011). *Universidad Nacional de Cordoba*. Obtenido de Universidad Nacional de Cordoba: [file:///C:/Users/vojeda/Desktop/TesisAEARTE-Pablo\\_Marzialetti.pdf](file:///C:/Users/vojeda/Desktop/TesisAEARTE-Pablo_Marzialetti.pdf)
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, P. (Septiembre de 2009). *SIICEX*. Obtenido de SIICEX: <http://www.siicex.gob.pe/siicex/documentosportal/188937685rad43065.pdf>
- Monroy, C. d. (s.f.). *tecnologiafuentenueva.wikispaces*. Obtenido de <https://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/petroleo.pdf>
- NOAA. (2001). *NOAA*. Recuperado el 27 de Abril de 2016, de [http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/Manual\\_Analisis\\_Trayectorias.pdf](http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/Manual_Analisis_Trayectorias.pdf)
- NOVOA, A. R. (1983). *SOCIEDAD GEOGRÁFICA DE COLOMBIA*. Recuperado el 10 de Abril de 2016, de SOCIEDAD GEOGRÁFICA DE COLOMBIA: [http://www.sogeocol.edu.co/documentos/geo\\_y\\_estrat.pdf](http://www.sogeocol.edu.co/documentos/geo_y_estrat.pdf)
- OCHINA. (s.f). *Características Hidro-Oceanografica del Mar Caribe*. Recuperado el 20 de Marzo de 2016, de OCHINA: <http://www.ochina.gov.ve/costas/metaoceanica/oriental.pdf>
- REDCAM. (2008). *Invemar*. Obtenido de Invemar: [http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/informe\\_redcam2008.pdf](http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/informe_redcam2008.pdf)
- Rengifo, V. M. (Octubre de 2006). *Parque Nacionales Naturales de Colombia*. Recuperado el 30 de Abril de 2016, de Parque Nacionales Naturales de Colombia: <http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/pdf/derramesdehidro.pdf>
- Mathworks*. (s.f ). Obtenido de <http://es.mathworks.com/products/matlab/>
- Shou-Dong Wang, Y.-M. S.-K. (15 de Diciembre de 2008). *Science Direct*. Obtenido de Science Direct: <http://gs1.dlut.edu.cn/newVersion/Files/dsxx/659.pdf>
- Sociedad Nacional de Minería, P. y. (Febrero de 2009). *Sociedad Nacional de Minería, Petroleo y Energia*. Recuperado el 25 de Marzo de 2016, de Sociedad Nacional de Minería, Petroleo y Energia: <http://www.snmpe.org.pe/pdf/Informe-Quincenal-Hidrocarburos-Los-hidrocarburos.pdf>

- Stewart, R. H. (2008). Introduction To Physical Oceanography. En R. H. Stewart, *Introduction To Physical Oceanography* (págs. 73-77). Texas.
- SuperIntendencia de Industria y Comercio. (2013). *SuperIntendencia de Industria y Comercio*. Recuperado el 21 de Marzo de 2016, de SuperIntendencia de Industria y Comercio: [http://www.sic.gov.co/drupal/recursos\\_user/documentos/promocion\\_competencia/Estudios\\_Economicos/Estudios\\_Economicos/Estudios\\_Mercado\\_Puertos.pdf](http://www.sic.gov.co/drupal/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Estudios_Economicos/Estudios_Mercado_Puertos.pdf)
- Tous Herazo, G., Castro Mercado, I., Cañón Páez, M. L., Quintalia Saavedra, D., & Torres, R. (2007). *Centro de Investigacion Oceanografica e Hidrologicas*. Recuperado el 27 de Abril de 2016, de CIOH: [http://www.cioh.org.co/index.php/component/docman/doc\\_download/846-panorama-de-la-contaminacion-del-caribe-colombiano](http://www.cioh.org.co/index.php/component/docman/doc_download/846-panorama-de-la-contaminacion-del-caribe-colombiano)
- Universidad de Guayaquil. (s.f.). *Universidad de Guayaquil*. Recuperado el 21 de Abril de 2016, de Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/849/1/1/TESISTANYA%200034-1.pdf>
- Urueña, C. H. (2009). Técnicas de solución numérica de la ecuación de Difusión-Advección-Reacción para el estudio de dispersión de contaminantes. *Universidad Nacional de Colombia*, 13.
- UTB. (2015). *Universidad Tecnologica de Bolivar*. Recuperado el 16 de Marzo de 2016, de Universidad Tecnologica de Bolivar: <http://www.unitecnologica.edu.co/acerca>
- UTB. (2015). *Universidad Tecnologica de Bolivar*. Obtenido de Universidad Tecnologica de Bolivar: <http://www.unitecnologica.edu.co/estructura>
- Valdés, D. P. (26 de Octubre de 2007). *Maestro del Web*. Recuperado el 10 de Abril de 2016, de <http://www.maestrosdelweb.com/que-son-las-bases-de-datos/>
- Valverde, R. (s.f.). *Grupo Adela*. Recuperado el 1 de Mayo de 2016, de Grupo Adela: <http://www.grupoadela.org/labici/02efectos.html>
- Viloria de la Hoz, J. (Noviembre de 2006). *Banco de la Republica (Centro de Estudios Economicos Regionales - Cartagena)*. Obtenido de Banco de la Republica (Centro de Estudios Economicos Regionales - Cartagena): [http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura\\_finanzas/pdf/DTSER-80.pdf](http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-80.pdf)
- Wright, J., & Colling, A. (2007). *Seawater: Its Composition Properties and Behaviour*. The Open University.

# Apéndices

## APÉNDICES A

### GUIA DE DESCARGA DE LOS ARCHIVOS BASE DE DATOS HYCOM

Como anteriormente se había mencionado los datos de las variables oceánicas del área de estudios (Temperatura, Salinidad y Corrientes del Mar) se extrajeron de la base datos experimental HYCOM desde su página de internet *hycom.org*. Se optó por escoger esta base de datos debido a que los datos están registrados con una mayor resolución lo que permite un mejor análisis de las variables del componente físico del mar.

- ✚ Se descargaron los datos diarios de Temperatura, Salinidad y Corrientes del mar para los periodos de 1996-2016 (20 años), con una resolución espacial de aproximadamente 0,08°, perteneciente a la base de datos HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM), de su página de internet (<ftp://http://hycom.org/dataserver/glb-reanalysis>), archivos que se encuentran en formatos NetCDF, estos datos luego se procesaron en Matlab para obtener las variables de Temperatura, Salinidad y Corrientes.
- ✚ Se descargaron los datos de una manera secuencial, primero se descargaron los datos de Salinidad y Temperatura del mar; luego se descargaron el de Superficie y después se descargaron los de Velocidades, cada archivo se encuentra almacenados en carpetas por año y por mes; la codificación que se le dio a cada archivo descargado fue de:

#### Tabla 10

*Codificación de los archivos descargados de la base de datos experimental HYCOM*

---

#### Codificación de los archivos

---

1= Salinity y WaterTemp

2= Super\_el

3= Water\_u y Water\_v

---

*Fuente: El Pasante*

**Tabla 11***Perfiles de profundidad*

<b>N°</b>	<b>Profundidad (m)</b>		
		22	150.0
1	0.0	23	200.0
2	2.0	24	250.0
3	4.0	25	300.0
4	6.0	26	350.0
5	8.0	27	400.0
6	10.0	28	500.0
7	12.0	29	600.0
8	15.0	30	700.0
9	20.0	31	800.0
10	25.0	32	900.0
11	30.0	33	1000.0
12	35.0	34	1250.0
13	40.0	35	1500.0
14	45.0	36	2000.0
15	50.0	37	2500.0
16	60.0	38	3000.0
17	70.0	39	4000.0
18	80.0	40	5000.0 m
19	90.0		
20	100.0		
21	125.0		

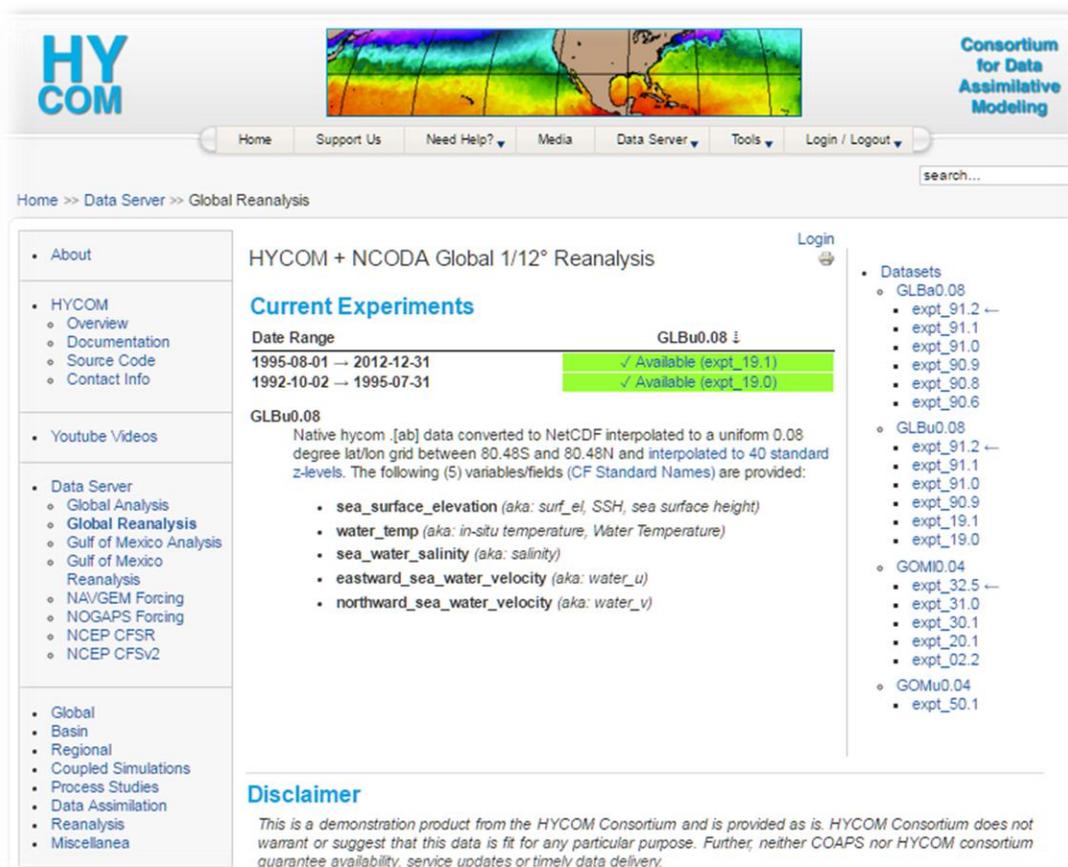
## 1. Procesar los datos de Corrientes, Temperatura y Salinidad obtenidos de la base de datos experimental HYCOM del Área de Estudio.

Para cumplir con el objetivo: construir una base de datos que permita entender las variaciones espaciotemporales de la temperatura, salinidad y altura superficial del mar, en el Mar Caribe Colombiano:

### 1.1 Actividad: Extraer desde la base de datos HYCOM la información oceanográfica correspondiente a la región geográfica de interés para organizarla y procesarla

1 Primero se descargaron los datos de la base de datos oceanográfica HYCOM:

<http://hycom.org/dataserver/glb-reanalysis>



The screenshot shows the HYCOM web data server interface. The main content area displays the following information:

**HYCOM + NCODA Global 1/12° Reanalysis**

**Current Experiments**

Date Range	GLBu0.08
1995-08-01 → 2012-12-31	✓ Available (expt_19.1)
1992-10-02 → 1995-07-31	✓ Available (expt_19.0)

**GLBu0.08**

Native hycom .[ab] data converted to NetCDF interpolated to a uniform 0.08 degree lat/lon grid between 80.48S and 80.48N and interpolated to 40 standard z-levels. The following (5) variables/fields (CF Standard Names) are provided:

- sea\_surface\_elevation (aka: surf\_el, SSH, sea surface height)
- water\_temp (aka: in-situ temperature, Water Temperature)
- sea\_water\_salinity (aka: salinity)
- eastward\_sea\_water\_velocity (aka: water\_u)
- northward\_sea\_water\_velocity (aka: water\_v)

**Disclaimer**

*This is a demonstration product from the HYCOM Consortium and is provided as is. HYCOM Consortium does not warrant or suggest that this data is fit for any particular purpose. Further, neither COAPS nor HYCOM consortium guarantee availability, service updates or timely data delivery.*

Figura 95: Web Data Sever HYCOM

De esta base de datos se des cargaron, datos convertidos a NetCDF, interpolados a 0,08 grado, en una cuadrícula uniforme de latitud-longitud entre 8 S y 12 N e interpolados a 40 niveles de profundidad. Se escogieron dos experimentos que tienen los datos con re-análisis y en el periodo de tiempo de octubre de 1992 a 2015. Estos datos proporcionan las siguientes variables:

- sea-surface-elevation (Altura de la superficie del mar)
- water-temp (Temperatura in situ, temperatura del agua)
- sea-warer-salinity (Salinidad del agua del mar)
- eastward-sea-water-velocidad (Velocidad de corriente en longitud)
- northward-sea-water-velocity (Velocidad de corriente en latitud)

The screenshot shows the HYCOM website interface. At the top, there is a logo for HYCOM and a banner image of a global ocean map. Below the banner is a navigation menu with links: Home, Support Us, Need Help?, Media, Data Server, Tools, and Login / Logout. A search bar is located on the right side of the navigation menu.

The main content area displays the following information:

- Home >> Datasets >> GLBu0.08 >> expt\_19.1**
- HYCOM + NCODA Global 1/12° Reanalysis (GLBu0.08/expt\_19.1)**
- ACCESS DATA HERE** (button) **Need support? Email forum@hycom.org**
- Title:** HYCOM GLBu0.08
- Resolution:** 1/12.5° (~0.08°)
- Institution:** Naval Research Laboratory
- Date/Data Range:** August 1, 1995 to December 31, 2012
- Experiment:** 19.1
- Configuration:** blkdat.input\_19.1
- Computational Grid:** Uniform 0.08° between 80.48°S - 80.48°N

**System Description**

The system is configured for the global ocean with HYCOM 2.2 as the dynamical model. Computations are carried out on the GLBb0.08 computational grid but here the output served on the uniform GLBu0.08 grid. There are 32 vertical layers (see blkdat.input). The bathymetry is derived from the 30-arc second GEBCO dataset. Surface forcing is from 1-hourly National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) with horizontal resolution of 0.3125° and includes wind stress, wind speed, heat flux (using bulk formula), and precipitation. The diurnal cycle is adequately resolved because of the temporal frequency of the input forcing. For additional details on the model configuration such as layer reference densities time steps, advection scheme, mixing etc. see blkdat.input. Except for the input forcing, the configuration of this Ocean Reanalysis is the same as the Global Ocean Forecast System 3.0, i.e. GLBa0.08-90.X and 91.X also served at hycom.org.

Note that the experiment number changes from 19.0 to 19.1 in August 1995 because the integration of the hindcast was moved from the Navy DoD Supercomputing Resource Center (DSRC) IBM Power 6 (DaVinci) to the IDataPlex (Kilrain) supercomputer. There were small changes to NCODA, but none that should have any significant impact on the model solution.

**Left Sidebar:**

- About
- HYCOM
  - Overview
  - Documentation
  - Source Code
  - Contact Info
- Youtube Videos
- Data Server
  - Global Analysis
  - Global Reanalysis
  - Gulf of Mexico Analysis
  - Gulf of Mexico Reanalysis
  - NAV/GEM Forcing
  - NOGAPS Forcing
  - NCEP CFSR
  - NCEP CFSv2
- Global
- Basin
- Regional
- Coupled Simulations
- Process Studies
- Data Assimilation
- Reanalysis
- Miscellanea
- Ocean Prediction

**Right Sidebar:**

- Datasets
  - GLBa0.08
    - expt\_91.2
    - expt\_91.1
    - expt\_91.0
    - expt\_90.9
    - expt\_90.8
    - expt\_90.6
  - GLBu0.08
    - expt\_91.2
    - expt\_91.1
    - expt\_91.0
    - expt\_90.9
    - expt\_19.1
    - expt\_19.0
  - GOMIO.04
    - expt\_32.5
    - expt\_31.0
    - expt\_30.1
    - expt\_20.1
    - expt\_02.2
  - GOMu0.04
    - expt\_50.1

Figura 96: Descripción del sistema y acceso a datos

Se accede a los datos de descarga en la sección de descripción del sistema, mediante el botón **Access Data Here** (Ver Figuras 94, 95 y 96) y este nos lleva a la selección de datos, donde luego se decide el formato a descargar (Ver Figura 97).

The screenshot shows a web interface for a THREDDS data catalog. At the top left is the 'HYCOM' logo. The main header displays the catalog URL: [http://tds.hycom.org/thredds/GLBu0.08/expt\\_19.1.html](http://tds.hycom.org/thredds/GLBu0.08/expt_19.1.html). Below this, the dataset is identified as 'HYCOM + NCOA Global 1/12 degree Reanalysis'. A sub-directory 'GLBu0.08/expt\_19.1' is expanded to show a list of 18 options, each representing a year's worth of reanalysis data from 1995 to 2012, all at 00Z. The first option is '(ALL) Reanalysis Data: 1995-08-01 to 2012-12-31 at 00Z'.

Figura 97: Listado de Opciones de Datos.

Luego de seleccionar, por ejemplo, según Figura 97, la primera opción (*ALL*) *Reanalysis Data: 1995-08-01 to 2012-12-31 at 00Z*, accedemos a la parte donde se especifica el formato en el cual los datos serán comprimidos y descargados.

The screenshot shows the metadata page for the selected dataset. It includes the 'HYCOM' logo and 'THREDDS Data Server' text. The catalog URL is repeated. The dataset name is 'HYCOM + NCOA Global 1/12 degree Reanalysis/GLBu0.08/expt\_19.1/(ALL) Reanalysis Data: 1995-08-01 to 2012-12-31 at 00Z'. The 'Data format' is 'netCDF', 'Data type' is 'GRID', 'Naming Authority' is 'edu.ucar.unidata', and 'ID' is 'GLBu0.08-expt\_19.1'. The 'Documentation' section lists 'rights: Freely available' and a link to 'GLBu0.08-expt\_19.1 Documentation'. The 'Access' section lists five methods: 1. OPENDAP, 2. NetcdfSubset, 3. WMS, 4. WCS, and 5. FTP. The 'Creators' section lists 'Naval Research Laboratory (NRL)' with email and URL. The 'Publishers' section lists 'HYCOM.org' with email and URL. The 'Viewers' section lists 'Godiva2 (browser-based)', 'NetCDF-Java ToolsUI (webstart)', and 'Integrated Data Viewer (DV) (webstart)'.

Figura 98: Formatos de paquetes de datos

Una vez seleccionado el formato en el cual serán descargados los paquetes de datos (*NetCDF Subset*), se procede a la página donde especificamos el set de datos que se desea descargar (Ver Figura).

The screenshot shows a web browser window with the URL `nccs.hycom.org/thredds/nccs/grid/GLBu0.08/expt_19.1/dataset.html`. The page displays a list of variables for selection:

- surf\_el = Water Surface Elevation
- with Vertical Levels [ depth ] : 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 15.0 20.0 25.0 30.0 35.0 40.0 45.0 50.0 60.0 70.0 80.0 90.0 100.0 125.0 150.0 200.0 250.0 300.0 350.0 400.0 500.0 600.0 700.0 800.0 900.0 1000.0 1250.0 1500.0 2000.0 2500.0 3000.0 4000.0 5000.0 m
- salinity = Salinity
- water\_temp = Water Temperature
- water\_u = Eastward Water Velocity
- water\_v = Northward Water Velocity

On the right side, there are several configuration sections:

- Lat/lon subset:** Coordinate subset. Bounding box in decimal degrees (initial extents are approximate):
  - north: 28.0000
  - west: -92.0000 east: -58.0000
  - south: 6.0000
  - Disable horizontal subsetting
  - reset to full extension
- Horizontal Stride:** 1
- Choose Time Subset:**
  - Time range: Single time
  - Start: 1995-08-01T00:00:00Z
  - End: 2012-12-31T00:00:00Z
  - Stride: 1
  - reset to full extension
- Choose Vertical Level:**
  - Single Level Vertical Stride
  - Level: [ ]
- Add 3D Lat/Lon to file (if needed for CF compliance):**
  - Add Lat/Lon variables
- Choose Output Format:**
  - Format: netcdf

At the bottom, the "NCCS Request URL:" is displayed in a grey box:

```
http://nccs.hycom.org/thredds/nccs/GLBu_08/expt_19.1?var=salinity&var=water_temp&addLatLonSubset=on&addLonSubset=on&horizStride=1&time_start=1995-08-01T00:00:00Z&time_end=2012-12-31T00:00:00Z&netcdfSubset=1&vertCoord=0&addLatLon=true&accept=netcdf
```

Below the URL are "Submit" and "Reset" buttons.

Figura 99: Ventana de descarga de datos

## APÉNDICES B

### ORGANIZACIÓN DE BASE DE DATOS DE HYCOM, ENTRE 200 A 3.000M DE PROFUNDIDAD, DE LAS VARIABLES OCEÁNICAS TEMPERATURA, SALINIDAD Y CORRIENTES DEL MAR CARIBE COLOMBIANO.

Para el cumplimiento de la actividad, se describe la manera como fue almacenada cada uno de los datos descargados de la base de datos HYCOM, con el fin de construir una base de datos.

- 1- Después de la descarga de los datos (Anexo A), se almacenaron en carpetas por año, para una mayor facilidad.

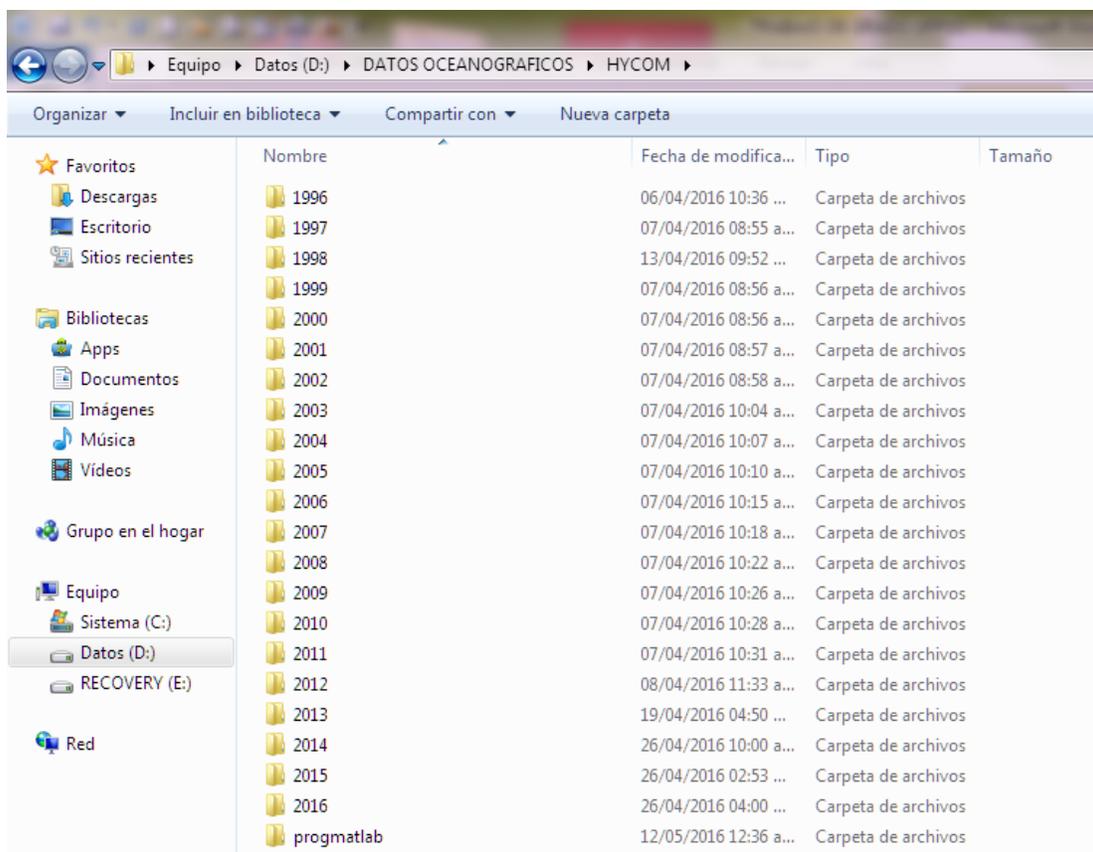


Figura 100: Almacenamiento de los datos en los años comprendidos de 1996 hasta el presente.

2. Dentro de cada carpeta correspondiente al año, se encuentran una secuencia de carpetas con respecto al mes de descarga (Ver Figura 101).

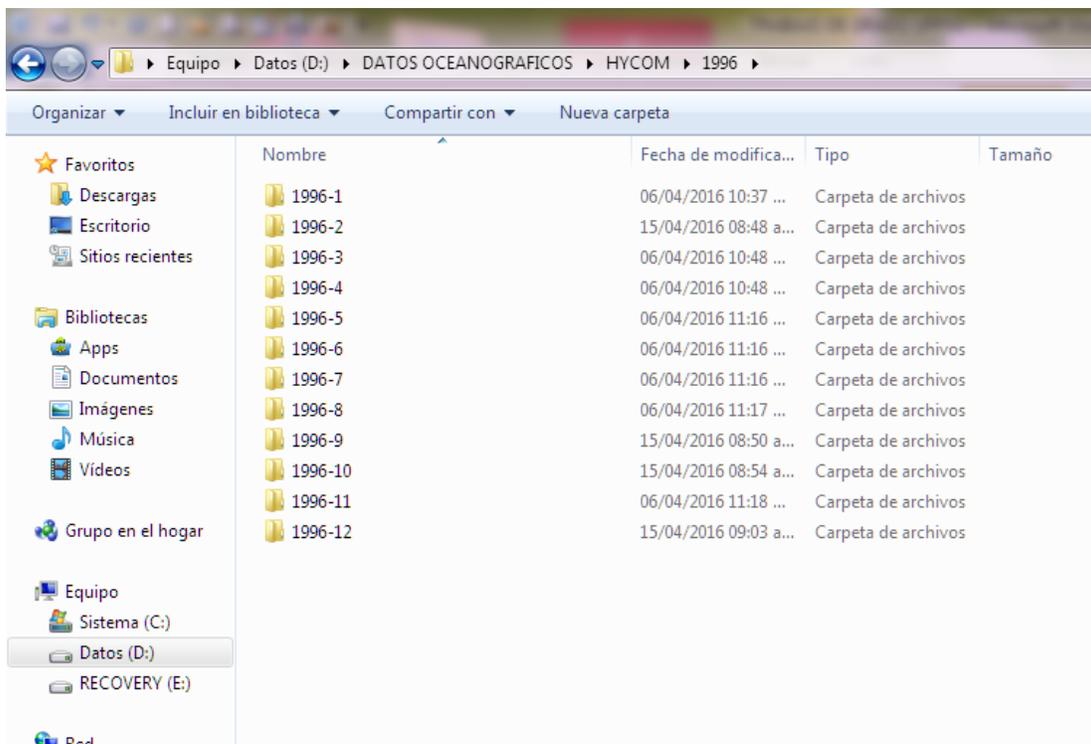


Figura 101: Almacenamiento de los datos por mes de cada año

3. Por ultimo en las carpetas especificada por el mes, se encuentran los archivos descargados en formato NetCDF de la base de datos experimental HYCOM, con la codificacion que se les asigno anteriormente mencionada (1,2,3), cada archivo numerado contiene informacion de: (Ver Figura 102)

- 1: Salinidad y Temperatura del Mar
- 2: Superficie del nivel del Mar
- 3: Velocidad de Corrientes

Ademas cuenta con informacion de profundidad que se encuentra comprendida entre 0 a 5.000m y del tiempo que hace referencia al año, mes y dia.

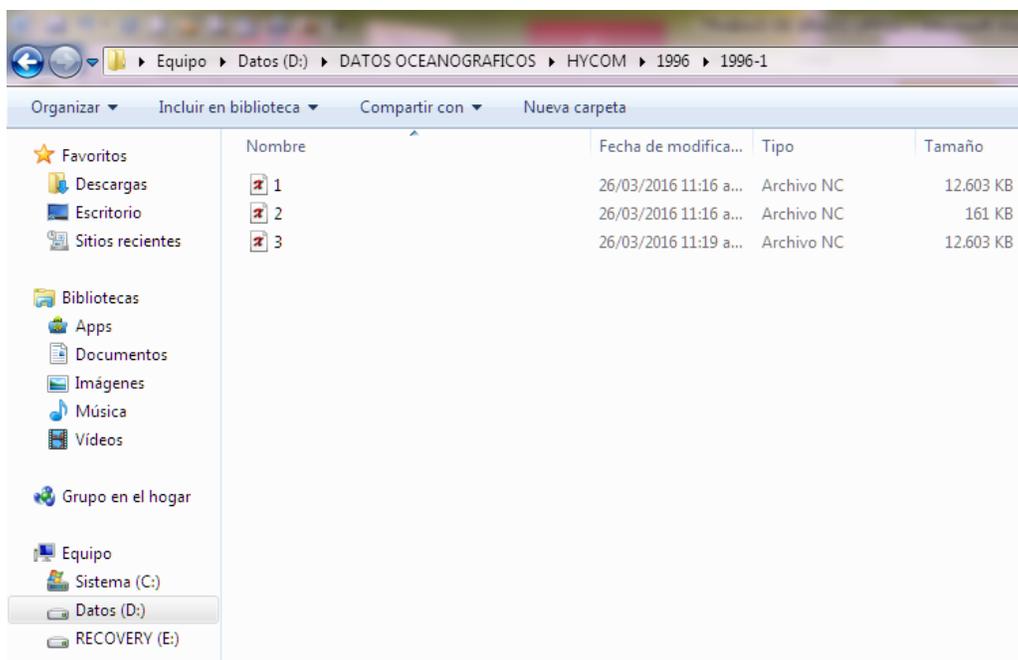


Figura 102: Datos descargados de la base de datos HYCOM, almacenados de manera codificada en 1, 2, 3.

Después de las descargas y el almacenamiento de cada una de las variables que fueron descargados de la página HYCOM, luego de la extracción de los valores de cada una de las variables a través del programa escrito en Matlab, se organizaron las graficas de cada una de las variables en los diferentes niveles de profundidad (superficie, 10.0m, 30.0m, 100.0m, 500.0m, 1000.0m, 3000.0m).

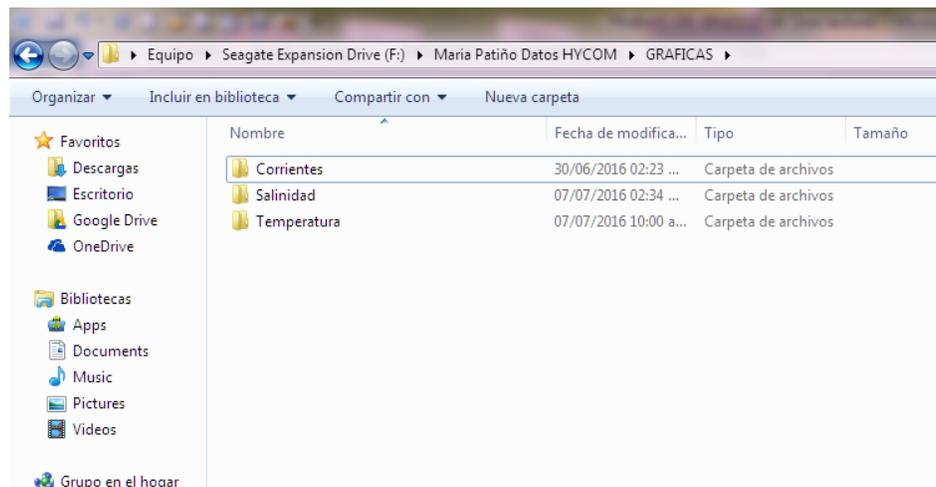
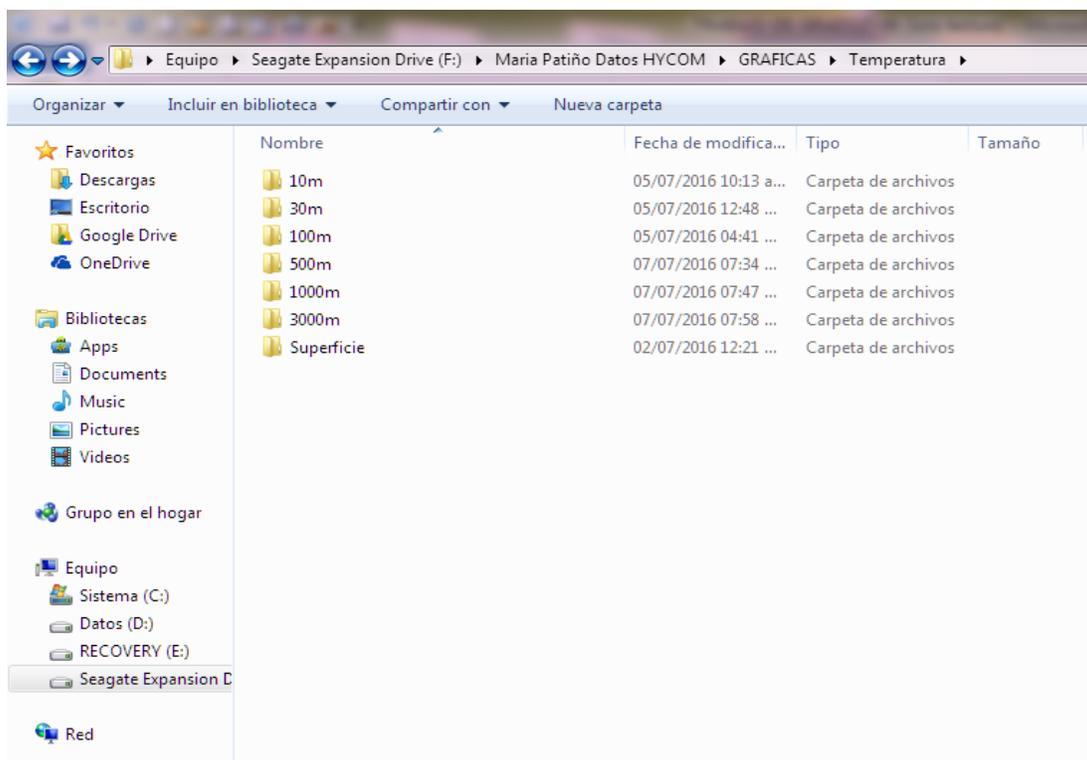
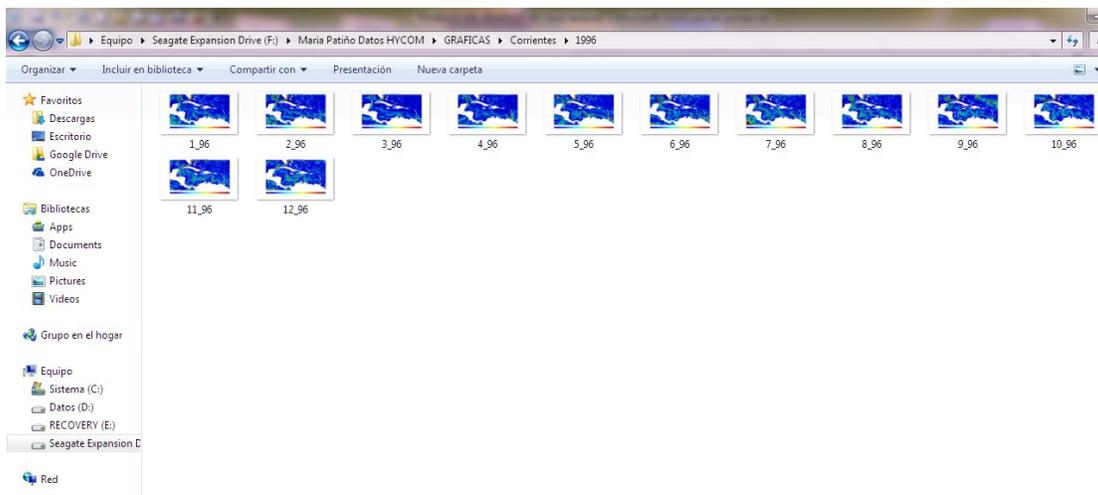


Figura 103: Carpetas de almacenamiento de las gráficas de las variables oceánicas



*Figura 104: Almacenamiento por Niveles*



*Figura 105: Gráficos de Corrientes*

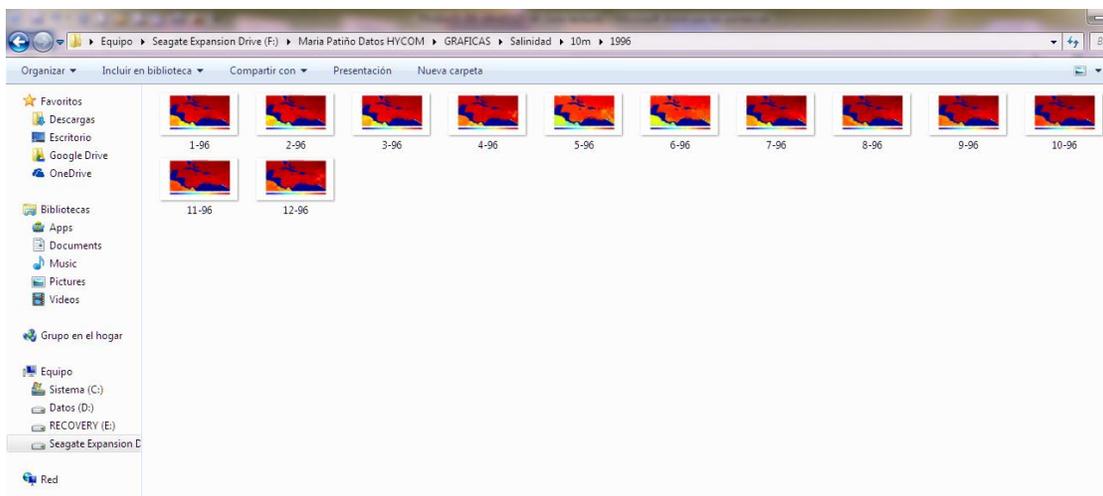


Figura 106: Graficos de Salinidad

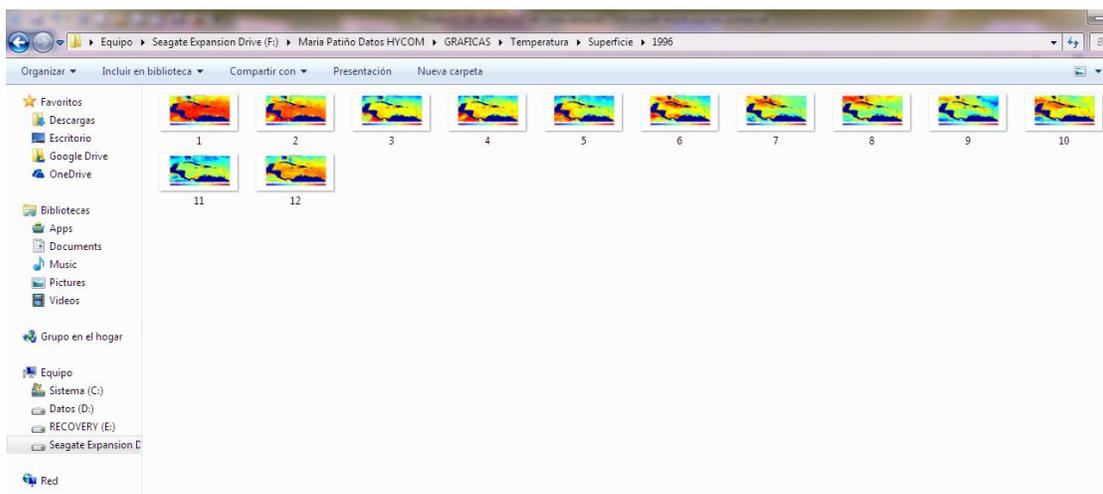
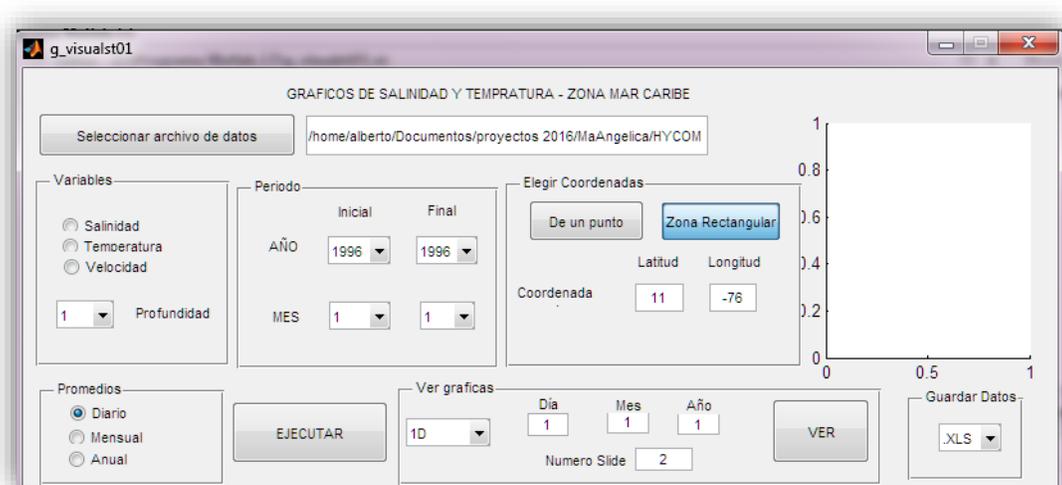


Figura 107: Graficos de Temperatura

## APÉNDICES C

### DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DISEÑADO PARA LA LECTURA DE LOS DATOS.

Para la lectura de los datos que se descargaron de la página de HYCOM fue necesario realizar un programa escrito en Matlab que nos permitiera obtener los valores de las variables oceánicas descargadas, a través de este programa fue posible obtener los diferentes mapas el cual nos ayudó para analizar el cambio que han sufrido las variables al pasar el tiempo, este programa está diseñado para obtener mapas de flujo donde se pueden apreciar las diferencia de temperatura, salinidad y velocidad de corrientes y realizar la línea de tendencia de cada una de las variables.

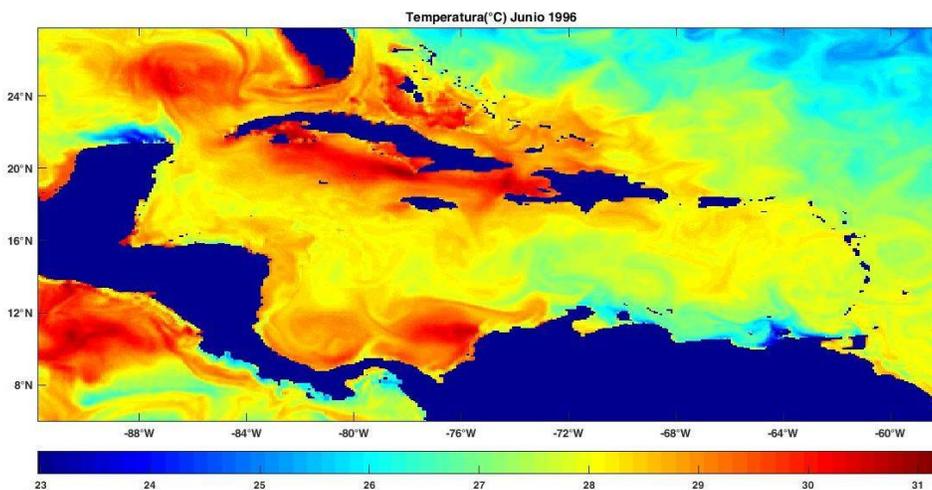


*Figura 108: Programa Escrito en Matlab, para la lectura de los archivos descargados de la base de datos HYCOM*

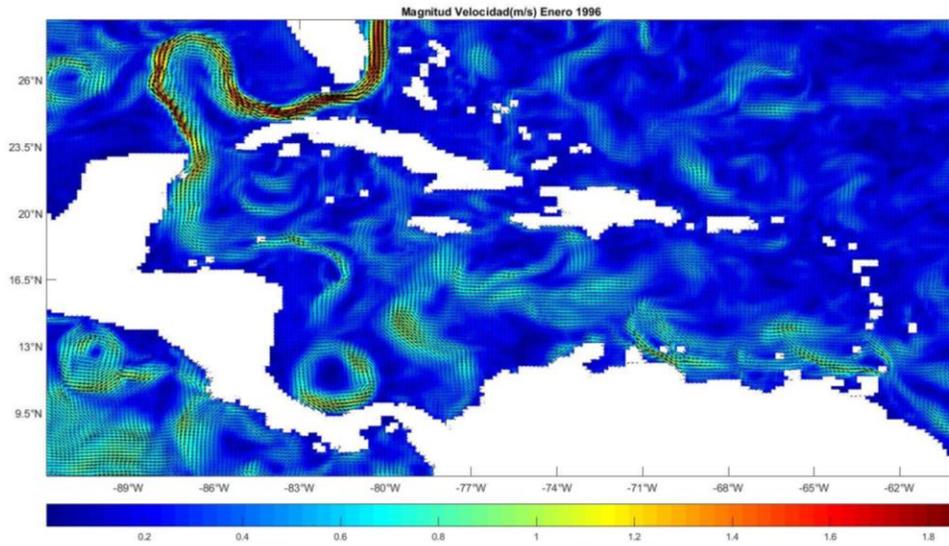
### - Paso a Paso

- 1- Para la utilización del programa como primer paso se debe seleccionar la carpeta donde se encuentra construida la base de datos (Ver anexo B).
- 2- Luego se seleccionan la variable que se quiera apreciar (Temperatura, Salinidad y Velocidad), se selecciona a que profundidad quiera verse en esta parte se manejan 40 perfiles de profundidad.
- 3- Luego selecciona el periodo o el año que quiere apreciar este programa está diseñado con datos desde 1996 hasta el presente, el programa se encuentra diseñado para realizar promedio de un año a otro.
- 4- Después se eligen el punto o la zona rectangular que se quiera apreciar.
- 5- Se elige si se quiere un promedio Diario, Mensual o Anual.
- 6- Se ejecuta para poder ver las gráficas.

Se pueden apreciar graficas:



*Figura 109: Graficas 2D, El Pasante*



*Figura 110:* Graficas de Flujo de Corrientes, Pasante