

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES
ESCUELA DE GEOGRAFÍA**

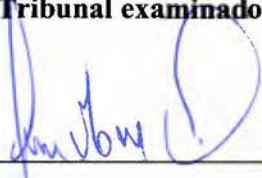
**PRACTICA DIRIGIDA PARA OPTAR POR EL GRADO DE
LICENCIATURA EN GEOGRAFÍA**

**Sensibilidad ambiental ante derrame de hidrocarburos entre la
desembocadura del río Matina y Puerto Limón, Costa Rica.**

Jorge Isaac Esquivel Jiménez
Carné A01521

San José, Costa Rica
2011

Tribunal examinador:



M. S.c. Luis Guillermo Brenes Quesada.
Director.



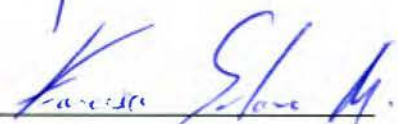
M. Sc. Fresje Camacho Ruiz.
Lectora.



Dr. Jean Pierre Bergoeing Guida.
Lector.



Dr. Gilbert Vargas Ulate.
Director de la Escuela de Geografía.



M. S.c. Francisco Javier Solano
Representante del Decano de la Facultad de Ciencias Sociales



07 de abril del 2010
GPCI-A-063-2011

Comité Asesor
Escuela de Geografía
Universidad de Costa Rica

Estimados señores:

ASUNTO: APROBACIÓN DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA DEL ESTUDIANTE JORGE ISSAC ESQUIVEL JIMÉNEZ, EN RECOPE

La Unidad Ambiental de la Gerencia de Proyectos y Comercio Internacional, de la Refinadora Costarricense de Petróleo S.A, localizada en oficinas centrales Barrio Tournón en Goicoechea, ha aceptado como terminado y aprobado el proyecto de graduación del estudiante en geografía Jorge Isaac Esquivel Jiménez.


El proyecto llamado "*Sensibilidad ambiental ante derrame de hidrocarburos entre la desembocadura del río Matina y Puerto Limón, Costa Rica*", cumple con los objetivos iniciales del mismo y según lo estipulado en el contrato de labores firmado por Jorge Esquivel y RECOPE, el día 16 de junio del 2010, con duración de ocho meses de apoyo económico para el estudiante, los cuales ya están finalizados.

Asimismo fui la Asesora del proyecto ya que tengo una Maestría en Sistema de Información Geográfica y Teledetección de la Universidad de Costa Rica y Universidad Nacional.

Cualquier consulta favor dirigirse a los correos electrónicos fresie-cr@recope.go.cr giovanni-ss@recope.go.cr

Atentamente,

UNIDAD AMBIENTAL


MSc. Fresie Camacho Ruiz
Geógrafa Unidad Ambiental
Gerencia de Proyectos y Comercio Internacional




Sc. Giovanni Sánchez Silesky
Jefe Unidad Ambiental

FCR/vera

C: Expediente de proyecto

C:\UNIDAD AMBIENTAL\CONSECUTIVO 2011\04\ABRIL\GPCI-A-063-2011 (APROBACIÓN DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN).doc

Tel.: 2284-4939 Fax 2258-4240 Apdo. 4351-1000 San José, Costa Rica fresie-cr@recope.go.cr
www.recope.go.cr



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES
ESCUELA DE GEOGRAFÍA



23 de mayo de 2011

Señor
Dr. Gilbert Vargas Ulate
Director
Escuela de Geografía

Asunto: AUTORIZACION PARA PRESENTAR EXAMEN DE GRADUACIÓN PARA
OPTAR AL GRADO DE LICENCIATURA EN GEOGRAFIA DEL ESTUDIANTE:
ISAAC ESQUIVEL JIMENEZ. Carnet A01521

Estimado señor:

Vistos, la memoria de Práctica dirigida intitulada “Sensibilidad ambiental ante derrame de hidrocarburos entre la desembocadura del río Matina y Puerto Limón, Costa Rica” elaborada por el estudiante Isaac Esquivel Jiménez y visto las correcciones sugeridas por los lectores y realizadas en la Memoria precitada, por el estudiante, aprobamos la misma y lo autorizamos a presentarse a la defensa de su Memoria en la hora y día que sea fijado por la autoridad universitaria.

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio a 23 de mayo de 2011.

M.Sc. Luis Guillermo BRENES QUESADA
Director de Tesis

Dr. Jean Pierre BERGOEING GUIDA
Lector.



Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro, Montes de Oca. San José, Costa Rica

TEL: (506) 2511-6402 / FAX: (506) 2234-7246/Código postal 11501-2060

Correo electrónico: geografia@ucr.ac.cr Visítenos en nuestra página en internet: <http://geografia.fcs.ucr.ac.cr>

Agradecimientos:

Al profesor Guillermo Brenes Quesada, un excelente profesional y un gran tutor, por su constante e invaluable colaboración. A Fresie Camacho y Giovanni Silesky, tanto por brindarme la oportunidad de realizar el proyecto en Recope, como por la asistencia brindada a lo largo del proyecto. Además a los profesores Jean Pierre Bergoeing e Isabel Avendaño por sus acertadas y oportunas observaciones.

Dedicatoria:

A Dios y a mi familia.

RESUMEN

La sensibilidad ambiental consiste en el potencial de afectación que puede sufrir un área determinada como resultado de la alteración de sus procesos físicos, bióticos o socioeconómicos que la caracterizan, debido a la intervención de una actividad humana o fenómeno natural. Para efectos de la presente investigación, se trata de la intolerancia de una unidad de tierra a factores, elementos o agentes externos. Los objetivos de estudios sobre esta temática se centran en la identificación de áreas por grado de sensibilidad, suministrar información útil en la toma de decisiones y representar, principalmente a través de la cartografía, la distribución espacial de dicha sensibilidad.

El proyecto por realizar toma como objeto de estudio la sensibilidad ambiental en el sector litoral de Costa Rica, ubicado entre la desembocadura del río Matina y Puerto Limón ante una amenaza constante y específica: derrame de hidrocarburos. Los alcances del mismo pretenden abarcar el derrame de hidrocarburos en tierra y en mar (solamente para casos donde la mancha de petróleo llegue a las costas), ya sea por fugas en tanques de almacenamiento en Refinería Moín, por operaciones de carga y descarga en el muelle petrolero o por incidentes en su transporte por medio de poliductos, camiones cisterna o barcos; sin embargo, los riesgos están enfocados al ambiente terrestre, y no así al hábitat marino, de manera tal, que no se considera el flujo de la mancha de petróleo en la columna de agua (dispersión vertical en mar). Para la obtención de resultados, se recurre a una metodología australiana para la clasificación de paisajes denominada *Levantamiento de Unidades de Tierra* confeccionada por el organismo gubernamental *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)*.

Asociado a ello, para entender mejor las repercusiones espaciales causadas por un derrame de hidrocarburos, resulta esencial el conocimiento previo de dicha sustancia, según sus propiedades físicas y químicas como responsables de su comportamiento en mar y tierra. Por tal motivo se realiza un esfuerzo por determinar dichas características de productos derivados de hidrocarburos, manejados en la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE).

Metodológicamente, el trabajo presenta un levantamiento de unidades de tierras integrado en el análisis, si bien no lo es en la participación de un grupo de especialistas multidisciplinario. El objetivo es identificar las áreas ambientalmente frágiles ante una amenaza específica, por medio de la aplicación de un enfoque paisajista. Los métodos e instrumentos utilizados a lo largo de la investigación siguen las líneas generales de la metodología del CSIRO, junto con algunas adaptaciones al área de estudio y escala de análisis. La fotointerpretación directa constituye la actividad principal que permite delimitar áreas homogéneas según el componente analizado, para más adelante ser verificado con el trabajo de campo. De manera complementaria se realizan labores de campo y laboratorio con el fin de someter a prueba consideraciones ya establecidas sobre el tema.

Para representar cartográficamente las unidades vulnerables del paisaje y el grado de sensibilidad, por lo general se utilizan índices sencillos, ya sean numéricos o cualitativos, acompañados de diagramas o tablas. En este sentido, el mapa final procura plasmar en términos cartográficos los principales resultados y observaciones a lo largo de la investigación.

Índice general.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
HIPÓTESIS	7
JUSTIFICACIÓN DEL TEMA	8
Área de estudio	10
Criterios para su delimitación.....	11
ANTECEDENTES	12
OBJETIVOS	15
MARCO JURÍDICO.....	16
CAPITULO II: MARCO CONCEPTUAL.....	19
1. MÉTODO DE LEVANTAMIENTO UNIDADES DE TIERRA DEL CSIRO (AUSTRALIA)	20
1.1 Generalidades.....	20
1.2 Taxonomía	21
1.3 Componentes ambientales: variables enlazadas del paisaje	23
1.4 El paisaje como unidad.....	28
2. SENSIBILIDAD AMBIENTAL.....	29
2.1 Sensibilidad ambiental en función de la actividad hidrocarburífera	29
2.2 Clases de sensibilidad según volumen de derrame	32
3. LOS HIDROCARBUROS Y EL AMBIENTE	33
3.1 Derrame: causas y consecuencias.....	33
3.2 Propiedades físicas y químicas.....	36
3.3 Clasificación.....	38
CAPITULO III: METODOLOGÍA	40
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	41
2. FOTOINTERPRETACIÓN.....	42
• Geología, clima y geomorfología.....	42
• Vegetación, suelo y uso de la tierra.....	43
• Oleaje y marea:	43
• Facetas de tierra:.....	44
3. PLANIFICACIÓN DEL MUESTREO.....	44
4. TRABAJO DE CAMPO Y LABORATORIO.....	44
a) Observación y compilación de información en las giras de reconocimiento.....	44
b) Verificación de límites.....	45
c) Extracción de muestras de arenas para análisis granulométricos y morfoscopia de cuarzo ...	45
d) Determinación de la conductividad hidráulica, capacidad de campo y densidad aparente.....	46
e) Ensayo de infiltración de hidrocarburos en arena de playa.....	47
5. REELABORACIÓN CARTOGRÁFICA Y DELIMITACIÓN DE UNIDADES DE TIERRA.....	50
6. ANÁLISIS INTRAUNIDAD.....	51
CAPITULO IV: RESULTADOS Y CONTENIDOS	54
1. ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA DE UNIDADES DE TIERRA DEL CSIRO	54
1.1 DELIMITACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS UNIDADES DE PAISAJE.....	54
A. Geología.....	54
B. Geomorfología	59
C. Clima.....	66

1. <i>Precipitación:</i>	66
2. <i>Temperatura:</i>	66
3. <i>Vientos:</i>	68
1.2 DELIMITACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES DE TIERRA.....	69
<i>D. Vegetación</i>	69
<i>E. Suelo</i>	71
<i>F. Uso de la Tierra.</i>	81
<i>G. Mareas y oleaje</i>	85
1.3 SISTEMA DE UNIDADES DE TIERRA.	89
2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE HIDROCARBUROS MANEJADOS EN RECOPE.....	91
3. MAPA DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL ANTE DERRAME DE HIDROCARBUROS.....	95
CAPITULO V: CONCLUSIONES	100
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFÍA.....	106

Índice de mapas.

MAPA 1: SITUACIÓN DE LA MANCHA DE PETRÓLEO EN EL GOLFO DE MÉXICO PARA EL 14 DE JULIO DEL 2010	5
MAPA 2: SITUACIÓN DE LA MANCHA DE PETRÓLEO EN EL GOLFO DE MÉXICO PARA EL 20 DE JULIO DEL 2010	6
MAPA 3: UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	10
MAPA 4: GEOLOGÍA ENTRE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO MATINA Y PUERTO LIMÓN.....	58
MAPA 5: GENERALIDADES SOBRE EL EFECTO DEL TERREMOTO DE 1991.....	62
MAPA 6: PRINCIPALES RASGOS GEOMORFOLÓGICOS ENTRE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO MATINA Y PUERTO LIMÓN.....	64
MAPA 7: GEOMORFOLOGÍA ENTRE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO MOÍN Y PUERTO LIMÓN.....	65
MAPA 8: CLASIFICACIÓN DEL SUELO ENTRE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO MATINA Y PUERTO LIMÓN.....	76
MAPA 9: USO DE LA TIERRA ENTRE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO MATINA Y PUERTO LIMÓN.....	84
MAPA 10: SISTEMA DE UNIDADES DE TIERRA, ESPACIO LITORAL ENTRE LA BOCA MATINA Y PUERTO LIMÓN	90
MAPA 11: SENSIBILIDAD AMBIENTAL ANTE DERRAME DE HIDROCARBUROS ENTRE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO MATINA Y PUERTO LIMÓN.....	99

Índice de cuadros.

CUADRO 1: PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS HIDROCARBUROS	37
CUADRO 2: PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS HIDROCARBUROS.....	37
CUADRO 3: BASE DE DATOS ASOCIADA AL MAPA DE UNIDADES DE TIERRA.....	51
CUADRO 4: SENSIBILIDAD POR ATRIBUTO.....	52
CUADRO 5: RANGOS FINALES DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL	53
CUADRO 6: SUELOS IDENTIFICADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	71
CUADRO 7: RESULTADOS DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y DENSIDAD APARENTE	73
CUADRO 8: ÁREA POR TIPO DE USO DE LA TIERRA EN EL ÁREA DE ESTUDIO	82
CUADRO 9: VELOCIDADES PROMEDIO SEGÚN RANGOS DE PROFUNDIDAD FRENTE A PUERTO LIMÓN	86
CUADRO 10: PROPIEDADES DE INTERÉS DEL PETRÓLEO CRUDO	91
CUADRO 11: PROPIEDADES DE INTERÉS DE PRODUCTOS MANEJADOS EN RECOPE	91
CUADRO 12: VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE HIDROCARBUROS EN ARENA DE PLAYA A NIVEL SUPERFICIAL (0-8 CM. DE PROFUNDIDAD).....	92
CUADRO 13: VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN SOBRE TUBOS DE ENSAYO DE 50 CM. DE LARGO.....	93

Índice de gráficos.

GRÁFICO 1: PRINCIPALES CAUSAS DE DERRAME EN MAR.	34
GRÁFICO 2: PRINCIPALES CAUSAS DE DERRAME EN COSTAS	35
GRÁFICO 3: PRINCIPALES CAUSAS DE DERRAME EN TIERRA	36
GRÁFICO 4: CLIMOGRAMA, ESTACIÓN DE LIMÓN, PERÍODO 1941-2009.....	67
GRÁFICO 5: DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DOMINANTE DEL VIENTO FRENTE A PUERTO MOÍN	69
GRÁFICO 6: CORRELACIÓN LOGARÍTMICA ENTRE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y DENSIDAD APARENTE	73
GRÁFICO 7: GRANULOMETRÍA, MUESTRA 1. MALECÓN, LIMÓN	77
GRÁFICO 8: GRANULOMETRÍA, MUESTRA 2. PLAYA BONITA	77
GRÁFICO 9: GRANULOMETRÍA, MUESTRA 3. DESEMBOCADURA DEL RÍO MATINA.....	78
GRÁFICO 10: GRANULOMETRÍA, MUESTRA 4. PLAYA MOÍN	78
GRÁFICO 11: GRANULOMETRÍA, MUESTRA 5. DESEMBOCADURA DEL RÍO MATINA	79
GRÁFICO 12: MORFOSCOPÍA DE CUARZO, MALECÓN, LIMÓN.....	81
GRÁFICO 13: MORFOSCOPÍA DE CUARZO, PLAYA BONITA	81
GRÁFICO 14: ALTURA Y DIRECCIÓN DEL OLEAJE FRENTE A PUERTO MOÍN	87
GRÁFICO 15: PORCENTAJE DE HIDROCARBURO RETENIDO SEGÚN PROFUNDIDAD DE LA ARENA.....	94

Índice de figuras.

FIGURA 1: ESQUEMA CONCEPTUAL	19
FIGURA 2: TÉRMINOS UTILIZADOS PARA LAS OLAS Y DIRECCIÓN DE AVANCE DE LAS MISMAS.	28
FIGURA 3: ESQUEMA METODOLÓGICO	40
FIGURA 4: CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.....	47
FIGURA 5: LEVANTAMIENTO CO-SÍSMICO PARALELO AL LÍMITE COSTERO	57
FIGURA 6: COMPORTAMIENTO DE CORRIENTES MARINAS EN MOÍN	88

Índice de fotografías.

FOTOGRAFÍA 1: PLATAFORMA DEEPWATER HORIZON, 20 DE ABRIL DEL 2010	1
FOTOGRAFÍA 2: MORTERO Y RECIPIENTE PARA LA DESAGREGACIÓN DE CONGLOMERADOS.....	45
FOTOGRAFÍA 3: DEPOSITACIÓN Y FILTRADO EN LAS BANDEJAS DE TAMIZADO	46
FOTOGRAFÍA 4: MICROSCOPIO, CÁMARA Y PANTALLA CONECTADOS	46
FOTOGRAFÍA 5: VISUALIZACIÓN DEL MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ 40	46
FOTOGRAFÍA 6: MATERIALES DE CAMPO	48
FOTOGRAFÍA 7: TUBO DE 50 CM PREPARADO PARA LA MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	48
FOTOGRAFÍA 8: CENTRIFUGA Y TUBOS DE ENSAYO.....	49
FOTOGRAFÍA 9: TUBOS DE ENSAYO POSTERIOR AL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN Y DECANTACIÓN.....	49
FOTOGRAFÍA 10: SOCAVAMIENTO POR OLEAJE EN ANTIGUA PLATAFORMA DE BAJAMAR, EXTREMO ESTE DE BAHÍA PORTETE	56
FOTOGRAFÍA 11: TUBERÍA EXPUESTA CAUSADO POR ASCENSO TECTÓNICO EN 1991	57
FOTOGRAFÍA 12: CORDÓN LITORAL. VISTA DESDE MOÍN HACIA BOCA MATINA	59
FOTOGRAFÍA 13: LLANURA ALUVIAL (ÁREA TRANSGRESIÓN FLANDENSE) ACTUALMENTE UTILIZADA PARA PASTOS ...	60
FOTOGRAFÍA 14: BAHÍA PORTETE. OLEAJE DE BAJA ENERGÍA.....	61
FOTOGRAFÍA 15: BOSQUE MUY HÚMEDO SEMPERVIRENTE DE BAJA ALTITUD EN MATINA	70
FOTOGRAFÍA 16: PEQUEÑO MANGLAR EN MOÍN, CERCA DE LA CONFLUENCIA CON RÍO BLANCO	70
FOTOGRAFÍA 17: HISTOSOL FIBROSO BAJO HUMEDAL	72
FOTOGRAFÍA 18: ENTISOL BAJO PASTOS	72
FOTOGRAFÍA 19: ALFISOL (HORIZONTES ÚMBRICO Y B)	72
FOTOGRAFÍA 20: PROCESO DE REPTACIÓN SOBRE ALFISOL.....	72
FOTOGRAFÍA 21: ERIZO DE MAR EN ISLA UVITA	83
FOTOGRAFÍA 22: ISLOTE VISITADO POR AVES EN ISLA UVITA	83
FOTOGRAFÍA 23: PESCA EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO MOÍN	96
FOTOGRAFÍA 24: BAHÍA PORTETE.....	96
FOTOGRAFÍA 25: ISLA PÁJAROS	96
FOTOGRAFÍA 26: ISLA UVITA. COSTA ACANTILADA HACIA EL MAR ABIERTO, FRENTE A UN OLEAJE DE ALTA ENERGÍA	97
FOTOGRAFÍA 27: ISLA UVITA. COSTA ARENOSA HACIA TIERRA, FRENTE A UN OLEAJE DE BAJA ENERGÍA.....	97

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

En el año 2010, el desastre ocurrido en el Golfo de México colocó el tema del manejo de hidrocarburos en un primer plano a nivel internacional, al explotar el 20 de abril la plataforma semisumergible *Deepwater Horizon*, cuyos taladros perforan el lecho marino, mientras que otro tipo de torres extraen petróleo de pozos ya taladrados.

El evento involucró potencias económicas en el manejo de hidrocarburos, como los son Estados Unidos e Inglaterra. Para inicios de julio se logra controlar la fuga después de superar los 532 millones de litros derramados; cifra que lo cataloga como el mayor derrame de petróleo accidental de la historia, superado únicamente por el derrame intencional de 1991 en la Guerra del Golfo en Kuwait. Sumado a las consecuencias ecológicas, surgen efectos económicos: el gobierno estadounidense declaró la suspensión de exploración petrolífera en Alaska que iba a ser atribuída al grupo anglo-holandés Shell, de concesiones en las costas de Virginia y otras perforaciones de pozos de prospección submarina que actualmente estaban en curso en el Golfo de México (Univisión, 2010). Las consecuencias ambientales resultan evidentes y económicamente se da un efecto adverso en los sectores turístico y pesquero de Louisiana, Missisipi, Alabama y Florida, principalmente. Aunado a ello se suma la muerte de 11 personas, víctimas de la explosión.



Fotografía 1: Plataforma Deepwater Horizon, 20 de abril del 2010. Imagen tomada de www.treehugger.com

En Estados Unidos, los mapas de sensibilidad ambiental más difundidos y aceptados son confeccionados por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).

En el *Mapa 1* se representa la deposición del petróleo detectable para sensores remotos de NOAA para los días 13 y 14 de julio en el Golfo de México, mientras que en el *Mapa 2* observamos el mismo fenómeno para los días 18 y 19 de julio. El aspecto que resalta de la comparación a simple vista, es la mayor irregularidad y cercanía a la costa de Luisiana de la mancha de petróleo en el *Mapa 2*; un efecto en parte agudizado por el cambio de escala, cuando lo ideal hubiera sido un seguimiento de la distribución espacial del petróleo en función del tiempo transcurrido, con la misma escala, para evitar confusiones o distorsiones en la información. Ciertamente el movimiento del petróleo derramado en mar es muy dinámico y continuo, y la escala en el segundo mapa aumenta el tamaño de la mancha; sin embargo, la forma que ésta tiene y su cercanía con la costa, pueden sugerir la continuidad de la fuga a un volumen poco detectable, producto de fallas en el sello de la tubería. Por el momento queda la inquietud si la diferencia en la extensión y forma de la mancha se debe únicamente al fluido de la sustancia en el transcurso de 4 días, o si por el contrario, el cambio de escala busca simplificar o disimular datos obtenidos a partir de los sobrevuelos o análisis de imágenes satelitales.

A pesar de que en Costa Rica no se realizan hasta el momento explotación petrolera, los derrames de hidrocarburos son una realidad. Recientemente la Sala IV omitió una alerta de gran derrame en Moín en donde se indica a RECOPE la contaminación de un acuífero en el sector de Moín (Ver Mapa 3). Se calcula que el derrame producido desde el 2008 hasta el 2011 supera los 441,000 litros de canfín y gasolina; por lo que se estima que la limpieza del acuífero tardaría 2 años. (La Nación, 25 de mayo del 2011)

Precedentes de este tipo deben servir para fortalecer el cuidado y el control en el manejo de hidrocarburos alrededor del mundo; y al mismo tiempo, para resaltar la importancia de conocer el territorio en función de la distribución espacial de la sensibilidad ambiental; y así utilizar de un modo óptimo los recursos disponibles, pues difícilmente en la atención de un desastre se pueda proteger la totalidad del área afectada de manera efectiva.

La sensibilidad ambiental consiste en el potencial de afectación que puede sufrir un área determinada como resultado de la alteración de sus procesos físicos, bióticos o socioeconómicos que la caracterizan, debido a la intervención de una actividad humana

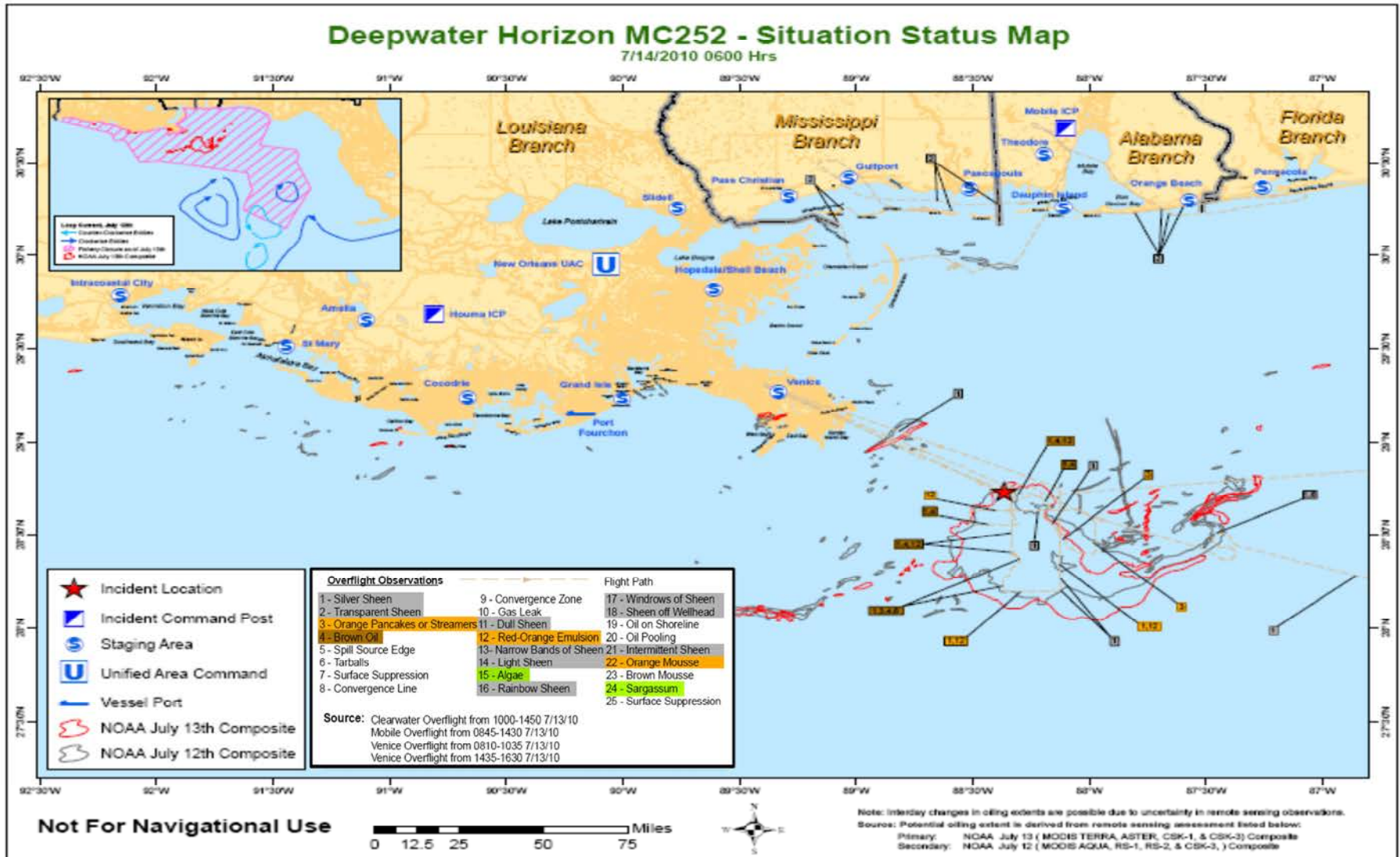
o fenómeno natural. Los objetivos de estudios sobre la temática se centran en la identificación de áreas por grado de sensibilidad, en suministrar información útil en la toma de decisiones, y en representar, principalmente a través de la cartografía, la distribución espacial de dicha sensibilidad. De manera más consisa y para efectos del presente estudio, la sensibilidad ambiental consiste en la intolerancia de una *Unidad de Tierra* a factores, elementos o agentes externos, según las características o atributos de dicha unidad.

A raíz de la importancia y relevancia actual del tema, se desarrollará el presente estudio, el cual busca investigar la sensibilidad ambiental en el sector litoral de Costa Rica ubicado entre la desembocadura del río Matina y Puerto Limón, ante una amenaza constante y específica: *derrame de hidrocarburos*. Dicha amenaza surge a partir de la actividad del manejo y trasiego de hidrocarburos y sus derivados, en busca de satisfacer las necesidades de abastecimiento diario de combustibles de la sociedad costarricense. Costa Rica depende del abastecimiento diario de combustibles para su desarrollo y subsistencia, prácticamente nada se movilizaría sin este recurso energético; surgiendo así el dilema por los riesgos potenciales de una empresa que trabaja con hidrocarburos, como es el caso de RECOPE. La contaminación ambiental por hidrocarburos es un riesgo que va de la mano con el progreso industrial en muchas naciones del mundo, y Costa Rica ciertamente no es la excepción.

Los alcances de la investigación pretenden abarcar el derrame de hidrocarburos en tierra, y en mar (solamente para casos donde la mancha de petróleo llegue a las costas), ya sea por fugas en tanques de almacenamiento en *Refinería Moín*, por operaciones de carga y descarga en el muelle petrolero de Moín, o por incidentes en su transporte por medio de poliductos, camiones cisterna o barcos; sin embargo, los riesgos están enfocados al ambiente terrestre y costero, y no así al hábitat marino, de manera tal, que tampoco se considera el flujo de la mancha de petróleo en la columna de agua, es decir en profundidades marinas (dispersión vertical). Para representar espacialmente el objeto de estudio, se recurre a una metodología australiana para la clasificación de paisajes denominada *Levantamiento de Unidades de Tierra*, confeccionada por el organismo gubernamental *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO), la cual considera el medio natural como un sistema. Por su parte, el análisis del oleaje y corrientes marinas, aunque no forma parte del esquema

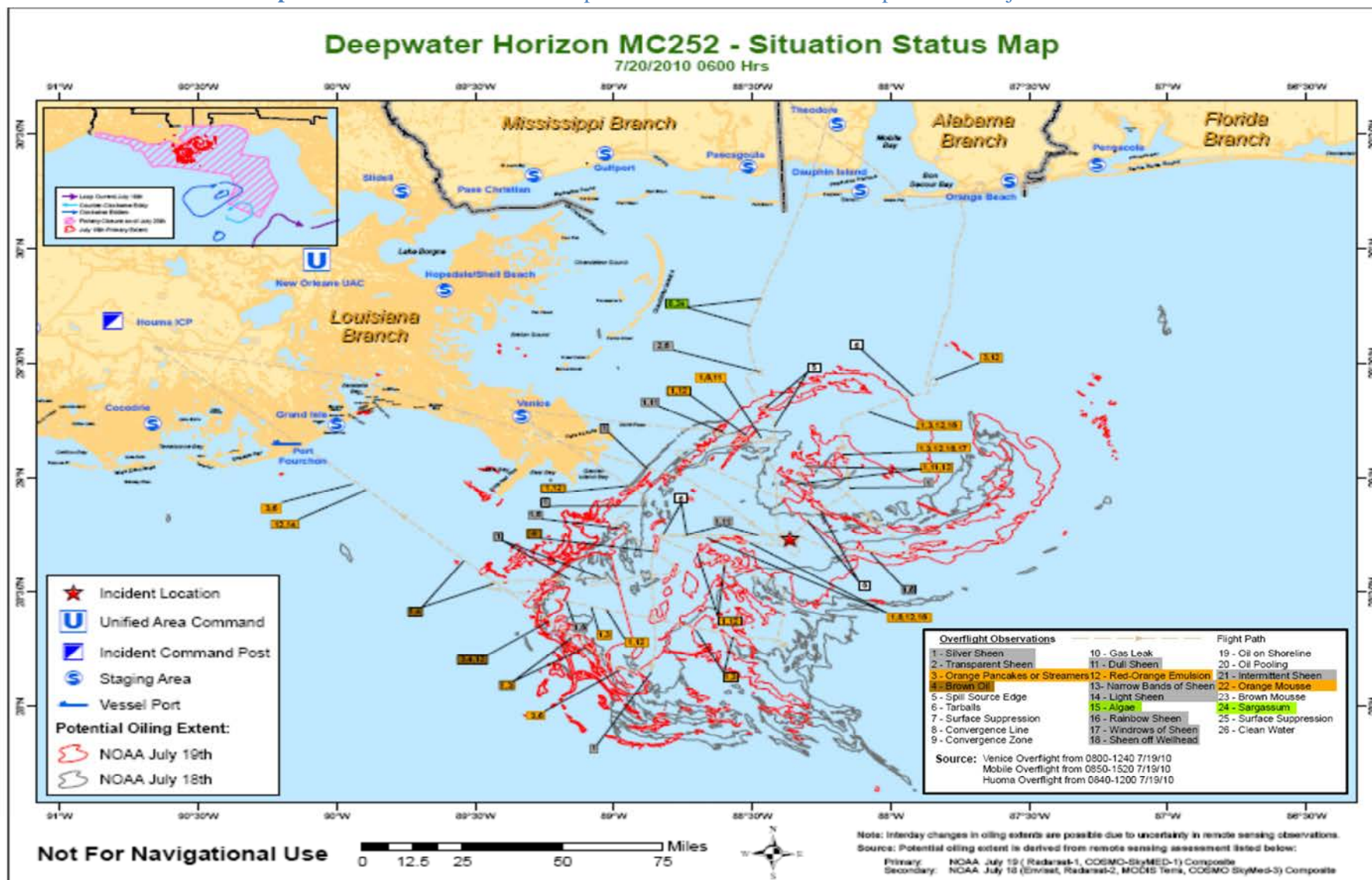
tradicional de la metodología australiana, deben ser tomadas en cuenta al tratarse del estudio de un espacio costero; además de constituir un fenómeno natural modelador de costas, dispersor de manchas de petróleo (dispersión horizontal), y al mismo tiempo mecanismo de limpieza natural. En síntesis, la labor realizada a lo largo de la investigación se verá finalmente plasmada en un producto visual de gran utilidad, mediante el *Mapa de Sensibilidad Ambiental*.

Mapa 1: Situación de la mancha de petróleo en el Golfo de México para el 14 de julio del 2010.



Fuente: British Petroleum, 2010.

Mapa 2: Situación de la mancha de petróleo en el Golfo de México para el 20 de julio del 2010.



Fuente: British Petroleum, 2010.

Planteamiento del problema

El petróleo y sus derivados dañan el ambiente al entrar en contacto con éste, impiden las actividades recreativas y turísticas, perturban la pesca y se requiere de operaciones de limpieza y atención complejas de coordinar. Además, cuando se produce un derrame de hidrocarburos los trabajos de mitigación de impactos son lentos y económicamente costosos.

El problema se enmarca dentro del tema de vulnerabilidad ambiental, específicamente por derrame de hidrocarburos y sus implicaciones espaciales en el sector litoral costarricense, comprendido entre la desembocadura del río Matina y Puerto Limón. **Desde el año 2007 RECOPE emprende el proyecto “Ampliación de la Capacidad de la Refinería Moín” para procesar 60,000 BPSD¹ (9.540 m³/d), así mismo, mejorar la infraestructura portuaria y polductos asociados para el año 2013 en busca de un servicio más eficiente; aumentando no solamente el volumen y velocidad de trasiego, sino también el riesgo y vulnerabilidad ambientales ante un eventual desastre.** Dichas mejoras, planteadas por el Departamento de Planificación Empresarial, corresponden al objetivo 2 del *Plan Estratégico de RECOPE 2009-2013*, aprobado en la sesión 4301-257 del 17 de octubre del 2008.

Cabe destacar además, el hecho de que no se cuenta al momento de realizar la presente investigación con un conocimiento de la sensibilidad ambiental en la costa caribeña, cuyo punto de partida sea un enfoque paisajístico; que permita tomar en cuenta las diversas causas de derrame de hidrocarburos, tanto en mar como en tierra.

Hipótesis

La sensibilidad ambiental de un área resultado de la industrialización de hidrocarburos, varía en el espacio y el tiempo, según las características del paisaje geográfico, ubicación del posible derrame, tipo y cantidad de hidrocarburo y mecanismos naturales de dispersión.

¹ Barriles por día de operación. 1 Barril = 159 litros.

Justificación del tema

El tema de la sensibilidad ambiental ha sido investigado desde diferentes enfoques y perspectivas. A nivel internacional, el enfoque derivado de Gundlach y Hayes (1978) ha sido utilizado como uno de los enfoques más aceptados hasta el momento; aunque es importante resaltar que cuando se trata de estudios ambientales, no existe un sistema que científicamente se considere como la mejor opción y que, metodológicamente, se adapte a todas las situaciones y espacios geográficos alrededor del mundo. En Costa Rica se ha utilizado principalmente la metodología de *Los Índices de Fragilidad Ambiental* (IFA) publicado en la Gaceta del 27 de noviembre de 1997.

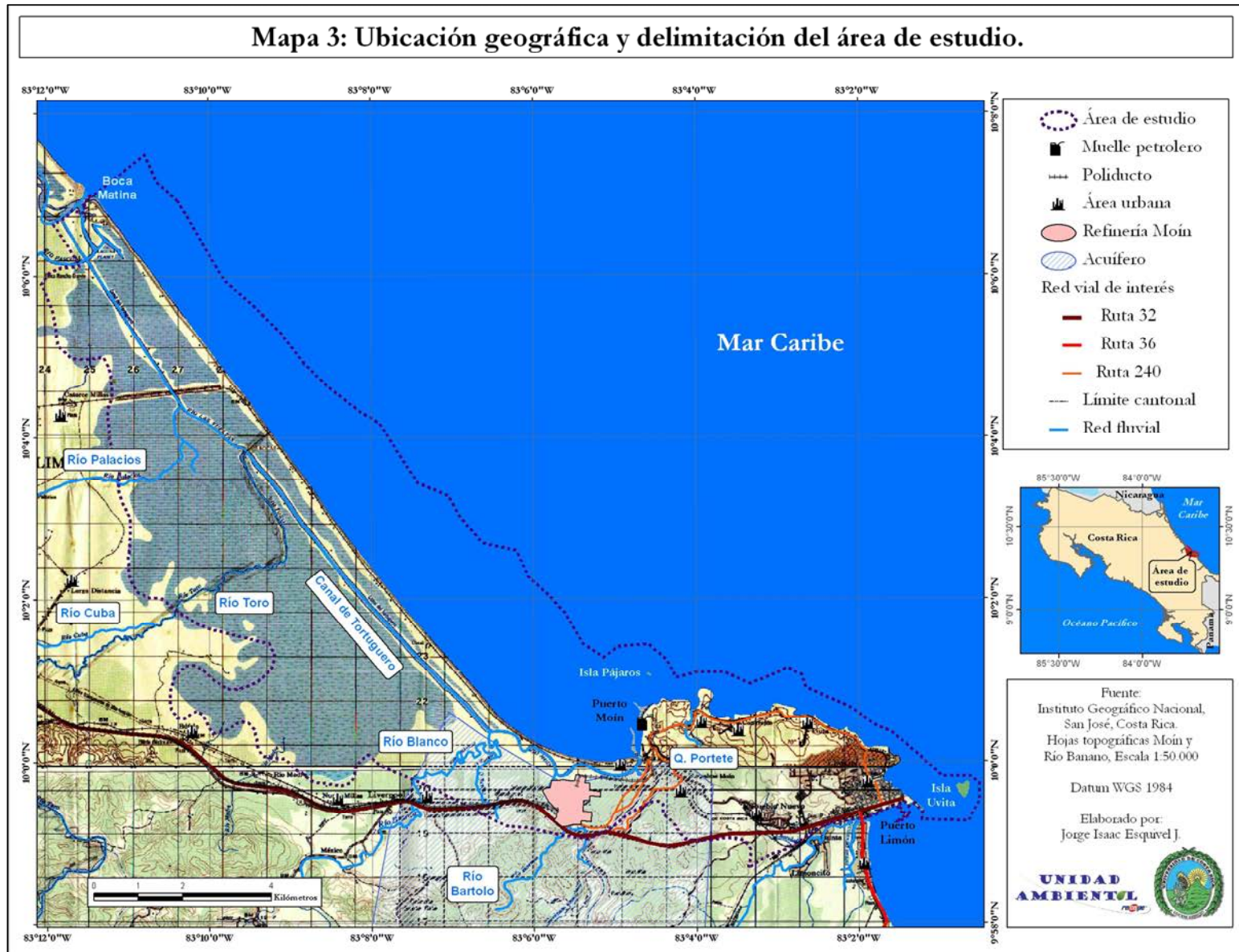
El mapa de sensibilidad ambiental, como producto final de la investigación y como instrumento visual, representa la información base para el desarrollo de un plan estratégico ante un eventual derrame de hidrocarburos y facilita la toma de decisiones urgentes. Si el mapa determina y zonifica acertadamente la sensibilidad ambiental, las posibilidades de una protección integral del espacio serán altas; y la amenaza por contaminación se verá limitada. Más que una herramienta visual, representa un instrumento inspirado en el método científico, por lo que su aporte es básico y al mismo tiempo fundamental; teniendo como objetivo final la reducción al mínimo de los impactos ambientales y socioeconómicos. La Asociación de la Industria Petrolera Internacional para la Conservación del Medio Ambiente (IPIECA) y la Organización Marítima Internacional (OMI) en su informe “*Desarrollo de mapas de sensibilidad para la respuesta a derrames de hidrocarburos*” concuerdan con el planteamiento anterior y lo complementan de la siguiente manera:

“La elaboración y puesta al día de los mapas de sensibilidad son actividades clave del proceso de planificación de las contingencias por derrame de hidrocarburos. Estos mapas aportan a los responsables de la respuesta al derrame una información esencial, mostrando dónde se hallan los distintos bienes y recursos costeros, e indicando al mismo tiempo las áreas ecológicas sensibles... El uso de los mapas de sensibilidad comprende desde la planificación práctica de la protección y limpieza de la costa en lugares específicos, a la planificación estratégica para grandes zonas lejanas” (1996, 3).

De lo expuesto, radica la importancia de trabajar el tema en función de la elaboración de un plan de contingencia. Sin embargo, pese a la frecuencia de incidentes de este tipo, se considera escaso el número de estudios a nivel centroamericano sobre los efectos de hidrocarburos y sus derivados en ambientes marino-costeros y sobre todo terrestres; plasmados finalmente en términos cartográficos. En el caso particular de Costa Rica, es importante resaltar la ausencia de un *Plan Nacional de Contingencia* (PNC) ante derrame de hidrocarburos: en el 2006 inició la redacción del PNC liderado por la Comisión Nacional de Emergencias, junto con la participación del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Para el año 2008 se retoma el tema; sin embargo, cuatro años más tarde aún se carece de una política y respuesta definidas ante un derrame de hidrocarburos.

Ahora bien, los estudios sobre el tema generalmente consideran únicamente el derrame en mar, y espacialmente se limitan a la valoración (en forma de inventario) de las costas y manglares inmediatos. En este sentido, la diferencia del presente estudio radica en la aplicación de la metodología del *Levantamiento de Unidades de Tierra* del *CSIRO*, sugerida por el Msc. Guillermo Brenes Quesada (director del proyecto) en busca de brindar una visión integral abordando un enfoque paisajístico y jerárquico, que considere todas las posibles causas de derrame y sus consecuencias, en un paisaje litoral.

Por último, los puertos de Limón y Moín constituyen puntos clave de la economía de Costa Rica. Este complejo de puertos que moviliza cerca del 80% de la carga marítima del país (La Prensa Libre, 27 de agosto del 2010), recientemente ha generado confrontación entre JAPDEVA, el Gobierno Central y empresarios privados, a raíz del tema de concesión y modernización de los puertos. Tomando esto como punto de referencia, estudios en dicha área realizados desde diversas disciplinas afines al ámbito socioeconómico, político y ambiental, resultan en un aporte adecuado, relevante y siempre de importancia.



Criterios para su delimitación

La zona de estudio presenta un área de 72,24 Km², se ubica dentro de la provincia de Limón e incluye parte de los cantones Limón y Matina. El sistema fluvial representado en el *Mapa 3* forma parte de la subvertiente Caribe de la vertiente del mismo nombre; en donde los cursos de agua mantienen un recorrido en dirección predominante de suroeste a noreste hasta desembocar en el mar Caribe.

El Canal de Tortuguero, cauce de agua que cuenta con 122 Km. de longitud finaliza su recorrido en Moín, y representa uno de los destinos ecoturísticos más atractivos de Costa Rica, debido a su riqueza paisajística, tanto en flora como en fauna.

Por su parte, la Ruta 32 constituye la principal vía de comunicación entre Limón y San José. Esto la consolida como la principal vía de acceso en la atención de un eventual desastre. No obstante, ha sido cuestionada desde su creación a causa de la inestabilidad generada por el corte de taludes de hasta 90°, así por como el hecho de fragmentar la selva y crear conflicto con las especies nativas. La ruta 240 que bordea la línea costera en el cantón central de Limón, también constituye una importante vía de acceso en la atención de un eventual derrame.

El puerto de Moín, en donde se dan las probabilidades más altas de derrame, se encuentra situado al noroeste de Puerto Limón a 8.2 Km., en el paralelo 10°N y meridiano 83°05'W.

De manera puntual, su delimitación obedece a varios criterios y razones específicas:

- Hacia el noroeste de la desembocadura del río Matina, el riesgo y la sensibilidad ambientales se reducen significativamente, puesto que el movimiento de las corrientes marinas, provenientes desde Nicaragua, movilizarían sustancias derramadas hacia el sector sureste de la costa caribeña. Por tal motivo, se impone como el límite inicial del área de estudio.

- Cumplir con el concepto de *Unidad de Paisaje* según la metodología del CSIRO; cuyo punto de partida sea el componente geomorfológico. A lo largo de la costa caribeña costarricense, Puerto Limón es el sector más variado desde el punto de vista geomorfológico.
- Incluir el muelle petrolero en Puerto Moín (principal punto de entrada de hidrocarburos en el país), la Refinería Moín, y el poliducto que conecta ambos sitios. Por su parte, el sector de Moín presenta los niveles más altos de hidrocarburos dispersos, según cálculos del CIMAR en el 2004.
- Cubrir una extensión posible de estudiar en un periodo máximo de 8 meses con un personal mínimo. Por tal motivo se impone Puerto Limón como límite final del área de estudio.

Antecedentes

Como se mencionó anteriormente, el tema de la sensibilidad ambiental ha sido investigado desde diferentes enfoques y perspectivas; siendo comunmente utilizado en Costa Rica los Índices de Fragilidad Ambiental y a nivel internacional los Índices de Gundlach y Hayes.

En Costa Rica se destaca el trabajo “*Mapa de sensibilidad para derrames de petróleo en las costas de Costa Rica*”, realizado por el CIMAR de la Universidad de Costa Rica en 1996, en donde se hizo una evaluación a pequeña escala de las costas del Caribe y Pacífico para determinar el tipo de costa, flujo de mareas y distribución de plantas y animales costeros más abundantes. A partir del tratamiento de la información, clasificaron en una escala de 10 puntos la fragilidad ambiental ante un derrame de petróleo en el mar, siendo 1 el caso más leve y 10 el de mayor gravedad. Para la obtención de resultados no se menciona una metodología o teoría específica, (aunque parece tratarse de los índices de Gundlach y Hayes), lo que supone un nivel empírico alto por parte de los autores en cuanto a la definición y el reconocimiento de áreas susceptibles; transmitido en un mapa generalizado, no solamente por cuestión de escala,

sino por la implementación de criterios subjetivos que no permiten establecer límites físicos y conceptuales entre clases de sensibilidad.

Por otro lado, en Panamá sobresale el trabajo realizado por el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI) en 1993 llamado “*Evaluación a largo plazo del derrame de petróleo en Bahía Las Minas, Panamá*”. En términos generales, consiste en una discusión exhaustiva de las causas, condiciones y consecuencias ambientales relacionadas con el desastre ocurrido el 27 de abril de 1986 en Bahía Salinas, Panamá, al derramarse cerca de 38.3 millones de litros de petróleo crudo a partir de la ruptura de un tanque de almacenamiento; lo cual ocasionó efectos biológicos inmediatos. El informe elaborado por el instituto describe el clima, las condiciones del mar y la topografía que resultó afectada, la composición química de los hidrocarburos, los efectos del derrame en los diferentes ecosistemas presentes en el área y sus organismos, y los patrones de destrucción y recuperación de los manglares, plantas y animales en los lechos marinos. A pesar de no tratarse de un estudio eminentemente geográfico, resalta la ausencia cartográfica (al menos en el volumen I del informe), que represente aspectos esenciales; como por ejemplo el patrón de distribución espacial de la deposición del petróleo en función del tiempo transcurrido, lo cual deriva en un detrimento de la información obtenida sistemáticamente durante toda la investigación. Recientemente se ha consultado a científicos del STRI para la atención del desastre en Deepwater Horizon.

Ahora bien, dentro de la revisión bibliográfica no se identificaron estudios de sensibilidad ambiental que incluyeran la aplicación de la metodología del CSIRO; aunque sí para otros fines.

En 1979, luego de cuatro años de labores, concluyó en Venezuela la realización del proyecto “*Análisis regional de la vegetación y el ambiente del Estado de Falcón*”, cuyo objetivo consistió en conocer el estado actual de los recursos naturales de Falcón, y las posibilidades de su utilización. La labor se lleva a cabo a través de un estudio sistemático de los factores bióticos y abióticos del Estado; aplicando de forma complementaria dos metodologías: *Levantamiento de Sistemas de Tierras* del CSIRO y *Clasificación del sitio total*, de Hills. El estudio realizado por los venezolanos se puede sintetizar en las siguientes fases:

- ❖ Una primera etapa de revisión bibliográfica.
- ❖ Fotointerpretación y trabajo de campo.
- ❖ Elaboración del mapa de vegetación a escala 1:250.000.
- ❖ Descripción de unidades fisionómicas.
- ❖ Síntesis y recomendaciones finales.

Se hace mención de estas fases, ya que concuerdan en gran medida con los pasos por seguir en la presente investigación.

Por último, en Chile recientemente se llevó a cabo un estudio importante de mencionar, ya que aborda el tema de la sensibilidad ambiental centrándose en la geomorfología. Se trata de un trabajo con fines de ordenamiento territorial disponible en la Revista Geografía Norte Grande: “*Incorporación de criterios de fragilidad ambiental y riesgo en la planificación territorial de la costa de Chile central*” (2010). En este caso no se determina la vulnerabilidad en función de un derrame de hidrocarburos, sino en función del riesgo de tsunamis. Para establecer una jerarquización o grados de fragilidad ambiental de diferentes unidades naturales, los autores identificaron dichas unidades bajo una óptica geomorfológica, elaborando una cartografía a escala detallada desde el punto de vista de su génesis. La jerarquización del grado de fragilidad ambiental de las unidades naturales resultantes se dictaminó según los procesos morfogenéticos actuales, para cada una de estas unidades; entendiendo estos procesos como aquellos que involucran la movilización de partículas por diversos agentes de erosión. Aunque no se trate de una aplicación de la metodología del CSIRO, consiste en un razonamiento eminentemente geomorfológico para la obtención de resultados.

En términos generales, los estudios de sensibilidad ambiental tienen como finalidad la clasificación y segmentación de costas en unidades de características similares, aunque la terminología utilizada carece de definiciones comunes y mutuamente acordadas, lo que hace difícil relacionar investigaciones y resultados.

Objetivos

General:

- Zonificar la sensibilidad ambiental del área comprendida entre la desembocadura del río Matina y la zona portuaria de Limón ante un derrame de hidrocarburos.

Específicos:

- Aplicar el Sistema de Unidades de Tierra mediante la metodología del CSIRO, para la interpretación de los componentes resultantes: geología, geomorfología, clima, vegetación, suelo, uso de la tierra, hidrografía, oleaje y marea.
- Identificar los tipos de hidrocarburos y sus derivados manejados en RECOPE, así como sus propiedades contaminantes para el ambiente.
- Elaborar el mapa de sensibilidad ambiental ante un derrame de hidrocarburos en el área de estudio.

Marco jurídico

Con respecto al derrame de hidrocarburos, existen convenios internacionales en donde se pone de manifiesto la necesidad de velar por el cuidado constante en la todo el proceso de la actividad hidrocarburífera. Ejemplo de ello, es el *Fondo Internacional de indemnización de daños debidos a la contaminación por hidrocarburos* (FIDAC 92); aunque actualmente Costa Rica no es una de las partes del convenio. Dicho convenio constituye en una guía práctica para la presentación de reclamaciones ante dos organismos intergubernamentales de ámbito mundial, conocidos conjuntamente como FIDAC 92 con sede en Londres, Reino Unido.

En el caso específico de la región caribeña, se cuenta con la actual vigencia de la Ley 7227, de la cual Costa Rica forma parte. Se trata de un convenio regional para la protección y el desarrollo del medio marino, reconociendo las características hidrográficas y ecológicas de la región y su vulnerabilidad ante el daño ambiental. Por otro lado, el acuerdo también reconoce la importancia de una aceptación más amplia de entes internacionales relativos a la contaminación por derrame de hidrocarburos. Especialmente, la ley tiene vigencia desde el Golfo de México hasta las zonas adyacentes del Océano Atlántico en los 30° latitud norte, y dentro de las 200 millas marinas de las costas atlánticas de los Estados miembros.

El tema del daño ambiental se expone desde la perspectiva del *Derecho Ambiental*, en el sentido de que se trata de una temática que va mas allá del aspecto puramente ecológico, la cual incluye además una dimensión social y económica. Esto significa políticamente una responsabilidad con los derechos de las generaciones actuales y futuras y al mismo tiempo con el ambiente; y es precisamente esta visión integral la que debe regir las leyes que protegen el territorio.

La Ley Orgánica del Ambiente (2007, 6), en su Artículo 2 Inciso e, presenta el daño ambiental integralmente:

“El daño al ambiente constituye un delito de carácter social, pues afecta las bases de la existencia de la sociedad; económico, porque atenta contra las materias y los recursos indispensables para las actividades productivas; cultural, en tanto pone en peligro la

forma de vida de las comunidades, y ético, porque atenta contra la existencia misma de las generaciones presentes y futuras”

Ciertos elementos, como los hidrocarburos y sus derivados esparcidos en una cantidad considerable por un lapso prolongado, causan un deterioro en la calidad del agua, suelo y recursos en general; sin embargo, no están claros los parámetros para definir contaminación. Retomando la Ley Orgánica del Ambiente (2007, 25), el artículo 59 define contaminación como “toda alteración o modificación del ambiente que pueda perjudicar la salud humana, atentar contra los recursos naturales o afectar el ambiente en general de la Nación.”

En relación con el volumen o tamaño de derrame, hay que aclarar que no necesariamente el mismo determina la gravedad del daño ambiental. “En algunos derrames, las costas rocosas han quedado recubiertas con una gran cantidad de hidrocarburo que ha causado unos efectos reducidos. En otros casos... una cantidad moderada de hidrocarburo ha causado una fuerte mortandad” (IPIECA/OMI, 2007, 10)

Para cuantificar el daño ambiental y así tener una idea menos abstracta de éste, se pueden considerar una serie de aspectos interrelacionados, como lo son:

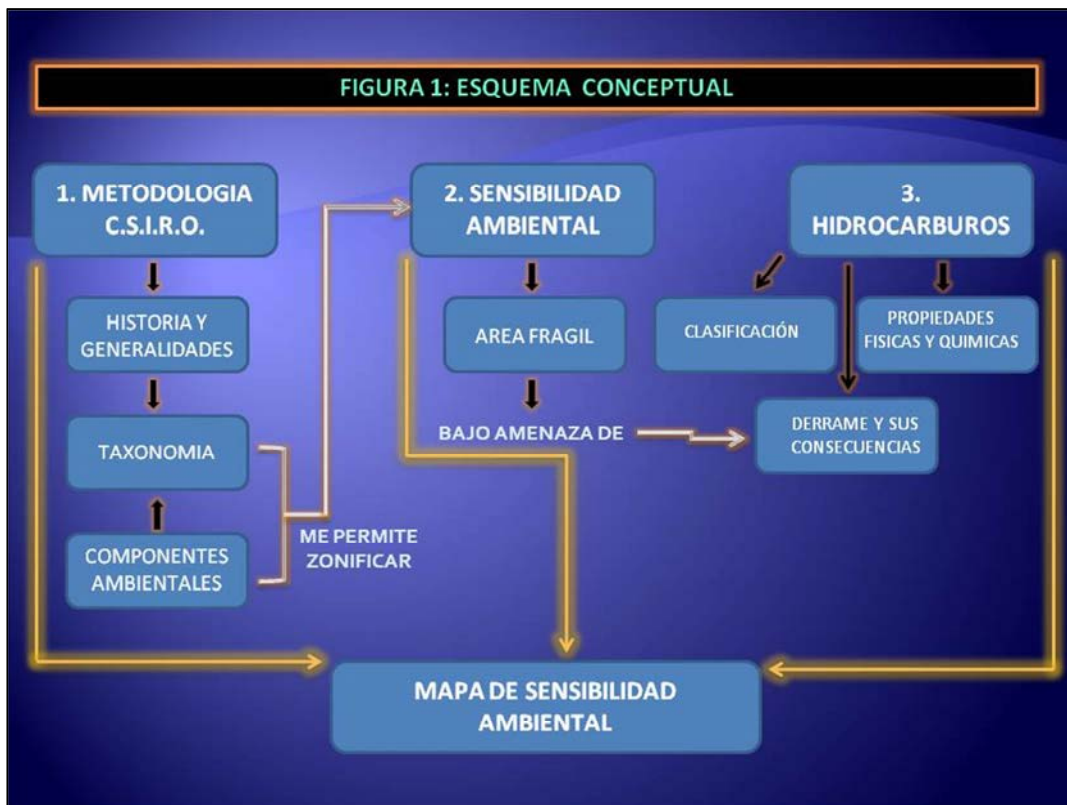
- Funciones que cumple el medio, especialmente cuando se trata de espacios que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP).
- Magnitud del daño según cantidad del derrame, tipo de sustancia y tiempo de exposición.
- Inversión necesaria para operaciones de limpieza y restauración
- Población que depende económicamente del espacio. Por ejemplo, personas dedicadas a los sectores turístico y pesquero (pérdidas económicas indirectas).

Al cuantificar el daño sobre el ambiente, el término *activos naturales* resulta adecuado; aspecto que se menciona con el fin de reforzar la dimensión económica que forma parte del tema ambiental; pese a ello, escapa de los alcances de la investigación y le compete al poder legislativo, eventualmente tomar en cuenta la incorporación teórica y práctica de dicho concepto a la actual Ley Orgánica del Ambiente. Referente al tema, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en su documento “*Contabilidad*

Ambiental”, citado por Quiroz y Solís (1999, 113) indica: “Los activos del medio natural que se ven –directa o indirecta, real o potencialmente- afectados por las actividades humanas se denominan activo natural o capital natural.” Al valorarse un activo se está partiendo de la necesidad de preservarlo, conservarlo o protegerlo según sea el caso.

En este sentido, se toma como activo natural, a un conjunto de activos naturales: *la unidad de tierra* como una sola entidad. Dentro de cada unidad, un activo natural puede ser el suelo, el agua o la comunidad arbórea de un bosque; sin embargo, es el conjunto y la relación de estos elementos, bióticos, abióticos y sociales que conforman el activo natural por proteger.

CAPÍTULO II: MARCO CONCEPTUAL



1. Método de Levantamiento Unidades de Tierra del CSIRO (Australia)

1.1 Generalidades

Para entender los principios del método es necesario en primer lugar, conocer su objeto: entre 1943 y 1945 Australia es un espacio desconocido; quedan muchos millares de kilómetros por explorar, en el sentido que poseía esta palabra en el siglo pasado. No podía tratarse de estudios pormenorizados, de observaciones sistemáticas y análisis profundos. Había que abarcar vastas extensiones y plantear una explotación rápida, sin mano de obra abundante ni inversiones importantes. (Tricard y Kilian, 1982, 18).

Se trata de un método que surge en un contexto post-bélico donde eran necesarios resultados rápidos y confiables, con el mínimo recurso humano y financiero posibles. Aunque en principio el método fue diseñado para el estudio de grandes áreas desconocidas, como fue el caso de Australia después de la Segunda Guerra Mundial, la metodología ha sido contemporanizada y se adapta a diferentes escalas de análisis.

Como era de esperarse, el auge en el uso de las fotografías aéreas en la Segunda Guerra Mundial, se hizo presente en el proceso. Tricard y Kilian (1982) lo confirman al mencionar que el método “es fundamentalmente un trabajo de fotointerpretación referido al medio natural.” (p. 18)

La descripción de Sistemas de Tierras se realiza aunando información temática sobre diversos aspectos del espacio geográfico, consolidándose la geomorfología como el pilar del sistema; logrando con la interpretación de las imágenes satélites un trazado de límites muy ajustados a la realidad.

En función del tipo de investigación, la clasificación de la tierra puede ser divisiva o aglomerativa. El sistema del CSIRO es fundamentalmente divisivo, ya que parte de una unidad de estudio mayor conformada por unidades geológicas y geomorfológicas, las cuales se subdividen según otros componentes ambientales.

En cuanto a su enfoque eminentemente cualitativo, se considera como *paisajístico*. El enfoque paisajista clasifica el área de estudio en función de su aspecto visible presente;

sin dejar de lado el estudio integral, aún cuando el investigador centre su atención en un aspecto concreto. Dicho enfoque tiene fundamentos tanto a favor como en contra. “Algunos autores sostienen que el estudio del recurso tierra no tiene validez si no es enfocado con métodos y técnicas cuantitativos y análisis estadísticos de los datos... en el enfoque paisajista, en cambio, se basa en un máximo de observaciones menos formales y un mínimo de colección y análisis convencionales.” (Matteucci, 1979, 36) De la misma manera en que el investigador debe cuestionar el método seleccionado, el enfoque que éste implique, debe ser igualmente criticado en virtud del tipo de estudio.

Las críticas más importantes que se le han hecho al *Levantamiento de Unidades de Tierra* radican en el alto nivel empírico que requiere, y a fin de cuentas, resulta sumamente descriptivo; además de las limitaciones propias de la fotointerpretación a pequeña escala (con pocos detalles observables). Por otro lado, en principio fue confeccionado únicamente para el estudio de paisajes naturales. Pese a ello, se considera adecuada su aplicación por razones que se detallan más adelante.

1.2 Taxonomía

La taxonomía del método es sencilla, descriptiva e incluye en su versión más elaborada, tres niveles. Tricard y Kilian (1982, 19) definen estos niveles:

“Los **sistemas de tierras** (*land systems*), que constituyen el nivel más elevado. Se trata de unas unidades corográficas que corresponden en la práctica a lo que se suele denominar “regiones naturales”, término habitual pero muy mal definido. Por ejemplo, una llanura litoral, con algunas playas antiguas, unas lagunas y unos cordones litorales actuales y algunos pequeños deltas, puede constituir un sistema de tierras. Lo mismo ocurre en el caso de una región de mesetas de cubiertas ferruginosas, más o menos desecadas.

A continuación vienen las **unidades de tierra** (*land units*). Se trata de unos tipos de relieves que van asociados a los sistemas de tierras. Por ejemplo, en el caso de mesetas de cubiertas ferruginosas desecadas, las unidades de tierras son: los restos de mesetas, los valles que las cortan, los cerros-testigo que las preceden.

Las **facetas de tierras** constituyen la unidad inferior. No ha sido muy estrictamente definida y es poco utilizada. Creemos que las facetas correspondían a los elementos del modelado: por ejemplo, la cornisa superior de una vertiente o su parte coluvial inferior.”

Se trata de una clasificación descriptiva, esencialmente fisonómica y no tanto así enfatizada al análisis cuantitativo del paisaje. “Se proporcionan unas características generales de cada sistema de tierras, bajo unas secciones: clima, geología, geomorfología, drenaje... y cuáles son las formas de terreno, los suelos y los tipos de formación vegetal que se encuentra en ellos.” (Tricard y Kilian, 1982, 30)

En relación con la taxonomía, se entiende por *tierra* el concepto expuesto por Brinkman y Smyth, citados por Matteucci (1979, 14), el cual fue expuesto en la reunión de expertos mundiales sobre Evaluación de la Tierra, realizada en Wageningen en octubre de 1972: “área específica de la superficie terrestre, cuyas características comprenden todos los atributos relativamente estables o de ciclos predecibles de la biosfera. Incluye la atmósfera, el suelo y la geología subyacente, la topografía, la hidrología, las poblaciones de plantas y animales y los resultados de las actividades humanas pasadas y presentes, en la medida en que estos atributos ejercen una influencia importante en los usos presentes y futuros de la tierra”. La tierra es entonces, un sistema ecológico que involucra una serie de componentes interrelacionados que la definen como un espacio geográfico único; dentro del cual el *suelo* es uno de sus componentes, por lo que no deben confundirse ambos términos.

El *sistema de tierras* consiste en una agrupación de componentes ambientales, geográfica y genéticamente relacionados; donde se identifica un patrón uniforme de geomorfología y geología (y clima en el caso de la presente investigación). Un cambio en el patrón significa el límite del sistema.

Por su parte, los *componentes* consisten en elementos ambientales que forman parte de un todo, en este caso, de un paisaje, mientras que los *atributos* representan características del componente. En 1952, Christian, citado por Matteucci (1979, 56) expuso: “Los componentes son el producto de procesos formadores del paisaje operando sobre determinados materiales básicos. Es decir, son el producto de una evolución paralela en tiempo geológico... la importancia del componente estriba en

permitir el análisis de una región compleja en todas sus áreas de diferente carácter y potencial. La importancia del sistema de tierra estriba en permitir la agregación de componentes en áreas lo suficientemente grandes para ser mapeadas... pero lo suficientemente pequeñas para facilitar la integración y la planificación regional". En cada componente se analizan sus atributos ya que funcionan como indicadores de susceptibilidad; normalmente se utilizan estado de la vegetación y grado de erosión del suelo, entre otros.

El método y su aplicación puede variar según la escala de interpretación y el tipo de paisaje geográfico. La complejidad del paisaje siempre va a estar ligado a la escala de interpretación, y en menor medida de la naturaleza de la región estudiada. En regiones con sistemas muy heterogéneos, las unidades resultantes son más pequeñas. Las zonas limítrofes o de transición pueden dar lugar a unidades intermedias, que debidamente calibradas generan nuevas unidades. La identificación de transiciones entre límites dependerá igualmente de la escala de análisis y de la calidad de la información utilizada.

1.3 Componentes ambientales: variables enlazadas del paisaje

Los componentes del *sistema de tierras* son tratados de manera vinculada entre sí; mantienen relaciones concausales y se constituyen conjuntamente. La geomorfología conforma el componente primordial para iniciar el reconocimiento de la *unidad de paisaje* según la metodología del CSIRO, puesto que las formas del relieve son el resultado de la conjunción de numerosos factores, desde la estructura geológica hasta el clima, y en este caso además, de la dinámica del mar en los litorales; condicionando el surgimiento y evolución de los demás componentes: suelo, vegetación, hidrografía y uso de la tierra.

El uso de la tierra no responde a lo que se conoce como componente ambiental, sin embargo, se toma en cuenta como una característica del paisaje; pues su identificación brinda una estimación de elementos socioeconómicos sujetos a sensibilidad ambiental. Además, es aquí en donde se identifica y delimita la vegetación; esto porque el área de estudio no corresponde en su totalidad a un espacio natural. El oleaje y la marea representan atributos del componente climático, aunque dependiendo de la

interpretación del investigador, pueden ser considerados como componentes ambientales.

De manera consisa tenemos que los componentes ambientales son:

Geomorfología: se centra en el estudio de las formas del relieve, pero abarcando aspectos estructurales, climáticos y dinámicos del mismo; en este caso, de las formas litorales (costas, playas, dunas litorales, estuarios, deltas, marismas, entre otras). El relieve constituye la articulación básica de los espacios terrestres (forma que adopta la superficie de la corteza terrestre) y se integra en la dinámica del medio físico. Como expone Martínez de Pisón (1985,10), el relieve “participa en el conjunto de elementos que conforman los paisajes, vivos, cambiantes, en dialéctica con los demás factores y agentes, incluido el hombre... El relieve no solo sostiene el resto de la Naturaleza, sino que se integra en ella, tanto en su evolución general como en su dinamismo puntual”. El relieve que hoy contemplamos sobre la Tierra es el resultado de millones de años de evolución, y una forma simple de entenderlo es considerándolo como cualquier modificación o alteración de la superficie terrestre que rompa su regularidad.

Geología (estructural): material que compone las grandes capas inferiores a la superficie terrestre, incluyendo su mecanismo de formación, los cambios o alteraciones que ésta ha experimentado desde su origen, la textura y estructura que tiene en el actual estado. “Las estructuras derivadas de la tectónica y de la litología configuran frecuentemente los volúmenes del relieve terrestre... Por ello, la geomorfología tiene que contar prioritariamente con el factor geológico que explica la deposición de los materiales” (Martínez de Pisón, 1985, 8).

Clima: representa todo un sistema complejo de condiciones atmosféricas que caracterizan una región (temperatura, humedad, presión, vientos y precipitaciones, principalmente). El clima puede en ocasiones confundirse con el concepto de *tiempo*. La diferencia fundamental entre ambos conceptos radica en la escala del tiempo cronológico. El tiempo se refiere a variables atmosféricas de un lugar en un momento determinado, mientras que el clima informa sobre esas mismas variables en el mismo lugar, pero en un periodo temporal mucho más largo, usualmente 30 años o más. Básicamente se trata de un componente que determina el desarrollo y evolución de

otros, "...el clima introduce modalidades en la erosión y en el tipo de formaciones vegetales, de modo que la morfogénesis adquiere características propias en cada zona climática. También, por lo mismo la elaboración de formas de modelado depende de los pelec climas." (Martinez de Pisón, 1985, 8). De los atributos climáticos, interesan particularmente 3:

1. *Precipitación*: caída de partículas de agua por medio de la lluvia, granizo o nieve.
2. *Temperatura*: estado energético del aire originado por un calentamiento más o menos grande.
3. *Viento*: aire en movimiento, y como tal tiene dirección y velocidad. La dirección se indica por el punto de donde procede; mientras que la velocidad es la distancia recorrida por una partícula de aire en la unidad de tiempo (m/s; km/h; nudo).

Los factores naturales que afectan los atributos climáticos son la latitud, altitud, continentalidad, relieve, corrientes marinas, vegetación, vientos y rayos solares. Según se refiera al planeta, a una región, o a una localidad concreta se habla de clima global, zonal o local (microclima), respectivamente.

Vegetación: conjunto de especies vegetales, no tanto en lo relativo a su composición florística, sino a su aspecto o fisonomía; condicionadas principalmente por el componente geomorfológico y climático. Sin embargo, su cobertura no solo depende del clima y el sustrato, sino también de la acción humana. La vegetación proporciona datos importantes de la calidad del suelo y del relieve en general, y representa un componente biótico de especial atención ante un agente contaminador, pues cumple una serie de funciones vitales para el equilibrio ecológico, como por ejemplo la protección del suelo, estabilidad de los cursos de agua, brindan alimento y refugio a la fauna, descontaminan el aire, etc. La vegetación como concepto es más amplio que *flora*, ya que éste último se refiere exclusivamente a la composición de especies. Cuando se habla de estratos de la vegetación, se hace referencia a las distintas capas verticales de una formación vegetal. En los bosques, por ejemplo, se puede distinguir los estratos arbóreo, arbustivo, herbáceo y briofítico terrestre.

Dentro de las comunidades vegetales, interesa particularmente el *humedal*. Según el convenio Ramsar “son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (The Ramsar Convention on Wetlands, 1971). Por su parte, los manglares son comunidades neríticas, es decir desarrolladas sobre sedimentos marinos en la plataforma continental, características de las aguas salobres tropicales y subtropicales. (Vargas, 1994). Básicamente el manglar es un tipo de humedal.

Suelo: cuerpo natural que se desarrollan en la superficie bajo la influencia inicial de la roca madre (a partir de su meteorización), luego del clima, y finalmente de la vegetación, la microfauna y el relieve. La textura del suelo está determinada por la proporción de los tamaños de las partículas que lo conforman. En un orden creciente de granulometría pueden clasificarse los tipos de suelos en arcilla, limo, arena, grava, guijarros y bloques. Por su parte, las capas que conforman el suelo se denominan *Horizontes*, las cuales están presentes o ausentes según el grado de desarrollo que presente el suelo. Estos horizontes se clasifican generalmente de la siguiente forma:

- a) *Horizonte O*: materia orgánica en descomposición (según la temperatura ambiental).
- b) *Horizonte A*: la capa más superficial del suelo, abundan las raíces y se pueden encontrar microorganismos animales y vegetales. Es de color oscuro debido a la presencia de humus.
- c) *Horizonte B* o de acumulación: aquí se acumulan las arcillas que han sido arrastradas por el agua, es de color más claro que el anterior y está constituido por humus mezclado con fragmentos de rocas.
- d) *Horizonte C* o de transición: formado por la roca madre fragmentada en proceso de desintegración.
- e) *Horizonte D o R*: capa más profunda del suelo formada por la roca madre fragmentada.

La textura y estructura de los horizontes pueden variar ampliamente entre ellos. La clasificación de horizontes mencionada anteriormente no corresponde a un proceso evolutivo, pueden estar o no presentes ciertos horizontes.

En función del tema de estudio, la estructura física del suelo representa un atributo de especial interés. Los componentes básicos del suelo corresponden a una fase sólida y otra porosa. Esta condición física puede ser estudiada por medio de los índices de conductividad hidráulica (capacidad del suelo saturado de permitir el movimiento de agua a través de sus poros), y densidad aparente (masa sólida del suelo seco, incluyendo la materia orgánica). Dichos índices permiten conocer la permeabilidad del suelo, es decir, la facilidad o dificultad de un fluido para atravesar el suelo a través de su perfil. La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos:

- la porosidad del material.
- la densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura.
- la presión a que está sometido el fluido.

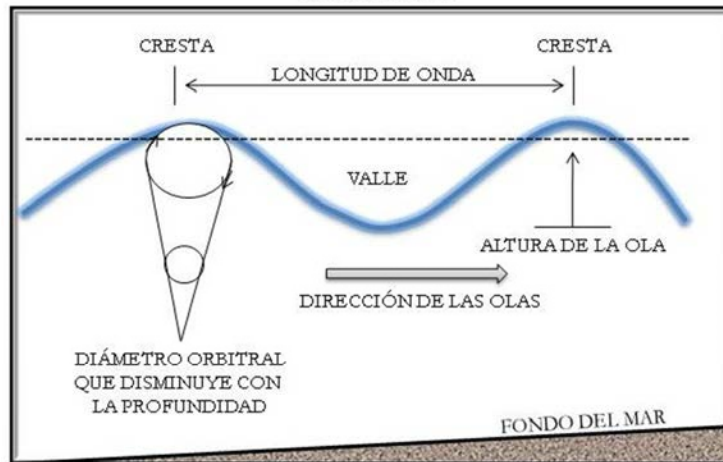
Hidrografía: aspecto básico para el estudio morfogénético. En términos generales se trata del estudio fisiográfico de la red fluvial y su papel como corrientes dispersantes. La hidrografía de un sitio depende de las condiciones climáticas, biogeográficas, topográficas y litológicas; es decir, los trazados de la red fluvial se caracterizan por la adaptación o inadaptación a las estructuras litológicas y tectónicas.

Uso de la tierra: puede entenderse como el acondicionamiento y desarrollo de diferentes tipos de zonas terrestres para una variedad de aprovechamientos, por ejemplo uso urbano, industrial, agrícola, conservación e incluso militar. El uso de tierra está condicionado principalmente por el relieve y el clima del lugar, ya que estos componentes pueden favorecer, limitar o impedir el desarrollo de una actividad determinada. Los usos humanos de espacios litorales son variados, y en la mayoría de los casos afectan la dinámica natural del medio litoral, por lo que se hace necesario una gestión ambiental específica a sus características.

Oleaje y marea: el oleaje "...son ondulaciones sobre la superficie del agua producidas por el viento. Se caracterizan por movimientos orbitales del agua que disminuyen rápidamente hacia el fondo, hasta que el movimiento es muy débil a una profundidad aproximadamente igual a la mitad de la longitud de la ola...La altura de la ola es la diferencia en elevación entre la cresta y el valle; es proporcional a la velocidad del viento" (Gutiérrez, 2008, 400). El agua transportada por las olas tiene que retroceder en

algún punto y se produce un flujo de retorno canaliforme, originando lo que se conoce como *corrientes de resaca*; llevando consigo un transporte de sedimentos constante, denominado *deriva litoral* (esta puede deducirse por la dirección en la que progresan las flechas que se construyen en los estuarios y desembocaduras de los ríos). “Los canales de resaca pueden alcanzar los 30 metros de anchura y velocidades de 8 Km/h” (Gutiérrez, 2008, 401).

Figura 2: Términos utilizados para las olas y dirección de avance de las mismas



Fuente: Modificado de Gutierrez, 2008.

Por su parte la marea son movimientos del agua producidos por la atracción gravitacional de la Luna y en menor grado del Sol; alcanzando sus valores máximos cuando estos astros tienen la misma orientación que la Tierra. Casi en todas las costas hay un ascenso en la marea (pleamar) y un descenso (bajamar).

1.4 El paisaje como unidad

El paisaje es identificado como síntesis de los sistemas ecológico y cultural que lo constituyen. “Técnicamente, lo más común es identificar el paisaje como una superficie geográfica heterogénea, constituida por un grupo de ecosistemas que presentan imagen o apariencia semejante.” (López y Cervantes, 2002, 43). El paisaje puede ser identificado como una unidad (espacial y temporal) con un grado suficiente de homogeneidad para reconocerla como una particularidad.

La *Unidad de Paisaje* o *Sistema de Tierra* consiste en un conjunto de componentes físicos, bióticos y antrópicos, funcionalmente integrados a partir de una relativa homogeneidad; principalmente en cuanto a su fisonomía.

La cartografía de estas unidades implica necesariamente la elección de una metodología apropiada: las unidades de paisaje se desarrollan a partir del contacto entre la litósfera, la hidrosfera y la atmósfera, superficie de contacto ampliamente estudiada por la geomorfología. El método escogido en la investigación considera prioritariamente el componente geomorfológico; debido a que es un elemento determinante relacionado a la formación de pisos bioclimáticos, suelo, distribución de la vegetación y posibilidades de uso de la tierra; por ende, apropiada para representar el paisaje como unidad en términos cartográficos.

2. Sensibilidad ambiental

2.1 Sensibilidad ambiental en función de la actividad hidrocarburífera

Toda actividad humana implica una modificación en el espacio donde se realice, y en principio, el entorno social es el medio natural intervenido por el hombre, según las necesidades que busque satisfacer. El abastecimiento de recursos energéticos no escapa a esta realidad, puesto que requiere de la instalación de infraestructura especializada para el manejo y trasiego de materiales. Con el paso del tiempo, esta infraestructura puede presentar fallas, accidentes o inconvenientes por múltiples causas, manteniendo así una amenaza latente para el entorno natural y social.

Como se explicó anteriormente, las unidades de paisaje se definen a partir de sus componentes; y los atributos de éstos ayudan a determinar la capacidad de amortiguamiento de cada unidad ante procesos o agentes adversos.

En el lenguaje cotidiano, sensibilidad es sinónimo de vulnerabilidad, susceptibilidad y fragilidad de áreas geográficas, ecosistemas o elementos naturales o antrópicos a cambios o estreses que pudieran actuar sobre ellos. En general, cada uno de estos términos son sinónimos y representan la misma característica: predisposición a ser dañado. Sin embargo, es importante aclarar que el término de vulnerabilidad

generalmente se aplica a temas con enfoque social, mientras que sensibilidad es relacionada principalmente a espacios naturales.

La sensibilidad ambiental no resulta simple de definir, ya que según el tema de estudio pueden aplicarse diferentes criterios y patrones de medición. En Argentina, el Grupo de Investigaciones Geoambientales (GIGA) clasifica tres tipos de condiciones que podrían cumplir con la mayoría de los requisitos necesarios para considerar un área como ecológicamente sensible:

1. Áreas con condiciones ambientales inestables y/o particularmente desfavorables para la producción biológica y la recolonización. Entre éstas se incluyen las afectadas por contaminación de diverso origen.
2. Áreas que tienen algún valor ecológico particular y son sensibles a las perturbaciones naturales y antrópicas, áreas con especies clave o que albergan sitios o procesos fundamentales desde el punto de vista ecológico.
3. Áreas con especies amenazadas.

En muchas legislaciones las áreas ecológicamente sensibles son aquéllas que pueden ser destruidas o fuertemente afectadas con facilidad, causando un daño irreversible a sus valores culturales, científicos, ecológicos o estéticos. Normalmente son áreas no aptas para la colonización humana. (GIGA, 2010)

Para Acuña, Cortés y Murillo del CIMAR (1997, 463) “la sensibilidad ambiental es la capacidad intrínseca de una región costera para asimilar el impacto de una eventual contaminación por hidrocarburos de petróleo. Un modo de estimar las consecuencias ecológicas de un derrame de petróleo, se basa en el estudio de factores tales como la composición y la forma de la costa, la energía con que las olas llegan a la playa, la dirección predominante del viento, la dirección y la velocidad de las corrientes marinas, la abundancia de especies biológicas y la cantidad y naturaleza de los hidrocarburos.” La definición expuesta por los autores del CIMAR sirve de base para la investigación, y resulta adecuada aunque de cierta manera incompleta, puesto que solamente toma en cuenta la línea costera y sus elementos naturales, y deja a un lado la dimensión social.

La definición anteriormente expuesta, se refiere exclusivamente al fenómeno de resiliencia ambiental, por lo que se formula, en función del presente estudio, un concepto de mayor aplicabilidad: la sensibilidad ambiental es el potencial de afectación que puede sufrir una unidad de tierra como resultado de la alteración de sus procesos físicos, bióticos y socioeconómicos que la caracterizan. Por su parte, la alteración se refiere a desviaciones de condiciones ambientales más allá de los límites esperados (carga crítica), causados o incentivados por la actividad hidrocarburífera, en función de dos variables:

1. grado de exposición (al contacto con hidrocarburos)
2. resistencia (de acuerdo a atributos de cada unidad)

Una unidad de tierra, se considera como un *área ambientalmente frágil* cuando sus recursos y atributos poseen una baja o limitada capacidad de asimilar y recuperarse ante el contacto e impacto de hidrocarburos. En principio y por sentido común, es de esperarse que la totalidad del paisaje analizado sea frágil; sin embargo, es ésta capacidad de asimilación y resistencia la que finalmente determina la zonificación de la sensibilidad ambiental; de manera tal, que de la aplicación metodológica pueden resultar áreas que no requieran operaciones de limpieza u otros cuidados. Un criterio fundamental para la elaboración de la cartografía final radica en la precisión conceptual de la sensibilidad, y no se debe confundir *contacto* con *impacto*, puesto que no todo contacto genera una alteración severa: “los recursos sensibles son aquellos que pueden entrar en contacto con una mancha de petróleo (a veces recursos vulnerables) y los que presentan probabilidad de ser impactados en forma adversa por un derrame” (Cubero, 2004, 57).

Un estudio de sensibilidad comprende la identificación de los recursos vulnerables, pero considera todos los recursos, independientemente del riesgo. Sin embargo, se puede establecer una jerarquía, y algunos recursos pueden considerarse en mayor medida que otros según la metodología utilizada.

2.2 Clases de sensibilidad según volumen de derrame

A pesar de que el volumen de derrame no representa la única variable para la caracterización de la sensibilidad ambiental, representa un factor determinante. Entre mayor sea el derrame, mayor serán las posibilidades de daño ambiental y aumento de la sensibilidad ambiental.

- ❖ **Baja sensibilidad:** se reconocen aquellos atributos cuyas condiciones originales toleran sin problemas el contacto con hidrocarburos, y donde la recuperación puede ocurrir de forma natural, sin gastos en cuanto a operaciones de limpieza. En función del volumen de derrame, se trata de accidentes puntuales que la administración encargada puede solventar sin mayores inconvenientes a partir de una respuesta local. No implica riesgo de incendio ni explosión, y las posibilidades de pérdidas humanas son mínimas. En términos cuantitativos se trata de un derrame menor a los 10 m³, originado posiblemente por fugas en el poliducto o accidente de camiones cisterna (Cubero, 113, 2004).

- ❖ **Sensibilidad media:** referida a aquellas áreas donde existe un equilibrio ecológico o social frágil. Su recuperación y control exige una inversión considerable. Según el volumen de derrame, la sensibilidad media se asocia con derrames entre los 10 y 100 m³. Para la atención del posible desastre, supera la capacidad local, pero sin requerir aún cooperación internacional. Su origen puede darse en operaciones de carga y descarga en el muelle petrolero, encalladuras de buques o fugas en los tanques de almacenamiento de la Refinería Moín (Cubero, 114, 2004).

- ❖ **Alta sensibilidad:** se destacan aquellos atributos donde los procesos adversos, ajenos al paisaje, modifican irreversiblemente sus condiciones originales o implica medidas de mitigación complejas y generalmente demasiado costosas. Corresponde a eventos que requieran la colaboración total del país y de organismos regionales e internacionales; ya que el derrame supera los 100 m³ por mucho. En este caso hay riesgos de incendios, explosiones e intoxicación

de fauna y personal encargado; además de alcanzar con facilidad los sitios más críticos en cuanto a su vulnerabilidad (Cubero, 115, 2004).

Para representar cartográficamente las unidades vulnerables del paisaje y el grado de severidad, por lo general se utilizan índices sencillos, ya sean numéricos o cualitativos (Alta, Mediana y Baja), acompañados de diagramas o tablas.

3. Los hidrocarburos y el ambiente

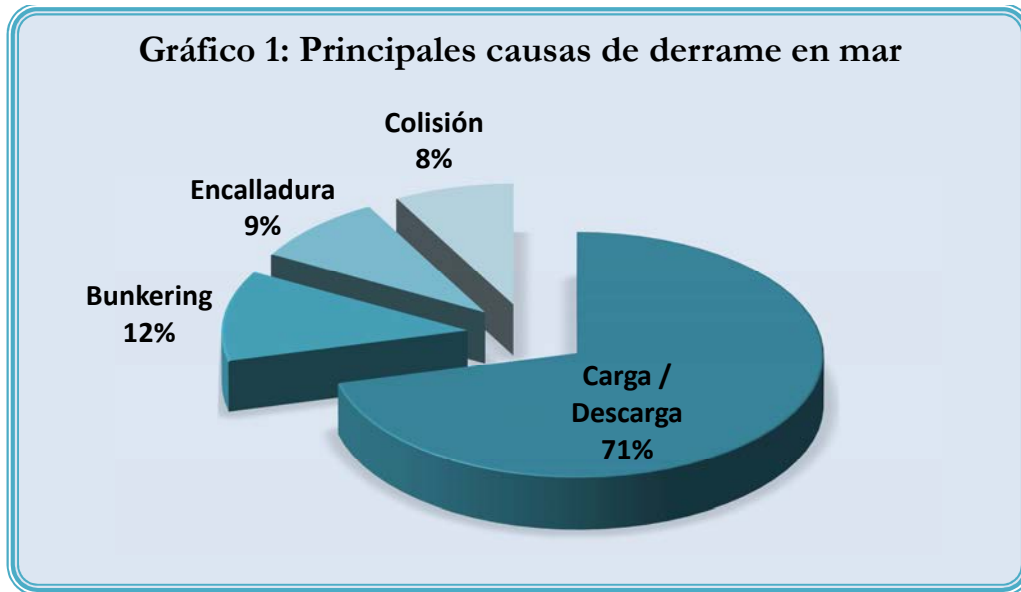
3.1 Derrame: causas y consecuencias

Los *hidrocarburos* son los compuestos orgánicos más simples y pueden ser considerados como las sustancias principales de las que se derivan todos los demás compuestos orgánicos. Se forman a partir de antiguos organismos vivos que fueron enterrados bajo capas de sedimentos hace millones de años, y que debido al calor y la presión creciente que ejercen las capas de sedimentos acumulados, los restos de estos organismos se transforman gradualmente en hidrocarburos. Estas sustancias se extraen de la corteza terrestre y, si es necesario, es refinada para convertirse en productos como la gasolina, el gasóleo y el queroseno; mientras que otros pueden ser transformados en plásticos, sustancias químicas, lubricantes y otros productos no combustibles. (Enciclopedia Encarta, 2005).

Cuando ocurre un derrame de esta sustancia y entra en contacto con el medio ambiente puede generar un impacto severo en las actividades costeras y en los recursos marinos y terrestres; entendiéndose *derrame* como la liberación de un fluido del recipiente que lo contiene. El recipiente puede ser un tanque de almacenamiento, una tubería o cualquier equipo que trasiego esta sustancia. Por lo general tiene asociados efectos adversos a la salud pública y al medio ambiente, además del problema económico que implica la pérdida de una cantidad de material. Las principales consecuencias de los derrames son: fuego, explosiones, intoxicación y contaminación ambiental. Visto de esta manera, el derrame puede ocurrir en una superficie terrestre o acuática durante cualquier momento de extracción, trasiego y manipulación. Normalmente las causas son consideradas siempre dentro de las causas de fuerza mayor y caso fortuito; sin embargo,

es importante aclarar que siempre existe la posibilidad de derrames intencionales por motivos terroristas o tácticas bélicas.

Las causas de derrame varían según el lugar de los hechos:

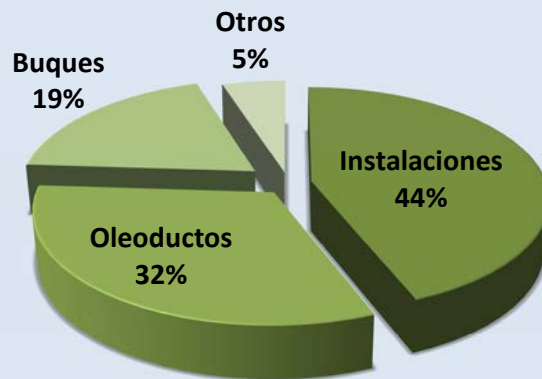


Fuente: Arpel, 1998.

En mar cuando se trata de grandes derrames, los choques y encalladuras de buques son la causa principal, sin embargo, cuando se toma en cuenta la totalidad de derrames sin importar el volumen, la causa principal pasa a ser las operaciones de carga y descarga. (Figura 3) “Las estadísticas de ITOPF demuestran que más del 70% de todos los derrames ocurrió durante las operaciones de carga y descarga” (Arpel, 1998, 17).

Cuando el evento ocurre en la línea costera las causas surgen a partir de fallas en las instalaciones (refinerías, tanques de almacenamiento y plataformas de perforación) o poliductos, las cuales pueden producirse por fenómenos naturales o antrópicos. La estabilidad y rentabilidad de la red de poliductos de un país, dependen primordialmente de la geografía del lugar; de manera tal que, factores como la irregularidad del relieve y la actividad sísmica, entre otros, pueden o no facilitar el transporte continuo de hidrocarburos. Los buques están presentes de nuevo entre las causas, aunque en este caso, en menor medida. Finalmente, se atribuye un 5% a otras causas, dentro de las cuales se pueden mencionar: goteo en pegaduras de las tuberías y accidentes de camiones cisterna (Figura 4).

Gráfico 2: Principales causas de derrame en costas



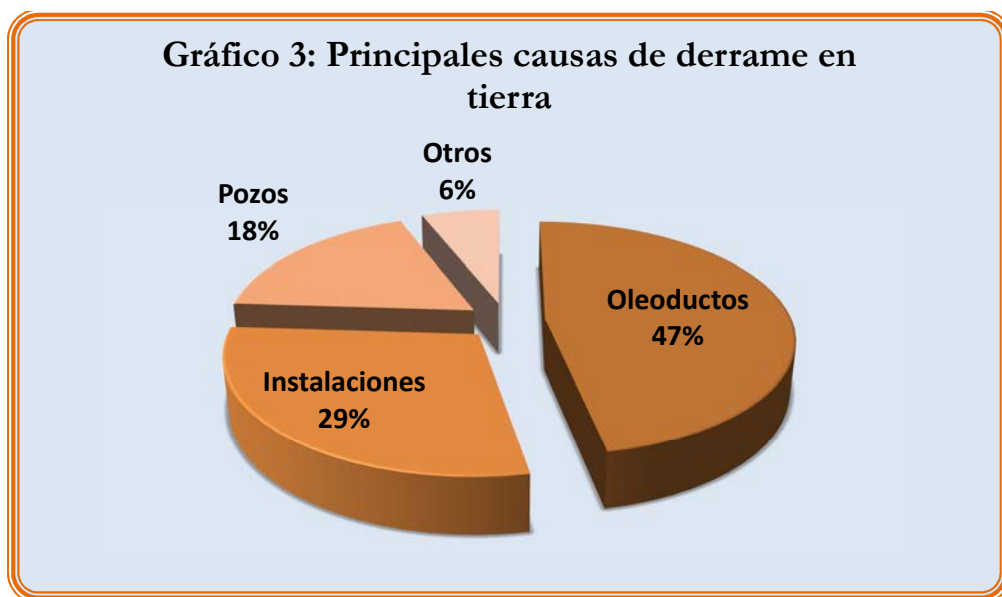
Fuente: Arpel, 1998.

En tierra la situación es muy similar al caso anterior, donde la principal fuente de derrames proviene de las instalaciones y red de poliductos (Figura 5). “Según determinó la Asociación de Petróleo Canadiense (CPA), por lo general los derrames en tierra son producto de corrosión interna y externa, fallas de equipo, reboses de tanques y fugas, así como errores de los operadores” (Arpel, 1998, 20).

Es importante resaltar un aspecto del concepto empleado para el término *derrame*. Si se observa el área de estudio en el *Mapa 3*, muy difícilmente un derrame en mar llegue a los ecosistemas terrestres más alejados de la costa, sin embargo, de acuerdo a la definición que se acaba de plantear, estas áreas pueden estar sujetas a daño ambiental. Por ejemplo grado de exposición a un derrame en tierra (de un camión cisterna o un poliducto) y aún más, a una explosión o incendio generados a partir del derrame; por lo que la sensibilidad ambiental y el alcance de un derrame no son una característica exclusiva del límite costero.

El fuego es el peligro más frecuente en las plantas de proceso industriales y bajo las peores circunstancias, puede convertirse en explosión. Por su parte, la explosión surge a partir de una liberación de energía violenta en forma uniforme o propagada. El derramamiento de fluidos tóxicos es el peligro más frecuente después de las explosiones y el fuego; sin embargo el mayor peligro potencial y responsable directo de la

alteración de funciones vitales y mortalidad se da por medio de inhalación, contacto con la piel o ingestión de sustancias peligrosas (Loaiza, 2003, 3).



Fuente: Arpel, 1998.

3.2 Propiedades físicas y químicas

Las propiedades básicas de un hidrocarburo determinarán los cambios físicos y químicos que éste sufrirá sobre una superficie sólida o líquida, así como el daño ambiental que pueda generar a través de su persistencia y toxicidad.

Las propiedades físicas dependen principalmente del tipo de enlaces entre átomos. Éstos pueden indicar el tipo de estructura y predecir sus propiedades físicas. Una propiedad física es una característica que puede ser estudiada usando los sentidos o algún instrumento específico de medida y se manifiestan en procesos físicos como cambios de estado, temperatura, forma, entre otros.

Por su parte, las propiedades químicas tienen que ver más con su cualidad de reacción, es decir, cuando se rompen o se forman enlaces químicos entre los átomos. En relación con las propiedades químicas, los efectos se agravan por los efectos tóxicos e impregnación.

Cuadro 1: Propiedades físicas de los hidrocarburos

Propiedad	Descripción
Densidad específica	Determina la flotabilidad en el agua e influye en los procesos de propagación y separación. Por lo general si es baja, hay alta viscosidad y contienen gran proporción de componentes volátiles.
Punto de ebullición	Velocidad a la que se evapora. Cuanto más bajo sea, más rápido se evapora el producto.
Viscosidad	Resistencia a fluir. La viscosidad disminuye al aumentar la temperatura, de modo que la temperatura del mar o el ambiente y la absorción del calor solar son factores importantes.
Punto de fluidez	Temperatura por debajo de la cual se vuelve semisólido y no fluye, como resultado de la formación de una estructura interna microcristalina. En hidrocarburos varía generalmente entre -35°C y 40°C.
Punto de inflamación	Temperatura mínima a la que existe suficiente vapor sobre los hidrocarburos derramados para formar una mezcla inflamable. Este es un factor importante en relación con el cuidado del personal que se dedique a la atención de un eventual desastre.
Solubilidad	Cualidad de disolverse. Algunos componentes del petróleo son solubles en agua. Generalmente, los más volátiles son también los más solubles. Aunque la solubilidad es baja en comparación con la evaporación, puede ser importante con respecto a la toxicidad para la biota.
Contenido de asfáltenos	Según su contenido, un producto puede formar emulsiones estables.

Fuente: Modificado de Cubero, 2004.

Cuadro 2: Propiedades químicas de los hidrocarburos

Propiedad	Descripción
Efectos tóxicos o toxicidad	Capacidad de interrumpir los procesos vitales al entrar en contacto con una especie. Los crudos frescos y productos livianos refinados con una alta proporción de componentes tóxicos pueden ocasionar daño local a praderas marinas y a toda su fauna.
Impregnación	Capacidad de influir profundamente en las especies al punto de penetrar en las partículas de un cuerpo. En un manglar puede obstruir las aberturas de una raíz e interferir en el equilibrio de las sales del árbol, o incluso en los procesos reproductivos de una especie.

El impacto causado por el hidrocarburo al entrar en contacto con el ambiente, depende en mayor medida de la toxicidad, viscosidad y fluidez. La primera característica por su alta capacidad de influir directamente en la mortalidad de las poblaciones afectadas, y las otras dos por su cualidad de persistencia y movilización. “Los mayores perjuicios tóxicos han sido causados por los derrames de hidrocarburos ligeros. Los derrames de hidrocarburos pesados pueden matar los organismos más por asfixia que por causa de los efectos tóxicos.” (IPIECA y ARPEL, 2, 2007). A medida que el hidrocarburo sufre

los efectos de la intemperie, se vuelve más viscoso y pierde su propiedad tóxica con el transcurso del tiempo. Las temperaturas elevadas y la velocidad del viento aumentan la evaporación y la velocidad de degradación, que es el destino final del hidrocarburo en el ambiente.

3.3 Clasificación

La principal clasificación de los hidrocarburos comprende dos grandes grupos según la unión de sus átomos de carbono: de cadena abierta (unión lineal o ramificada) y cíclicos (unión de anillos cerrados). Para efectos de lograr los objetivos planteados en la investigación, se parte de una clasificación más específica y adecuada que se detallada a continuación.

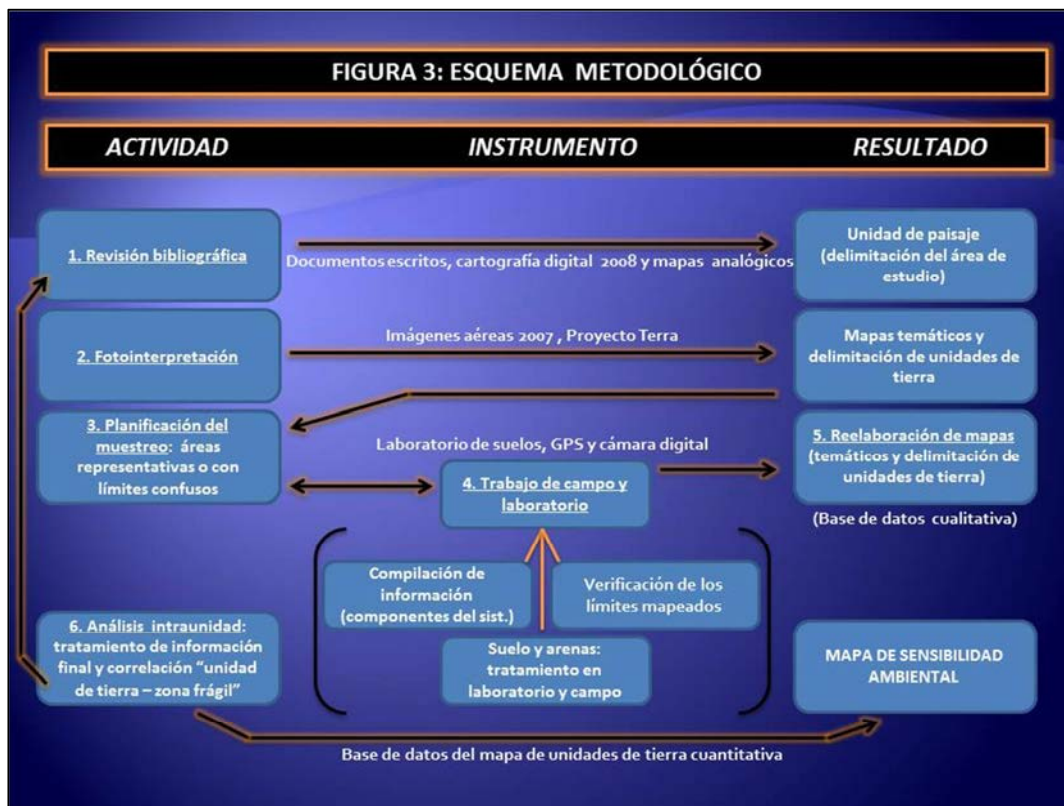
Cuando se trabaja con derrame, frecuentemente se hace distinción entre *hidrocarburos persistentes* y *no persistentes*. Esta clasificación obedece a sus características físicas, en especial a la solubilidad y viscosidad. Otra clasificación válida para la investigación, según su toxicidad, es la de *crudos de petróleo* y *productos refinados*, siendo estos últimos más tóxicos a causa de las agregaciones artificiales que poseen. “El petróleo crudo que ha sufrido los efectos de la intemperie puede tener unos efectos limitados, mientras que el diesel o la gasolina frescos pueden causar efectos tóxicos graves.” (IPIECA/OMI, 2007, 11). Ambas clasificaciones son válidas para el presente trabajo, por lo que se emplearán de forma conjunta para el desarrollo del trabajo.

En sus convenios internacionales, el FIDAC 92 implementó esta clasificación (persistente y no persistente) para dictaminar los desastres que aplican para indemnización. “Los convenios son aplicables a los derrames de hidrocarburos persistentes... Los daños causados por derrames de hidrocarburos no persistentes, tales como gasolina, aceite diesel ligero y queroseno, no son indemnizables en virtud de los Convenios”. Así mismo explica más adelante: “El término persistente se emplea para describir los hidrocarburos que debido a su composición química normalmente se disipan lentamente... y requieren operaciones de limpieza. Los hidrocarburos no persistentes tienden a evaporarse rápidamente cuando se produce un derrame y no requieren procedimientos de limpieza” y finalmente diferencian ambos tipos y detallan

cuantitativamente sus características: “un hidrocarburo no es persistente si en el momento de la expedición al menos 50% de las fracciones de hidrocarburos, en volumen, se destilan a una temperatura de 340°C (645°F), y al menos el 95% de las fracciones de hidrocarburos, en volumen, se destilan a una temperatura de 370°C (700°F)” (FIDAC, 1996, 5).

Pese a que la finalidad de dicha clasificación por parte del convenio no es la protección del ambiente, sino el cálculo monetario del desastre, resulta ideal para determinar la capacidad de daño ambiental, según se trate de una sustancia persistente o no.

CAPITULO III: METODOLOGÍA



La investigación presenta un *Levantamiento de Unidades de Tierra* integrado en el análisis, si bien no lo es en la participación de un grupo de especialistas multidisciplinario. El objetivo ha sido identificar las áreas ambientalmente frágiles ante una amenaza específica, según un enfoque paisajista. Los métodos e instrumentos utilizados a lo largo de la investigación siguen las líneas generales de la metodología del CSIRO, junto con algunas adaptaciones a las características del paisaje, escala de trabajo y tema.

El procedimiento se divide en las siguientes fases (*Figura 7*):

1. Revisión bibliográfica: Las fuentes escritas utilizadas (libros, tesis y revistas) se complementan con textos digitales y fuentes visuales (artículos, cartografía digital, mapas topográficos, fotos aéreas y Google Earth); en donde el objetivo consiste en unificar y seleccionar la información más adecuada que permita abarcar:

Los temas centrales del marco conceptual.

- Metodología del CSIRO
- Sensibilidad ambiental
- Hidrocarburos

Los temas de aplicación práctica para la puesta en marcha de la metodología.

- Geografía de la zona de estudio: componentes ambientales
- Cartografía digital de interés dentro del área de estudio
- Interpretación visual y análisis digital de imágenes
- Oleaje y marea

La información acerca de los componentes ambientales proviene en su mayoría de otras investigaciones, mientras que la cartografía se analiza de acuerdo a los objetivos planteados, para luego ser escaneada, ingresada y editada en un programa propio de un Sistema de Información Geográfica. Para dicha finalidad se utiliza el programa ArcGIS 9.3.

2. Fotointerpretación: cumple con la función de facilitar y acelerar las tareas de campo. Las imágenes aéreas del proyecto Terra 2007 a escala 1:40.000, complementadas con una fotografía del sector de Moín a escala 1:100, permiten realizar un trazado rápido y relativamente preciso de límites de las unidades consideradas, aunque sin tener aún una visión integral de la *unidad de paisaje*. El propósito de esta etapa conlleva a la elaboración de mapas temáticos y delimitación de *Unidades de Paisaje*.

- *Geología, clima y geomorfología.*

Componentes que delimitan el área de estudio y el primer nivel de la taxonomía. Identificados a partir de la cartografía digital 2008 del Instituto Tecnológico de Costa Rica (geomorfología), datos climáticos del Instituto Meteorológico Nacional (clima) y Ministerio de Industria, Energía y Minas (geología). Estos mapas y datos son escaneados y georeferenciados, para su posterior digitalización en ArcGIS. Dentro del componente geomofológico se interpreta la hidrografía.

La interpretación visual de las imágenes se va a centrar en los criterios de *rugosidad, color y forma*. Con respecto al relieve, la regularidad o rugosidad van a revelar la existencia de las grandes geoformas del área de estudio: llanuras aluviales, cordón litoral y promontorios. La hidrografía resulta fácil de interpretar según su color y forma; sin embargo, este componente ya se encuentra debidamente identificado en la cartografía obtenida, por lo que únicamente se procede a verificar en las imágenes aéreas. El agua tiende a ser oscura (color azul a negro) precisamente por su baja capacidad de albedo; en zonas volcánicas tienen el mismo color que tendría un flujo de lava.

Dentro de esta primera aproximación, el clima es una variable que no forma parte de la fotointerpretación. Aunque indirectamente se puede hacer una estimación climática a partir de imágenes aéreas, se obtuvo a través de información brindada por el Instituto Meteorológico Nacional; donde se analizan tablas de períodos mayores a 30 años sobre precipitación, temperatura y viento.

- *Vegetación, suelo y uso de la tierra.*

Componentes que delimitan el segundo nivel de la taxonomía.

La vegetación constituye un componente de fácil identificación y caracterización según color, contorno y patrón espacial. El estado vegetativo se puede relacionar con los criterios de *color* y *tono*, ya que se supone que entre más desarrollada y sana sea la vegetación, más oscuro será el tono. Además, el contorno de la vegetación siempre va a tender a ser irregular por naturaleza.

Contrario a estos casos, el suelo no resulta factible de diferenciar a partir de la fotointerpretación, por lo que su estudio se realiza en campo y laboratorio a partir de muestras extraídas en las visitas al lugar. Las características del suelo a determinar en campo y laboratorio se explican con mayor detalle en el **Punto 4** de la metodología:

Finalmente para el uso de la tierra, el criterio fundamental a emplear será el de *forma*, seguido por *color*. Una disposición regular, cuadrículada, formando mallas o siguiendo las curvas de nivel, indica normalmente cultivos, uso urbano o industrial. Por su parte los centros de población e industriales se distinguen claramente por sus tonalidades grisáceas.

- *Oleaje y marea:*

Su estudio se limita a la revisión bibliográfica; ya que se cuenta con antecedentes de alta confiabilidad en el área de estudio, realizado por expertos en el tema; tanto nacionales como internacionales. La batimetría se obtiene de estudios previos, se escanea y georeferencia en ArcGIS.

Una vez que la batimetría es ingresada al programa ArcGIS 9.3, se realiza un modelo de altitud, para poder conocer la batimetría en cualquier punto del mar, frente al área de estudio. El proceso se realiza mediante la extensión “*Topo to raster*”, de la herramienta *Spatial Analyst Tools*, de ArcGIS. De esta manera se tiene en formato digital, el nivel batimétrico en cualquier punto (raster), ya no en una sola línea (vector).

- *Facetas de tierra:*

El tercer nivel de la taxonomía, el cual corresponde a observaciones puntuales de ciertos atributos ambientales. Conceptual y metodológicamente se presentarán como unidades de tierra de poca extensión espacial. Esto así debido a que este nivel no se encuentra claramente definido y es débilmente abarcado por parte de los autores citados.

3. Planificación del muestreo: por el tipo de investigación y la temática tratada, en el límite costero no se hace muestreo, sino que se recorre y analiza en su totalidad. El muestreo se aplica principalmente en las partes alejadas de la costa, donde se cuenta con menos acceso terrestre. Es en estas partes alejadas de la costa en donde se determina un muestreo en función del tipo de suelo y vegetación; con la finalidad de extraer una muestra por cada tipo de suelo y caracterizar la vegetación según sus estratos y estado vegetativo.

Se identifican áreas representativas que requieran trabajo de campo o con límites confusos e imprecisos. Se considera un área representativa cuando ésta posee un componente ambiental cuya extensión es superior al 25% del área de estudio. Este muestreo puede ser modificado y mejorado en campo; sin embargo, es en los resultados de fotointerpretación donde se hace el proceso selectivo, acorde a la metodología australiana. Con respecto a límites de unidades confusos, principalmente en el segundo nivel taxonómico, puede ser que un sitio requiera verificación de límites que no pueden definirse en la imagen satelital por cuestiones de escala y nitidez de la misma.

4. Trabajo de campo y laboratorio: el propósito es mejorar los mapas ya elaborados mediante 5 actividades:

- a) Observación y compilación de información en las giras de reconocimiento.

La observación como parte del método científico constituye la técnica básica para el desarrollo de la investigación. En la salida de campo de reconocimiento se utilizará la cartografía temática parcial, las hojas topográficas Moín y Río Banano del Instituto

Geográfico Nacional, cámara digital para fotografiar puntos de interés y GPS Garmin 60 CSX.

El propósito consiste en recorrer y describir características generales del sitio en cuanto a relieve, vegetación, tipos de suelo y áreas de importancia socioeconómica. Con ello se lograría tener una primera noción de la sensibilidad ambiental en términos generales.

b) Verificación de límites.

Una vez delimitados los diversos componentes del sistema, se verifican en campo con el uso de GPS; principalmente el uso de la tierra.

c) Extracción de muestras de arenas para análisis granulométricos y morfoscopia de cuarzo:

Las muestras extraídas en campo son colocadas en un horno a 130° C por un lapso de 5 días consecutivos. Al tercer día de secado, se aplica peróxido de hidrógeno para eliminar excesos de materia orgánica, y las muestras se regresan al horno por 2 días más.

Al quinto día, con las muestras libres de humedad y reducción de materia orgánica, se inicia el proceso de tamizado. Para ello se pesa en la balanza 200 gramos exactos de arena. La serie de bandejas empleadas están basadas en el sistema de American Society for Testing and Materials (ASTM).

En caso de formación de conglomerados en la muestra después del proceso de secado, se utiliza un recipiente y un mortero para la desagregación. Este paso se realizado con el cuidado necesario para no modificar la estructura física de las arenas, y así no afectar los resultados finales de granulometría.



Fotografía 2: Mortero y recipiente para la desagregación de conglomerados.

Los 200 gramos de arenas son depositados en las bandejas de tamizado y agitados por un lapso de 15 minutos en un agitador eléctrico. Una vez finalizado este período, se pesa el material que queda acumulado en cada una de las bandejas.



Fotografía 3: Depositación y filtrado en las bandejas de tamizado.

El contenido retenido en el tamiz 40 se utiliza para el proceso de morfoscopia de cuarzo; el cual consiste en analizar la forma y superficie de los granos de arena cuyo tamaño no supera los 0.425 mm. Este paso permite determinar el origen y recorrido del material; así como los sitios de fuerte abrasión costera. Los materiales utilizados son bandeja de tamiz N°40, microscopio, cámara y pantalla.



Fotografía 4: Microscopio, cámara y pantalla conectados



Fotografía 5: Visualización del material retenido en el tamiz 40.

- d) Determinación de la conductividad hidráulica, capacidad de campo y densidad aparente.

En campo se utilizan cilindros metálicos para extraer las muestras de suelo y arena. Estos son puestos en bandejas llenas de agua para el proceso de saturación, durante un

lapso mínimo de 24 horas. Una vez que las muestras están debidamente saturadas, es posible realizar las mediciones correspondientes.

Capacidad de campo: se toma el peso de suelo saturado en gramos, con el uso de una balanza de alta precisión (con margen de error de 0.1g)

Conductividad hidráulica: con probeta graduada se mantiene un flujo de agua constante, para determinar el volumen de agua que atraviesa la muestra en un lapso determinado. Para ello se aplica la siguiente fórmula:

$$K = \frac{Q}{At} \times \frac{L}{h}$$

En donde:

A: área de la muestra (cm²)

L: longitud de la muestra (cm)

h: carga hidráulica (muestra + altura del agua en cm)

t: intervalo de tiempo (minutos convertidos en horas)

Q: agua que atraviesa la muestra saturada (cm³)

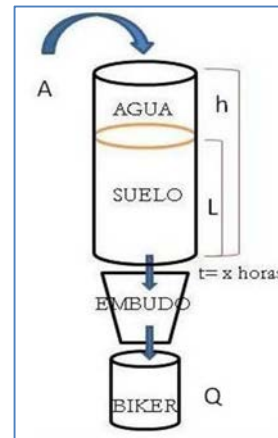


Figura 4: Conductividad hidráulica.

Densidad aparente: se seca el suelo en un horno a una temperatura de 130°C hasta que la muestra haya perdido su humedad. Este dato se obtiene a partir de la relación entre masa sólida (muestra seca) y volumen total (muestra saturada):

$$D = \frac{Ms}{V}$$

e) Ensayo de infiltración de hidrocarburos en arena de playa.

En campo se realizan ensayos sobre los tubos pequeños para comprobar los hidrocarburos que llegan o superan los 9 centímetros de infiltración. En total se realizan 15 ensayos (un ensayo en cada sitio para cada tipo de hidrocarburo disponible).

El cilindro pequeño se introduce en la arena y se extrae lleno dejando solamente 1 cm. libre para mantener una carga constante de hidrocarburo sobre un biker calibrado. Se toma la medida del volumen de sustancia derramada, el volumen restante en el biker

(material que supera la infiltración del largo del cilindro) y por diferencia se deduce el material retenido en la muestra de arena dentro del tubo.



Fotografía 6: Materiales de campo.

Para el trabajo en laboratorio se toman los tubos de 50 cm. necesarios para realizar el mismo proceso de simulación de derrame; con un volumen mayor de hidrocarburo sobre una estructura más profunda. Para evitar que la arena se salga por la ranura del tubo durante el transporte al laboratorio, se tapa con cinta adhesiva impermeable y se quita una vez que se va a realizar la aplicación de hidrocarburos, precisamente para medir el lapso en que éste se infiltra en la columna de arena.



Fotografía 7: Tubo de 50 cm preparado para la medición de velocidad de infiltración.

Una vez realizado el ensayo de infiltración sobre los cilindros largos, se procede a realizar los cálculos de volúmenes en la centrífuga. Estos datos permiten complementar la información obtenida sobre profundidad y velocidad de infiltración, con porcentaje de hidrocarburo retenido según dos profundidades distintas.

Se procede a medir el porcentaje de hidrocarburo retenido a 8 y 23 centímetros de profundidad. A nivel superficial no se realiza dicha estimación, ya que en un posible derrame, el volumen de hidrocarburo que puede retener la arena a nivel superficial es

afectado por procesos ambientales, principalmente por evaporación. Por ello el dato que se obtendría resultaría difuso.

La centrífuga utilizada cuenta con 6 tubos de ensayo, los cuales tienen que estar debidamente equilibrados en cuanto a peso (en caso de que uno de los tubos de la centrífuga no tuviera muestra, se llena de agua). Con una espátula se toma parte de la arena a 8 y 23 centímetros de profundidad y se introduce en cada uno de los tubos de ensayo, llenados con agua. La centrífuga actúa como separador de arena-agua-hidrocarburo funcionando a 3600 revoluciones durante 5 minutos.



Fotografía 8: Centrífuga y tubos de ensayo.

Una vez finalizado el proceso de centrifugado, los tubos se ponen en reposo durante un lapso de 24 horas para el debido proceso de decantación; para finalmente medir el volumen de arena e hidrocarburo. El volumen, tanto de arena como de hidrocarburo, se obtiene mediante la fórmula matemática “*volumen del cilindro*”. Este volumen a su vez se puede convertir a porcentaje mediante “*regla de tres*”.



Fotografía 9: Tubos de ensayo posterior al proceso de centrifugación y decantación.

En términos generales, el trabajo realizado a lo largo del ensayo representa una pequeña simulación de derrame de hidrocarburos, sobre sitios de interés, previamente escogidos

en función del tema. El principal beneficio del ensayo, radica en el hecho de ser realizado “*in situ*”, con las condiciones ambientales reales que llegarían a influenciar un derrame en Moín; apoyado y complementado con datos generados en laboratorio. Por ello se espera que los datos obtenidos mantengan una veracidad muy cercana a la realidad de un posible derrame.

Por otro lado, el trabajo en laboratorio se fundamenta principalmente en el proceso de centrifugación; por medio del cual se pretende separar sólidos (arena) de líquidos (hidrocarburos) de diferente densidad mediante una fuerza rotativa, la cual somete la muestra a una fuerza mayor que la gravedad.

5. Reelaboración cartográfica y delimitación de unidades de tierra:

La elaboración del *Mapa de Unidades de Paisaje* se realiza tomando como base únicamente la capa de información correspondiente a la geomorfología. Las grandes formas del relieve identificadas en el área de estudio determinarán el número, tipo y límite de las unidades de paisaje. De manera indirecta se toma en cuenta la geología y el clima, puesto que estos componentes ambientales determinan la evolución de la geomorfología actual.

Una vez delimitadas las unidades de paisaje, y finalizado los mapas temáticos de cada componente del *Sistema de Tierras*, se procede a la elaboración del *Mapa de Unidades de Tierra* sobreponiendo en el programa ArcGIS 9.3 las capas de información. El mapa de unidades de tierra será el mapa base para representar la sensibilidad ambiental. La base de datos asociada a este mapa incluye los atributos necesarios para definir el mapa final de la investigación.

Cuadro 3: Base de datos asociada al Mapa de Unidades de Tierra.

Geología	Geomorfología	U_P	Suelo	Vegetación	Uso tierra	U_T
Depositos fluviales y costeros	Cordon litoral de origen contine	1	Psamment	Bosque muy humedo sempervirente de	Humedal	1.4
Depositos fluviales y costeros	Cordon litoral de origen contine	1	No hay formacion (arena fluvial y cost	Bosque muy humedo sempervirente de	Humedal	1.3
Depositos fluviales y costeros	Cordon litoral de origen contine	1	No hay formacion (arena fluvial)	Bosque muy humedo sempervirente de	Humedal intervenido (ranchos)	1.1
Depositos fluviales y costeros	Cordon litoral de origen contine	1	No hay formacion (arena fluvial y cost	Palmeras y árboles dispersos	Uso urbano (Moín)	1.8
Depositos fluviales y costeros	Cordon litoral de origen contine	1	No hay formacion (arena fluvial y cost	Palmeras dispersas	Cordon litoral continental	1.2
Depositos fluviales y costeros	Cordon litoral de origen contine	1	Psamment	Herbaeoa hidromorfica	Pastos	1.5
Depositos fluviales y costeros	Cordon litoral de origen contine	1	Psamment	Bosque secundario	Bosque secundario	1.8
Depositos fluviales y costeros	Cordon litoral de origen contine	1	Psamment	Herbaeoa hidromorfica	Pastos	1.7
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Fibríst	Bosque muy humedo sempervirente de	Humedal	2.11
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Aquent	Herbaeoa hidromorfica	Pastos	2.7
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Aquent	Herbaeoa hidromorfica	Pastos	2.10
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Aquent	Bosque muy humedo sempervirente de	Humedal	2.13
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Aquent	No hay	Industrial (Refineria - ICE)	2.21
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Psamment	Bosque secundario	Bosque secundario	2.18
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Psamment	Bosque muy humedo sempervirente de	Humedal	2.6
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	No hay formacion (arena fluvial)	Restos de humedal alterado	Uso mixto	2.1
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Fibríst	Herbaeoa hidromorfica	Pastos	2.5
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Fibríst	Herbaeoa hidromorfica	Pastos	2.4
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Fibríst	Herbaeoa hidromorfica	Pastos	2.2
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Fibríst	Bosque muy humedo sempervirente de	Humedal	2.3
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Fibríst	Bosque muy humedo sempervirente de	Humedal	2.8
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Fibríst	Herbaeoa hidromorfica	Pastos	2.9
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Aquent	Herbaeoa hidromorfica	Pastos	2.14
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Aquent	Herbaeoa hidromorfica	Pastos	2.12
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Aquent	Bosque muy humedo sempervirente de	Humedal	2.15
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Aquent	Bosque secundario	Bosque secundario	2.17
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Aquent	Herbaeoa hidromorfica	Pastos	2.16
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Aquent	Herbaeoa hidromorfica	Pastos	2.19
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Aquent	Bosque secundario	Bosque secundario	2.22
Depositos fluviales	Llanura aluvial	2	Aquent	Bosque secundario	Bosque secundario	2.20
Areniscas, lutitas, conglomerados y aren	Lomerios sobre promontorio	3	Tropept	No hay	Urbano (Ciudad de Limon y Pueblo	3.6
Areniscas, lutitas, conglomerados y aren	Lomerios sobre promontorio	3	No hay formacion (promontorio corali	Palmeras y árboles dispersos	Costa acantilada y muelle ilegal	3.20
Areniscas, lutitas, conglomerados y aren	Lomerios sobre promontorio	3	Udalf	Bosque secundario	Bosque secundario	3.16

El *Mapa de Sensibilidad Ambiental* representa la versión cuantitativa del *Mapa de Unidades de Tierra* y presentará la misma base de datos anterior, aunque numérica según los atributos explicados en el siguiente punto.

Es en este paso donde finaliza la metodología australiana.

6. Análisis intraunidad: se recurre de nuevo a fuentes escritas que faciliten la correlación “*Unidad de Tierra – Área Frágil*”, de manera complementaria con el inventario ambiental conseguido a lo largo de los pasos anteriores. El propósito es cumplir el objetivo general y determinar las áreas ambientalmente sensibles según sus atributos ante derrame de hidrocarburos y sus consecuencias.

Para determinar la sensibilidad ambiental según los atributos obtenidos se recurre principalmente a tres fuentes:

- *Derrame en mar:*
 1. Serie de informes 1990-2007 del IMO, IPIECA y Arpel
 2. Índices de Gundlach y Hayes de 1978
 3. Integrated Atlantic Coast Port Study. Masterplan Limón/Moín.

- *Derrame en tierra:*
 1. Serie de informes 1990-2007 del IMO, IPIECA y Arpel
 2. Guía práctica para el estudio de suelos de la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo de 1999.

En síntesis tenemos que los atributos son:

1. Geomorfología
2. Influencia del oleaje (velocidad, intensidad y dirección)
3. Granulometría
4. Conductividad hidráulica
5. Tipo y estado de formación vegetal
6. Estratos de la vegetación
7. Tipo de uso actual de la tierra
8. Cercanía a infraestructura petrolera

Cada uno de estos atributos son agrupados en rangos del 0 al 5, siendo 5 la sensibilidad ambiental más alta. Es decir, cada uno de estos atributos están asociados a un valor de sensibilidad y unidad de tierra determinados.

Cuadro 4: Sensibilidad por atributo.

0	No aplica
1	Muy baja
2	Baja
3	Media
4	Alta
5	Muy alta

En el caso de atributos de especial cuidado se trabaja con un valor *booleano*. Es decir, no se categoriza en rangos del 1 al 5, sino que se define como 1 o 5. Este método evita restar importancia a aquellos atributos que agudizan, más que otros, la sensibilidad ambiental. Este es el caso del atributo “*Cercanía a infraestructura petrolera*”. Se utiliza el valor 1 o *Falso* para las unidades de tierra que no contienen infraestructura petrolera y valor 5 en caso contrario.

En casos en que el atributo analizado no sea parte de una unidad de tierra, se asigna el valor 0 (por ejemplo estado vegetativo en áreas urbanas). La sumatoria de cada uno de

esos valores determina su clase de sensibilidad ambiental. De esta manera se cumple con el principio de que la sensibilidad ambiental corresponde a un criterio integral.

En términos generales, la metodología sigue una similitud inversa con respecto a los Índices de Fragilidad Ambiental, del SETENA. Esta metodología decretada (IFA) para estudios de impacto ambiental en Costa Rica emplea una sobreposición de capas temáticas, pero utiliza una simbología en donde la sensibilidad alta tiene los colores ligeros o ténues. Por el contrario, la simbología representada en la presente investigación utiliza los colores más intensos en los niveles de sensibilidad más altos, puesto que visualmente son las áreas que interesan resaltar.

Según el valor acumulado se tienen los siguientes rangos de sensibilidad:

Cuadro 5: Rangos finales de sensibilidad ambiental.

0 - 8	Muy baja
9 - 16	Baja
17 - 24	Media
25 - 32	Alta
33 - 40	Muy alta

CAPITULO IV: RESULTADOS Y CONTENIDOS

1. Establecimiento del Sistema de Unidades de Tierra del CSIRO

1.1 Delimitación e identificación de las Unidades de Paisaje

A. Geología

El area de estudio está constituida geológicamente por materiales de los períodos Terciario y Cuaternario. Dicha área presenta una división litoral de dos grandes sectores, distintos desde el punto de vista geológico, debido principalmente a varios eventos tectónicos pasados.

Del período Terciario se encuentran rocas de origen sedimentario intrusivo y volcánico, principalmente en Limón; mientras que entre Moín y Boca Matina dominan las rocas sedimentarias del Cuaternario, particularmente de la época del Holoceno. Es en ésta región donde la dinámica geológica, y en general la dinámica natural, es menos activa. Sobresalen los depósitos fluviales y coluviales principalmente por aporte del río Matina, y en menor medida aportes costeros recientes. Estos coluvios forman un cordón litoral de origen continental de materiales finos.

Gran parte de la Ciudad de Limón, antigua isla, está construida sobre un arrecife coralino del Pleistoceno y en la actualidad forma parte del territorio continental, razón por la cual, tanto su geología como geomorfología contrasta del resto del espacio litoral estudiado. Debido a ello, existen túneles en la base de la Ciudad de Limón y alrededores, que pueden dar origen a grandes cavidades y “huecos sopladores”.

En el mapa geológico adjunto, se evidencia la influencia directa de dos formaciones que datan del Terciario, específicamente de la época del Mioceno: Formaciones Río Banano y Uscari.

De acuerdo a Astorga y Escalante (1994, 7) “la formación Uscari consiste en su mayoría de lodolitas terrígenas con intercalaciones de calcarenitas y arenitas calcáreas hacia su parte superior. Su espesor varía entre 600 y 2000 metros”, más adelante se refieren a la

formación Río Banano “representada principalmente por sedimentos clásticos marinos someros”. La formación Uscari está compuesta por lutitas de tonalidades oscuras y suaves, lutitas limosas, gris verdosa cuya meteorización la transforma a tonalidades grises con manchas amarillas oscuras. En este sentido, la formación Río Banano se diferencia por sus areniscas verdes fosilíferas, conglomerados y sobre todo arrecifes coralinos.

El área de Moín posee según Bergoeing (1984, 173) una paleofauna variada principalmente de la edad Plioceno. La formación Portete se distingue del Mioceno, sumamente alterada (arcillas rojas de descomposición con criptokars). Para este investigador, los afloramientos rocosos litorales de antiguos complejos coralinos Pleistocénicos, constituyen el punto de apoyo de la construcción flandriana y proliferación de pequeñas bahías arenosas.

En el sector norte de Puerto Limón existe un doble sistema de socavamiento por corrosión, en la antigua plataforma de bajamar, que domina a la actual, por sobre 1-2 metros y es testigo de las variaciones del nivel marino. Retomando lo expuesto por Bergoeing (1984, 174), estos afloramientos consisten en mazicos coralinos, en posición de crecimiento y de brechas coralinas completamente recalcificadas, que han sido levantadas hasta 15 metros de altitud. Punta Portete estaba unida con una isla cuando ocurrió la transgresión del Pleistoceno medio; en donde una construcción coralina más reciente vino a apoyarse. A ambos lados de Bahía Portete, la construcción coralina constituye un plano continuo de hasta 2 metros de altitud que rodea la costa. En términos generales, en Portete y Playa Bonita, la morfología se torna compleja con la presencia de un doble socavamiento de corrosión de la antigua plataforma de bajamar.

En Piuta se extiende una Plataforma de bajamar ancha de hasta 100 metros condicionada principalmente por arrecifes. Esta franja de arrecife muerto actúa como un abrigo y modifican el oleaje que llega a la orilla continental. En términos generales, se evidencia entre los Muelles de Moín y Limón ambientes coralinos, que indican ambientes ricos en carbonatos, de los que depende una fauna de moluscos y otros.



Fotografía 10: Socavamiento por oleaje en antigua plataforma de bajamar, extremo este de Bahía Portete.

En la imagen, anterior resulta evidente el ascenso por tectonismo de la antigua plataforma de bajamar. La región de Limón ha sido afectada por varias etapas tectónicas durante su historia geológica, según estudios geofísicos de prospección petrolera realizados en el sitio. El terremoto del 22 de abril de 1991 y la actividad sísmica posterior en la Provincia de Limón, ha demostrado que, lejos de ser una región de baja sismicidad, corresponde a una región de movimientos tectónicos reiterados a lo largo de su evolución.

El levantamiento de la costa debido al terremoto de 1991, resultó ser el efecto más dramático del evento y tuvo mayor impacto en Limón, generando una franja de arrecife muerto interrumpida pocas veces por bancos de arena y playas. Hacia el norte de Puerto Limón el movimiento vertical diferencial decrece hasta desaparecer en los Muelles de Moín.

Figura 5: Levantamiento co-sísmico paralelo al límite costero.



Fuente: Modificado de Astorga, 1991.

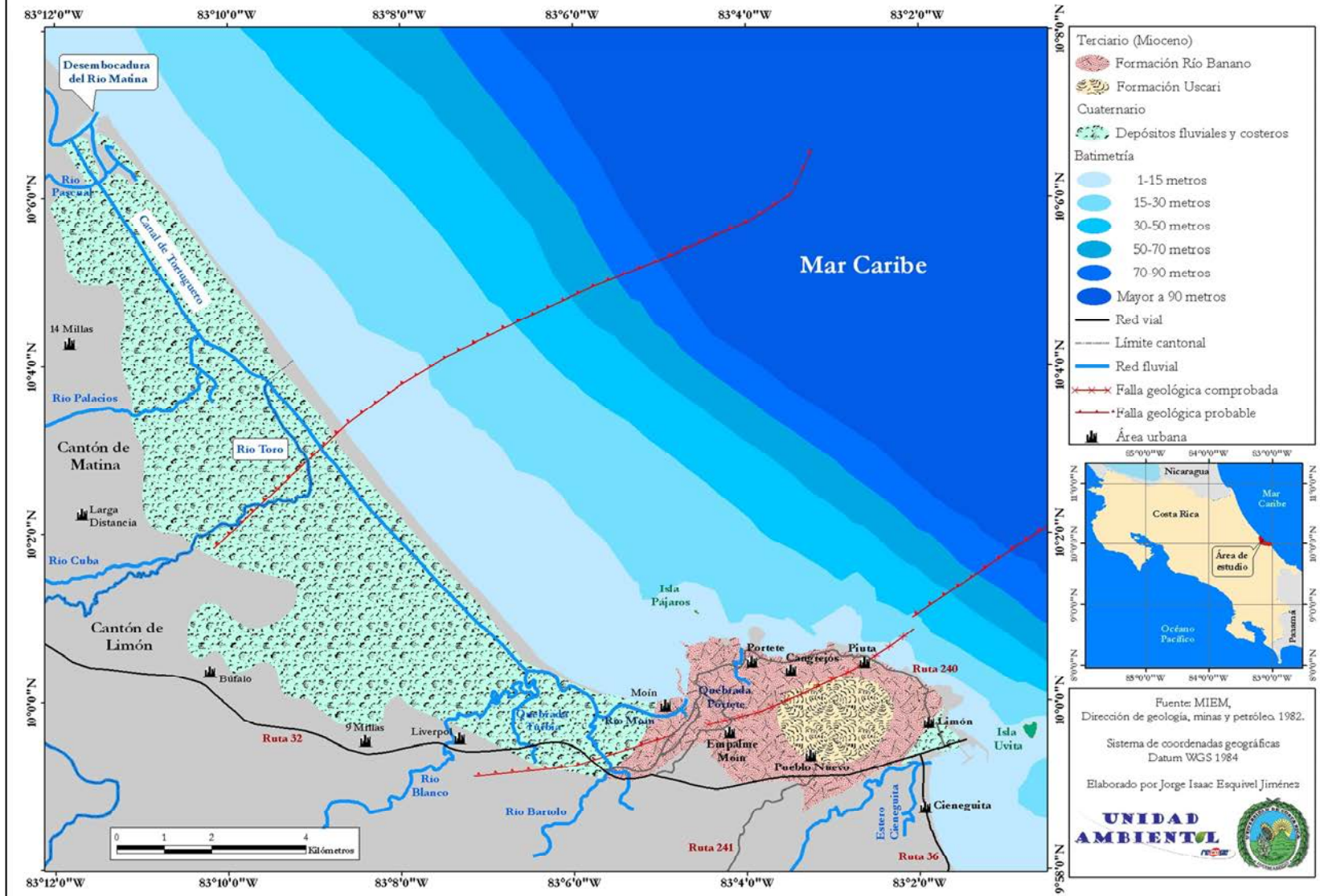
Por su parte, el fenómeno de extensión lateral produjo daños considerables en la red vial y en el canal de Tortuguero, el cual se obstruyó a causa del desplazamiento lateral del suelo. Por otro lado, el levantamiento tectónico costero produjo daños irreparables a los arrecifes del sitio afectado; aunado a ello, se dio un problema sanitario al quedar expuestas las tuberías de aguas negras.



Fotografía 11: Tubería expuesta causado por ascenso tectónico en 1991.

Evidencias de eventos sísmicos previos están registrados en los promontorios de la costa Caribe de Costa Rica. Se considera que terremotos de magnitudes similares o mayores al caso de 1991 han ocurrido en forma recurrente a lo largo del período del Cuaternario, lo cual está confirmado por acantilados coralinos con altitudes mayores a los 15 metros sobre el actual nivel de mar.

Mapa 4: Geología entre la desembocadura del río Matina y Puerto Limón



B. Geomorfología

Se distinguen cuatro grandes formas:

1. Cordón litoral entre las desembocaduras de los ríos Matina y Moín: De desarrollo paralelo al canal artificial de Tortuguero. Mantiene una forma rectilínea en dirección NO-SE a causa de la deriva litoral; en donde se evidencia la formación de playas anchas de arenas finas con tonalidades grises oscuras; esto por los aportes sedimentarios de los ríos Matina y Moín. La pendiente es prácticamente nula al no superar los 2°.



Fotografía 12: Cordón litoral. Vista desde Moín hacia Boca Matina.

2. Área de transgresión flandense o llanuras aluviales: La última gran variación eustática que modificó el espacio litoral del Caribe, es conocida como transgresión flandense, fenómeno que estabilizó el nivel actual del mar hace aproximadamente 6000 años. A causa del deshielo de los glaciares wurmienses el nivel del mar ascendió hasta 130 metros en casos extremos sobre su nivel anterior. Durante el Cuaternario el nivel del mar ha variando entre los períodos glaciares e interglaciares; y durante el Holoceno (período Flandense) el mar invadió la actual llanura litoral del área de estudio.

Según el Atlas Geomorfológico del Caribe de Costa Rica, las evidencias de este fenómeno llegan hasta los 10 metros de altitud, zona que estuvo sumergida hace mas de 6000 años y que, desde entonces, ha emergido por un proceso neotectónico positivo (Bergoeing, 2010).



Fotografía 13: Llanura aluvial (área de transgresión flandense) actualmente utilizada para pastos.

3. Pliegues de origen estructural de la formación Brito: En ciertos casos, cuando se realizan trabajos a escala mayor (con menor detalle), se puede considerar como parte de la llanura de sedimentación aluvial. A una escala media (entre 1:50.000 – 1:25.000) si es posible presentar una diferencia en el relieve a partir de pliegues estructurales. Este plegamiento es testigo de la deformación plástica no reversible (sin fracturamiento o rompimiento) de las rocas por actividad tectónica cíclica, sin embargo; éstos no son drásticos y continúan la monotonía de la unidad geomorfológica anterior. El establecimiento de áreas industriales y el paso constante de transporte pesado, pueden ejercer presión sobre las estructuras del subsuelo y contribuir a dicho plegamiento.

4. Promontorio coralino erosionado: Sector más variado en todos sus componentes ambientales. La llanura costera se interrumpe y se forman colinas miocénicas de hasta 100 metros de altitud, las cuales presentan una serie de niveles de erosión. En Bahía Portete se da una configuración que reduce la energía con que rompen las olas al llegar a la orilla de bancos de arena y promontorios (arrecifes fósiles de hasta 10 metros de ancho), mientras que entre Playa Bonita y Piuta, la presencia de promontorios continua; sin embargo, están más desprotegidos en este trayecto ante el oleaje.

El levantamiento tectónico toma especial relevancia; ya que su morfología actual es producto de eventos cíclicos como se mencionó anteriormente. Por un lado, la llanura entre Boca Matina y Moín sufrió procesos intensos de licuefacción;

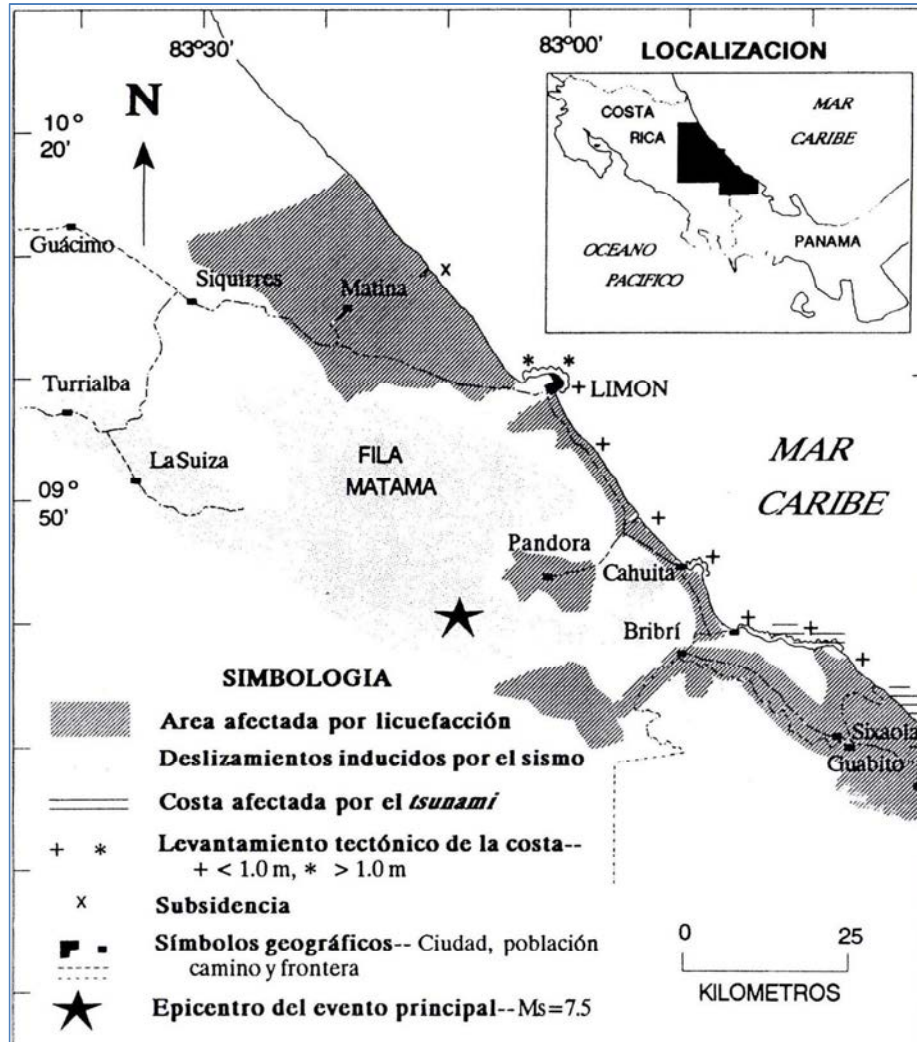
por estructuras internas menos consolidadas a diferencia de Limón; en donde se evidencia un levantamiento de hasta 1.8 metros.



Fotografía 14: Bahía Portete. Oleaje de baja energía.

En el área de influencia flandense, llanura constituida por un subsuelo de depósitos fluviales no consolidados, se produjeron volcanes de arena y lodo, fracturas del suelo y asentamiento diferencial de grandes áreas del terreno, localizados en áreas pantanosas saturadas de agua, sobre todo en la desembocadura de los ríos. (Denyer, Personius y Arias, 1994, 30). La magnitud de éste fenómeno estuvo estrechamente ligada al tipo de suelo, y no tanto con la cercanía del epicentro. Aunado a ello, se muestra un patrón espacial del levantamiento y deformación tectónicos, iniciando precisamente en lo que clasificamos como lomeríos bajos; esto evidenciado por la franja de arrecife muerto que bordea esta formación.

Mapa 5: Generalidades sobre el efecto del terremoto de 1991.



Fuente: Escuela de Geología, UCR. 1994

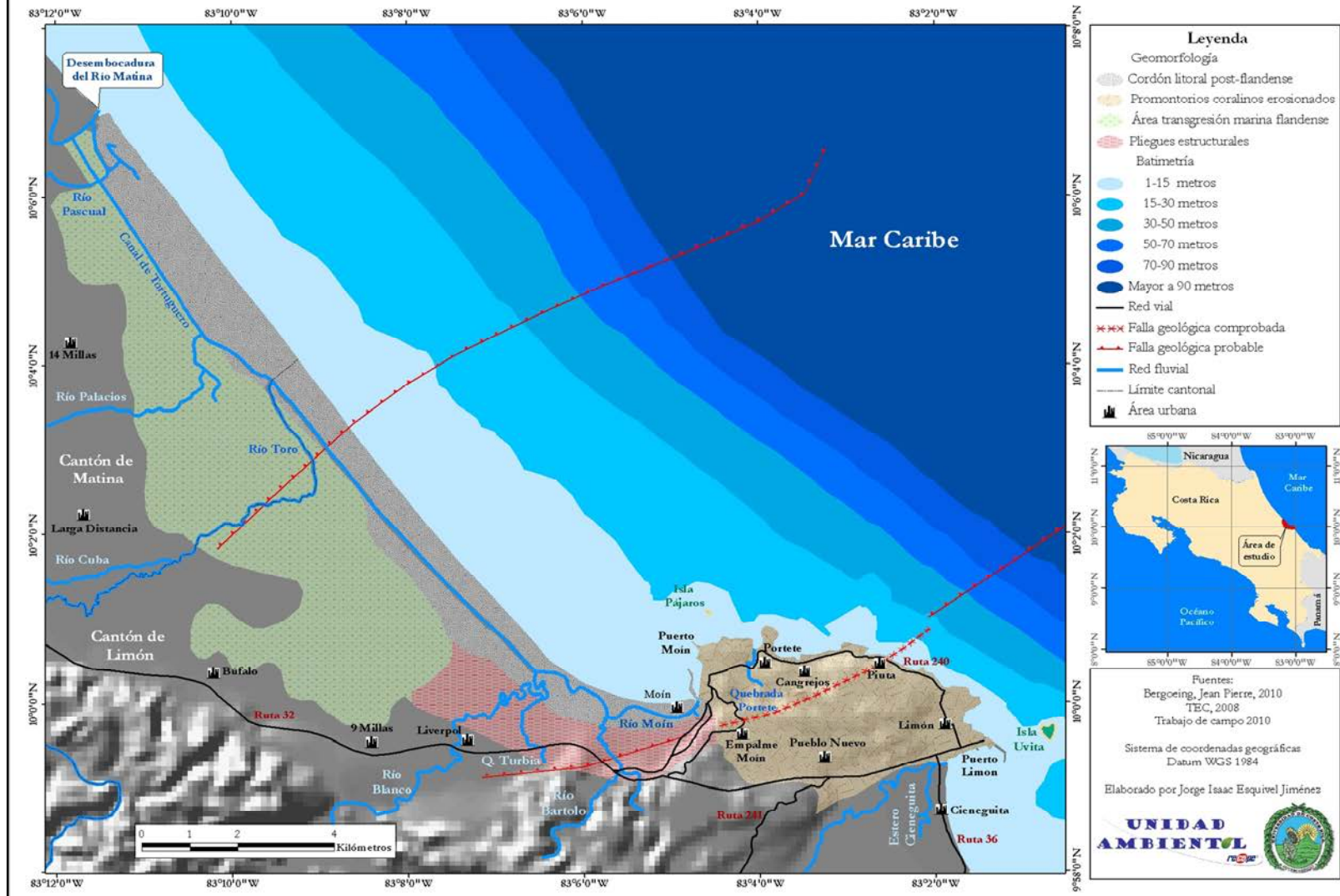
El mapa anterior evidencia los principales fenómenos según la estructura geológica: por un lado licuefacción (Unidad llanura aluvial), mientras que por otro levantamiento tectónico (Unidad lomerios bajos).

En general, múltiples deslizamientos ocurrieron como consecuencia directa del evento sísmico, agudizado por las constantes réplicas; especialmente en las colinas miocénicas. Sin embargo, en la llanura aluvial que sostiene una densa vegetación, típica de un humedal, también sufrió cambios producto de un fenómeno de fracturamiento lateral (“lateral spreading”), lo cual provocó la caída de árboles y plantas.

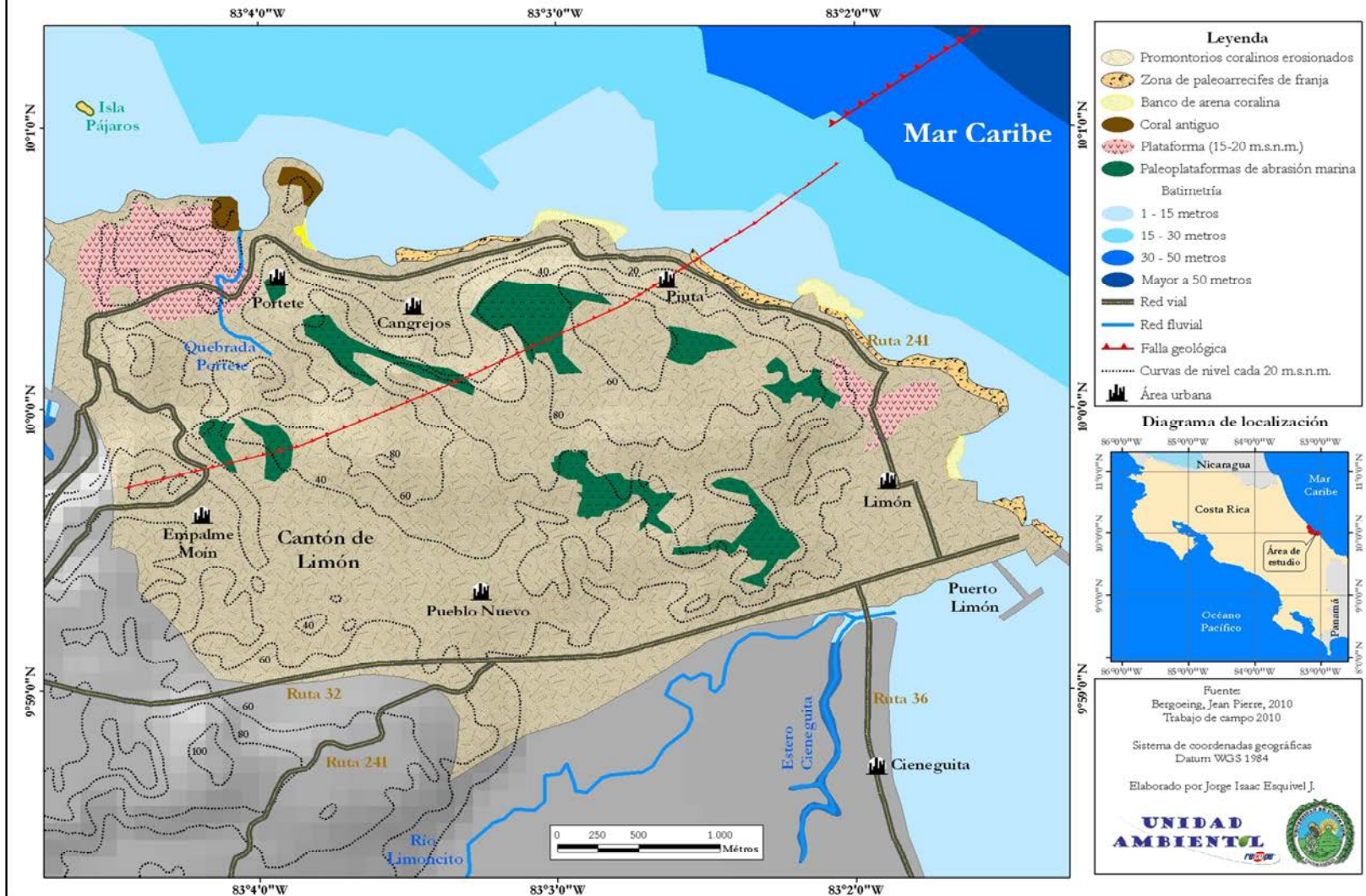
En cuanto a hidrografía, se destaca las escasas desembocaduras directas al mar. Al acercarse a las costas se forman lagunas que se alargan en forma paralela al cordón litoral. Dentro de la planicie basal se forman meandros, contrario al sector de Limón con escasos canales de corta longitud y caudal moderado, en donde solo se identifica claramente Quebrada Portete.

En términos generales los cursos de agua mantienen un recorrido en dirección predominante de suroeste a noreste hasta desembocar en el mar Caribe, a excepción del canal artificial de Tortuguero.

Mapa 6: Principales rasgos geomorfológicos entre la desembocadura del río Matina y Puerto Limón.



Mapa 7: Geomorfología entre la desembocadura del río Moín y Puerto Limón



C. Clima

Los valores climáticos tomados en cuenta son *precipitación* (que puede dificultar las tareas de atención de un eventual desastre e incrementa la fluidez de hidrocarburos), *temperatura* (que influye directamente en la velocidad de degradación de hidrocarburos) y *vientos* (agente dispersante en tierra y generador del oleaje). En cuanto a estos aspectos, los datos obtenidos revelan un litoral de clima tropical húmedo, sin una verdadera estación seca.

1. Precipitación:

De acuerdo a datos de Instituto Meteorológico Nacional, el área de estudio tiene un clima con influencia caribeña, presentando un período relativamente seco en los meses de febrero, marzo y abril.

La precipitación promedio anual para un registro de 69 años (1941-2009) es de 3.565,3 mm. Se presentan dos períodos intensos de precipitación durante el año, el primero de mayo a agosto y un segundo de noviembre a enero. Durante el primero se acumula en promedio un 38,5% del total anual de precipitación, durante el segundo un 32%.

El año más lluvioso de acuerdo a la serie histórica ha sido 1970 con 5.681,6 mm de precipitación acumulada, y el año más seco ha sido 1995 con 2.193 mm. En promedio, los meses más lluviosos son julio (432,2 mm) y diciembre (446,3 mm), con máximos de precipitación acumulada que alcanzaron los 1.139,5 mm en julio de 1982, y 1.299,8 mm en diciembre de 1944. Durante el año 1943 se presentó el máximo de precipitación diaria, el 18 de julio se acumuló un total de 488,1 mm de lluvia. El mes con menor precipitación promedio es septiembre y el de mayor precipitación en promedio es diciembre.

2. Temperatura:

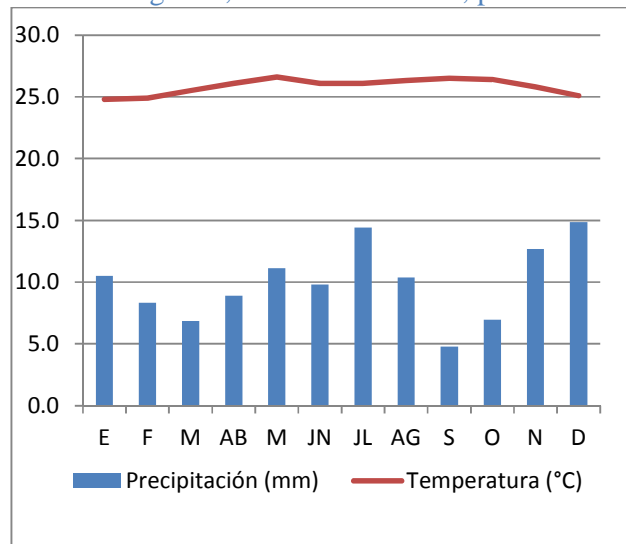
El promedio mensual entre 1970 y 2009 en Limón, presenta poca variación de un mes a otro, pero sí ocurre una apreciable oscilación en cualquier mes entre la temperatura máxima y la mínima del día. En promedio, durante el mes de marzo, la oscilación llega

a ser máxima con un valor de 8,4° C, mientras que durante julio llega a ser mínima con un valor promedio de 7,1° C. En promedio, la oscilación anual es de aproximadamente 7,9° C. El mes más cálido es mayo y el menos cálido, enero.

La temperatura mínima más baja históricamente en la serie de datos de la estación de Limón ha sido de 13,2°C en diciembre de 1976, y la mínima más alta ha sido 22,4°C en junio de 1991. En cuanto a las temperaturas máximas, la más alta ha sido 35°C en junio de 1975, y la máxima más baja ha sido de 29°C en enero de 1986. En el siguiente cuadro se visualizan los datos correspondientes a la temperatura promedio del área de estudio (por mes en grados centígrados) para el período analizado.

En mar las temperaturas no bajan de los 22°C, lo que confirma un ambiente favorable para la vida coralina; sin embargo de acuerdo con Bergoeing (1984, 169), ésta parece embrionaria y actualmente no ha dado a lugar a la construcción de verdaderos arrecifes (a excepción del arrecife de Cahuita). Esto no fue así en el pasado, particularmente durante el Pleistoceno antiguo y medio, donde la vida coralina fue floreciente.

Gráfico 4: Climograma, estación de Limón, período 1941-2009



Fuente: IMN, 2010.

De acuerdo a la figura anterior, se visualiza el promedio diario y se agrupa según el mes. En él se observa como la temperatura mantiene valores altos y constantes en relación con la precipitación; la cual evidentemente presenta valores más bajos e inconstantes. Sin embargo, es importante resaltar que la precipitación a diferencia de la

temperatura, sufre un efecto acumulador, y los datos mensuales generalmente superan generalmente los 250 mm.

3. Vientos:

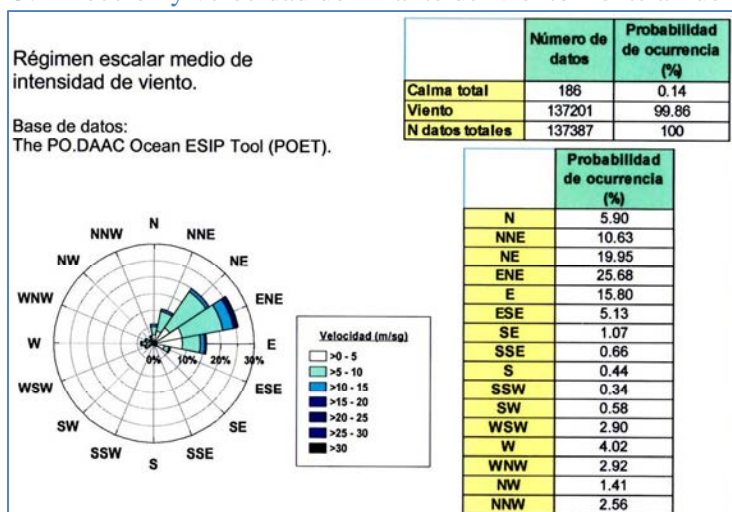
Es importante destacar que la costa está fuera de la trayectoria general de los vientos huracanados y tifones; así como de grandes marejadas. En el caso de dispersión de sustancias derramadas en el muelle petrolero, el viento es el factor más importante en lo que se refiere a la generación del campo de corrientes marinas, especialmente si se trata de profundidades intermedias, es decir, fuera de la zona de rotura del oleaje.

La dirección predominante del viento en tierra es del sureste con una intensidad promedio de 7,4 km/h a 10 m de altura sobre el suelo. En los meses que van desde noviembre hasta abril se ha encontrado que el valor promedio de la velocidad del viento es de 7,7 km/h, mientras que de mayo a octubre éste es de 7,2 km/h. Entre junio y agosto se dan las velocidades promedio mensuales más bajas, al ser de 7 km/h. Los valores máximos promedio que se han registrado son del orden de los 7,9 y 8,0 km/h en los meses menos lluviosos. (IMN, 2010)

El viento, y las corrientes generadas por este, al actuar sobre la superficie del mar, tienen un carácter aleatorio y altamente variable, no solo en intensidad, sino también en dirección. Por ello, se recurre a un estudio específicamente sobre el viento a nivel del mar frente al área de estudio, en donde se concluyó lo siguiente:

En el Gráfico 5 se presenta el comportamiento promedio del viento en superficie, específicamente frente al muelle en Moín. Se trata de corrientes de viento originadas mar adentro, por lo que se da una diferencia significativa de dirección, en relación con el viento en tierra. Las corrientes del Mar Caribe están influenciadas por el viento del noroeste y por corrientes originadas en el Océano Atlántico; y durante casi todo el año, existe una contracorriente paralela a la costa de 0.4 – 0.5 m/s con dirección sureste, disminuyendo la velocidad en las proximidades del puerto.

Gráfico 5: Dirección y velocidad dominante del viento frente a Puerto Moín.



Fuente: FLTQ y UCR, 2005.

1.2 Delimitación e identificación de unidades de tierra

D. Vegetación

Las llanuras del Caribe poseen grandes zonas florales de transición a nivel continental.

El 90% del país está sometido al régimen de “provincia húmeda”, donde la precipitación es superior a la evapo-transpiración. Las llanuras hasta una altitud de 500 m (en el caso de la vertiente del Caribe) son tierras calientes con una temperatura media anual superior a los 24° C con altos niveles de precipitación (3500 mm. anuales).

Dadas las características climáticas, la formación vegetal dentro de los límites del área de estudio corresponde a la zona de vida “Bosque húmedo tropical”. El gran desarrollo y variedad de flora tiene una relación estrecha con las condiciones de alta humedad, bajo las cuales el bosque es sempervirente, muy húmedo, denso y con varios estratos de vegetación. Contrario a las pluvisilvas, el bosque sempervirente no posee las lianas de tronco grueso, y el sotobosque suele ser bastante denso y en general poco favorable para transitar; lo que en este caso indica niveles considerables de intervención humana.

Los árboles del estrato superior tienen un tallo recto, ancho y ramificado a gran altura. Por su parte, los suelos se encuentran saturados de agua los doce meses del año, son

ricos en materia orgánica húmica en la superficie, razón por la cual más del 90% de los árboles presentan raíces superficiales, en los primeros 20 cm de profundidad. (Vargas, 1994)



Fotografía 15: Bosque muy húmedo sempervirente de baja altitud en Matina.

Dentro de los límites de la Unidad de Paisaje 2 (Llanura aluvial) se considera como *humedal* la vegetación observada a ambos lados del Canal de Tortuguero, con un pequeño trayecto donde se observa un cambio hacia *manglar*, en donde se observa un solo estrato con una fisonomía muy enmarañada. Este manglar resulta particularmente interesante, puesto que se desarrolla bajo un régimen de salinidad prácticamente nulo, que colinda con el Canal de Tortuguero en su curso final.



Fotografía 16: Pequeño manglar en Moín, cerca de la confluencia con Río Blanco.

Dentro de la tercer Unidad de Paisaje (Lomerios), se pierde el régimen de humedad en los suelos por razones geológicas y geomorfológicas expuestas anteriormente. Ante esta condición, junto con la ocupación e intervención humana dentro del sector,

dominan los matorrales, con manchas de bosque secundario y relictos de bosque primario. Los matorrales presentan arbustos ramosos de baja altura y arboles muy dispersos, sobre todo en las áreas de contacto con el bosque secundario. Se les considera terrenos con matas y malezas, que pueden desarrollarse bajo el abandono parcial o total en espacios inmersos dentro de paisajes antrópicos. Se encuentran bajo las mismas condiciones climáticas de las otras unidades de paisaje, pero al cambiar las condiciones geológicas, edáficas, topográficas y antrópicas, se desarrolla una vegetación adaptada a los períodos de sequedad. Dicha adaptación a la sequedad, la hace más resistente a los incendios; disminuyendo su sensibilidad ambiental ante derrame de hidrocarburos, explosiones e incendios.

E. Suelo

A partir de la cartografía disponible y el trabajo de campo se identificaron 4 ordenes y 5 subordenes de suelo:

Cuadro 6: Suelos identificados en el área de estudio.

Orden	Suborden
Entisol	Aquent
Entisol	Psamment
Inceptisol	Tropept
Histosol	Fibrist
Alfisol	Udalfs

Entisol (Aquent): se encuentra dentro de los límites de la llanura aluvial, de textura arcillosa. En este caso, su estado se debe principalmente al régimen de humedad al que esta sujeto (hidromorfia) y a los aportes aluviales continuos, limitando su desarrollo. Durante los períodos lluviosos inundan fácilmente el terreno; mientras que en época seca se contrae considerablemente.

Entisol (Psamment): se encuentra dentro de los límites del cordón litoral entre Boca Matina y Moín, en una pendiente que no supera los 2°. Presenta un color gris y una textura completamente arenosa a causa de su escaso desarrollo; y en comparación con otros suelos identificados, éstos son improductivos. Su estado actual se debe a las condiciones climáticas y a su cercanía con las arenas de origen continental. Se encuentran continuamente calientes y no presentan contracción a diferencia del aquent. En términos generales se trata del suelo de menor desarrollo dentro del área de estudio.

Inceptisol (Tropept): inceptisol típico de clima tropical, con pérdida de bases y textura arenosa. Presenta horizontes de alteración (B Cámbico)

Histosol (Fibrist): desarrollados bajo altos niveles de humedad y abundante materia orgánica en descomposición (hasta 25 cm de altura). Su textura es primordialmente limosa, con una estructura compacta y un color rojizo oscuro o anaranjado. En época seca se agrieta y contrae con facilidad.

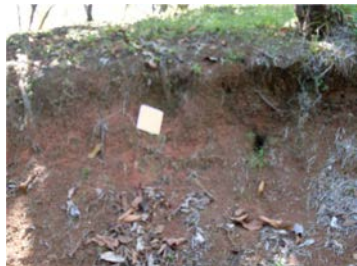
Alfisol (Udalfs): se encuentran dentro de los límites del Parque Recreativo Cariari, sobre un promontorio coralino a 15 metros sobre el nivel del mar. Presentan un color rojizo-anaranjado, así como horizontes úmbrico oscuro y B bien definidos. Se encuentra bajo procesos de reptación. Dentro del área de estudio representa el suelo de mayor desarrollo, pero de menor amplitud espacial. Su textura es arcillosa y al igual que el aquent y el fibrist, se contrae durante la estación seca. Al contrario que en la estación lluviosa, en donde se sus partículas arcillosas se expanden e impiden por completo la infiltración del agua. Su principal diferencia en relación con el resto de suelos identificados, radica en el hecho de su capacidad de impedir por completo la infiltración de sustancias derramadas, en estación lluviosa. Esto reduce su vulnerabilidad, aunque aumenta las posibilidades de asfixia de microfauna, al sellar los escasos microporos del suelo.



Fotografía 17: Histosol fibroso bajo humedal



Fotografía 18: Entisol bajo pastos.



Fotografía 19: Alfisol (horizontes úmbrico y B)

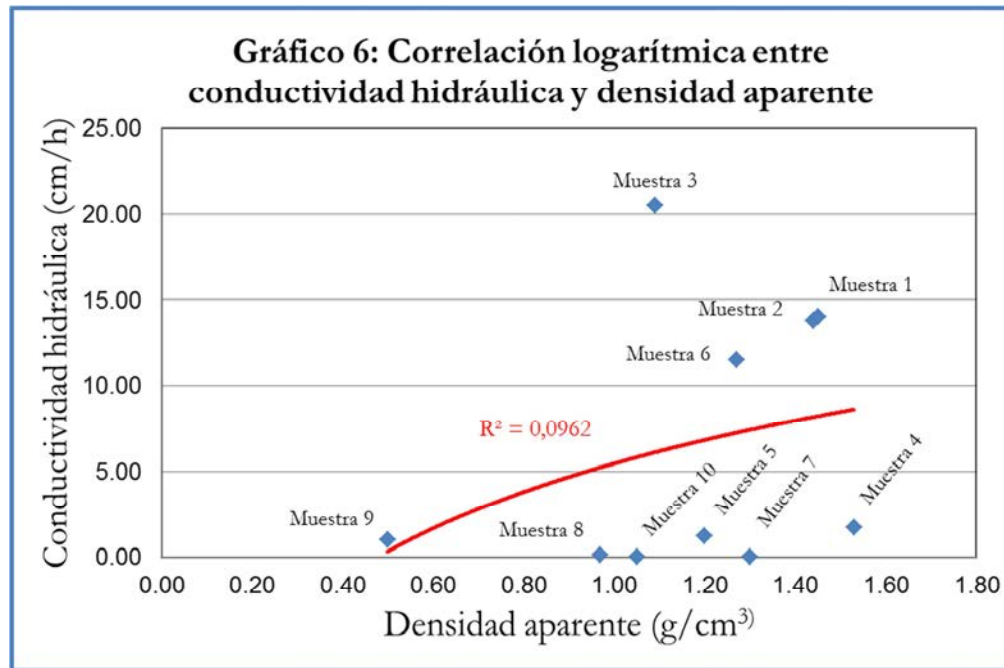


Fotografía 20: Proceso de reptación sobre alfisol.

En cuanto a conductividad hidráulica y densidad aparente se obtuvieron los siguientes resultados

Cuadro 7: Resultados de conductividad hidráulica y densidad aparente.

Muestra	Lugar	Tipo de formación	Coordenada CRTM 05		Muestra saturada	Peso del cilindro	Área (A)	Longitud (l)	Carga hidráulica (h)	Tiempo (t)	Volumen (Q)	Cond. Hidráulica	Clase	Peso de la muestra seca	Densidad aparente
			Coordenada X	Coordenada Y											
1	Malecón, Limón	Arena coralina	606559 m	1105441 m	373.3 g	175.3 g	190 cm ³	8.3 cm	8.8 cm	0.0177 horas	50 cm ³	14 cm/h	Rápida	273.7 g	1.45 g/cm ³
2	Playa Bonita	Arena coralina	602608 m	1107004 m	341 g	175.5 g	180.8 cm ³	7.9 cm	8.4 cm	0.0188 horas		13.8 cm/h	Rápida	260.2 g	1.44 g/cm ³
3	P. R. Cariari	Arena coralina	602365 m	1107133 m	244.1 g	173.6 g	146.5 cm ³	6.4 cm	6.4 cm	0.0166 horas		20.5 cm/h	Rápida	159.5 g	1.09 g/cm ³
4	Playa Moín	Arena continental	600259 m	1105870 m	333.6 g	177.8 g	169.4 cm ³	7.4 cm	8.4 cm	0.15 horas		1.7 cm/h	Moderada	259.8 g	1.53 g/cm ³
5	Plaza de Moín	Entisol	600187 m	1105852 m	309.8 g	166.5 g	185.4 cm ³	8.1 cm	9.1 cm	0.2 horas		1.2 cm/h	Moderada	223.6 g	1.2 g/cm ³
6	Moín, frente a hotel	Arena continental	598039 m	1106737 m	324.2 g	174.3 g	185.4 cm ³	8.1 cm	8.6 cm	0.022 horas		11.5 cm/h	Moderada	235.7 g	1.27 g/cm ³
7	Canal Tort.	Entisol	598165 m	1106518 m	334.6 g	176.5 g	190 cm ³	8.3 cm	9.3 cm	7.5 horas		0.031 cm/h	Muy lenta	247.7 g	1.3 g/cm ³
8	Larga Distancia	Entisol	589358 m	1112141 m	261.6 g	171.6 g	180.8 cm ³	7.9 cm	9.8 cm	2.2 horas		0.1 cm/h	Muy lenta	174.9 g	0.97 g/cm ³
9	Búfalos	Histosol	590821 m	1107653 m	194.2 g	174.2 g	171.7 cm ³	7.5 cm	8.5 cm	0.26 horas		1 cm/h	Moderada	85.9 g	0.5 g/cm ³
10	P. R. Cariari	Alfisol	602512 m	1107402 m	161.1 g	175 g	114.4 cm ³	5 cm	7 cm	No paso agua		0 cm/h	Extremadamente lenta	119.5 g	1.05 g/cm ³



Los valores bajos de K se deben a una baja porosidad, pocos poros grandes y a una pobre interconectividad entre ellos, así como a la presencia elevada de arcillas expandibles; especialmente en el suelo obtenido en el Parque Recreativo Cariari, donde en un lapso de 24 horas la muestra mantuvo la carga hidráulica intacta, es decir no hubo movimiento del agua a través de su perfil. Por el contrario, valores altos de K se presentan en suelos de textura gruesa a pesar de su baja porosidad, como es el caso del histosol, suelo directamente asociado con la cobertura del humedal.

En el caso de las arenas, a pesar de no mantener una estructura consolidada como los suelos, es importante conocer la velocidad con que puede atravesar un líquido, estando saturado. En este sentido, los resultados concuerdan con las expectativas iniciales; ya que las muestras de arena coralina contrastan con las muestras de arena de influencia continental. Las muestras de arena obtenidas en el cordón litoral se clasifican como *Moderadas* según su conductividad hidráulica; lo cual evidencia una menor capacidad de permitir movimiento de agua a través de sus poros; mientras que en Playa Bonita, Malecón y El Parque Recreativo Cariari resultaron ser los sitios de clase *Rápida*; por consiguiente, de mayor sensibilidad ambiental (tomando solamente en cuenta la variable de conductividad hidráulica).

Con respecto al gráfico anterior, es importante resaltar que para este caso se obtuvo un valor de coeficiente de determinación (línea roja) de 0,0962, es decir, un 9.62% de la disminución en la conductividad hidráulica se debe a incrementos en la densidad aparente. La línea de coeficiente de determinación por definición se trata de una cantidad positiva (entre 0 y 1), y representa una relación entre las variables X , Y , con lo cual se logra una mejor visualización de la proporción de variabilidad. Generalmente cuando el valor es cercano a 1 la ecuación es más confiable; aunque esto se aplica normalmente a estudios económicos. Las arcillas juegan un papel predominante en la estructura edáfica, las cuales no se presentan en las arenas; por tal razón, en este caso en particular, la disminución en la conductividad hidráulica no se debe exclusivamente a incrementos en la densidad aparente.

Finalmente, resulta importante de resaltar los dos escenarios que se manejan con respecto a las condiciones edáficas:

- Por un lado, suelos arcillosos que dificultan las condiciones de infiltración en régimen lluvioso, facilitando las labores de recuperación de sustancias derramadas en tierra.
- Por otro lado, estos mismos suelos en régimen seco, presentan un comportamiento completamente contrario. La contracción que sufren en estación seca facilita la infiltración en todo su perfil, al aumentar la porosidad hasta un 45% en algunos casos.

Mapa 8: Clasificación del suelo entre la desembocadura del río Matina y Puerto Limón

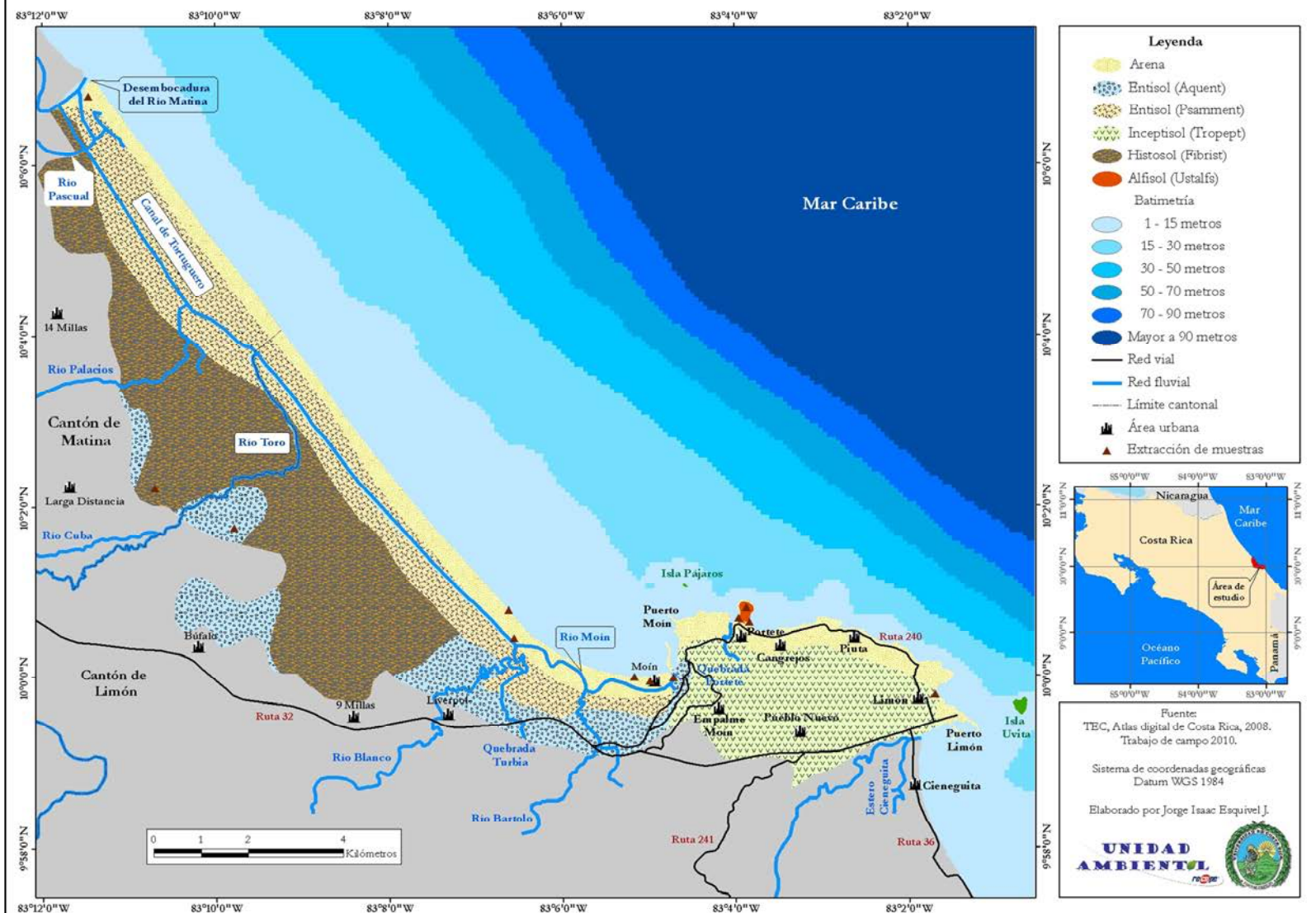
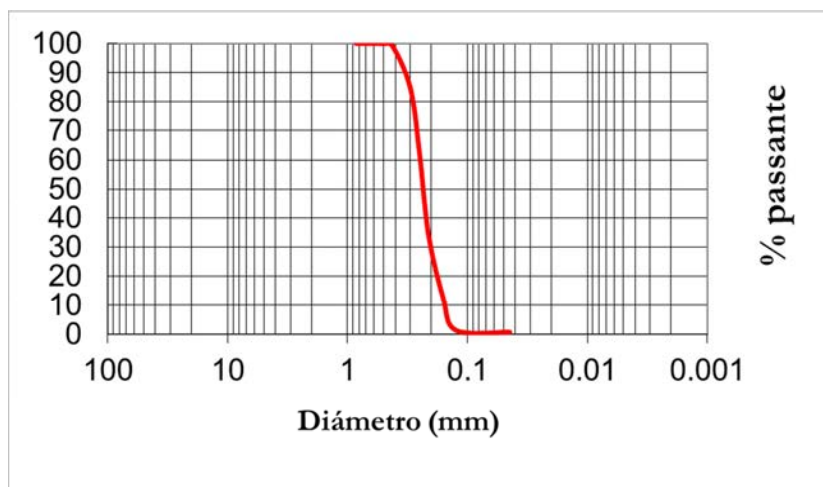


Gráfico 11: Granulometría, muestra 5. Desembocadura del río Matina.

Fecha: 23/09/2010 Peso final: 198,6 gramos
Peso inicial: 200 gramos Pérdida: 0,7 gramos



Las muestras tratadas tienden a ser relativamente más finas y oscuras conforme se alejan del límite sur del área de estudio. Lo importante de determinar el tamaño de las partículas de arena, radica en estimar la profundidad de infiltración de hidrocarburos derramados. La penetración máxima de los hidrocarburos varía con el tamaño de grano de la arena: en playas de grano fino o mediano es de aproximadamente 10-15 cm, y en arena gruesa hasta de 25 cm. (GIGA, 2010)

Mediante la graficación de las curvas granulométricas, se observan diferencias principalmente en la parte superior; ya que las muestras de arenas más finas mantienen un segmento de línea más larga al aproximarse al 100% de *muestra pasante*, es decir, en los tamices de mayor diámetro la arena pasa libremente. Por el contrario, en las muestras de arena más gruesa, como es el caso de la *Muestra 1*, la curva granulométrica se separa claramente de los porcentajes altos; ya que un porcentaje menor de la muestra pasa a través de los primeros tamices.

En términos de granulometría, las playas de arena gruesa tienden a ser más sensibles al contacto con hidrocarburos, puesto que implican una mayor profundidad de infiltración de sustancias derramadas. Sin embargo los organismos que habitan en playas de arena

fina, tienen mayores posibilidades de morir por asfixia a causa de concentraciones de hidrocarburos en el agua intersticial.

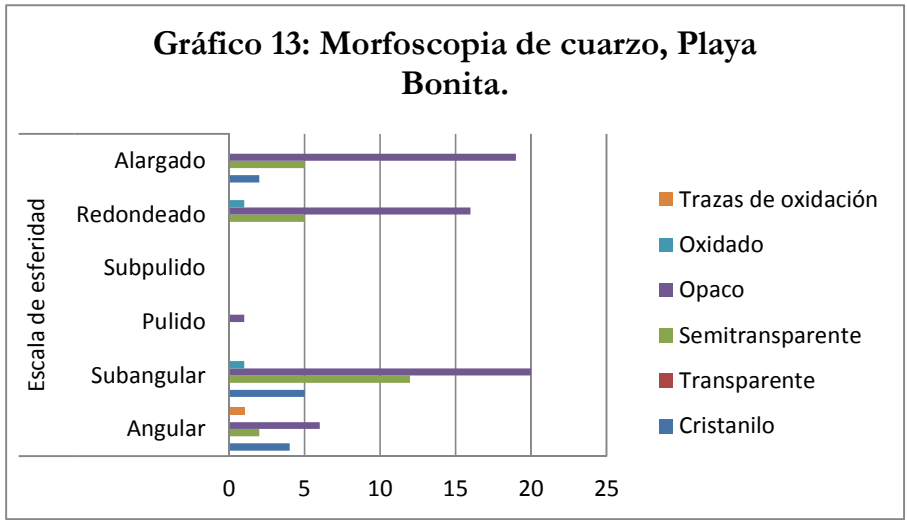
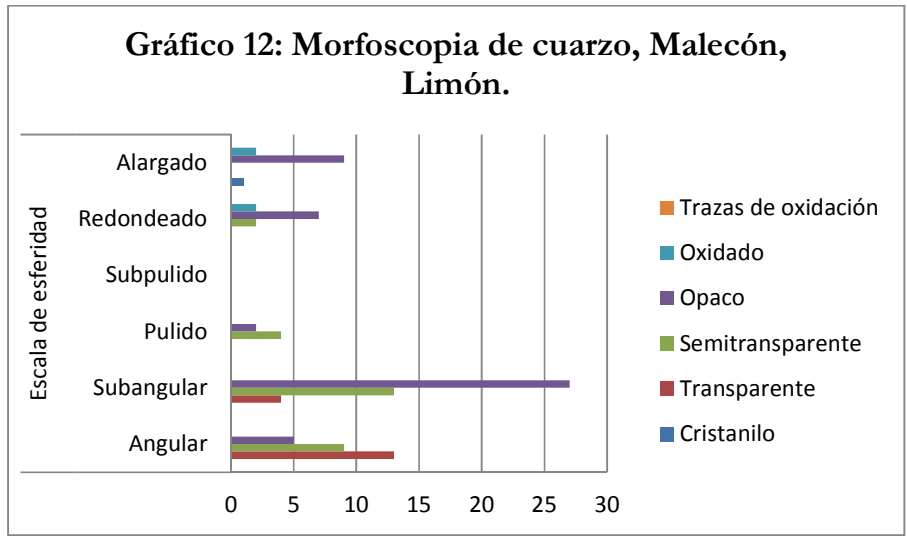
La línea costera entre las desembocaduras de los ríos Moín y Matina presenta una franja de playa ancha de acceso más fácil, con arenas oscuras y finas que limitan la infiltración de sustancias derramadas y reducen el impacto en un eventual desastre. Las playas coralinas de grano más grueso y de color más claro, son escasas e interrumpidas por la franja de arrecife muerto. Estas playas se encuentran dentro de una línea costera más irregular en donde las sustancias derramadas pueden, no solamente infiltrarse más profundo, sino además quedar retenidas en lugares de difícil acceso, precisamente por dicha irregularidad. Estas playas, principalmente Playa Bonita, se destinan a la actividad recreativa y turística.

Morfoscopia de cuarzo.

Las muestras analizadas difieren de la arena de origen continental en lo que se refiere a morfoscopia de cuarzo, principalmente por el recorrido de las partículas o granos que modifican la estructura física. Entre mayor sea el recorrido, mayor será la alteración del material, tanto en esfericidad como en transparencia. En el caso de la arena entre las desembocaduras de los ríos Matina y Moín, no es posible realizar este proceso, pues se trata de granos muy finos, totalmente redondeados por el largo recorrido que han tenido y que no son retenidos en el tamiz 40.

En Malecón se tiene un ambiente en donde dominan las formas angulosas y subangulosas, con superficies principalmente opacas y semitransparentes. Las superficies pulidas y subpulidas son prácticamente nulas, lo que revelan un escenario de poco arrastre y mayor remoción *in situ*.

En Playa Bonita los resultados son más variados desde el punto de vista de la escala esférica. Esta característica puede obedecer a un oleaje que rompe con mayor intensidad que en el caso anterior. Dominan las formas alargadas, redondeadas y subangulares, opacas, y en menor medida semitransparentes. De nuevo, los resultados revelan un escenario de poco arrastre y mayor remoción *in situ*.



F. Uso de la Tierra.

A partir de la digitalización directa sobre las imágenes aéreas del proyecto Terra del año 2007 a escala 1:40.000, se realizó la delimitación de actividades antrópicas (usos urbano, industrial, turístico, recreativo y agrícola); así como características naturales en cuanto a vegetación (humedal, matorral, bosque primario y bosque secundario).

Cuadro 8: Área por tipo de uso de la tierra en el área de estudio.

Tipo	Área (m²)	Porcentaje
Turístico Recreativo /	36	0,05
Conservación natural	76	0,10
Cultivos permanentes	360	0,49
Bosque primario	514	0,71
Mixto	1,612	2,21
Industrial	1,942	2,67
Matorral	4,323	5,93
Bosque secundario	5,147	7,06
Urbano	8,611	11,82
Pastos	9,049	12,42
Humedal	41,200	56,54
Total	72,870	100

Dentro del área industrial, se delimita la Refinería Moín, instalaciones del I.C.E., la sala de capacitación de RECOPE y los puertos de Limón y Moín. El Puerto Moín cuenta con tres muelles y cuatro atracaderos:

- El muelle petrolero ubicado al norte del puerto, orientado al noroeste. Dispone de un atraque y tiene una longitud de 218 metros. El calado asociado a este muelle varía entre 11 y 13 metros de profundidad.
- El muelle bananero que tiene una longitud de 525 metros. Dispone de 2 atraques y un calado entre los 10 y 11 metros de profundidad.
- El muelle Taiwanés, de multiuso, está destinado al tráfico de contenedores y tiene una longitud de 250 metros; además cuenta con 4 hectáreas de patio para almacenamiento de contenedores y equipo especializado. El calado varía entre los 11 y 12 metros de profundidad.

Por su parte, el humedal representa la mayor cobertura dentro del área de estudio, el cual se encuentra caracterizado anteriormente. Por otro lado, el matorral se encuentran asociado directamente con el uso urbano. Se trata de una vegetación eminentemente arbustiva, ramificada desde la base, de difícil penetración y resistente al fuego. Presenta 3 estratos: herbáceo, arbustivo y arbóreo; sin embargo, éste último en menor medida. En ciertos lugares, la vegetación puede presentar un desarrollo arbóreo muy alto, en donde el sotobosque deja de ser denso (manchas de bosque primario). Los pastos

destinados a la actividad ganadera representan terrenos planos, fácilmente inundados que han ganado terreno ante la cobertura natural del humedal. Dicha cobertura esta asociada directamente con los *aquent*.

En cuanto a sitios turísticos y recreativos, sobresalen el Parque Recreativo Cariari y Playa Bonita, y en menor medida, una pequeña playa en Piuta, de uso recreativo para la población local, no tanto así para uso turístico. Playa Bonita, de arena coralina, representa uno de los sitios de mayor atracción turística en la zona.

La principal mancha urbana la constituye la unión de Ciudad de Limón y Pueblo Nuevo. También se encuentran otros centros urbanos como Empalme Moín, Moín, Portete, Cangrejos y Piuta; aunque éste último de poca extensión espacial. Fuera de Ciudad Limón, los servicios, edificios comerciales y administrativos se reducen, y básicamente se trata de hoteles y pequeñas comunidades en el límite costero. Por último, tomando en cuenta únicamente el criterio de uso de la tierra, las unidades de mayor sensibilidad ambiental corresponden a las Islas Pájaros y Uvita, las cuales representan sitios de especial interés para la conservación natural. Ambas islas embellecen el paisaje y brindan refugio para aves y especies marinas.

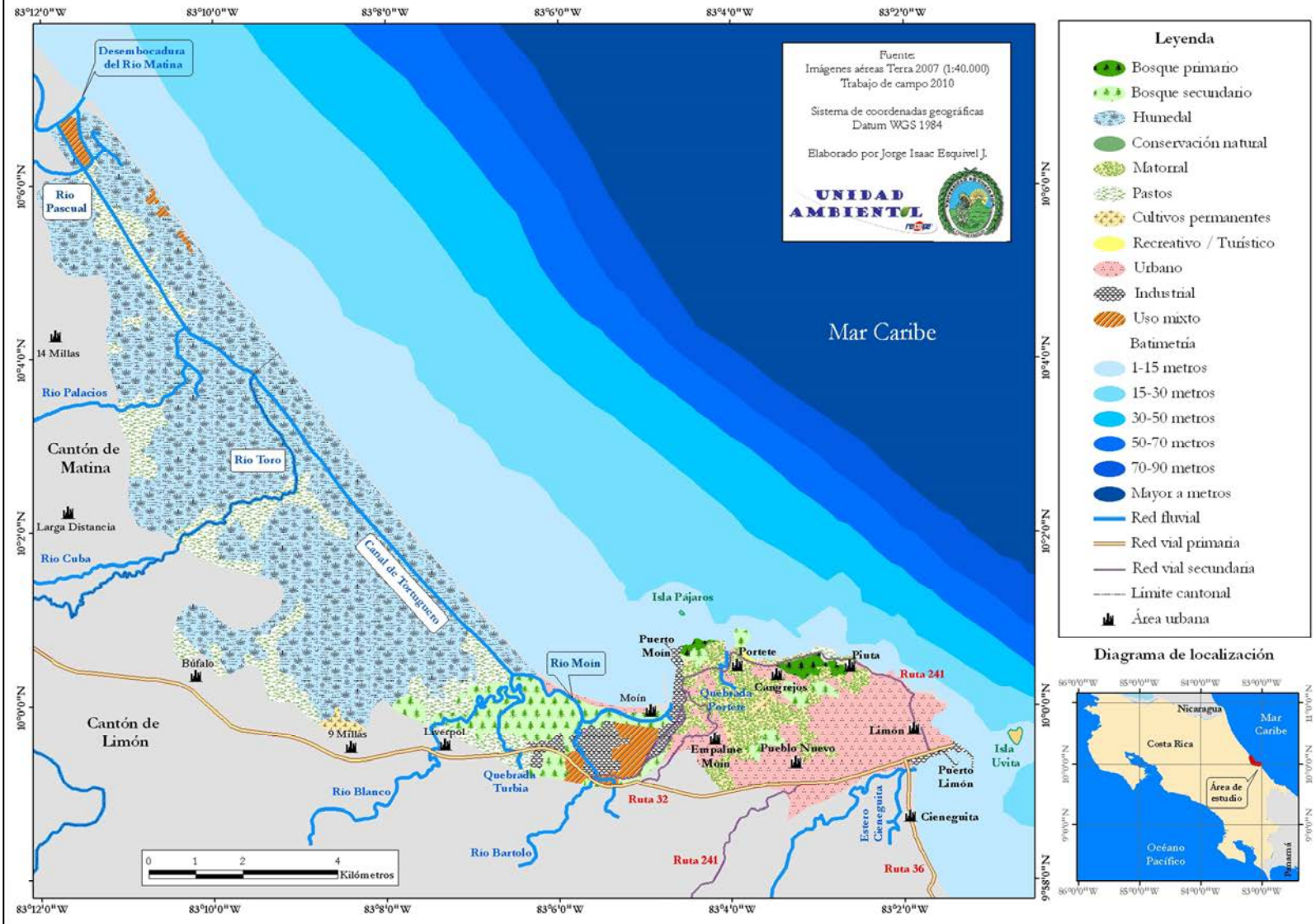


Fotografía 21: Erizo de mar en Isla Uvita.



Fotografía 22: Islote visitado por aves en Isla Uvita

Mapa 9: Uso actual de la tierra entre la desembocadura del río Matina y Puerto Limón



G. Mareas y oleaje.

En lo que respecta a las características litorales a lo largo de toda la costa caribeña de Costa Rica, el nivel de marea es muy débil en comparación con el Pacífico. Hay una diferencia promedio en el Caribe entre pleamar y bajamar de 0.75 metros, contra 4 metros en Puntarenas (Bergoeing, 1984, 167). La dirección de la deriva litoral a lo largo de todo el Caribe de Costa Rica mantiene un rumbo hacia el sureste, producto de las corrientes marinas provenientes desde territorio nicaraguense. Este fenómeno de deriva litoral es el responsable del transporte de elementos arenosos y contaminantes de las playas.

Frente al cordón litoral entre Boca Matina y Moín, según estudios realizados en la zona, las posibilidades de contaminación por hidrocarburos son prácticamente nulas. Por otro lado, el oleaje rompe con baja energía frente a una playa ancha de fácil acceso terrestre, tanto de maquinaria pesada, como vehicular. Para encontrar profundidades batimétricas mayores a 20 metros es necesario alejarse de la costa más de 100 metros de distancia por lo que, aunado a la baja energía del oleaje, tenemos un nivel de profundidad bajo que limita la proliferación de arrecifes coralinos. La batimetría frente al área de estudio, como se observa en los mapas anteriores, es sumamente rectilínea y paralela a la costa, lo cual confiere un importante amortiguamiento ante el oleaje; además presenta una pendiente suave: en profundidades indefinidas tiene una pendiente inferior al 0.3% y en profundidades intermedias del orden del 0.7%. Esta batimetría varió a partir de 1991 con el terremoto de Limón.

La presencia de la Isla Uvita y del promontorio más vasto sobre el cual se levanta, sirven de paso a la masa de agua que se desplaza entre la costa limonense y la isla, se trata de un canal en el cual la corriente con dirección sur se acelera.

De acuerdo a estudios realizados para el establecimiento del emisario submarino de Limón, se requiere de aproximadamente dos horas para evacuar la totalidad de sustancias y materiales derramadas o depositados fuera del área portuaria.

Cuadro 9: Velocidades promedio según rangos de profundidad frente a Puerto Limón.

Profundidad (m)	Velocidad (m/seg.)	Velocidad (km/hora)
2	0,6	2,16
5	0,5	1,8
8	0,65	2,34
12	0,5	1,8
16	0,25	0,9

Fuente: Brenes, G. 1999.

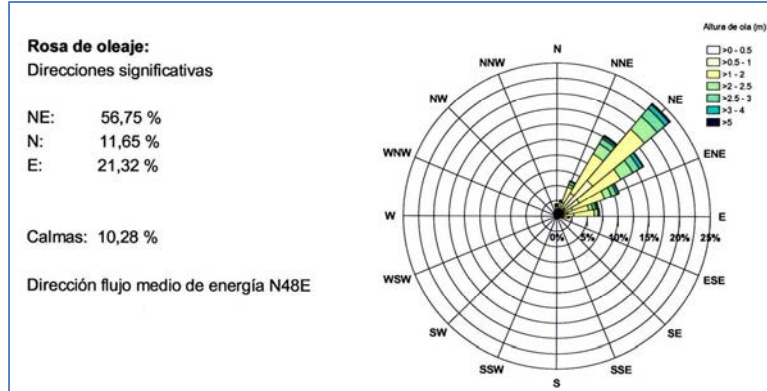
De acuerdo a la altura y frecuencia del oleaje es posible determinar ambientes de baja y alta energía. En las playas de Moín y Cieneguita la energía de oleaje es baja, donde los aportes continentales han sido transportados por la deriva litoral. Por el contrario, el promontorio entre Bahía Portete y Puerto Limón (específicamente detrás del Puesto de Policía Turística) es un área de alta energía en cuanto al oleaje; brindando además condiciones de aireación y aguas profundas que favorecen el desarrollo de comunidades coralinas. Como se explicó anteriormente, las costas en este sector son rocosas con plataformas levantadas recientemente, interrumpidas por bancos de arena coralina, producto de la abrasión marina.

De acuerdo con Brenes (1999), la dinámica y capacidad de transporte de materiales y sustancias por parte de la deriva litoral frente a las costas limonenses, depende del ángulo de inclinación que produce la llegada de olas con respecto a la línea de playa. Como este factor depende del viento dominante, la dirección puede cambiar según cambie la dirección del viento sobre el océano. Así es que, en una parte del año, las corrientes marinas pueden cambiar de dirección (es decir, hacia el norte), aproximadamente un 5% del año.

En el límite sur de la zona de estudio, mucha de la acumulación de sedimentos es aportada por el río Limoncito; en donde la entrada de aguas salinas retiene el sedimento y provoca un fenómeno de floculación.

Ahora bien, frente a Puerto Moín se maneja un escenario relativamente diferente en comparación con Puerto Limón, en donde el flujo se maneja en el primer cuadrante.

Gráfico 14: Altura y dirección del oleaje frente a Puerto Moín.



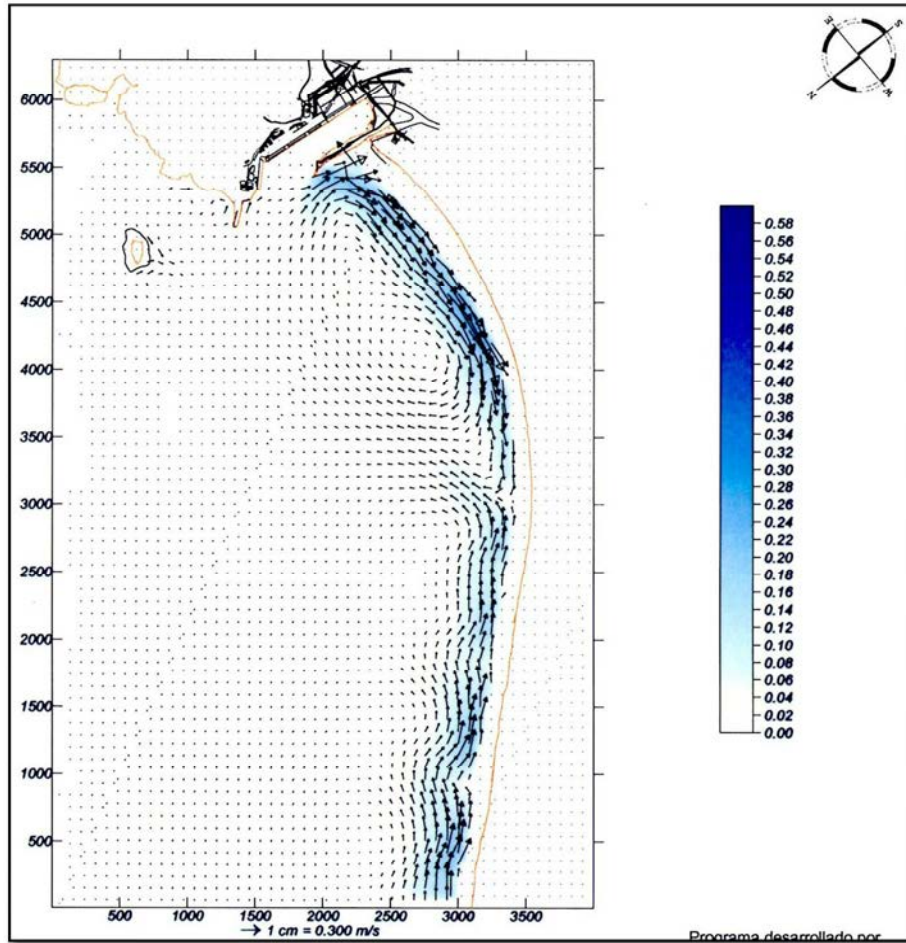
Fuente FLTQ, UCR, 2005.

Con respecto al oleaje frente al muelle Moín, se determina que este se encuentra estrechamente ligado a la geomorfología, los rompeolas (norte y sur) y la Isla Pájaros, los cuales actúan como obstáculo. Esto origina una contracción de las líneas de corriente entre la isla y la punta del rompeolas, aumentando la velocidad de la corriente (con valores extremos de 1.3 m/s). Esta obstrucción se acentúa más en el caso de una corriente con dirección SE, en la que el flujo entrante es dirigido perpendicularmente al rompeolas. Detrás de la punta del rompeolas se establece una corriente de doble circulación, que tiene más libertad de desarrollarse cuando es de dirección NW, ya que no queda restringido por la línea costera. Así mismo, la descarga del río Moín lleva a un remolino dentro de la dársena del puerto durante la circulación SE. El incremento en la velocidad de la corriente causado por el rompeolas es importante para la navegación en el canal de entrada y requiere de especial atención. Las velocidades de las corrientes oceánicas actuales dentro del canal de entrada están en torno a 0.15 m/s para ambas direcciones (FLTQ, UCR, 2005).

La rotura del oleaje en este sitio genera un sistema de corrientes paralelas a la playa y a la batimetría; que son función del ángulo con que el oleaje aborda la costa (corrientes de incidencia oblicua o longitudinales) y de su altura de ola. Estas corrientes longitudinales se producen en la zona de rotura del oleaje, en donde el sedimento se encuentra en suspensión; y en donde una sustancia derramada es fácilmente disuelta. El gradiente longitudinal de la altura de la ola genera un sistema circulatorio de corrientes, llamadas corrientes de retorno. Es importante conocer este aspecto para visualizar el posible flujo de una mancha de petróleo y cualquier hidrocarburo derramado en mar. En

la siguiente figura se observa cómo una sustancia derramada tendría obstáculos para recorrer la costa en dirección noroeste.

Figura 6: Comportamiento de corrientes marinas en Moín.



Fuente: GIOC Moín, 2005.

A lo largo de la playa se observan los sistemas circulatorios producto de la rotura del oleaje, cuya intensidad y sentido depende del oleaje incidente. En general, cuanto menor sea el componente N del oleaje, menor magnitud y alcance tiene la corriente SE y mayor es la corriente más próxima a la desembocadura del río Moín.

El papel que ejerce la Isla Pájaros es importante, en el sentido de que influye directamente en la propagación del oleaje; de la misma manera en que lo hace la Isla Uvita. Además, se da una influencia directa en la altura de la ola. Es decir, las características del oleaje frente a Moín, están condicionados por la reflexión y difracción generados por los contornos (islas, rompeolas y acantilados), que producen un giro de la dirección de propagación del oleaje hacia el N.

Si se toma únicamente la variable del oleaje, los sitios de mayor sensibilidad ambiental corresponden a Bahía Portete y Cieneguita. Por el contrario, los sitios que recibirían menor impacto, son aquellos bordeados por la franja de arrecife muerto, en donde el oleaje rompe con alta energía.

1.3 Sistema de unidades de tierra.

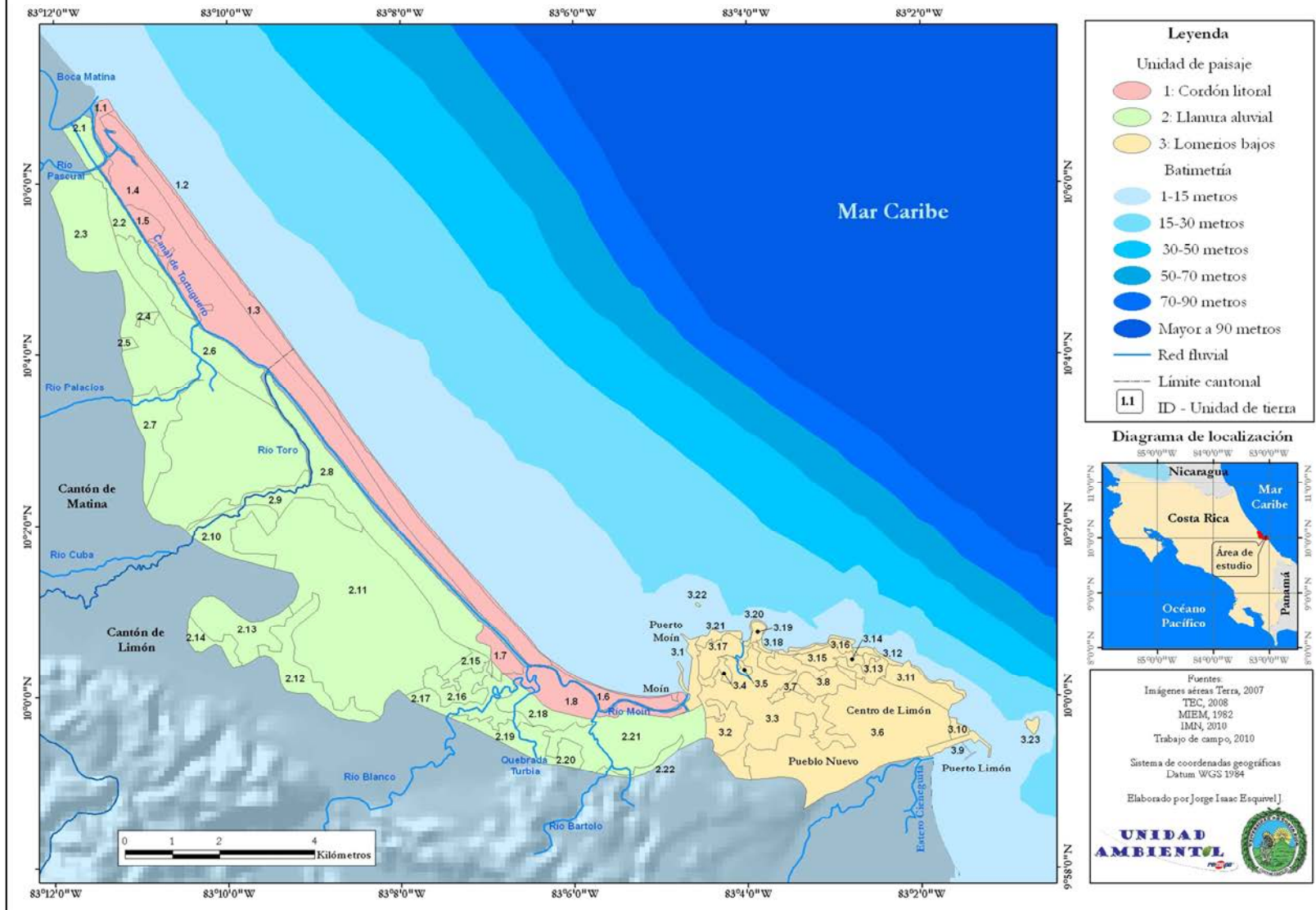
A partir de los principales rasgos geológicos y climáticos, la geomorfología se desarrollará, y ésta a su vez, condicionará las características de una serie de componentes ambientales, tales como suelo, vegetación e hidrografía; además de influir directamente sobre el uso de la tierra. De tal forma que la geomorfología es el componente a partir del cual se identifican las *Unidades de Paisaje* en un sitio. En el área de estudio se identificaron tres, a saber:

1. Cordón litoral (Matina - Limón)
2. Llanura aluvial (Matina - Limón)
3. Promontorio coralino erosionado e islas (Pájaros y Uvita).

Los componentes ambientales de *suelo* y *vegetación* nos brindan unidades de mayor detalle espacial y analítico: *Unidades de Tierra*. Puesto que la totalidad del área de estudio no corresponde a un paisaje natural, la incorporación del *Uso de la Tierra* como fenómeno espacial, complementa la identificación de estas unidades.

En total se identificaron 53 unidades y facetas de tierra; presentando un mayor número en la unidad de paisaje más variada: *Promontorio coralino erosionado e islas*. Según los componentes analizados, los esfuerzos en un derrame de hidrocarburos en mar deben concentrarse en la atención de la línea costera de esta tercera unidad. El criterio de *Faceta de Tierra* se aplicó únicamente a la Unidad de Paisaje 3, en donde resulta importante resaltar ciertas particularidades en función del tema.

Mapa 10: Sistema de unidades de tierra, espacio litoral entre Boca Matina y Puerto Limón.



2. Propiedades físicas y químicas de hidrocarburos manejados en RECOPE.

Para los crudos de petróleo los datos de algunas propiedades de interés oscilan entre los siguientes valores:

Cuadro 10: Propiedades de interés del petróleo crudo.

Densidad específica (kg/l a 15 °C)	Viscosidad (a 20 °C)	Punto de fluidez (°C)	Punto de Inflamación (°C)
0.8-0.95	1-100	+10 a -35	Variable

Fuente: Fernández N., Fernández P., Sáenz, Sánchez, Suárez y Vega, 2004.

Para los productos refinados por RECOPE se tienen los datos expuestos en el *Cuadro 18*. Los valores incluidos representan el valor promedio, no el límite de la propiedad. El método utilizado para la obtención de los resultados en laboratorio se logró a partir de la aplicación de normas de ASTM International, una de las organizaciones de desarrollo de normas internacionales más grande del mundo.

De acuerdo a la clasificación del FIDAC, la gasolina, el diesel, el combustible de aviación y el queroseno se clasifican como *No persistentes*. Por su parte, las emulsiones asfálticas y el asfalto AC-30 no aplican al criterio de destilación.

Cuadro 11: Propiedades de interés de productos manejados en Recope.

Producto	Densidad específica (kg/m ³ a 15 °C)	Viscosidad (mm ² /s a 40 °C)	Punto de fluidez (°C)	Punto de Inflamación (°C)	Destilación (°C al 50%)
Gasolina super	753.16	0,5 - 0,75	No específica	No específica	104.26
Gasolina Bio-Plus 91	749.06	No específica	No específica	No específica	104.16
Diesel	858.76	2.94	-13.17	68.82	281.89
Combustible de aviación Jet A-1	815.07	No específica	-50.77	45.19	207.35
Gasolina de aviación AV-Gas	714.92	No específica	No específica	No específica	100.16
Queroseno	813.04	No específica	No específica	40.06	205.99
Asfalto AC-30	1032.8	2.48	No aplica	319.63	No aplica
Bunker (Fuel oil)	990.4	136,82 a 50 °C (SSF)	1.68	116	No específica
Gas licuado de petróleo (LPG)	539.89	No específica	No específica	No específica	No específica
IFOS (Fuel oil intermedios)	972.14	100,2 a 50 °C (SSF)	3.63	75.47	No específica
Emulsiones asfálticas	1013.68	21,96 a 50 °C (SSF)	No aplica	No específica	No aplica
Diesel pesado (Gasóleo)	913.2	18.2	21.7	104.5	No específica
Nafta pesada	760.47	No específica	No específica	123.51	No específica

Fuente: RECOPE, 2009.

Con respecto a los hidrocarburos, se realizaron pruebas de laboratorio específicamente con los productos nafta liviana, nafta pesada, diesel, gasolina y bunker. En cuanto a velocidad de infiltración medida en campo, se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 12: Velocidad de infiltración de hidrocarburos en arena de playa a nivel superficial (0-8 cm. de profundidad)

Sitio de ensayo	Hidrocarburo	Velocidad de infiltración (cm ³ /min.)
Punta Piuta	Nafta pesada	253.3
Punta Piuta	Nafta liviana	461.5
Punta Piuta	Diesel	213.3
Punta Piuta	Gasolina	128.3
Punta Piuta	Bunker	Extremadamente lenta
Playa Bonita	Nafta pesada	300
Playa Bonita	Nafta liviana	527
Playa Bonita	Diesel	50.5
Playa Bonita	Gasolina	814.9
Playa Bonita	Bunker	Extremadamente lenta
Playa Moín	Nafta pesada	8.5
Playa Moín	Nafta liviana	5.5
Playa Moín	Diesel	0.3
Playa Moín	Gasolina	0.6
Playa Moín	Bunker	Extremadamente lenta

En términos generales, se evidencia que sí el derrame es corto en tiempo y en volumen, la presión que ejerce el hidrocarburo sobre sí mismo será menor y limitará la velocidad de infiltración.

En Moín, a diferencia de Playa Bonita y Punta Piuta, el hidrocarburo se mezcla con la arena; en donde el fenómeno de infiltración es sumamente lento, aunque el proceso de impregnación es más intenso. Esto se determinó en campo al observar el volumen de hidrocarburo residual, el cual se infiltraba y se depositaba en el biker sin arrastrar partículas de arena.

Con respecto a las muestras tratadas con bunker, se corroboró como los productos crudos facilitan la recolección de material derramado, puesto que su capacidad de infiltración es extremadamente lenta. Una vez que éste entra en contacto con la arena, mantiene una alta tensión superficial, es decir, no aumenta su superficie y no se infiltra. En Punta Piuta, sitio que granulométricamente es el más sensible, el riesgo por infiltración sigue siendo mínimo al no superar los 6 milímetros por hora. Sin embargo, puede ser peligroso para sitios donde se presenta una importante variedad de microfauna, la cual irremediablemente agonizaría por asfixia.

En laboratorio se tomó como fuente de análisis 4 muestras de Playa Bonita y una de Moín (solamente para efectos de comparación, ya que el trabajo en campo comprobó la muy limitada infiltración del sitio). Se mantiene una carga constante sobre la muestra hasta alcanzar los 500 cm³ de hidrocarburo derramado.

Cuadro 13: Velocidad de infiltración sobre tubos de ensayo de 50 cm. de largo.

Sitio de ensayo	Hidrocarburo	Tiempo en alcanzar los 8 cm. de profundidad	Tiempo en alcanzar los 23 cm. de profundidad	Tiempo de infiltración superficial para 500 cm ³
Moín	Nafta liviana	6 min y 49 seg.	x	6 min y 49 seg.
Playa Bonita	Nafta liviana	5 seg	15 seg	3 min y 15 seg.
Playa Bonita	Nafta pesada	3 seg	12 seg	2 min y 26 seg
Playa Bonita	Diesel	8 seg	1 min y 1 seg	11 min y 7 seg
Playa Bonita	Gasolina	5 seg	17 seg	1 min y 57 seg

De los hidrocarburos tratados, solamente el diesel al ser más viscoso, afectó la estructura de la arena dentro del tubo, sin embargo, la medida de infiltración no sufre sesgos considerables.

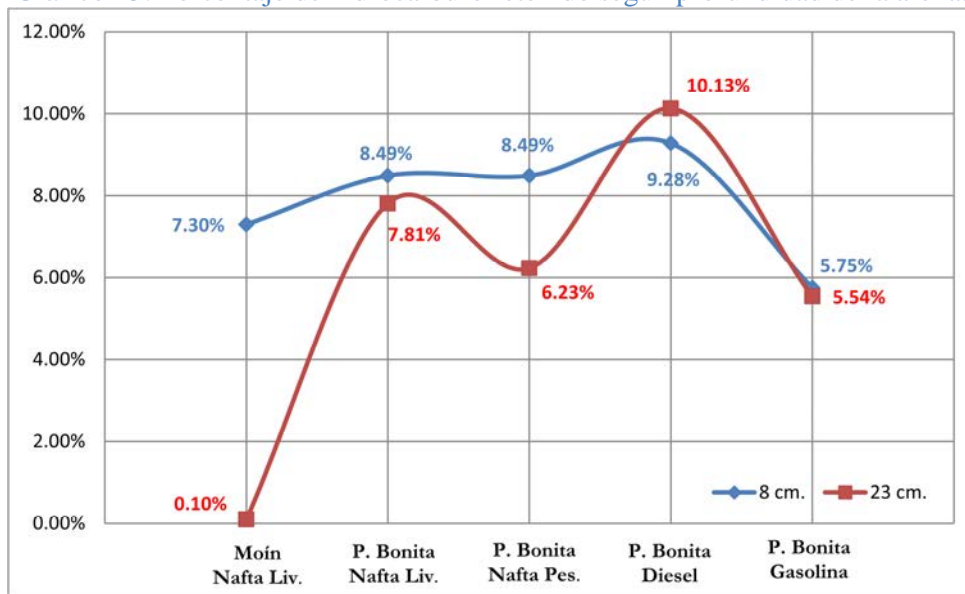
Finalmente, el volumen de hidrocarburo retenido a 8 y 23 cm. de profundidad varía de la siguiente forma:

A lo largo del cordón litoral en Moín la capacidad de infiltración parece no alcanzar los 23 centímetros de profundidad en donde se detectó un nivel prácticamente nulo en cuanto a presencia de hidrocarburos dispersos. Así mismo, se identificó un porcentaje más bajo de nafta liviana en comparación con Playa Bonita, lo que indica en términos generales la baja sensibilidad ambiental de dicho cordón litoral; no solamente en cuanto a velocidad de infiltración, sino además en profundidad.

Las mediciones tomadas a 8 cm. de profundidad demuestran un comportamiento regular en lo que se refiere a volumen de hidrocarburo retenido, indistintamente del tipo; excepto en el caso de la gasolina, la cual presenta un porcentaje más bajo. Esto se debe principalmente a su baja viscosidad y alta fluidez, que le permite infiltrarse a mayores profundidades sin mezclarse con la arena. Por otro lado, a los 23 cm de profundidad la situación se torna más irregular, variando considerablemente los porcentajes. Observando el gráfico anterior resulta evidente como la gasolina mantiene un comportamiento de infiltración uniforme a lo largo de la columna de arena, variando solamente un 0.21% en 15 cm.

El diesel presenta un comportamiento particular en comparación con los otros tipos de hidrocarburos. Solamente el diesel aumenta su porcentaje de concentración con la profundidad del material en el cual se infiltra. Esto se debe principalmente a su mayor viscosidad, propiedad que además influye sobre en su resistencia a la evaporación a nivel superficial. Las propiedades físicas del diesel le confieren la capacidad de infiltrar mayor volumen a profundidades mayores; de hecho, de las sustancias utilizadas, únicamente el bunker presenta una mayor densidad específica. De manera puntual, se puede deducir un aumento de deposición de diesel cerca del 1% por cada 15 cm de profundidad.

Gráfico 15: Porcentaje de hidrocarburo retenido según profundidad de la arena.



3. Mapa de sensibilidad ambiental ante derrame de hidrocarburos.

Los resultados se categorizaron en 5 clases según su sensibilidad ambiental, siendo 1 el caso más leve y 5 el más grave. Sin embargo, a partir de la diversidad de las ocho variables tomadas en cuenta, solamente resultaron cuatro categorías, y la clase de mayor sensibilidad no corresponde a ninguna unidad de tierra dentro del área de estudio; es decir, ningún sitio presenta todas las debilidades que se tomaron en cuenta. Esto se puede considerar como una debilidad del enfoque integral, sin embargo, puede solucionarse tomando en cuenta solamente las variables de mayor interés o bien, o agrupando según criterios de similaridad.

A partir de la representación cartográfica de los resultados, se identifican 4 áreas de especial atención en un eventual desastre; las cuales representan el 2% (663 m²) de la totalidad del área de estudio (72.24 Km²).

- 1. Límite costero entre la desembocadura del río Moín y Bahía Portete:** dentro de esta área se encuentra el muelle petrolero, principal fuente de un posible derrame. En la desembocadura del río Moín se lleva a cabo pesca de subsistencia, al igual que Bahía Portete. El acceso terrestre se dificulta, por lo que las acciones de recuperación de sustancias derramadas deben concentrarse en mar; especialmente en Bahía Portete, donde se espera un retardo en el flujo de mancha. En Bahía Portete el oleaje rompe con menor intensidad, por lo que una sustancia derramada tendría la tendencia a quedar estancada. La parte mas desprotegida de la Bahía, corresponde a aquella que colinda con el Parque Recreativo Cariari, en donde el tipo de arena resulta ser altamente vulnerable en relación con la capacidad de infiltración que presenta. Entre el muelle petrolero y Bahía Portete la vegetación es predominantemente arbórea, lo que indica un grado de desarrollo considerable. Dicha vegetación se encuentra relativamente protegida por el promontorio coralino que la sostiene, frente a la influencia indirecta del oleaje.



Fotografía 23: Pesca en la desembocadura del río Moín.



Fotografía 24: Bahía Portete.

2. **Punta Piuta:** representa una segunda área de retardo en el flujo de la mancha y presenta facilidad en el acceso terrestre. Normalmente se utiliza como sitio de recreación por parte de la población local, aunque a diferencia de Playa Bonita no se trata de un atractivo turístico.
3. **Isla Pájaros:** sitio de concentración de aves. Representa un área de especial interés, no solamente por su cercanía al muelle petrolero, sino además por su condición natural, y por ejercer un papel como filtro natural ante el esparcimiento de hidrocarburos hacia aguas profundas. Representa el sitio de mayor vulnerabilidad de acuerdo a la metodología empleada.



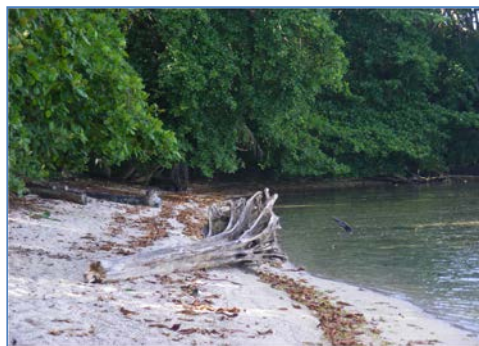
Fotografía 25: Isla Pájaros.

4. **Isla Uvita:** sitio declarado área protegida que presenta formaciones únicas en Costa Rica de gran belleza escénica y diversidad de especies, algunas de las cuales aún no han sido identificadas taxonómicamente. El frente noroeste que recibe la influencia del oleaje consiste en una costa acantilada, que actúa como

una defensa; mientras que el sector sur (sin influencia de oleaje directo) presenta una costa arenosa. Estos dos tipos de costa en un área tan pequeña son testimonio de la importancia de proteger la isla ante derrame de hidrocarburos en mar.



Fotografía 26: Isla Uvita. Costa acantilada hacia el mar abierto, frente a un oleaje de alta energía.



Fotografía 27: Isla Uvita. Costa arenosa hacia tierra, frente a un oleaje de baja energía.

Por otro lado, a lo largo de línea costera se identifican tres sitios clave en la lucha contra la propagación de sustancias derramadas: Bahía Portete, Piuta y Malecón; sitios en donde la geomorfología genera un retraso temporal antes de alcanzar el canal de aceleración entre Isla Uvita y Puerto Limón. Estos tres sitios presentan las condiciones para la aplicación de dispersantes, de acuerdo a los criterios de IPIECA y ARPEL.

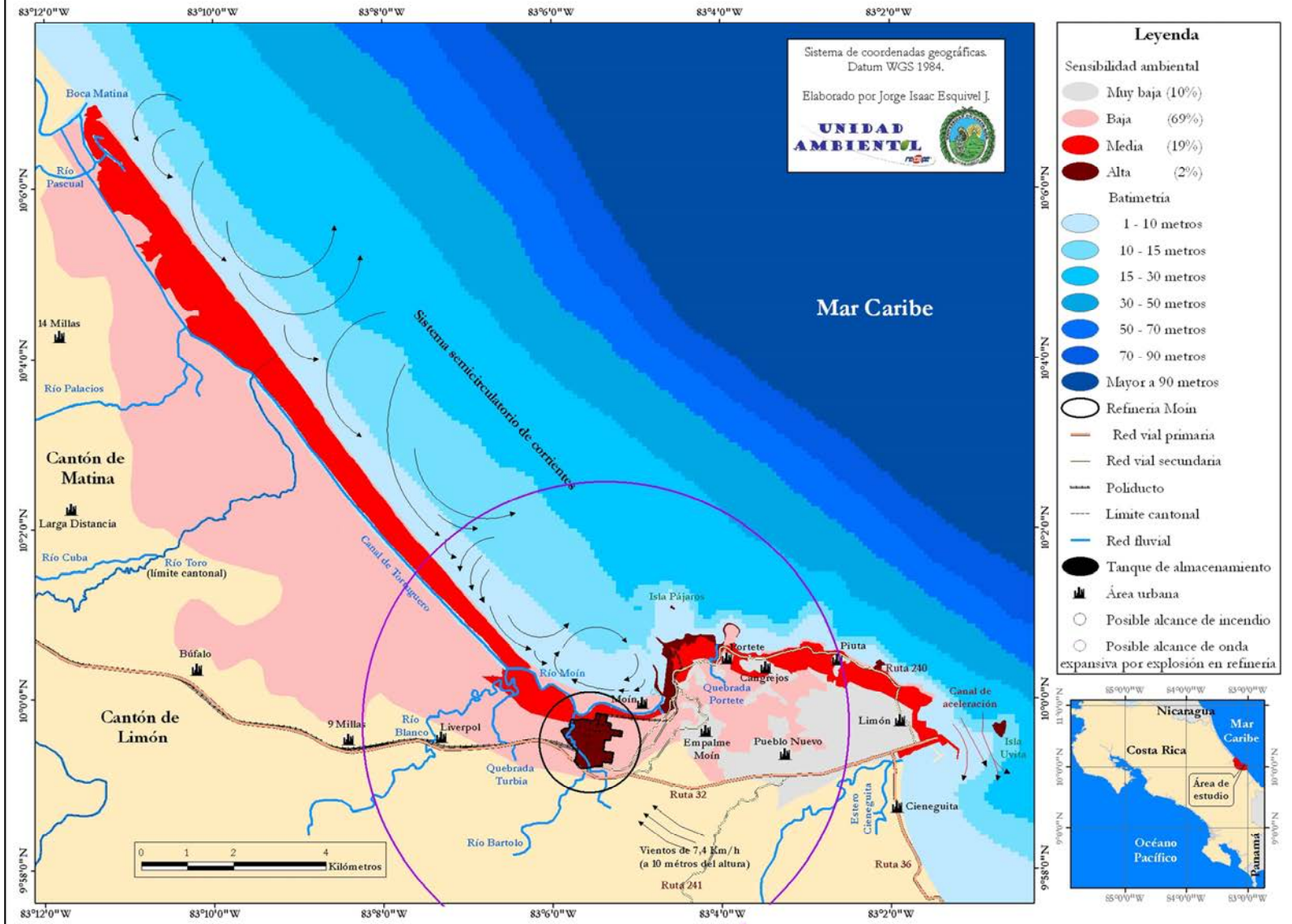
En cuanto a las áreas de *Sensibilidad Media*, éstas representan el 19%, dentro de las cuales se destacan el humedal que se encuentra inmerso dentro de la Unidad de Paisaje 1 (Cordón litoral); así como las formaciones boscosas entre el río Moín y la Refinería Moín y a lo largo de la costa entre Portete y Puerto Limón. No todo el humedal entre Boca Matina y Moín presenta una sensibilidad considerable a pesar de formar parte de un área protegida por el convenio de Ramsar; esto debido principalmente a sus características de suelo y distancia de las posibles fuentes de derrame.

Conforme nos alejamos de la línea costera, la sensibilidad ambiental disminuye. Las clases de Baja y Muy Baja Sensibilidad representan un 79% del área de estudio. Esta se localiza en espacios alejados de la infraestructura petrolera y áreas urbanas que no reciben influencia alguna del oleaje. Posiblemente, el principal peligro de las áreas urbanas, corresponda la onda expansiva generada por una explosión en alguno de los tanques de almacenamiento de la refinería. Recientemente, en el año 2009 hubo una

explosión en la Refinería Gulf de Puerto Rico, la cual presenta 40 tanques y el alcance de la onda expansiva fue de aproximadamente 5 km de diámetro, según reportes locales. (Bemba Noticias, 2009)

Por otro lado, el cordón litoral hacia el noroeste de Moín presenta una *Sensibilidad Baja*, no solamente por el comportamiento de las corrientes marinas, sino además por sus condiciones de granulometría y características vegetativas. El sistema semicirculatorio frente a dicho cordón litoral ejerce la principal defensa ante un eventual derrame.

Mapa 11: Sensibilidad ambiental ante derrame de hidrocarburos entre la desembocadura del río Matina y Puerto Limón.



CAPITULO V: CONCLUSIONES

- El planteamiento del problema a partir del cual surge el presente proyecto, se ve reflejado finalmente en la *Mapa de Sensibilidad Ambiental*, el cual representa en principalmente la distribución geográfica de la sensibilidad ambiental. En términos generales, un derrame de hidrocarburos implica una serie de obstáculos para la continuidad de las condiciones ambientales y socioeconómicas que se dan, no solamente en las áreas inmediatas al desastre, sino además en lugares lejanos, que por una u otra razón reciben un impacto indirecto.
- La tendencia general de la distribución geográfica de la sensibilidad ambiental muestra una disminución a medida que se aleja de la costa; aún cuando se incorpore en el estudio las posibilidades de derrame en tierra. De acuerdo a la metodología empleada, se identifican varios sitios de alta sensibilidad ambiental: el muelle petrolero, Bahía Portete, Punta Piuta y las islas Pájaros y Uvita; en donde se obtuvieron valores altos, principalmente en los atributos de “Geomorfología”, “Conductividad hidráulica” e “Influencia del oleaje”.
- Entre mayor sea el número de variables empleadas para la definición de la *Sensibilidad Ambiental* como fenómeno espacial, menos representativo será el mapa final. Si bien es cierto que es adecuado el enfoque integral, también lo es definir un número adecuado de variables que permitan representar la realidad de la mejor manera posible. Entre mayor sea el número de variables, mayor uniformidad espacial tendrá la sensibilidad ambiental, y no se tendrá un conocimiento real de las áreas en donde se deben enfocar los esfuerzos y recursos. Por otro lado, en formato digital mediante un programa SIG, se tiene la facilidad de visualizar la sensibilidad ambiental según las variables que más interesen; solucionando así los posibles inconvenientes de un número alto de variables.
- Las unidades de paisaje 1 y 2 difieren paisajísticamente de la tercer unidad. Geomorfológicamente la Unidad de Paisaje 3 representa el sector más variado, por ende el sector más diverso, en el que se deben concentrar los esfuerzos en un

eventual desastre. Para efectos de una mayor representatividad del mapa de sensibilidad ambiental, el análisis del área de estudio se llevó a cabo según dos escalas: 1:50.000 entre boca Matina y Moín, y 1:15.000 entre el Muelle Petrolero y Puerto Limón.

- Climáticamente se manejan dos escenarios: estaciones lluviosa y seca. Resulta evidente el dominio de la estación lluviosa, al punto que no se tiene una verdadera estación seca. Tomando en cuenta los aspectos de precipitación, temperatura y viento, los meses de mayor dificultad para atender un derrame mayor a 100 m³ son julio y diciembre; mientras que agosto y setiembre son los meses más favorables, ya que las condiciones de baja precipitación y alta temperatura favorecen la biodegradación de hidrocarburos derramados. Sin embargo, en los meses menos lluviosos, el viento es por lo general más rápido.
- Particularmente con el viento, la velocidad disminuye conforme se aleja de la costa, y varía entre 3 y 7.5 km/h. En la costa se presenta una zona de contacto entre dos direcciones de viento, una del noroeste, responsable del oleaje en mar adentro, y otra del sureste, influenciada por las condiciones topográficas tierra adentro.
- Cuando se trate de un derrame en mar, es importante enfocar recursos y esfuerzos en Bahía Portete, donde las características geomorfológicas proveen la mejor oportunidad para recuperar un volumen considerable del derrame. Si la mancha llega al canal de aceleración entre Puerto Limón e Isla Uvita, el riesgo por contaminación alcanza fácilmente los arrecifes de Cahuita.
- Cuando el oleaje rompe con fuerza, genera sitios de menor sensibilidad ambiental, ya que propicia condiciones de aireación constante, limita el estancamiento de hidrocarburos, el movimiento en la columna de agua y el blanqueamiento de corales.
- Finalmente, dentro de las conclusiones de laboratorio, se tiene que la disminución de la conductividad hidráulica (K) no se debe únicamente al

aumento de la densidad aparente, sino a las características físicas de la arena; la cual no mantiene una estructura consolidada como el suelo.

- Con respecto a la granulometría de la línea costera, partiendo del Estero Cieneguita en dirección noroeste, la sensibilidad ambiental disminuye. En Malecón, Playa Bonita y Bahía Portete la profundidad de infiltración puede superar los 15 centímetros; mientras que entre Boca Matina y Moín la infiltración sería menor a los 15 centímetros, según datos del GIGA.
- En laboratorio se presentan dos escenarios opuestos en relación con las propiedades físicas del suelo: En época seca hay una mayor sensibilidad ambiental ante derrame en tierra por el fenómeno de contracción del suelo, provocando que se agriete demasiado y permita fácilmente la infiltración. Por otro lado, en época lluviosa se expande e impide la infiltración a causa de la presencia de arcillas expandibles. En este segundo caso, el peligro aumenta por la asfixia de la microfauna, especialmente en el caso del histosol.
- Con respecto a las pruebas realizadas en campo y laboratorio sobre el comportamiento de hidrocarburo sobre arena; los resultados reafirman los resultados de conductividad hidráulica y densidad aparente. Los productos crudos presentan mayores valores en sus propiedades físicas, como lo es el caso del bunker, cuya viscosidad es mayor a otros derivados como la nafta, el diesel y la gasolina; resultando en una mayor tensión superficial que limita su fluidez. Por su parte, los productos refinados presentan mayor peligro desde el punto de vista químico, ya sea por impregnación u otros efectos tóxicos; además, las labores de recolección resultan más difíciles en este caso; puesto que mantienen valores más bajos de viscosidad, fluidez, solubilidad y densidad específica (características que agudizan el proceso de impregnación e infiltración).

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

A pesar de que el trabajo realizado no representa en su totalidad una gestión del riesgo, las recomendaciones que se detallan a continuación están enfocadas principalmente a la elaboración del Plan de Contingencia y a minimizar el daño ocasionado por un eventual derrame.

Antes del derrame:

- Continuar el mapa de sensibilidad ambiental entre el Estero Cieneguita y el río Sixaola, mediante un enfoque eminentemente geomorfológico. El conocimiento de la distribución geográfica de la sensibilidad ambiental representa la base para la elaboración de un Plan de Contingencia.
- Velar por el buen estado y mantenimiento de las rutas 240 y 36 por parte del Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Dichas vías, junto con la ruta 32, representan los principales accesos terrestres de maquinaria destinada a la atención de un desastre.
- Formular y aplicar un plan de acercamiento con la comunidad del cantón de Limón; cuyo fin sea la capacitación para responder a un derrame masivo. Con ello, el principal logro sería la identificación de habilidades y recursos locales.
- Realizar el Plan de Contingencia ante derrame de hidrocarburos. Así mismo, realizar un simulacro por año para capacitar personal de RECOPE, e implementar mejoras al Plan de Contingencia a medida que se realizan nuevos simulacros.
- Realizar o apoyar proyectos dedicados al estudio de la fitorremediación o biorremediación; un tipo de biotecnología que varios estudios han demostrado su utilidad y eficiencia en la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos.

Durante el derrame:

- Utilizar el centro de capacitación de RECOPE cercano al muelle petrolero, como oficina de coordinación.
- En caso de derrame en mar, enfocar esfuerzos y recursos en Bahía Portete, sitio de alta sensibilidad que resulta apto para la aplicación de dispersantes y a la vez para la recuperación de un alto volumen de hidrocarburo derramado por medio de aspiradoras.
- Durante la atención de un desastre, usar chalecos de diferente color según la labor asignada al personal. Con ello se logra facilitar y agilizar la comunicación en momentos de tensión. Por ejemplo directivos y cosultores de blanco, equipo de logística de azul, voluntarios de rojo, etc.
- Utilizar dispersantes en aguas poco profundas, preferiblemente dentro de los límites de la batimetría de 15 metros; aunque los dispersantes limitan la formación de manchas en la superficie del mar y aceleran la biodegradación de hidrocarburos, facilitan la propagación de estos en la columna de agua. En sitios de poca profundidad, cerca de la costa, la aplicación de dispersantes puede reducir los riesgos de contaminación de hábitats marinos. Cerca de desembocaduras fluviales puede generar la agregación entre gotas de hidrocarburo y sedimentos, y así favorecer la dispersión natural. En aguas profundas resulta apropiada la aplicación de dispersantes, solamente cuando la mancha de hidrocarburo se mueve con rapidez hacia un sitio de alta sensibilidad (islas, zonas pesqueras, colonias de aves, arrecifes desarrollados).
- En cuanto al tipo de dispersante, no se recomienda la aplicación de dispersantes de poca toxicidad, ya que requieren grandes cantidades para resultados positivos. Se recomienda el uso de dispersantes de toxicidad media, aplicados uniformemente sobre la mancha.

Después del derrame:

- Monitorear por medio de fotos satelitales el flujo y comportamiento de la mancha restante. Con ello se lograría detectar la velocidad de desplazamiento y patrón espacial de deposición.

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Acuña, J., Cortés, J. y Murillo, M. 1997. Mapa de sensibilidad ambiental para derrames de petróleo en las costas de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 44(3), 463-470.
- ❖ Acuña, J., Vargas, J., Gómez, E. y García, J. 2004. Hidrocarburos de petróleo, disueltos y dispersos, en cuatro ambientes costeros de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 52, 43-50.
- ❖ Andrade, B., Arenas, F. y Lagos, M. 2010. Incorporación de criterios de fragilidad ambiental y riesgo en la planificación territorial de la costa de Chile central. *Revista de Geografía Norte Grande*, 45, 5-20.
- ❖ Battistini, R. y Bergoeing, J.P., 1984. Geomorfología de la costa Caribe de Costa Rica. *Revista geográfica*. 99, 167-188.
- ❖ Bergoeing, J.P. 2007. Geomorfología de Costa Rica. Librería Fransesa S.A. San José, Costa Rica.
- ❖ Bergoeing, J.P. 2010. Atlas geomorfológico del Caribe de Costa Rica Escala 1:100.000. Universidad de Costa Rica, San José.
- ❖ Bourne, J.K. y Barcott, B. 2010. The spill. *National Geographic Magazine*, 27 (4), 10-31.
- ❖ Brenes, G. 1999. Estudio de impacto ambiental del emisario submarino para el alcantarillado sanitario de la ciudad de Limón. Universidad de Costa Rica, San José.
- ❖ Castro, V. 2009. Determinación de la capacidad biodegradativa de hidrocarburos en distintas poblaciones bacterianas presentes en un acuífero contaminado con combustibles en Moín, Limón. Tesis de Licenciatura. Escuela de Microbiología. Universidad de Costa Rica, San José.
- ❖ Chuvieco, E. 2002. Teledetección ambiental. Editorial Ariel S.A. Barcelona.
- ❖ Cubero, S. 2004. Plan de contingencias para derrames de hidrocarburos en las instalaciones de Recope en Limón. Tesis de Maestría. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Costa Rica, San José.
- ❖ Denyer, P., Personius, S. y Arias, O. Efecto tectónico del terremoto de Limón. *Revista Geológica de América Central*, Volumen especial: Terremoto de Limón, 38-52.
- ❖ Denyer, P., Personius, S. y Arias, O. Generalidades sobre los efectos geológicos del terremoto de Limón. *Revista Geológica de América Central*, Volumen especial: Terremoto de Limón, 29-38.

- ❖ Escalante, G. y Astorga, A. 1994. Geología del este de Costa Rica y el Norte de Panamá. Revista Geológica de América Central, Volumen especial: Terremoto de Limón, 1-14.
- ❖ Fernández, J.A., Bottazzi, G., Barboza, G. y Astorga, A. Tectónica y estratigrafía de la Cuenca Limón Sur. Revista Geológica de América Central, Volumen especial: Terremoto de Limón, 15-28.
- ❖ Fernández S., Fernández E., Sáenz, D., Sánchez, P., Suárez, F. y Vega, M. 2004. Metodología de actuación ante un vertido de Fuel-Oil en la costa asturiana. Universidad de Oviedo. Asturias, España.
- ❖ Fundación Leonardo Torres Quevedo, Grupo de Emisarios Submarinos e Hidráulica Ambiental y Universidad de Costa Rica. 2005. Estudio de afección de las obras de dragado y ampliación del Puerto de Moín. Informe final. San José, Costa Rica.
- ❖ German Agency For Technical Cooperation and Ministry of Public Works and Transport of Costa Rica. 1980. Integrated Atlantic Coast Port Study. Masterplan Limón/Moín. San José, Costa Rica.
- ❖ Gutierrez, M. 2008. Geomorfología. Pearson Educación. Madrid.
- ❖ Henríquez, C y Cabalceta, G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con enfoque agrícola. ACCS. San José, Costa Rica.
- ❖ Hernández, E.G. 2001. Elaboración de un modelo matemático para estimar la viscosidad de mezclas de hidrocarburos líquidos con base en el modelo de mezcla continua. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Costa Rica, San José.
- ❖ Industria Petrolera Internacional para la Conservación del Medio Ambiente (IPIECA). 2007. Preparación y respuesta ante derrames de hidrocarburos: Resumen de la serie de informes. Londres.
- ❖ Industria Petrolera Internacional para la Conservación del Medio Ambiente (IPIECA) y Organización Marítima Internacional (OMI). 1996. Desarrollo de mapas de sensibilidad para la respuesta a derrames de hidrocarburos. Londres.
- ❖ Keller, B. y Jeremy C. 1993. Evaluación a largo plazo del derrame de petróleo en Bahía Las Minas, Panamá. Informe síntesis, Volumen 1. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales. Balboa, Panamá.
- ❖ Loiza, M. 2003. Estudio de evaluación de riesgos de derrames en el área de producto negro del plantel del Alto de Recope. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Costa Rica, San José.
- ❖ Martínez de Pisón, E. 1985. El relieve de la Tierra. Salvat Editores S.A. Barcelona.

- ❖ Matteucci, S. 1979. Análisis regional de la vegetación y el ambiente del Estado de Falcón. Mnuscrito, Instituto Universitario de Tecnología de Coro. Falcón, Venezuela.
- ❖ Ministerio de Industria, Energía y minas. Dirección de geología, minas y petróleo. 1982. Mapa geológico de Costa Rica Escala 1:200.000. San José, Costa Rica.
- ❖ Myles, J., y Wotherspoon, P. 1998. Evaluación y administración de riesgos de derrames de hidrocarburos. ARPEL. Montevideo, Uruguay.
- ❖ Ortiz, G. y Solano, B. 1984. Efectos jurídico-ambientales del derrame de petróleo en tierra y mar. Tesis de Licenciatura. Escuela de Derecho. Universidad de Costa Rica, San José.
- ❖ Quirós, O. y Villalobos, M. 1999. Caracterización del daño ambiental: algunos aspectos sobre valorización. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica, San José.
- ❖ Tricard, J. y Kilian, J. 1982. La eco-geografía y la ordenación del medio natural. Editorial Anagrama. Barcelona.
- ❖ Vargas, G. 1994. La vegetación de Costa Rica: su riqueza, diversidad y protección. Editorial Guayacán. San José, Costa Rica.

Diccionarios.

- ❖ Bergoeing, J.P. y Vargas, G. 2010. Diccionario de la geografía. Editorial Tecnológica de Costa Rica. San José.
- ❖ Kapelle, M. 2008. Diccionario de la biodiversidad. Editorial INBio. San José.

Leyes, convenios y periódicos.

- ❖ Fondos Internacionales de Indemnización de Daños Debidos a la Contaminación por Hidrocarburos (FIDAC). 2008. Manual de reclamaciones. Reino Unido.
- ❖ Ley orgánica del ambiente. N° 7554. La Gaceta N° 215, 13 de noviembre de 1995. San José.
- ❖ Ley para la protección y el desarrollo del medio marino y su protocolo de cooperación para combatir los derrames de hidrocarburos en la Región del Gran Caribe
- ❖ The Ramsar Convention on Wetlands. 1971. Ramsar, Iran. (<http://www.ramsar.org>)

- ❖ Wa-Chong, T. 2010. Empresarios esperan que no se atrase más la modernización de los puertos. La Prensa Libre, 27 de agosto del 2010. San José.
- ❖ Fonseca, Carlos. 2011. RECOPE omitió dar alerta de gran derrame de combustible en Moín. La Nación, 25 de mayo del 2011. San José.

Referencias de Internet y Enciclopedias Virtuales.

- ❖ Anónimo. 2010. Derrame de petróleo en el Golfo de México, 2 meses después. (<http://www.cubadebate.cu/fotorreportajes/>). Consultado en julio del 2010.
- ❖ Biblioteca de Consulta Microsoft Encarta. 2005. Hidrocarburos. Microsoft Corporation.
- ❖ Grupo de Investigaciones Geoambientales (GIGA). Atlas de Sensibilidad de la Costa y el Mar Argentinos. (<http://atlas.ambiente.gov.ar/>). Consultado en junio del 2010.
- ❖ Instituto Meteorológico Nacional. 2010. Descripción del clima de Limón. (<http://www.imn.ac.cr/>)
- ❖ López, R. y Cervantez, J. 2002. Unidades de paisaje para el desarrollo sustentable y manejo de los recursos naturales. (<http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/contenidos/articulos/ambientales/paisaje03.pdf>) Consultado en agosto del 2010.
- ❖ STRI. 2010. Los resultados del proyecto del derrame de petróleo de STRI pueden llegar a ser muy. (http://www.stri.org/espanol/acerca_stri/noticias). Consultado en julio del 2010.
- ❖ Univisión. 2010. Derrame, el peor en la historia. Obama llega a la zona del desastre. (<http://www.univision.com/content>). Consultado en julio del 2010.
- ❖ Radio Bemba Noticias. 2009. Fuerte explosión en refinería de petróleo estremece zona metropolitana de Puerto Rico. (www.radiobembanoticias.com/noticias/Puerto-Rico). Consultado en mayo del 2011.