



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Regeneración de la Playa de  
Lechuguillas, Veracruz, como  
medida de conservación del  
espacio de anidación de tortugas  
marinas**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A**

MIGUEL EDUARDO CASTELLANOS HERNÁNDEZ

**DIRECTOR DE TESIS**

M.I. ROGRIGO TAKASHI SEPÚLVEDA HIROSE



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/089/17

Señor  
MIGUEL EDUARDO CASTELLANOS HERNÁNDEZ  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. RODRIGO TAKASHI SEPÚLVEDA HIROSE, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"REGENERACIÓN DE LA PLAYA DE LECHUGILLAS, VERACRUZ, COMO MEDIDA DE CONSERVACIÓN DEL ESPACIO DE ANIDACIÓN DE TORTUGAS MARINAS"**

- I. INTRODUCCIÓN  
CARACTERIZACIÓN DEL SITIO EN ESTUDIO, PLAYA DE LECHUGILLAS, VERACRUZ
- II. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DE LA PÉRDIDA DE LITORAL Y JUSTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD DE UNA REGENERACIÓN DE PLAYA DESDE EL PUNTO DE VISTA ECOLÓGICO
- III. MARCO TEÓRICO
- IV. METODOLOGÍA
- V. PROPUESTA DE REGENERACIÓN DE LA PLAYA DE LECHUGILLAS Y BENEFICIO AMBIENTAL
- VI. ANEXOS
- VII. COCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 13 de octubre del 2017.  
EL PRESIDENTE

M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH\*gar.

*A mi familia, padres y hermana, por vigilar y guiar este camino. Por darlo todo sólo por amor. Esto es suyo más que mío.*

*A Miriam, novia, compañera y sobretodo amiga, porque tu amor tu fuerza y valor fueron motor importante y ejemplo a seguir en estos años.*

*A los biólogos de la CONANP, por tan amablemente aportar información de suma relevancia, en especial al biólogo Emmanuel Bretón.*

*A todos mis amigos que la vida nos hizo coincidir, especialmente al estupendo geomático Arón por poner tu puño de arena en esta tesis.*

# ÍNDICE

Resumen.....	8
Introducción .....	9
Objetivo general .....	10
Objetivos particulares.....	10
1. Caracterización del sitio en estudio, Playa De Lechuguillas, Veracruz.....	11
1.1 Ubicación geográfica .....	11
Ubicación .....	11
1.2 Clima.....	11
1.3 Demografía .....	12
1.4 Cuencas Hidrológicas .....	12
1.5 Uso de Suelo .....	14
1.6 Economía .....	14
1.7 Caracterización de la playa en estudio .....	15
1.8 Obtención de la información mediante fotogrametría .....	15
2. Análisis de la problemática de la pérdida de litoral y justificación de la necesidad de una regeneración de playa desde el punto de vista ecológico .....	16
2.1 Introducción al análisis de la problemática .....	16
2.2 Erosión en la playa de Lechuguillas .....	16
2.3 Necesidad de la regeneración de la playa de lechuguillas desde el punto de vista ecológico .....	18
<i>Chelonia mydas</i> .....	18
Características generales.....	18
Tamaño.....	19
Anidación.....	19
Estado de conservación.....	19
<i>Lepidochelys kempii</i> .....	19
Características generales.....	19
Tamaño.....	20
Anidación.....	20
Estado de conservación.....	20
2.4 Tortuga Verde y tortuga Lora en la Playa de Lechuguillas.....	20



2.5	Normativa de protección de especies de tortugas en México.....	21
3	Marco teórico .....	23
3.1	Movimientos del mar .....	23
	Oleaje .....	24
	Clasificación del oleaje .....	24
3.2	El oleaje como una onda .....	25
	Parámetros de la ola .....	25
3.3	Teoría lineal de Airy .....	27
3.4	Modificación del oleaje .....	29
3.5	Refracción .....	30
3.6	Método gráfico (planos de oleaje).....	33
3.7	Clima marítimo .....	34
	Tiempo de retorno .....	34
	Altura de ola significativa $HS$ o $H13$ y altura de ola máxima $HMAX$ .....	34
	Dirección de viento .....	35
	Régimen medio direccional .....	35
	Régimen extremal.....	35
3.8	Dinámica litoral.....	35
3.9	Equilibrio de playa .....	36
3.10	Perfil de equilibrio de playa .....	37
3.11	Profundidad de cierre .....	39
3.12	Teoría monoparabólica de Dean para regeneración de playa.....	39
3.13	Reflexión del marco teórico .....	42
4	Metodología .....	43
4.1	Clima marítimo de la zona del Golfo de México .....	43
	Localización y selección de boya .....	43
	Tiempo de retorno .....	44
	Distribución conjunta de periodo de retorno pico y altura significativa .....	45
	Dirección de viento predominante .....	45
	Distribución conjunta de altura significativa y dirección de viento .....	46
	Régimen medio direccional .....	48

Régimen medio dirección Este Sureste.....	49
Régimen medio dirección Sureste .....	50
Régimen medio dirección Este .....	52
Régimen extremal.....	53
4.2 Refracción del oleaje incidente en la Playa de Lechuguillas, Veracruz. ....	54
Obtención de datos iniciales .....	54
Obtención de datos batimétricos .....	56
Construcción de planos de oleaje .....	57
Análisis de resultados obtenidos a partir de los planos de oleaje.....	57
Coeficiente de Shoaling $K_s$ .....	58
Coeficiente de refracción $K_r$ .....	58
$K_r$ dirección Este.....	58
$K_r$ dirección Este-Sureste .....	59
$K_r$ dirección Sureste.....	59
4.3 Régimen medio direccional a pie de obra.....	60
4.4 Régimen medio a pie de obra dirección Este .....	60
4.5 Régimen medio a pie de obra dirección Este-Sureste .....	61
4.6 Régimen medio a pie de obra dirección Sureste.....	62
4.7 Dinámica litoral de la playa de lechuguillas, Veracruz .....	63
Transporte de litoral ocasionado por oleaje que proviene de la dirección Este .....	63
Transporte de litoral ocasionado por oleaje que proviene de la dirección Este-Sureste.....	64
Transporte de litoral ocasionado por oleaje que proviene de la dirección Sureste ..	65
Análisis de resultados del transporte de litoral .....	66
4.8 Regeneración de playa por el método de la teoría monoparabólica de Dean ...	67
Trabajo en campo (muestreo de arena en sitio) .....	67
Trabajo de laboratorio (tamizado de las muestras) .....	69
Perfil de equilibrio de playa .....	71
5. Propuesta de regeneración de la playa de lechuguillas y beneficio ambiental.....	74
5.1 Volumen necesario para la regeneración de la Playa de Lechuguillas.....	74
5.2 Zona de berma .....	74

5.3	Equilibrio de la Playa de Lechuguillas en planta .....	75
5.4	Beneficio ambiental de la regeneración de la Playa de Lechuguillas.....	76
6	Conclusiones .....	79
7	Referencias bibliográficas .....	82
8	Anexos .....	85
8.1	Plan de vuelo de dron .....	85
8.2	Características geométricas de la playa.....	93
8.3	Planta de la playa con puntos de muestreo de arena .....	94
8.4	Estación E01 de muestreo de arena.....	95
8.5	Estación E02 de muestreo de arena.....	96
8.6	Estación E03 de muestro de arena .....	97
8.7	Tabla de parámetros referenciados a la profundidad relativa <i>dLO</i> en profundidades indefinidas.....	98
8.8	Tablas de obtención de datos para realizar planos de oleaje.....	110
	Dirección Este .....	110
	Dirección Este-Sureste .....	112
	Dirección Sureste .....	114
8.9	Planos de oleaje.....	116
	Dirección Este .....	116
	Dirección Este-Sureste .....	117
	Dirección Sureste .....	118
8.10	Área nueva de playa regenerada en comparación con área natural. ....	119
8.11	Anexo fotográfico .....	120

## Resumen

La presente tesis conjunta las áreas de ingeniería en puertos y costas e ingeniería ambiental con la finalidad de realizar la regeneración de la Playa de Lechuguillas, Veracruz, como medida de conservación del espacio de anidación de tortugas marinas. Todos los años arriban a las costas de Lechuguillas dos especies de tortugas: la tortuga Verde (*Chelonia mydas*) y la tortuga Lora (*Lepidochelys kempii*).

El deterioro de la Playa de Lechuguillas, así como su erosión es un fenómeno que ha sido notado a lo largo de los años por los pobladores de la localidad, esto ha afectado a muchos sectores económicos y sociales de la población y directamente al ecosistema de la zona, como son las especies de tortuga que anidan en ella. La NOM-162-SEMARNAT-2012 en su apartado 5.4 menciona que es necesario mantener la dinámica de acumulación de arena en el hábitat de anidación de las diferentes especies de tortugas marinas que arriban a las playas de México.

La erosión de la Playa de Lechuguillas y la conservación de las especies de tortugas marinas que arriban a ella es la justificación de esta tesis y a su vez trata de dar cumplimiento a la normativa de la SEMARNAT.

Para lograr cumplir el objetivo se caracterizó el sitio y se estudió las posibles causas de erosión de la Playa de Lechuguillas, se clasificaron las especies, así como su demanda de anidación en la zona, se realizó un estudio del clima marítimo del Golfo de México y con esto se propuso, siguiendo la teoría monoparabólica de Dean (1977), la regeneración de la playa.

Siguiendo toda la metodología se logró regenerar 1,415 metros de playa, extendiéndose 25 metros adicionales hacia la costa necesitando un volumen de aportación de 98,399.1 m<sup>3</sup> de sedimento nuevo. Esta playa regenerada daría un incremento en la cantidad de arribos anuales de tortugas Verde de 463 a 883 y de tortugas Lora de 26 a 50.

## Introducción

Son muchos los estudios generados por múltiples asociaciones en los cuales se muestra como la tortuga marina, en casi todas sus especies, se encuentra en grave peligro de desaparecer tal es el caso de la tortuga Verde (*Chelonia mydas*) catalogada como especie en Peligro de Extinción, es decir, que la especie cuenta con menos de 2448 taxones y la tortuga Lora (*Lepidochelys kempii*) catalogada como especie en Peligro Crítico de Extinción, es decir, que esta especie ha mostrado una caída de entre el 80% y 90% de su población en los últimos 10 años o 3 generaciones o una población menor a 250 individuos maduros. Esta clasificación fue tomada de la versión del 2009 de la Lista Roja de la Unión Internacional para la conservación de la Naturaleza (UICN)

De la playa de Lechuguillas, Veracruz, se desconocía el alto potencial de anidación de este par de especies de tortugas marinas, fue hasta 1995 que un grupo de biólogos de la Universidad Veracruzana descubrieron una cantidad considerable de nidos en toda esta playa del Golfo de México. (Reporte realizado por biólogos de la UV, 1996).

Se sabe que para la conservación de una especie existen programas de concientización social, brigadas ecologistas, programas gubernamentales bien estructurados, pero ¿Qué está haciendo la ingeniería, específicamente la ingeniería civil, para asegurar la conservación de las especies en peligro de extinción?

La siguiente tesis conjunta dos ramas de la ingeniería civil (ingeniería en puertos y costas e ingeniería ambiental) proponiendo la regeneración de la playa de Lechuguillas con la finalidad de obtener una superficie adicional de playa óptima para la anidación de estas tortugas, se pretende que con esta acción más tortugas lleguen a anidar a la zona y que al tener un sector de playa más amplio se tenga un mejor control de los nidos en la misma.

Además, esta tesis tiene como valor añadido el uso de una herramienta sofisticada como es la fotogrametría a partir de vuelos con drones para obtener información a detalle de la playa, las condiciones actuales del terreno, su topografía y el nivel de erosión de la misma.

Los motivos por los cuales se consideró la regeneración de esta playa es por la pérdida de arena en su planta, siendo más notable en la parte sur de la misma. Dicha playa cuenta con aproximadamente 1,415 metros de longitud y un área de arena en planta de 43,263.193 m<sup>2</sup>. Además, esta playa tiene un gran valor sentimental para este autor siendo el lugar de origen de gran parte de su familia, y siendo testigo de la erosión de esta desde su niñez hasta la fecha.

## **Objetivo general**

El objetivo principal de este trabajo es utilizar la ingeniería en puertos y costas para proponer una regeneración de la playa de Lechuguillas, Veracruz con la finalidad de promover el aumento de arribos de la tortuga Lora y la tortuga Verde que todos los años anidan en estas playas y así dar una solución al preocupante tema de su extinción.

## **Objetivos particulares**

1. Realizar el análisis de clima marítimo de la zona de la Playa de Lechuguillas con información real obtenida de boyas con el fin de caracterizar los fenómenos climatológicos que afectan a la playa de Lechuguillas.
2. Realizar el dibujo de planos de oleaje correspondientes a las direcciones de viento predominantes con la finalidad de observar de manera gráfica el fenómeno de la refracción de las olas y como esta afecta a la playa de Lechuguillas.
3. Obtener los regímenes medio direccionales y el régimen máximo con la información obtenida del análisis del clima marítimo y de los planos de oleaje para entender el comportamiento dinámico de la playa de Lechuguillas.
4. Utilizar el método monoparábólico de Dean para la regeneración de la playa de Lechuguillas, Veracruz.
5. Recaudar información de las especies de tortugas que arriban a la zona para obtener la cantidad de nidos anuales que se tiene en la Playa de Lechuguillas y así conocer el potencial de anidación de la zona.
6. Obtener la fotogrametría de la playa en estudio drones para obtener información a detalle de la playa, las condiciones actuales del terreno, su topografía y el nivel de erosión de la misma.

## 1. Caracterización del sitio en estudio, Playa De Lechuguillas, Veracruz

Antes de comenzar con la metodología que nos dará como resultado la regeneración de playa de Lechuguillas fue necesario caracterizar el sitio en estudio con el fin de conocer y ubicar las condiciones y limitantes que se tuvieron al realizar esta tesis.

### 1.1 Ubicación geográfica

La playa de Lechuguillas debe su nombre al pueblo de, valga la redundancia, Lechuguillas, localidad rural perteneciente al municipio de Vega de Alatorre, Veracruz. La Figura 1.0 muestra la ubicación del municipio y de la localidad.



Figura 1.0: Ubicación del municipio de Vega de Alatorre. Fuente: Google Maps 2017

### Ubicación

El municipio de Vega de Alatorre se localiza entre los paralelos 19° 50' y 20° 09' de altitud norte y los meridianos 96° 31' y 96° 46' longitud oeste. Además, tiene una altitud de 5 a 900 metros sobre el nivel del mar. Colinda al sur con los municipios de Alto Lucero de Gutiérrez Barrios, Colipa y Ferrer; al norte con el municipio de Nautla y el Golfo de México; al este con el Golfo de México y al oeste con los municipios de Colipa, Nautla y Misantla.

La localidad de Lechuguillas se encuentra las coordenadas GPS: Longitud=-96.590278, Latitud=19.9986.11 a una altura media de 15 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2009).

### 1.2 Clima

El clima de la región es considerado húmedo con lluvias abundantes en verano, llegando hasta un 56% en esta temporada. La temperatura ronda entre los 22°C a los 26°C. La precipitación esta entre 1 400 mm y 2 100 mm (INEGI, 2009).

### 1.3 Demografía

Con base en el censo del 2010 realizado por INEGI, el municipio de Vega de Alatorre cuenta con 152 localidades, de las cuales 150 son rurales y 2 urbanas. Tiene una extensión de 340.2 km<sup>2</sup> lo que representa, aproximadamente, el 0.5% del territorio veracruzano. En la Tabla 1.0 se pueden observar los datos geográficos del municipio.

Como se muestra en la Tabla 1.1 el 2017 se cuentan con una población total de 20 490 habitantes en todo el municipio de Vega de Alatorre. Según el censo del 2010, la localidad rural de Lechuguillas contaba con 447 habitantes, como lo muestra la Tabla 1.2.

Tabla 1.0: Datos geográficos del municipio de Vega de Alatorre

DATOS GEOGRÁFICOS	
Indicador	Valor
Cabecera municipal	Vega de Alatorre
Localidades en 2010	152
Urbanas	2
Rurales	150
Superficie	340.2 km <sup>2</sup>
Porcentaje del territorio estatal	0.5%
Densidad poblacional en 2010	57.4 hab/km <sup>2</sup>

Fuente: SEFIPLAN con datos de INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010 y Marco Geoestadístico Municipal 2010.

Tabla 1.1: Evolución de la población del municipio de Vega de Alatorre

EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN				
Año	Total	Hombres	Mujeres	Proporción estatal (%)
2017	20,490	9,994	10,496	0.25
2015	20,275	9,760	10,515	0.25
2010	19,541	9,477	10,064	0.26
2005	18,507	8,825	9,682	0.26
2000	18,771	9,129	9,642	0.27
1995	19,412	9,773	9,639	0.29

Fuente: Para 1995 a 2015, INEGI. Censos y Conteos de Población y Vivienda, 1995 a 2010 y Encuesta Intercensal 2015, y para 2017, CONAPO, Proyecciones de la Población de los Municipios 2010-2030.

Tabla 1.2: Habitantes en principales localidades de Vega de Alatorre

HABITANTES EN PRINCIPALES LOCALIDADES, 2010	
Localidad	Habitantes
Vega de Alatorre	7,653
Emilio Carranza	5,727
Las Higueras	1,280
Loma Bonita (Úrsulo Galván)	499
Lechuguillas	447
Resto de localidades	3,935

Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010.

### 1.4 Cuencas Hidrológicas

El centro tortuguero de Lechuguillas tiene en su jurisdicción un territorio de 13.5 kilómetros aproximadamente de playa. A esta playa de Lechuguillas desembocan 2 ríos y un arroyo, los 3 de tipo perenne, es decir, que sus corrientes son continuas: El río Colipa, el río Juchique y el arroyo Miraflores. En la Figura 1.1 se puede observar los ríos mencionados.





Figura 1.1: Ríos que desembocan a la playa de Lechuguillas. Fuente: Google Earth 2016

Las cuencas hidrológicas obtenidas en INEGI que contemplan estas corrientes (Figura 1.2) de agua llevan el nombre de la corriente que engloban y sus características se muestran en la Tabla 1.3.

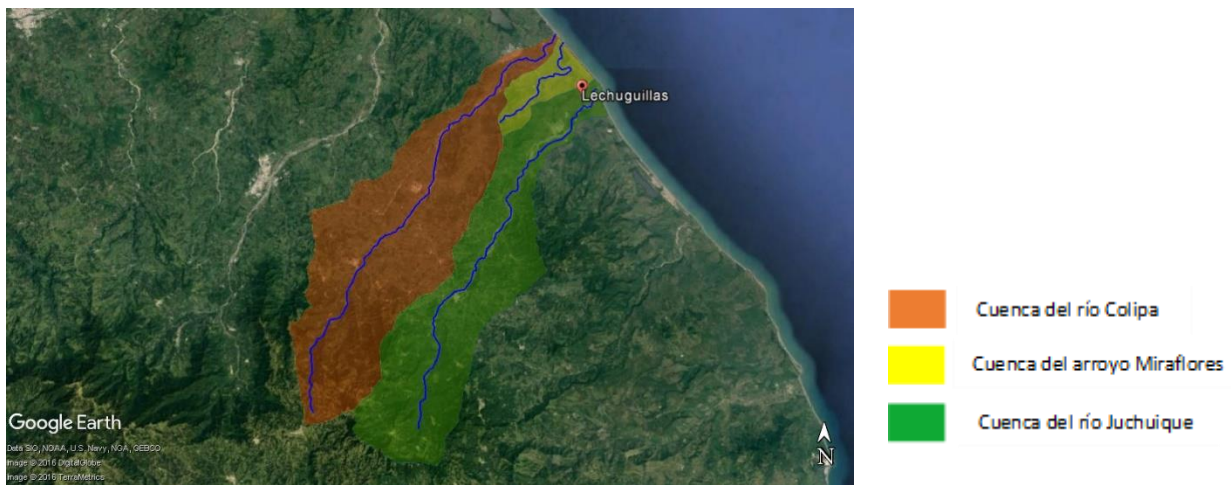


Figura 1.2: Cuencas hidrológicas que contemplan los ríos que desembocan en la Playa de Lechuguillas

Tabla 1.3: Características geométricas de las cuencas. Fuente: Elaboración propia.

CUENCA	TIPO	ÁREA (km <sup>2</sup> )	PERÍMETRO (Km)
Río Colipa	Exorreicas	260	93.1
Arroyo Miraflores	Exorreicas	27.6	26.3
Río Juchique	Exorreicas	203	90.3

## 1.5 Uso de Suelo

Con referente al uso de suelo del municipio de Vega de Alatorre INEGI informa que sólo 2.0 Km<sup>2</sup> son áreas urbanas, como lo muestra la Tabla 1.4, lo que equivale al 0.58%, aproximadamente, del territorio total del municipio teniendo la mayoría del uso de suelo para pastizales y agricultura.

Tabla 1.4: Usos de suelo en el municipio de Vega de Alatorre

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN 2005	
Tipo de superficie	Superficie (Km <sup>2</sup> )
Superficie continental	340.2
Agricultura	63.5
Pastizal	196.6
Bosque	0.0
Selva	2.0
Matorral xerófilo	0.0
Otros tipos de vegetación	15.5
Vegetación secundaria	50.9
Áreas sin vegetación	0.0
Cuerpos de agua	9.8
Áreas urbanas	2.0

Fuente: INEGI. Uso de Suelo y Vegetación.

## 1.6 Economía

La SAGARPA, en su estudio del 2014, muestra que las actividades económicas principales del municipio son la agricultura y la ganadería. En rubro agrícola el municipio es gran productor de plátano y en rubro ganadero su máxima producción es el ganado bovino.

Tabla 1.5: Principales fuentes de ingreso en el municipio de Vega de Alatorre

AGRICULTURA, 2014				
Principales cultivos	Superficie sembrada (Hectáreas)	Superficie cosechada (Hectáreas)	Volumen (Toneladas)	Valor (Miles de pesos)
<b>Total</b>	<b>1,540.0</b>	<b>1,416.0</b>	<b>N/A</b>	<b>55,698.5</b>
Plátano	336.0	271.0	8,740.0	17,021.5
Sandía	186.0	186.0	4,995.0	10,989.0
Palma de ornato comedor (†)	92.0	92.0	165,600.0	6,585.9

NOTA: El total de superficie sembrada, cosechada y el valor de la producción incluyen el resto de cultivos del municipio.  
Fuente: SAGARPA. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera.

GANADERÍA Y AVICULTURA, 2014				
Especie	Volumen de producción en pie (Toneladas)	Valor de producción en pie (Miles de pesos)	Volumen de producción de carne en canal (Toneladas)	Valor de producción de carne en canal (Miles de pesos)
<b>Total</b>	<b>NA</b>	<b>84,951.6</b>	<b>NA</b>	<b>88,359.4</b>
Bovino	2,721.6	63,784.5	1,393.4	64,688.8
Porcino	567.7	14,058.9	390.7	16,577.0
Ovino	78.3	2,197.5	37.8	1,965.6
Caprino	0.5	12.9	0.3	12.2
Ave a/	156.5	4,153.7	123.2	4,363.9
Guajolotes	12.8	744.1	10.5	751.9
Superficie dedicada a la ganadería (Hectáreas)			21,718.0	

a/ Comprende pollos de engorda, progenitora pesada y reproductora pesada.  
Fuente: SAGARPA. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera.

### **1.7 Caracterización de la playa en estudio**

La sección de playa a regenerar cuenta con aproximadamente una longitud de 1,415 metros, partiendo desde el espigón que se encuentra en la desembocadura del río Juchique hasta el centro tortuguero de Lechuguillas. El área aproximada es de 43,263.193 m<sup>2</sup> contando desde la zona intermareal hasta la zona de dunas, justo antes del sitio donde se interrumpe la arena y empieza la vegetación.

La imagen del Anexo 8.2 “Características geométricas de la playa” se puede observar el área de playa a regenerar.

### **1.8 Obtención de la información mediante fotogrametría**

Según la Sociedad Americana de Fotogrametría y Percepción Remota (ASPRS por sus siglas en inglés) la fotogrametría *“es el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”*.

Para este proyecto se realizó un levantamiento fotogramétrico del sector de la playa de Lechuguillas que se está estudiando. Dicho levantamiento se obtuvo con la ayuda de un dron marca DJI, modelo PHANTOM 4 con un sistema de posicionamiento global GPS/GLONASS, como una de sus características principales tiene un sensor 1 / 2.3” CMOS y 12.4 Megapíxeles efectivos el cual tomó 194 fotos (imágenes) las cuales fueron procesadas en el software Pix4D que procesa automáticamente las imágenes terrestres y aéreas adquiridas por drones o aviones ligeros utilizando su tecnología innovadora basada puramente en el contenido de la imagen. Este software de escritorio convierte imágenes en resultados altamente precisos, oportunos y personalizables para una amplia gama de aplicaciones SIG y CAD. El plan de vuelo del dron y las características del software se encuentra en el apartado 8.1 del Anexo.

Las ventajas que ofrece utilizar esta tecnología en un proyecto de regeneración de playa son diversas. Se obtiene imágenes de alta resolución actualizadas de las condiciones del sitio. Además, con el procesamiento adecuado de los datos se puede obtener un levantamiento topográfico a detalle de manera más rápida a comparación de un levantamiento con una cuadrilla topográfica, se puede obtener, también, la volumetría existente de arena en diferentes zonas de la playa, componentes térmicos de la misma, curvas de nivel, etc. Debido a estas ventajas se optó por el uso de esta herramienta para la obtención de estos datos.

## **2. Análisis de la problemática de la pérdida de litoral y justificación de la necesidad de una regeneración de playa desde el punto de vista ecológico**

### **2.1 Introducción al análisis de la problemática**

Las causas por las cuales una playa puede llegar a erosionarse son diversas y estas pueden ser imputadas a la naturaleza o a la acción del hombre (*Macdonel G. et al, 1999*).

Entre las causas naturales más frecuentes se encuentran:

- Incremento en el nivel del mar debido al derretimiento de los polos a causa del calentamiento global.
- Menor aporte de sedimento por parte de los ríos debido a temporadas de sequías.
- Erosión eólica. Este fenómeno deposita la arena en la parte posterior a la playa formando dunas.
- Oleaje extremal. Las olas de regímenes extremales (con una relación de esbeltez grande) transportaran el sedimento hacia el mar erosionando las bermas de las playas.
- Transporte longitudinal: La erosión ocurre cuando la cantidad de transporte longitudinal excede a los aportes de litoral en el mismo punto. Este fenómeno es uno de los más comunes.

Las causas provocadas por el hombre son:

- La extracción de gas o petróleo de zonas costeras ocasionando hundimientos en ella.
- Captación del acarreo de litoral debido a que el hombre muchas veces realiza obras para proteger localmente ciertas zonas costeras, afectando a las zonas cercanas ya que impide el transporte de litoral que se tenía alterando el equilibrio de playa.
- Reducción de aportes de sedimentos a la zona costera. En muchas ocasiones las obras realizadas aguas arriba en los ríos retienen el acarreo de sedimentos que se depositan en las playas por lo que los aportes son menores al acarreo debido al oleaje por lo que la playa se erosiona.
- Al realizar dragados en arrecifes o barras se cambia la protección natural de la playa por lo que la energía con la cual romperá la ola será mucho mayor por lo que el acarreo de litoral aumentará.
- Remoción de arena de las playas debido a no existir bancos de materiales cercanos para obtener recursos para la construcción.

### **2.2 Erosión en la playa de Lechuguillas**

Una de las posibles causas de la erosión de la playa de Lechuguillas es la captación de agua de los ríos que desembocan en la playa. Aguas arriba de estos ríos existen diversos poblados los cuales, en su mayoría, se dedican a la producción primaria, tal cómo se puede observar en la Tabla 1.4 tan solo en el municipio de Vega de A la Torre, al cual pertenece la playa de Lechuguillas, más del 18% de su superficie es ocupada para

agricultura y como se observa en la Tabla 1.5 sus principales actividades económicas son la ganadería y agricultura. Estas actividades primarias requieren de un gran suministro constante de agua la cual obtienen de los cuerpos de agua en el municipio, contando los ríos.

Al captar cierto caudal de los ríos para estas actividades el transporte de litoral que generaba el río aguas abajo disminuye considerablemente lo cual ocasiona que la aportación de sedimentos a la playa, con el transcurso del tiempo, vaya disminuyendo, rompiéndose el equilibrio de la misma.

El río que alimenta de sedimento a la pequeña porción de playa en estudio es el río Juchique. Según información de los habitantes del pueblo de Lechuguillas este río aporta, en una cantidad considerable, rocas, además de sedimentos finos. Se puede observar en la Figura 2.0 que justo en la desembocadura el río se encuentra un espigón construido a base de rocas, puede verse como a un costado del mismo, con dirección al Norte la playa se encuentra completamente erosionada, presentando una superficie rocosa en lugar de una arenosa como el resto de la playa, esto puede ser a causa de que el espigón impide el transporte de litoral de sur a norte.

En la misma Figura se puede observar también que el caudal en la desembocadura del río se reduce, generando una especie de estanque antes de desembocar, limitando aún más la capacidad de aportación de sedimentos del río hacia la playa. En el Anexo fotográfico se puede observar esta zona con detalle.



Figura 2.0: Desembocadura del río Juchique. Fuente: Elaboración propia con imágenes obtenidas del vuelo con dron.

Otra causa probable son los regímenes extremales, que se explicarán más a detalle en el marco teórico, los cuales generan un acarreo de sedimento en exceso, ya sea en sentido horizontal o transversal, lo cual desequilibra los perfiles de la playa. Dichos perfiles no

logran a recuperar su estado de equilibrio debido a la aportación de sedimento deficiente por las causas anteriormente explicadas.

### **2.3 Necesidad de la regeneración de la playa de lechuguillas desde el punto de vista ecológico**

Una regeneración de playa comúnmente se proyecta y ejecuta por una necesidad turística y económica, al requerir mayor área para una zona hotelera o para la planificación de un puerto. Realizar una regeneración de litoral costero por un motivo medio ambiental, como es el de proveer de mayor terreno a las tortugas marinas para su desove podría considerarse una causa poco común para realizar un proyecto de este tipo.

Hasta 1995 se desconocía a la Playa de Lechuguillas como un sitio importante en el Golfo de México de anidación de tortugas. Fue hasta un reporte realizado por los habitantes de la zona en 1992 que el Instituto Nacional de la Pesca en coordinación con la Universidad Veracruzana (UV) y el Ayuntamiento local establecieron un campamento en 1994 para el estudio de potencial de anidación de la playa. Los resultados que obtuvieron para 1995 registraron aproximadamente 1200 nidos, cifra que fue muy alentadora y para nada esperada. Desde entonces se ha tenido un monitoreo continuo de la zona (*Bravo, R. y R.C. Martínez. 2005 citado por Miranda, J.L., 2007*).

Las especies que anidan en estas playas son la tortuga Verde, como se le conoce localmente (*Chelonia mydas*) y la Lora (*Lepidochelys kempii*). Estas tortugas, como se verá a continuación, corren un alto riesgo de extinguirse. Una regeneración de playa en la zona de Lechuguillas proporcionará mayor área para captar mayor cantidad de tortugas además de tener una zona amplia para el monitoreo y cuidado eficaz de los nidos.

#### ***Chelonia mydas***

El artículo publicado por la Secretaría Pro Tempore de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT) en San José, Costa Rica, en abril del 2005 detalla las características generales, tamaño, anidación y otros aspectos de la *Chelonia mydas* las cuales se describen a continuación.



*Figura 2.1: Tortuga Verde. Fuente: Google, tomada en 2016.*

#### **Características generales**

El caparazón de la tortuga Verde, como la reconocen en el artículo, tiene una forma ovalada con 4 pares de escudos en sus costados, normalmente de color Verde pálido hasta un Verde oscuro o amarillo, su cabeza es redonda con aproximadamente 15 cm. de ancho. Se distingue por solo tener un par de escamas ubicadas enfrente de sus ojos y no dos pares como la mayoría de las tortugas marinas.





Figura 2.2: Caparazón de la tortuga Verde. Fuente: Secretaría Pro Tempore de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT), 2005.

### Tamaño

El caparazón de la tortuga Verde mide aproximadamente 120 cm. de largo y puede llegar a pesar hasta 230 Kg.

### Anidación

Se cree que la tortuga Verde (o blanca) es la que tiene más longevidad y es reconocida como una especie fiel a su lugar de anidación, es decir, que una tortuga regresará a la misma playa cada vez que esta lista para desovar. Aproximadamente cada nido de una tortuga Verde puede tener un promedio de 114 huevos.

### Estado de conservación

Es considerada por la Unión Mundial por la Naturaleza como una especie en Peligro de Extinción lo que significa que corre un riesgo alto de extinguirse.

### *Lepidochelys kempii*

Otro artículo publicado por la misma Secretaría de la CIT detalla las características de la tortuga Lora (como se le conoce) o *Lepidochelys kempii*, nombrada así en honor a Richard Kemp, quien llevó a cabo muchos estudios de ella.



Figura 2.3: Tortuga Lora. Fuente: Google, tomada 2016.

### Características generales

La cabeza de la tortuga Lora puede medir hasta unos 13 cm. de ancho. Su caparazón tiene una forma casi circular tiene 5 pares de escudos costales. El color del caparazón de los adultos es Verde olivo y el de su plastrón es amarillo con un poro pequeño.

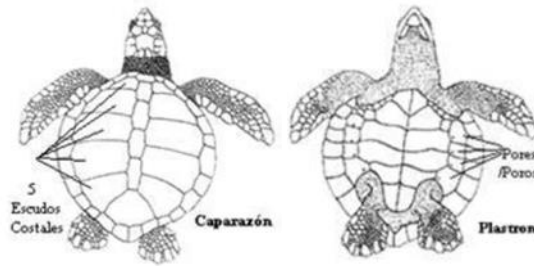


Figura 2.4: Caparazón y plastrón de tortuga Lora. Fuente: Secretaría Pro Tempore de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT), 2005.

### **Tamaño**

La tortuga Lora es de las más pequeñas de las tortugas marinas midiendo en promedio 65 cm en edad adulta y pesando entre 35 y 50 kg.

### **Anidación**

Aún se desconoce la edad a la que la tortuga Lora llega a su madurez sexual y reproductiva, esta tortuga anida cada año. Pone en promedio 110 huevos en cada nido y estos tardan un aproximado de 55 días en incubarse.

### **Estado de conservación**

La tortuga Lora es clasificada como una especie en Peligro Crítico de Extinción, por la Unión Mundial para la Naturaleza, lo que significa que tiene un riesgo extremadamente alto de desaparecer en un futuro cercano. Se considera que es la tortuga marina con más peligro de extinguirse que todas debido a que es la especie más rara.

#### **2.4 Tortuga Verde y tortuga Lora en la Playa de Lechuguillas**

La tortuga Verde y Lora que arriban a las playas de lechuguillas son monitoreadas, en gran medida, por el centro tortuguero de la localidad. El campamento pertenece a una red de campamentos ubicada en el Golfo de México administradas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).

El centro tortuguero de Lechuguillas tiene bajo su resguardo aproximadamente 13.5 km de playa, teniendo un ancho efectivo de playa de aproximadamente unos 12 metros se puede obtener un área de 162,000.00 m<sup>2</sup>.

Gracias a la información otorgada por la CONANP se pudo obtener la Tabla 2.0, la cual muestra un censo de nidos, huevos y crías por especie registradas entre 1997 al 2016.



Tabla 2.0: Censo de tortugas que arriban a la Playa de Lechuguillas. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por biólogos de la CONANP

AÑO	TORTUGA LORA			TORTUGA VERDE		
	NIDOS	HUEVOS	CRIAS	NIDOS	HUEVOS	CRIAS
1997	36	3,627	961	147	14,172	3,638
1998	82	5,309	2,350	1,527	164,004	79,502
1999	75	6,750	5,048	88	9,178	7,205
2000	108	9,009	7,750	1,153	120,606	66,131
2001	141	12,446	8,559	66	3,518	2,698
2002	163	12,243	8,118	1,451	68,477	47,108
2003	134	9,299	7,474	379	37,394	15,084
2004	92	8,262	6,961	423	30,246	13,962
2005	62	4,816	2,764	1,085	43,102	28,655
2006	78	6,582	4,528	912	77,328	67,563
2007	108	6,460	4,081	1,209	43,249	33,579
2008	121	9,087	7,500	1,312	101,666	83,568
2009	167	13,467	10,561	1,013	83,626	66,033
2010	101	3,904	2,332	2,402	81,711	70,693
2011	69	3,641	2,287	2,331	178,264	137,246
2012	104	5,020	3,501	4,239	270,110	225,558
2013	94	6,962	5,228	4,528	274,428	237,604
2014	43	3,498	2,898	1,616	103,273	87,114
2015	75	6,999	5,892	7,056	516,473	413,098
2016	87	5,560	4,264	1,832	130,427	111,265
<b>PROMEDIO</b>	<b>97</b>	<b>7147</b>	<b>5153</b>	<b>1738</b>	<b>117563</b>	<b>89865</b>

La cantidad de nidos registrados es igual al número de tortugas que arriban a la zona correspondiente al centro tortuguero de Lechuguillas, teniendo un promedio de 97 tortugas Lora y 1738 tortugas Verde por año. Por lo tanto la demanda de nidos por metro cuadrado de playa seria  $0.0006 \frac{\text{nidos}}{\text{m}^2}$  para la tortuga Lora y  $0.0107 \frac{\text{nidos}}{\text{m}^2}$  para la tortuga Verde.

Con la demanda de nidos por metro cuadrado y en un área aproximada de 43,263.193 m<sup>2</sup> de la playa en estudio a regenerar se tienen aproximadamente 26 nidos de tortuga Lora y 463 nidos de tortuga Verde en promedio al año en la paya de Lechuguillas.

## 2.5 Normativa de protección de especies de tortugas en México

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-162-SEMARNAT-2012, que establece las especificaciones para la protección, recuperación y manejo de las poblaciones de las tortugas marinas y su hábitat de anidación hace mención que las tortugas marinas que existen en territorio federal son parte de la riqueza biológica de la nación y por lo tanto son patrimonio de la misma por lo que es obligación del Estado conservar y normar su manejo.

Las tortugas Verde y Lora están clasificadas bajo la categoría de riesgo en peligro de extinción por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

La NOM-162-SEMARNAT-2012 en su apartado 5.4 dice: *“En las playas de anidación de tortugas marinas se debe realizar las siguientes medidas precautorias: ... Favorecer y propiciar la regeneración natural de la comunidad vegetal nativa y el mantenimiento de la dinámica de acumulación de arena en el hábitat de anidación”*.

Por lo que esta tesis está enfocada también, a dar cumplimiento a la normativa mexicana de la SEMARNAT.

### 3 Marco teórico

Antes de adentrarse con el desarrollo de los temas relacionados a esta tesis es importante que se definan algunos términos que se utilizarán a lo largo de este documento. De manera simplificada se muestran en la Figura 3.0.

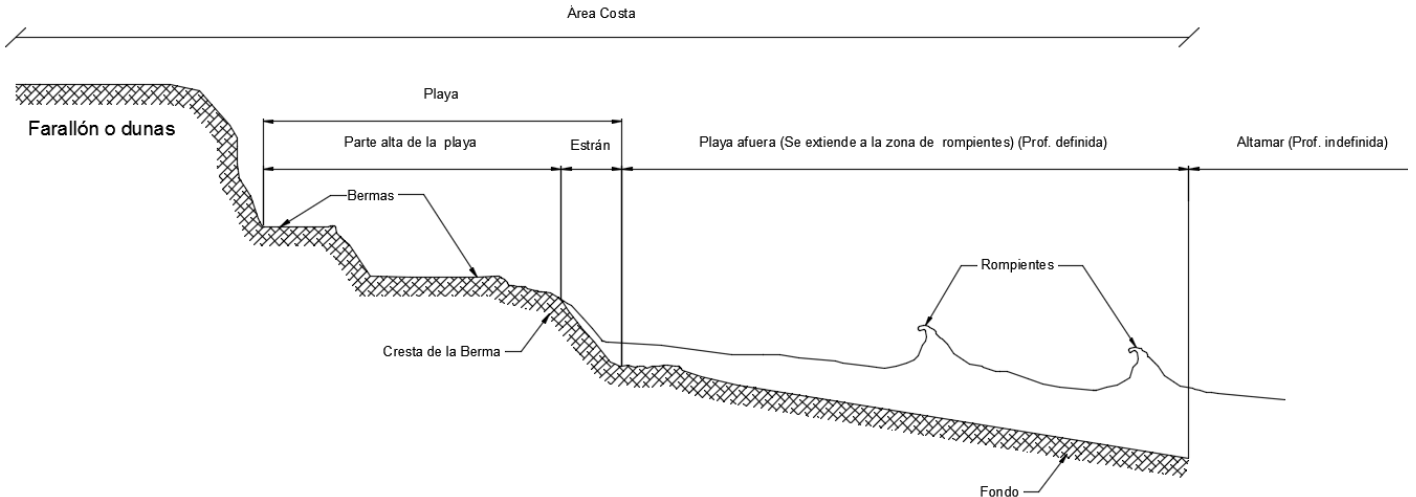


Figura 3.0: Perfil de playa general y su nomenclatura. Fuente: Elaboración propia basada en libro "Ingeniería Marítima Portuaria", Macdonel M. G., 1999.

La forma que adquiere el litoral es diferente de un lugar a otro, el área costera cambiará dependiendo de muchos factores dependientes del lugar donde se quiera realizar el estudio. Por ejemplo, las playas del Pacífico son por lo general de pendiente fuerte, con montañas muy próximas al mar y en algunas zonas suele presentarse acantilados, sin embargo, las playas del Golfo de México son más tendidas, con cambios graduales en su batimetría y difícilmente se encuentran acantilados (Macdonel G., 1999).

Estas zonas costeras son de gran importancia para la vida actual ya que son aprovechadas como zonas para el comercio pesquero, zonas de desarrollo turístico e industrial o incluso para la prosperidad de diferentes especies, como es el caso de la tortuga, objetivo de esta tesis. Aunque, no debemos olvidar que a pesar de ser aprovechadas de infinitas formas también es un ecosistema en el cual interactúan diversas especies de plantas y animales por lo que, antes de darle un uso a esta zona costera se debe prever el impacto ambiental que se tendrá y la manera de evitarlo o mitigarlo.

Algo que es primordial en cualquier diseño de obra portuaria es conocer los diferentes fenómenos que se involucran en la zona costera y el efecto que estos tienen sobre nuestra zona de estudio. Uno de los fenómenos que tienen gran influencia sobre esta zona es el oleaje, ya que es capaz de modificar grandes tramos de costa a corto o largo plazo.

#### 3.1 Movimientos del mar

Un fluido es todo aquel cuerpo que tiene la capacidad de moverse y carece de una rigidez, en consecuencia, cede inmediatamente a cualquier fuerza externa la cual puede provocar la deformabilidad o el movimiento del fluido (Definición obtenida de internet <http://conceptodefinicion.de/fluido/>). El mar, como el fluido que es, no está exento de

estos movimientos los cuales se pueden clasificar en tres tipos dependiendo el agente físico externo que lo provoca:

1. Mareas: Ascenso y descenso, de manera periódica, de todas las aguas oceánicas debidas a la atracción gravitatoria de la Luna y el Sol.
2. Corrientes: Masas de agua con desplazamientos propios dentro de los océanos con diversas profundidades y con determinadas direcciones (Heck). Puede hacerse la analogía de que las corrientes marinas son “ríos en el mar”. Se pueden generar por diferencia de temperaturas, diferencia de densidades o por causas locales.
3. Oleaje: Movimiento oscilatorio de las partículas de la superficie del mar debido a la acción del viento. (*Garnica, 2008*).

Debido a que el sitio en estudio es una playa se analizará de manera más detallada el fenómeno del oleaje, sus características, su forma de modelarlo y cómo afecta a estructuras existentes a pie de obra (zona de costa) ya que este fenómeno, como se observará más adelante, es el principal responsable de los cambios en el perfil de playa.

### **Oleaje**

El fenómeno del oleaje se puede considerar como el más importante movimiento marítimo por las consecuencias que este puede traer tanto en alta mar como en zona de rompiente (*Macdonel G., 1999*). En alta mar generan una preocupación para la navegación la cual puede ocupar el oleaje y la influencia del viento a favor o en contra. En zona de rompiente el oleaje es gran responsable del transporte de sedimentos y modificación de la costa ocasionando erosión costera y de playas de arena y efectos contra estructuras portuarias (diques, muelles, puertos).

Debido a la diferencia de presiones en la atmósfera, gracias a un calentamiento desigual de la superficie de la Tierra, se generan desplazamientos de aire, mejor conocido como viento. Estos vientos pueden ser de menor o mayor intensidad y son los causantes del oleaje marítimo. Por esta razón la intensidad del oleaje es directamente proporcional a la intensidad del temporal. (*Garnica, 2008*).

El oleaje funciona como un gran depósito de energía, en donde al principio, por acción del temporal, se desarrollan pequeñas olas y el esfuerzo de arrastre del viento hace que crezcan y/o rompan, cediendo parte de su energía a olas más grandes, de esta manera las olas grandes continúan captando cantidades crecientes de energía y continúan desarrollándose mientras el viento siga siendo lo suficientemente fuerte y no cambie de dirección. Por lo general vientos de larga duración e intensidad fuerte producen olas grandes con longitudes de onda largas y también de largos periodos. Así cuanto más energía llega al agua, más altas y largas son las olas y viajan con velocidades crecientes (celeridades).

### **Clasificación del oleaje**

Existen diferentes clasificaciones de oleaje dependiendo diversos factores. Las clasificaciones de onda más utilizadas son (*Garnica, 2008*):

1. Conforme al periodo
2. Conforme a la altura de onda
3. Conforme al desplazamiento de la cresta
4. Conforme a la profundidad relativa ( $d/L$ )

Donde:

$d = \text{Profundidad}$

$L = \text{Longitud de onda}$

En ingeniería civil la clasificación más utilizada es la que divide al oleaje conforme a la profundidad relativa  $d/L$  desde el punto de vista teórico como el práctico. Para este estudio se utilizará la clasificación representada en la Tabla 3.0.

*Tabla 3.0: Clasificación de profundidades según la profundidad relativa.  
Fuente: U. de Cádiz, España, 2016.*

TIPOS DE AGUA	$\frac{d}{L}$
Profundidades reducidas	$\frac{d}{L} < \frac{1}{25}$
Zona de transición	$\frac{1}{25} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$
Profundidades indefinidas	$\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$

### 3.2 El oleaje como una onda

Es bien sabido que la naturaleza del viento es aleatoria, es decir, no podemos saber con anticipación los vientos que se presentarán. Resultado de esto el oleaje es, a su vez, de naturaleza aleatoria. La dificultad que supone el estudio del mismo desde un punto de vista probabilístico ha dado lugar a que el oleaje sea estudiado y modelado como una onda ya que permite alcanzar soluciones analíticas.

#### Parámetros de la ola

Una definición más sintetizada del oleaje podría ser el conjunto de olas ocasionada por un viento o vientos en particular. Entonces, si conocemos las características de la ola y podemos discretizar dichas características podremos conocer, de igual forma, las características del oleaje. En la Figura 3.1 se pueden observar los parámetros de la ola los cuales se utilizarán y operarán en los temas siguientes.

Por definición de la física se sabe que una onda queda representada por su longitud, altura, periodo y profundidad al nivel de reposo y reconociendo a la ola como una onda se puede representar por estos mismos parámetros.

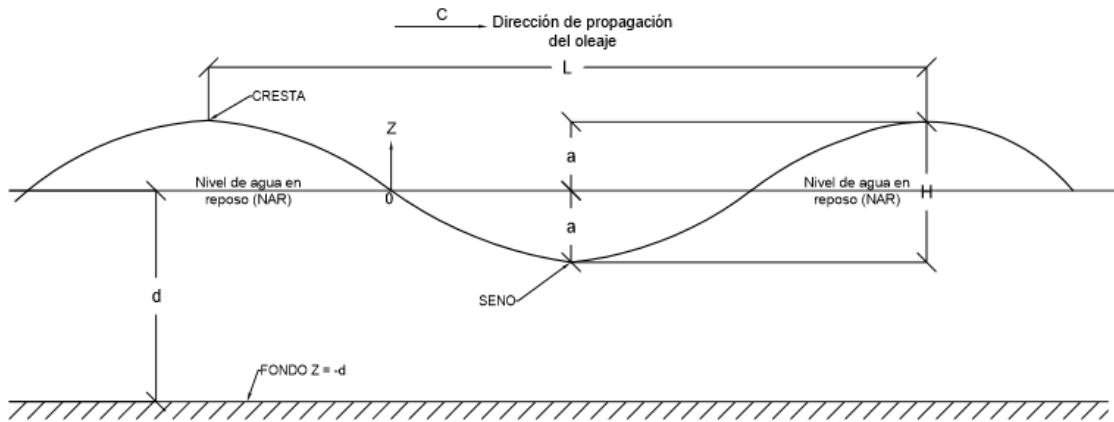


Figura 3.1: Parámetros de la ola. Fuente: Elaboración propia basada en libro "Ingeniería Marítima Portuaria", M. M. Guillermo, 1999.

Donde:

$d =$  Profundidad (m)

$L =$  Longitud de onda (m)

$a =$  Semiamplitud o semialtura  $\frac{H}{2}$  (m)

$H =$  Altura de ola (m)

$C =$  Celeridad  $\left(\frac{m}{s}\right)$

Para estudiar el oleaje como onda existen diversas teorías, siendo las más empleadas (U. de Cádiz, España, 2016):

- Teoría Lineal de Airy (1845): Es la más empleada. Importante no solo por su sencillez y fácil aplicación, sino por su amplia gama de situaciones. Para profundidades definidas o reducidas los resultados son aproximados pero aceptables.
- Teoría trocoidal: Desarrollada por Gerstner (1802) y Stoke (1880). Es una teoría más desarrollada que la lineal y su principal diferencia con ésta es que puede trabajar con ondas de longitud infinitas. Su mayor desventaja es que el movimiento de la partícula en el agua no coincide con lo apreciado en la naturaleza.
- Teoría conoidal: Desarrollada por Korteweg y de Vries (1895). Tiene bastantes complicaciones matemáticas, pero es apta para trabajar en profundidades reducidas.
- Teoría de la onda solitaria: Es válida para profundidades reducidas y se emplea para determinar cuándo rompe la ola. Además, puede ser utilizada para estudiar fenómenos como los tsunamis.

Debido a que la teoría lineal tiene más ventajas con respecto a las otras se tomó la decisión de utilizarla en esta tesis.

### 3.3 Teoría lineal de Airy

La teoría lineal de Airy fue desarrollada por George Biddell Airy en 1845 es una de las teorías de modelado de oleaje que está vigente al día de hoy para el análisis y diseño de las obras en zona costera ya que presenta múltiples ventajas, tales como:

- Es la teoría más sencilla y de fácil aplicación.
- Su amplia gama de aplicaciones.
- Su carácter lineal posibilita la eliminación de los términos no lineales.

El caso más simple de esta teoría establece que las relaciones de profundidad relativa  $\frac{d}{L}$  son pequeñas.

Las hipótesis básicas para poder utilizar la teoría lineal de Airy son las siguientes:

1. El fluido es homogéneo e incompresible.
2. Tensión superficial despreciable.
3. Efecto Coriolis despreciable.
4. La presión de la superficie libre es uniforme y constante.
5. Fluido ideal y desprovisto de viscosidad.
6. La ola que se está configurando no interfiere con ningún otro movimiento del agua.
7. El fondo es horizontal, fijo e impermeable (velocidad vertical cero).
8. La amplitud de la onda es pequeña y la forma variable.
9. Las olas pueden considerarse una sección plana.

Como se puede observar algunas hipótesis se aproximan más a la realidad que otras. La hipótesis 1, 2 y 3 podrían considerarse como hipótesis aceptables. De la hipótesis 4 a la 6 podrían ser consideradas como poco reales y las últimas tres hipótesis son muy dudosas sobre todo en profundidades reducidas (*U. de Cádiz, España, 2016*).

A pesar de estas incertidumbres se comprueba, por medio de la práctica, que la teoría de Airy da resultados bastante cercanos a la realidad.

Para poder realizar el cálculo de la ecuación de Airy será necesario introducir otras definiciones, como el número de onda ( $k$ ) y la frecuencia angular ( $\omega$ ).

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad \text{Ec. 1.0}$$

Donde:

$k$  = Número de onda

$L$  = Longitud de onda

$\pi$  = Relación del perímetro de una circunferencia con la amplitud de su diámetro (3.14159)

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{Ec. 2.0}$$

Donde:

$\omega$  = Frecuencia angular

$T = \text{Periodo de la ola}$

Se define también la ecuación de dispersión, que describe como las ondas de distintas frecuencias se dispersan debido a sus diferentes celeridades.

$$\omega^2 = gk \tanh(kd) \quad \text{Ec. 3.0}$$

Donde:

$g = \text{Aceleración gravitatoria}$

La celeridad de una onda es la velocidad con la que se desplaza y se puede definir de la siguiente forma

$$C = \frac{L}{T} \quad \text{Ec. 4.0}$$

Tomando en cuenta las ecuaciones 1.0 y 2.0 y sustituyéndolas en la ecuación 3.0

$$C = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh(kd)} = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}} \quad \text{Ec. 5.0}$$

Elevando al cuadrado

$$C^2 = \frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad \text{Ec. 5.1}$$

Sabiendo que  $L = CT$ . Sustituyendo y reduciendo

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad \text{Ec. 6.0}$$

Al escribir la longitud de la ola en función de la celeridad se llega a:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad \text{Ec. 6.1}$$

En profundidades indefinidas  $\left(\frac{d}{L} > \frac{1}{2}\right)$  la ecuación 6.1 se puede reducir de la siguiente manera.

Al hacer  $\frac{d}{L} = \frac{1}{2}$  el segundo término de la ecuación 6.1 quedaría:

$$\tanh \frac{2\pi d}{L} = \tanh 2d \quad \text{Ec. 7.0}$$

Y al ser la profundidad  $d > 4$  que es el valor mínimo aproximadamente, como se muestra en la Figura 3.2, para que la función se haga asintótica, sabemos que:



$$\tanh \frac{2\pi d}{L} = 1 \quad \text{Ec. 7.1}$$

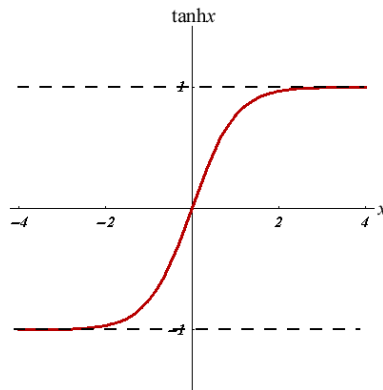


Figura 3.2: Función tanh. Fuente Google, tomada en 2016.

Entonces se define a  $L_0$  como la longitud de ola en profundidades indefinidas

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad \text{Ec. 8.0}$$

Se puede observar que la longitud de la onda en profundidades reducidas (según Airy), estará regida por la longitud de ola en aguas indefinidas afectadas por el factor  $\tanh \frac{2\pi d}{L}$ . Se observa que se genera un proceso iterativo para encontrar dicha longitud.

Para obtener dicha longitud de onda sin realizar este tipo de proceso se puede hacer uso de la Tabla ubicada en el Anexo 7.7, en la cual se debe entrar con el valor de la profundidad relativa en profundidades indefinidas  $\frac{d}{L_0}$ . La Tabla 3.1 es un extracto de la Tabla que se encontrará en los Anexos.

Tabla 3.1: Extracto de la Tabla ubicada en el Anexo 7.7. Fuente: U. de Cádiz, España, 2016.

$d/L_0$	$d/L$	$2\pi d/L$	TANH $2\pi d/L$	SINH $2\pi d/L$	COSH $2\pi d/L$	$H/H_c$	K	$4\pi d/L$	SINH $4\pi d/L$	COSH $4\pi d/L$	n	$C_g/C_0$	$\mu$
.005000	.03110	.1954	.1929	.1967	1.0192	1.620	.9812	.3908	.4008	1.077	.9875	.1905	133
.006100	.03136	.1970	.1945	.1983	1.0195	1.614	.9809	.3941	.4044	1.079	.9873	.1920	130
.006200	.03162	.1987	.1961	.2000	1.0198	1.607	.9806	.3973	.4079	1.080	.9871	.1935	128
.006300	.03188	.2003	.1976	.2016	1.0201	1.601	.9803	.4006	.4114	1.081	.9869	.1950	126
.006400	.03213	.2019	.1992	.2033	1.0205	1.595	.9799	.4038	.4148	1.083	.9867	.1965	124

De esta manera es posible obtener la propagación del oleaje teniendo el periodo de retorno y la batimetría del lugar de estudio.

### 3.4 Modificación del oleaje

Existen diversos procesos o fenómenos de transformación del oleaje los cuales modifican, fundamentalmente, la altura de ola y su dirección de propagación. Dichos procesos son

principalmente ocasionados por la interacción del oleaje con el fondo marino (U. de Cádiz, 2016). Estos son:

- Refracción: Fenómeno en el cual la dirección de la ola cambia a causa de su interacción con el fondo marino.
- Difracción: Fenómeno donde el oleaje se transforma debido a que el tren de olas resulta interrumpido por una barrera.
- Reflexión: Ocurre cuando el frente de ola choca con una barrera cumpliendo con que el ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales regresando (reflejando) el frente de ola.

Para este estudio es importante conocer las posibles causas de erosión de la playa de Lechuguillas. Los fenómenos de difracción y reflexión son los menos indicados para explicar la erosión de una playa ya que por su naturaleza no son capaces de acarrear grandes cantidades de litoral por lo que se estudiará únicamente el fenómeno de refracción.

### 3.5 Refracción

Se denomina refracción de onda al cambio de dirección y velocidad que experimenta esta cuando pasa de un medio a otro por el cual puede propagarse. Si se extrapola esta definición al análisis de oleaje, la refracción del mismo ocurre cuando un grupo de olas que incide oblicuamente sobre la costa se mueve formando un ángulo con la batimetría del fondo. Este fenómeno provoca que las olas vayan modificando paulatinamente su trayectoria hasta hacerse paralelas a la costa, como se muestra en la Figura 3.3.

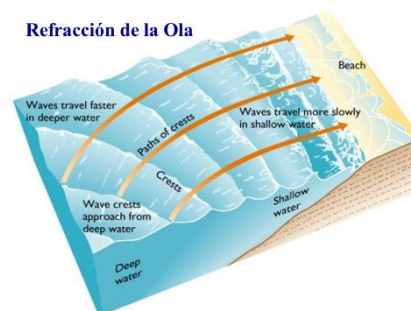


Figura 3.3: Ejemplificación de la refracción de la ola, Fuente: Google, tomada el 2016.

La refracción es un efecto que ocurre cuando el oleaje se traslada a aguas someras. El cambio de profundidad causa una disminución en la celeridad y como consecuencia su longitud disminuye y su altura aumenta. Generando un cambio de dirección del frente de oleaje, haciéndose paralelo a las líneas batimétricas. (CFE, 1983). Dicho en otras palabras, el fondo tiene el efecto de un freno sobre el oleaje que tiende a deformarse adoptando la configuración de las curvas batimétricas.

En general, la información obtenida de boyas o la inferida a través de métodos de predicción corresponde a la zona de profundidades indefinidas (aguas profundas), es por esa razón que el estudio de este fenómeno es de gran importancia para cualquier proyecto de obra marítima, ya que nos permite caracterizar un oleaje y conocer sus acciones en la zona de aguas poco profundas. Por medio del estudio del fenómeno de refacción se puede conocer la altura de ola en un punto determinado, así como el ángulo de incidencia de la ola con la playa, cuestión que resolveremos más adelante.

Sabemos que la celeridad [C] es función de la profundidad. Al acercarnos a la playa la profundidad se reduce por lo cual se puede deducir que si la profundidad decrece la celeridad también lo hará y tomando un periodo T constante se obtiene que la longitud de la ola también se reducirá. Ahora, ¿Qué pasa con la altura de ola [H]?

Es importante definir primero la energía del oleaje por unidad de superficie del mar:

$$E_u = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad \text{Ec. 9.0}$$

Donde:

$\rho =$  Densidad del agua

$E_u =$  Energía total del oleaje por unidad de superficie

El flujo de energía o conocido también como potencia (P), es la rapidez de cambio de trabajo realizado por una ola para poder pasar de un punto a otro, separados por una distancia (L). Sabemos que el trabajo es el producto de una fuerza por la distancia recorrida en dirección a la aplicación de dicha fuerza. Por lo tanto, el potencial de una ola a lo largo de toda su longitud y por ancho unitario se expresa:

$$P = \frac{1}{8} \rho g H^2 C \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2 kh}{\sinh(2kh)} \right] = E_u n C \quad \text{Ec. 10.0}$$

Donde:

$n =$  Factor de grupo

$$n = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2 kh}{\sinh(2kh)} \right] \quad \text{Ec. 11.0}$$

Por el principio de conservación de la energía del agua se sabe que el flujo de energía permanece constante en su recorrido (no hay pérdidas ni ganancias). Además, se supone que no existe transferencia lateral de energía a lo largo la cresta, por lo tanto, la energía entre dos ortogonales permanece constante. Con estas condiciones se puede obtener el flujo de energía que pasa entre dos ortogonales multiplicando por la separación entre ambas, como se muestra en la Figura 3.4.

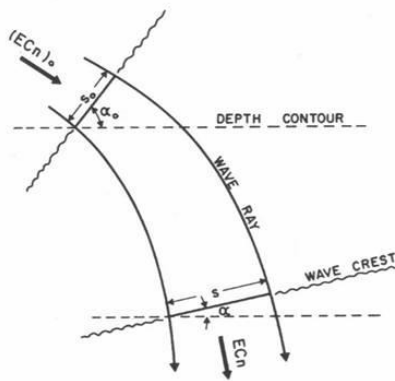


Figura 3.4: Flujo de energía que pasa por dos ortogonales, U. de Cádiz, España, 2016.

Por lo que se puede obtener la siguiente ecuación igualando la energía en aguas profundas y aguas someras.

$$\left(\frac{1}{8}\rho g H_o^2 n C_o\right) S_o = \left(\frac{1}{8}\rho g H^2 n C\right) S \quad \text{Ec. 12.0}$$

Donde:

$S_o$  = Ancho entre ortogonales en aguas profundas

$S$  = Ancho entre ortogonales en aguas someras

Despejando H quedaría:

$$H = H_o \sqrt{\frac{C_o}{C}} \sqrt{\frac{S_o}{S}} = H_o K_r K_s \quad \text{Ec. 12.1}$$

Donde:

$K_r$  = Es el coeficiente de refracción

$K_s$  = Es el coeficiente de asomeramiento y Shoaling

El coeficiente de asomeramiento nos relaciona de manera indirecta la altura de ola en el enésimo instante con la altura de ola del estado inicial. Este coeficiente se puede obtener de la Tabla del Anexo 7.7 conociendo el valor de profundidad relativa en  $\frac{d}{L_o}$  y conseguir el valor de la columna  $\frac{H}{H_o}$ .

El coeficiente de refracción relaciona el ancho entre ortogonales en el enésimo instante con el ancho entre ortogonales en el estado inicial, en aguas profundas. Este coeficiente se puede obtener por diversos métodos analíticos y gráficos, tal como se verá a continuación.

Al conocer estos coeficientes es posible estimar la altura de cualquier ola teniendo el dato de su altura en aguas profundas.

Existen dos métodos tradicionales para calcular la refracción del oleaje:

1. Método analítico: Utilizado únicamente las fórmulas de propagación de oleaje.
2. Método gráfico: Planos de oleaje, método de las ortogonales.

Ambos métodos se basan principalmente en las leyes de Snell tomando en cuenta los siguientes supuestos (*U. de Cádiz, 2016*):

- La energía de la ola entre dos ortogonales es constante.
- La dirección de avance de la ola es perpendicular a las crestas.
- La celeridad para un período determinado depende de la profundidad.
- Los cambios de la topografía del fondo son graduales.
- Las olas son de crestas que no se cortan unas con otras, de T cte, pequeña amplitud y monocromáticas.
- Son despreciables las corrientes, los vientos, el fenómeno de reflexión en las playas y las variaciones bruscas en la topografía marina.

### **3.6 Método gráfico (planos de oleaje)**

El método gráfico de representar la refracción del oleaje es muy útil y práctico, ya que un plano de oleaje puede contener diversa información que se puede utilizar en diferentes etapas de un proyecto marítimo y/o portuario. Cabe mencionar que el método no es exacto, sin embargo, arroja una muestra representativa del comportamiento del oleaje referido a una dirección de viento.

Para llegar a la elaboración de un plano de oleaje se necesita utilizar la teoría lineal de Airy, ya mencionada, en donde con la Ec. 6.1 (ecuación general de longitud de onda) y su ecuación simplificada para profundidades indefinidas, la Ec. 8.0, en la cual teniendo el periodo de retorno característico y la profundidad se puede obtener cuanto mide la ola.

Previo a la elaboración del plano se requiere conocer las profundidades de la zona en estudio, por lo que se recomienda el uso de cartas batimétricas, mientras más información de profundidades contengan estas cartas más preciso quedará dibujado el plano de oleaje.

Una vez teniendo la batimetría de la zona y con previo conocimiento de la teoría lineal de Airy se inicia ubicando el frente de ola en dirección perpendicular a la dirección del viento que estará provocando ese oleaje y dibujar mínimo 2 ortogonales que representarán el avance de cada frente. Es recomendable empezar los avances en zonas con profundidades indefinidas, por lo que cada avance estará regido por la Ec. 8.0. A manera de elaborar un plano de oleaje más sintetizado se puede agrupar conjuntos de olas, tantas sean posible por avance.

En el momento en el que el avance del frente de ola comience a entrar en zonas indefinidas cada nuevo avance se comenzarán a hacer en dos semiavances, el primer semiavance se dibujará con la dirección del avance anterior y será igual a la mitad del avance que arroje la ecuación 6.1 consecutivamente el segundo avance será un radio de circunferencia con la dimensión obtenida del cálculo de la misma ecuación. Una vez obtenido todos los avances de cada ortogonal se unen entre sí con líneas tangentes a las circunferencias y se comienza el siguiente avance. Esto se repite las veces que sea necesario hasta llegar al punto de estudio o de interés.

### 3.7 Clima marítimo

El estudio de las características del oleaje resulta ser de gran importancia para las obras marítimas, tanto para el análisis y comprensión de la respuesta de los sistemas litorales a corto y largo plazo como para el dimensionamiento de cualquier obra a largo plazo.

El objetivo de este apartado es analizar el clima marítimo en aguas de profundidad indefinida con la finalidad de caracterizar el oleaje proveniente de esta zona tanto como el oleaje medio como el extremal cuya propagación afectará al tramo de playa estudiado en esta tesis.

A partir de estos datos de oleaje obtenidos de boyas cercanas al punto de estudio se comprobarán las direcciones del viento que predominan, además de obtener regímenes medios (útiles para el análisis del transporte de litoral y operatividad de puertos) y extremal de oleaje (útil para el cálculo de la altura de ola de diseño para obras de contención).

#### Tiempo de retorno

Según el Ministerio de Fomento de Puertos del Estado de España, el tiempo o periodo de retorno se define como: *“El número de años que en promedio transcurren entre temporales que superan cierto valor de altura de ola significativa”*.

Se puede definir como:

$$T = \frac{1}{P(H_s)} \quad \text{Ec. 13.0}$$

El periodo de retorno es una manera de evaluar qué tan frecuente es un suceso. Es importante recordar que el tiempo de retorno  $T$  es un tiempo promedio.

#### Altura de ola significativa $H_s$ o $H_{\frac{1}{3}}$ y altura de ola máxima $H_{MAX}$

Como en cualquier proyecto de ingeniería es importante definir, antes que todo, los parámetros de diseño. Para un proyecto de ingeniería portuaria los parámetros de diseño más utilizados son las alturas de ola. Dependiendo de lo que se quiera diseñar es la altura de ola de diseño que deberá usarse. Las alturas de ola más utilizadas son la altura de ola significativa y la altura de ola máxima.

La altura de ola significativa  $H_s$  se puede definir como la media aritmética del tercio de olas más altas registradas en un muestreo, es por eso que también se denomina como  $H_{\frac{1}{3}}$ . Esta altura se utiliza en diseños de playas, principalmente.

La altura de ola máxima  $H_{MAX}$ , como su nombre lo dice, es la altura máxima registrada del muestreo. Esta altura se utiliza en diseños de obras de protección, como diques y espigones.

### **Dirección de viento**

Conocer la dirección de donde proviene el oleaje muestreado es de suma importancia ya que con esa información se puede proyectar dicho oleaje hacia el pie de obra, ya sea esta un dique, una playa o un puerto. Aunque el viento puede soplar de cualquier dirección, no todas las direcciones deben ser estudiadas. Muchas de ellas quedarán descartadas por el simple hecho de provenir de la costa y no de altamar, ya que el oleaje que generará no tendrá influencia alguna en la zona costera, además si se tiene suficientes datos recopilados por boyas de la dirección del viento se pueden descartar aquellas que su frecuencia sea mínima y sólo estudiar aquellas que se repiten más y por lo tanto tendrán más influencia en la zona que se esté estudiando.

### **Régimen medio direccional**

El régimen medio de oleaje nos muestra una distribución que nos define el porcentaje o la frecuencia con que la altura de ola no supera un umbral determinado. En otras palabras, se puede definir como el conjunto de estados de oleaje que tienen mayor probabilidad de presentarse (*Puertos del Estado, 2006*).

Con este régimen se podrá calcular más adelante el transporte de litoral y si se desea su puede obtener también los tiempos operativos de un puerto. Para obtener este régimen se utilizaron los datos de la distribución conjunta de altura de ola significativa y dirección del viento.

### **Régimen extremal**

El cálculo del régimen extremal es de gran importancia para la construcción de obras portuarias, en especial para las obras dedicadas a la protección de las mismas, llámense diques, espigones, etc. Un régimen de oleaje extremal nos dice las alturas de ola máximas monitoreadas en un periodo determinado (*Puertos del Estado, 2006*). El régimen extremal suele ser escalar, es decir, que no importa la dirección del oleaje, únicamente su altura, aunque existen métodos de convertir dicha información escalar a información direccional. Para este caso de estudio utilizaremos únicamente el régimen extremal escalar.

## **3.8 Dinámica litoral**

Como se mencionó anteriormente, el oleaje conforme se aproxima a la playa se va deformando debido al fondo que funciona como una defensa que va amortiguando la energía del mismo. Existe un momento en el cual la profundidad ocasiona que la ola entre

en zona de rompiente. M. M. Guillermo especula que cuando la profundidad es 1.3 veces la altura de ola se produce este fenómeno. Al romper, la energía del oleaje se disipa y el perfil de playa se ajusta a estas condiciones, desplazando la arena de la playa y depositándola en otras zonas. Por lo tanto, se puede concluir que, como el oleaje no incide siempre en la misma dirección, la arena se transportará en la dirección del oleaje incidente, provocando el fenómeno conocido como dinámica litoral.

El transporte de litoral se puede dividir en dos tipos (*Macdonel G., 1999*):

1. Transporte paralelo o longitudinal a la playa: Este movimiento es ocasionado por la componente tangencial de la energía que produce la rotura del oleaje. El transporte paralelo neto es aquel que depende de las direcciones en donde se sumará o restará el volumen de arena transporte dependiendo de su dirección y el transporte paralelo bruto es aquel que es independiente del sentido que tenga.
2. Transporte perpendicular a la playa: Este tipo de transporte depende de la relación de esbeltez de la ola (H/L) al igual que de la pendiente de la playa y del diámetro del sedimento. Por lo general las olas con una relación de esbeltez pequeña mueven el sedimento a la playa y las que tiene una relación de esbeltez grande mueven el material hacia el mar.

Existen diferentes formas de evaluar el transporte de litoral estudiadas por diversos autores especialistas en puertos y costas aunque cabe mencionar que estas ecuaciones son probabilísticas y empíricas por lo cual dependerán de las condiciones de la playa y del clima marítimo de la región para determinar si las ecuaciones formuladas para el acarreo de litoral pueden ser cercanas a la realidad o no, por lo tanto el valor que estas arrojen es simplemente indicativo y siempre se tendrá que hacer un estudio en campo para corroborar los resultados obtenidos.

Para esta tesis se utilizará la fórmula en zona de rompientes del CERC (1984):

$$Q = 35.09 * 10^5 * H_{po} * P_b(H_{po}) * \sin(2\alpha) \quad Ec. 14.0$$

Donde:

$$Q = \text{Capacidad de transporte de litoral} \left[ \frac{m^3}{\text{año}} \right]$$

$$H_{po} = \text{Altura pie de obra [m]}$$

$$P_b(H_{po}) = \text{Probabilidad de presentarse } H_{po}$$

$$\alpha = \text{Ángulo del oleaje con respecto a la línea de costa en grados}$$

### 3.9 Equilibrio de playa

Debido a la dinámica litoral constante que tienen las playas estas llegan a erosionarse, aunque, lo normal es que lleguen a un punto de equilibrio o estabilidad. Se puede decir que, aunque en un momento exista una erosión en la playa provocada por el oleaje



intenso o con mayor frecuencia, más adelante a causa de los oleajes menores o con menor frecuencia de presentación vendrá un momento de recuperación de litoral y la playa recuperará, en teoría, sus condiciones iniciales por lo tanto para poder hablar de un equilibrio de playa se deben tomar en cuenta períodos largos. Sin embargo, existen casos en los cuales la playa no podrá recuperar sus condiciones iniciales y por lo tanto se irá erosionando y perdiendo área.

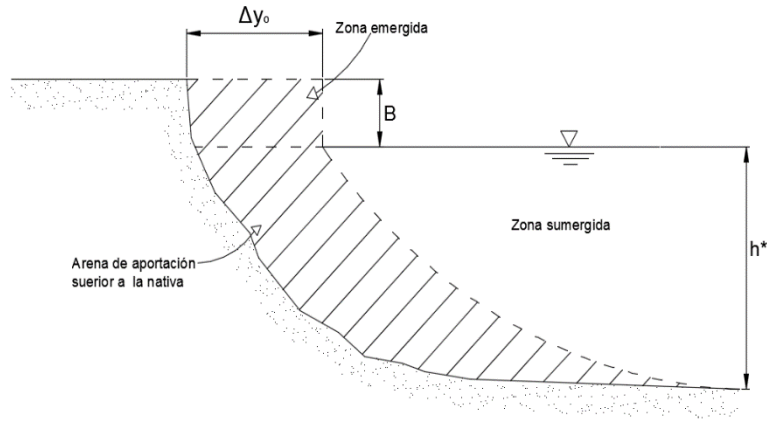
### **3.10 Perfil de equilibrio de playa**

El análisis del perfil de equilibrio es muy utilizado en Ingeniería de Costas para estudiar la estabilidad de la playa al igual que para estudiar una posible regeneración de la misma ya que este análisis puede arrojar el volumen requerido para la aportación de litoral.

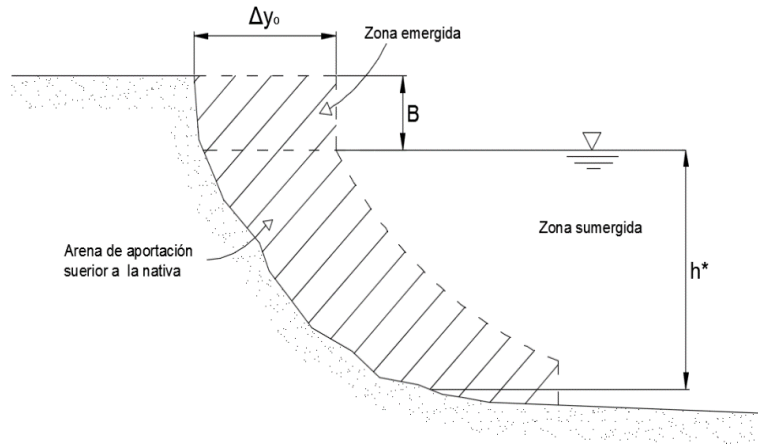
Una playa regenerada será compatible, en términos de sedimentos, con la playa natural cuando el aporte de sedimento entre en interacción con el sedimento natural, para que esto ocurra será necesario que el diámetro del sedimento de aportación sea mayor al diámetro del sedimento natural.

La Figura 3.5 muestra los posibles casos que pueden ocurrir de presentarse, o no, una interacción correcta entre la playa natural y el perfil de aportación.

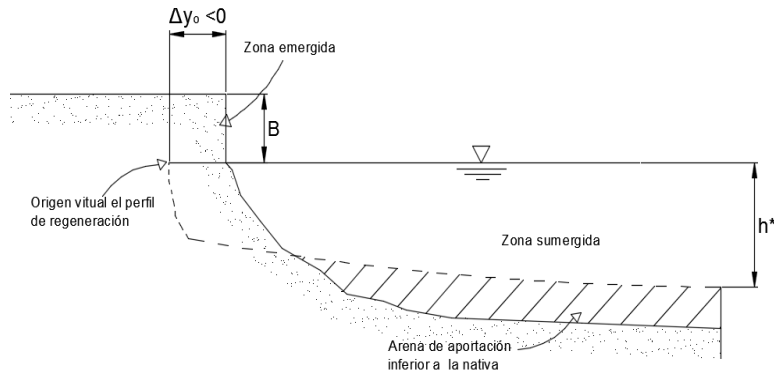
El caso a) es al que se quiere llegar proponiendo un diámetro de aportación mayor al natural para que así el perfil nuevo interactúe de manera adecuada con el natural, al proponer un diámetro ligeramente mayor, igual o ligeramente menor al natural puede ocurrir el caso b) donde el perfil nuevo no logre interactuar de manera adecuada con el perfil natural provocando pendientes grandes y/o cambios bruscos de la misma. El caso C) en el cual el diámetro de la arena propuesta es apreciablemente menor al diámetro natural el perfil nuevo quedará sumergido y no interactuará con el existente.



a) Perfil de interacción  $D_f > D_n$



b) Perfil de no interacción



c) Perfil Sumergido  $D_f < D_n$

Figura 3.5: Perfiles de interacción de la playa a regenerar. Fuente: Elaboración propia basada en libro *Beach Nourishment. Theory and Practice*, R. G. Dean, 2002.

Donde:

$B$  = Altura de la berma

$h^*$  = Profundidad de cierre; Profundidad a la que, teóricamente, deja de existir acarreo de litoral

$\Delta y_0$  = Longitud de playa nueva

### 3.11 Profundidad de cierre

La profundidad de cierre se le conoce en ingeniería de costas a aquella profundidad en donde la superficie del fondo deja de ser agitada y/o modificada por la acción del oleaje y por lo tanto deja de existir acarreo de litoral. Existen diversos autores los cuales proponen fórmulas empíricas para calcular la profundidad de cierre.

Birkermeier (1985) formuló la profundidad de cierre como:

$$h^* = 1.75 (H_{s12}) \quad \text{Ec. 15.0}$$

Donde:

$$\begin{aligned} H_{s12} &= \text{Altura de ola local excedida 12 horas al año} \\ h^* &= \text{Profundidad de cierre} \end{aligned}$$

Esta profundidad sirve para comparar si el aporte de litoral propuesto para regenerar una playa será suficiente para que llegue hasta la profundidad de cierre. Además, sirve para proponer la longitud de alguna estructura de protección, como el caso de los espigones.

### 3.12 Teoría monoparabólica de Dean para regeneración de playa

Aunque existen diversos autores que formularon la manera de proponer un perfil de equilibrio de playa el método monoparabólico de Dean (1977) desarrolla fórmulas muy útiles para anteproyectos y cálculos rápidos y confiables.

Las consideraciones que toma en cuenta el modelo de Dean (1977) son:

1. Es un modelo bidimensional.
2. El diámetro del sedimento es constante en la zona de rotura.
3. No considera oleajes extremales.
4. El nivel del mar es constante.
5. Aplica solo en profundidades reducidas.
6. Ajusta mejor en playas con batimetría gradual y semejante a una parábola.

La fórmula monoparabólica de Dean (1977) es la siguiente:

$$h = A x^{\frac{2}{3}} \quad \text{Ec. 16.0}$$

$$A = f(D_{50})$$

Donde:

$$\begin{aligned} h &= \text{Profundidad asociada al valor de } x. \\ A &= \text{Constante dependiente del ángulo.} \end{aligned}$$

La constante A se obtiene de la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Constante A de Dean. Fuente: Beach Nourishment. Theory and Practice, R. G. Dean, 2002.

D(mm)	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.1	0.063	0.0672	0.0714	0.0756	0.0798	0.084	0.0872	0.0904	0.0936	0.0968
0.2	0.100	0.103	0.106	0.109	0.112	0.115	0.117	0.119	0.121	0.123
0.3	0.125	0.127	0.129	0.131	0.133	0.135	0.137	0.139	0.141	0.143
0.4	0.145	0.1466	0.1482	0.1498	0.1514	0.153	0.1546	0.1562	0.1578	0.1594
0.5	0.161	0.1622	0.1634	0.1646	0.1658	0.167	0.1682	0.1694	0.1706	0.1718
0.6	0.173	0.1742	0.1754	0.1766	0.1778	0.179	0.1802	0.1814	0.1826	0.1838
0.7	0.185	0.1859	0.1868	0.1877	0.1886	0.1895	0.1904	0.1913	0.1922	0.1931
0.8	0.194	0.1948	0.1956	0.1964	0.1972	0.198	0.1988	0.1996	0.2004	0.2012
0.9	0.202	0.2028	0.2036	0.2044	0.2052	0.206	0.2068	0.2076	0.2084	0.2092
1.0	0.210	0.2108	0.2116	0.2124	0.2132	0.2140	0.2148	0.2156	0.2164	0.2172

La ecuación de Dean (1977) propone que la playa natural tiene forma parabólica por lo que la playa nueva tendrá de igual manera forma parabólica desplazada  $\Delta y_0$ , que será la longitud nueva de playa. Esta formulación sólo sirve para la parte sumergida por lo que la parte seca dependerá de que tipo de playa se requiera; con pendiente suavizada, con dunas, etc. En la imagen 3.6 se muestra un perfil natural de playa en donde O es el origen de la parte sumergida y O' es el origen del nuevo perfil de playa. I es el punto donde intersectan ambos perfiles.  $S_T$  es la superficie, vista en perfil, de la playa a regenerar.

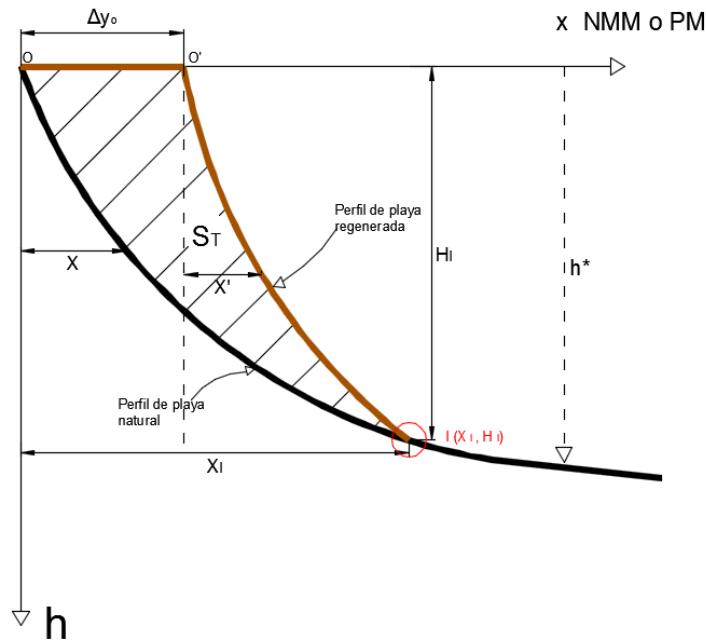


Figura 3.6: Perfil natural de playa en interacción con el nuevo perfil. Fuente: Elaboración propia basada en el libro Beach Nourishment. Theory and Practice, R. G. Dean, 2002.

Por lo tanto, de la ecuación 16.0 se puede deducir que:

$$h_N = A_N x^{\frac{2}{3}} \quad \text{Ec. 16.1}$$

$$h_F = A_F x'^{\frac{2}{3}} \quad \text{Ec. 16.2}$$

Por la Figura 3.6 se observa que:

$$x' = x_I - \Delta y_o \quad \text{Ec. 17.0}$$

Sustituyendo la ecuación 17.0 en la ecuación 16.2 se obtiene:

$$h_F = A_F (x_I - \Delta y_o)^{\frac{2}{3}} \quad \text{Ec. 16.2.1}$$

Igualando la ecuación 16.2.1 y 16.1 para obtener el punto de intersección y proponiendo a  $x = x_I$

$$\begin{aligned} A_N x_I^{\frac{2}{3}} &= A_F (x_I - \Delta y_o)^{\frac{2}{3}} \\ \frac{A_N}{A_F} &= \frac{(x_I - \Delta y_o)^{\frac{2}{3}}}{x_I^{\frac{2}{3}}} \rightarrow \frac{A_N}{A_F} = \left( \frac{x_I - \Delta y_o}{x_I} \right)^{\frac{2}{3}} \\ \left( \frac{A_N}{A_F} \right)^{\frac{3}{2}} &= \frac{x_I - \Delta y_o}{x_I} \rightarrow \left( \frac{A_N}{A_F} \right)^{\frac{3}{2}} = 1 - \frac{\Delta y_o}{x_I} \\ \therefore x_I &= \frac{\Delta y_o}{1 - \left( \frac{A_N}{A_F} \right)^{\frac{3}{2}}} \quad \text{Ec. 18.0} \end{aligned}$$

Sustituyendo la ecuación 18.0 en la ecuación 16.1 se obtiene  $H_I$

$$H_I = A_N (x_I)^{\frac{2}{3}} \quad \text{Ec. 19.0}$$

Por lo tanto, para saber si el perfil nuevo interaccionará con el perfil natural se debe cumplir la siguiente condición:

$$\Delta y_o \left( \frac{A_N}{A_F} \right)^{\frac{3}{2}} + \left( \frac{A_N}{A_F} \right)^{\frac{3}{2}} < 1 \quad \text{Ec. 20.0}$$

Para obtener el área  $S_T$  se observa que será el área sobre la curva que existe entre la curva del perfil natural menos la curva del perfil de aportación de la playa. Llamando  $S$  a la superficie natural y  $S'$  a la superficie de aportación tenemos que:

$$S_T = S - S' \quad \text{Ec. 21.0}$$

Sabiendo que:

$$\begin{aligned} dS &= A_N x^{\frac{2}{3}} dx \rightarrow S = \int_0^x A_N x^{\frac{2}{3}} dx \\ S &= \frac{3}{5} A_N x^{\frac{5}{3}} = \frac{3}{5} A_N x^{\frac{2}{3}} * x \quad \text{Ec. 22.0} \end{aligned}$$

De la ecuación 21.0 en la ecuación 22.0 se obtiene:

$$S = \frac{3}{5} H_I x \quad \text{Ec. 22.1}$$

De la misma forma se obtiene la ecuación de la superficie de aportación  $S'$ :

$$S' = \frac{3}{5} H_I x' \quad \text{Ec. 22.2}$$

Por lo tanto, restando las ecuaciones 22.1 y 22.2, la superficie real de aportación  $S_T$  sería:

$$S_T = \frac{3}{5} H_I x - \frac{3}{5} H_I x' = \frac{3}{5} H_I (x - x') = \frac{3}{5} H_I (x - (x - \Delta y_o))$$

$$\therefore S_T = \frac{3}{5} H_I * \Delta y_o \quad \text{Ec. 21.0}$$

Por lo que el volumen de aportación sería:

$$\forall = S_T * L_{Playa} \quad \text{Ec. 23.0}$$

Donde:

$\forall =$  *Volumen de aportación*

$L_{Playa} =$  *Longitud de la playa regenerar medida en planta*

### 3.13 Reflexión del marco teórico

La importancia de conocer el sitio de y sus alrededores nos da la pauta para proponer la mejor solución o soluciones de la regeneración de la Playa de Lechuguillas, además de que es posible enlistar las causas del porque se ha presentado la erosión de la misma.

Realizar un proyecto de regeneración de playa requiere contar con las herramientas y el soporte teórico adecuado. Como se observó a lo largo del desarrollo del marco teórico existen diversas teorías y métodos para atacar un proyecto como este, conocer las ventajas y desventajas de los mismos nos permite escoger el adecuado que se adapte mejor a las condiciones de la Playa de Lechuguillas, así como las limitaciones que estos conllevan.

A continuación, se presenta la metodología seguida para realizar la regeneración adecuada de la Playa de Lechuguillas, así como las limitaciones encontradas. Dichas limitaciones fueron principalmente la falta de información que el país tiene en el rubro de ingeniería costera y portuaria. A lo largo de la metodología se presenta la forma en la que se subsanó estas limitaciones para poder concluir el proyecto de esta tesis.

## 4 Metodología

### 4.1 Clima marítimo de la zona del Golfo de México

A continuación, se presenta el análisis del clima marítimo de la zona del Golfo de México el cual contempla el periodo de retorno característico, así como las alturas de olas significativas y vientos predominantes.

#### Localización y selección de boya

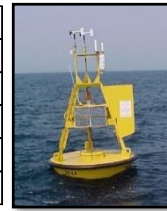
Los datos para caracterizar el oleaje proveniente del Golfo de México se obtuvieron de la boya de la Bahía de Campeche perteneciente al sistema de boyas estadounidense, National Data Bouy Center (NDBC), se encuentra en dirección noroeste de Campeche en zona de aguas indefinidas, justamente como se muestra en la Figura 4.0 y las características de la boya se presentan en la Tabla 4.0.



Figura 4.0: Localización de la boya de la Bahía de Campeche. Fuente: Google Earth, 2016.

Tabla 4.0: Características de la boya. Fuente: Elaboración propia basada en datos obtenidos de la NDBC, 2015.

Nombre de la boya		Bay of Campeche
Número de estación		42055
Coordenadas	Latitud	22.12° N
	Longitud	93.96° W
Periodo de registros de medidas	Inicio	Mayo 2005
	Fin	Diciembre 2015



La información que proporciona la boya de la Bahía de Campeche se organiza como lo muestra la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Datos que proporciona la boya de la Bahía de Campeche. Fuente: NDCB, 2015.

##YY	MM	DD	hh	mm	WDIR	GST	WVHT	DPD	APD	MWD	PRES	ATMP	WTMP	DEWP	VIS	PTDY	TIDE
#yr	mo	dy	hr	mn	degT	m/s	m	sec	sec	degT	hPa	degC	degC	degC	nmi	hPa	ft

Donde:

YY = Año de la lectura (Año)

MM = Mes de la lectura (Mes)

DD = Día de la lectura (Día)

hh = Hora de la lectura (Hora)

mm = Minuto de la lectura (Minuto)

WDIR = Dirección del viento (Grados, medidos desde el Norte)

WSPD = Velocidad del viento ( $\frac{m}{s}$ )

GST = Velocidad de ráfagas de 5 a 8 minutos de duración ( $\frac{m}{s}$ )

WVHT = Altura de ola significativa, obtenida con el promedio de un tercio de las olas con mayor altura, también conocida como  $H_{\frac{1}{3}}$  [m]

DPD = Periodo con mayor energía de ola (s)

PRES = Nivel de presión del mar (hPa)

ATMP = Temperatura del aire (°C)

WTMP = Temperatura de la superficie marina (°C)

DEWP = Temperatura del nivel de rocío (°C)

VIS = Visibilidad de estación (Millas Náuticas)

PTDY = Tendencia de presión. El mayor cambio de presión por periodos de 3 horas (hPa)

TIDE = Nivel de agua (ft)

### Tiempo de retorno

En la Tabla 4.2 se presenta la frecuencia de los diferentes periodos de retorno máximos diarios (Tp) que se presentaron desde mayo del 2005 a diciembre del 2015, al igual que su diagrama correspondiente (Figura 4.1). Se puede concluir que el periodo de retorno más frecuente es el que ronda los 6 segundos.

Tabla 4.2: Frecuencia de Periodos de Retornos máximos registrados. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

Tp	Frecuencia %
0-1	0.000%
2-3	0.118%
3-4	1.926%
4-5	11.015%
5-6	29.764%
6-7	20.857%
7-8	19.454%
8-9	7.437%
9-10	5.127%
10-11	3.247%
11-12	0.383%
12-13	0.430%
13-14	0.148%
14-15	0.068%
16-17	0.011%
17-18	0.004%
19-20	0.004%
20-21	0.006%
<b>TOTAL</b>	<b>100.00%</b>



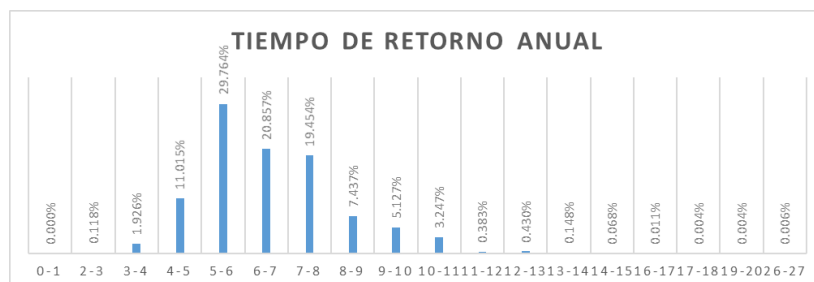


Figura 4.1: Tiempo de retorno anual. Fuente: Elaboración personal con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

### Distribución conjunta de periodo de retorno pico y altura significativa

En la Tabla 4.3 se presenta la altura de ola significativa asociado al periodo que la ocasionó, a esta relación se le denomina distribución conjunta de periodo pico y altura significativa.

Tabla 4.3: Distribución conjunta de periodo de retorno pico y altura de ola significativa. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

Hs o H½(m)	Tp (s)																Total		
	0-1	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	16-17	17-18		19-20	26-27
0-0.5	-	0.09%	0.90%	2.52%	1.39%	0.47%	0.28%	0.07%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	-	-	-	-	5.75%
0.5-1	-	0.02%	1.00%	7.43%	15.00%	5.14%	3.92%	0.91%	0.34%	0.13%	0.03%	0.08%	0.02%	0.01%	-	-	-	0.01%	34.04%
1-1.5	-	-	0.03%	1.03%	11.79%	10.25%	7.27%	2.10%	0.82%	0.40%	0.05%	0.05%	0.02%	-	-	-	-	-	33.82%
1.5-2	-	-	-	0.02%	1.52%	4.53%	5.64%	2.24%	1.29%	0.39%	0.05%	0.10%	0.03%	-	-	-	-	-	15.81%
2-2.5	-	-	-	-	0.06%	0.41%	1.91%	1.46%	1.30%	0.54%	0.05%	0.08%	0.02%	0.01%	0.01%	-	-	-	5.86%
2.5-3	-	0.01%	-	-	0.01%	0.05%	0.36%	0.49%	0.91%	0.58%	0.03%	0.03%	0.00%	-	-	-	-	-	2.48%
3-3.5	-	-	-	-	-	-	0.06%	0.12%	0.31%	0.57%	0.04%	0.02%	0.04%	0.02%	-	-	-	-	1.18%
3.5-4	-	-	-	-	-	-	0.01%	0.03%	0.11%	0.33%	0.03%	0.01%	0.01%	0.01%	-	-	-	-	0.54%
4-4.5	-	-	-	-	-	-	0.01%	0.02%	0.03%	0.17%	0.03%	0.01%	-	-	-	-	-	-	0.26%
4.5-5	-	-	-	-	-	-	-	0.01%	0.01%	0.08%	0.04%	-	-	-	-	-	-	-	0.14%
5-5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04%	0.02%	0.01%	-	-	-	-	-	-	0.07%
5.5-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01%
6-6.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01%	-	0.01%	-	-	-	-	-	-	0.02%
6.5-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01%	-	-	-	-	-	-	0.01%
7-7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01%
8-8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00%
8.5-9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	0.01%
Total	0.00%	0.12%	1.93%	11.01%	29.76%	20.86%	19.45%	7.44%	5.13%	3.25%	0.38%	0.43%	0.15%	0.07%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	100.00%

### Dirección de viento predominante

La Tabla 4.4 presenta la frecuencia de la dirección de la cual se presentó el viento predominante por día desde mayo del 2005 hasta diciembre del 2015. De igual manera se presenta de manera gráfica los vientos predominantes acompañados de una rosa de vientos que se aprecia en la Figura 4.2.

Se puede concluir que los vientos del Este (E), Este Sureste (ESE) y Sureste (SE) son los vientos predominantes por lo que serán, de ahora en adelante, nuestros sectores con incidencia de interés.

Tabla 4.4: Frecuencia de viento por dirección. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

Dirección	Frecuencia %
N	4.40%
NNE	6.31%
NE	8.33%
ENE	11.54%
E	22.60%
ESE	23.18%
SE	13.78%
SSE	3.99%
S	1.10%
SSO	0.48%
SO	0.34%
OSO	0.34%
O	0.36%
ONO	0.47%
NO	0.90%
NNO	1.87%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

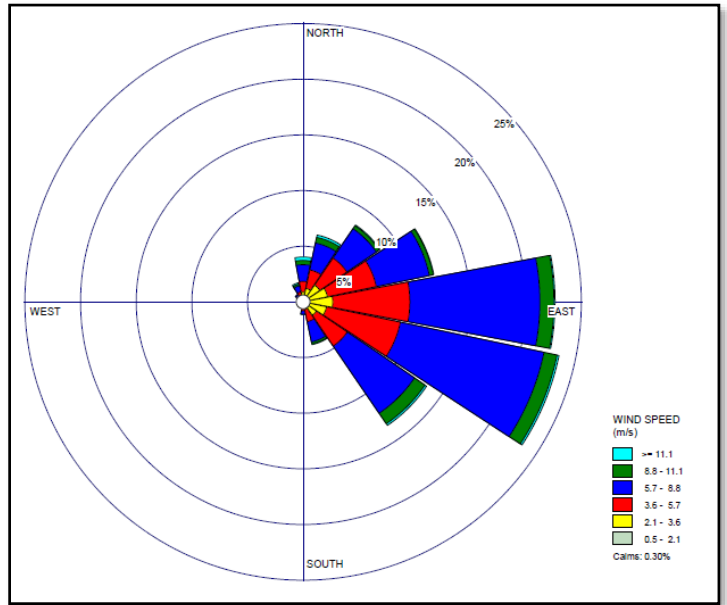


Figura 4.2: Rosa de los vientos. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

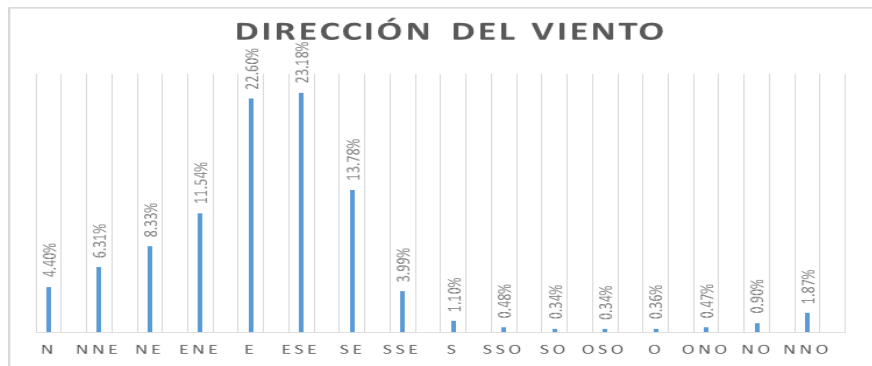


Figura 4.3: Dirección de viento. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

### Distribución conjunta de altura significativa y dirección de viento

En la Tabla 4.5 se muestra la frecuencia con la que se presentaron las alturas de olas significativas y la dirección del viento que ocasionó este oleaje en la boya de la Bahía de Campeche. Además, la Figura 4.4 nos representa la rosa de oleaje correspondiente a la boya.

Se concluye que la altura de ola significativa con mayor frecuencia es de 0.5 a 1 metros y la de 1 a 1.5 metros. Se observa, nuevamente que los vientos provenientes de la dirección E, SSE y SE son las que se presentan con mayor frecuencia

Tabla 4.5: Distribución conjunta de altura de ola significativa y dirección de viento. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

DIRECCIÓN DE VIENTO	DIRECCIÓN EN GRADOS	Hs o H <sub>1/3</sub> (m)																Total
		0-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	4-4.5	4.5-5	5-5.5	5.5-6	6-6.5	6.5-7	7-7.5	8-8.5	
N	<11.25	0.21%	0.55%	0.55%	0.36%	0.34%	0.18%	0.10%	0.07%	0.05%	0.03%	0.01%	-	-	-	-	-	2.43%
NNE	11.25-22.5	0.26%	0.70%	0.74%	0.47%	0.37%	0.22%	0.10%	0.05%	0.03%	0.02%	0.01%	-	-	-	-	-	2.97%
	22.5-33.75	0.35%	0.93%	0.85%	0.58%	0.33%	0.19%	0.07%	0.02%	0.01%	0.01%	-	-	-	-	-	-	3.34%
NE	33.75-45	0.40%	1.25%	1.02%	0.63%	0.31%	0.12%	0.03%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	3.78%
	45-56.25	0.50%	1.85%	1.16%	0.59%	0.27%	0.12%	0.04%	0.02%	-	-	-	-	-	-	-	-	4.55%
ENE	56.25-67.5	0.51%	2.33%	1.34%	0.58%	0.21%	0.08%	0.02%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	5.09%
	67.5-78.75	0.54%	3.05%	1.95%	0.64%	0.19%	0.05%	0.03%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.46%
E	78.75-90	0.69%	4.06%	3.16%	1.11%	0.19%	0.07%	0.02%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.31%
	90-101.25	0.86%	5.70%	4.63%	1.71%	0.32%	0.04%	0.03%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.29%
ESE	101.25-112.5	0.79%	5.29%	4.52%	1.49%	0.28%	0.03%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.43%
	112.5-123.75	0.64%	4.15%	4.16%	1.42%	0.30%	0.07%	-	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	10.76%
SE	123.75-135	0.48%	2.66%	3.31%	1.29%	0.29%	0.06%	0.01%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	8.11%
	135-146.25	0.32%	1.87%	2.19%	0.98%	0.22%	0.06%	-	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	5.66%
SSE	146.25-157.5	0.16%	0.96%	1.03%	0.42%	0.09%	0.06%	0.01%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	2.74%
	157.5-168.75	0.11%	0.49%	0.42%	0.17%	0.04%	0.02%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.25%
S	168.75-180	0.07%	0.25%	0.17%	0.08%	0.02%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.61%
	180-191.25	0.06%	0.23%	0.13%	0.05%	0.02%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.49%
SSO	191.25-202.5	0.03%	0.11%	0.07%	0.03%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.27%
	202.5-213.75	0.04%	0.07%	0.06%	0.03%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21%
SO	213.75-225	0.02%	0.08%	0.05%	0.01%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.16%
	225-236.25	0.02%	0.09%	0.03%	0.02%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.18%
OSO	236.25-247.5	0.02%	0.07%	0.03%	0.03%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15%
	247.5-258.75	0.02%	0.09%	0.03%	0.03%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.18%
O	258.75-270	0.02%	0.06%	0.03%	0.02%	0.01%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15%
	270-281.25	0.03%	0.07%	0.06%	0.03%	0.01%	-	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21%
ONO	281.25-292.5	0.03%	0.07%	0.05%	0.03%	0.02%	-	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.22%
	292.5-303.75	0.03%	0.08%	0.07%	0.04%	0.02%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.25%
NO	303.75-315	0.05%	0.10%	0.07%	0.05%	0.03%	0.02%	0.02%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	0.34%
	315-326.25	0.05%	0.16%	0.15%	0.09%	0.02%	0.03%	0.03%	0.01%	-	-	-	0.01%	-	-	-	-	0.56%
NNO	326.25-337.5	0.07%	0.22%	0.15%	0.06%	0.08%	0.05%	0.04%	0.03%	0.01%	-	0.01%	-	0.01%	-	-	-	0.73%
	337.5-348.75	0.11%	0.33%	0.23%	0.15%	0.14%	0.08%	0.07%	0.02%	0.01%	-	-	-	-	-	-	-	1.14%
N	348.75-360	0.19%	0.46%	0.42%	0.32%	0.23%	0.15%	0.08%	0.05%	0.03%	0.02%	0.01%	-	-	-	-	-	1.97%
Total		7.70%	38.37%	32.84%	13.55%	4.41%	1.74%	0.75%	0.34%	0.16%	0.08%	0.04%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	100.0%

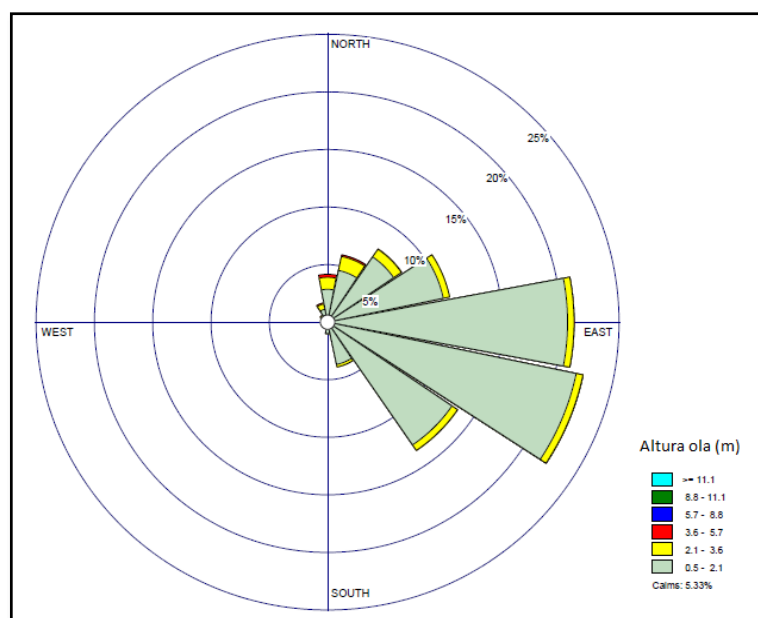


Figura 4.4: Rosa de oleaje. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

## Régimen medio direccional

Al ser las direcciones del viento E, SSE y SE las predominantes se presentarán únicamente esos regímenes de oleaje medio.

Como se explicó anteriormente, los datos de la dirección del viento medidos por la boya de la Bahía de Campeche están en grados, partiendo como cero absoluto el norte y haciendo el recorrido en dirección de las manecillas del reloj, es decir si el Norte corresponde a 0°, el Este será de 90°, el Sur 180° y el Oeste será igual a 270°. Dado esto, para clasificar las direcciones estudiadas (N, NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSO, SO, OSO, O, ONO, NO, NNO) se tomó la decisión de agrupar las alturas de ola a cada 11.25° para que así cada dirección tuviera 2 parejas de datos. Por ejemplo, para obtener la frecuencia con que se presenta una altura de ola ocasionada por un viento del Norte es necesario obtener los datos de 348.75° a 360° y los de 0° a 11.25°. Además, se clasificaron las alturas de ola por cada 0.5 metros.

Sacando un promedio de las probabilidades con una misma altura de ola nos dan la frecuencia de que se presente dicha altura para la dirección Norte. A continuación, se ejemplifica en las Tablas 4.6 y 4.7 lo explicado anteriormente.

*Tabla 4.6: Frecuencia de altura de ola significativa ocasionada por vientos del norte. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.*

Dirección: 348.75°-360°		Dirección: 0°-11.25°	
Hs o H%	Frecuencia	Hs o H%	Frecuencia
0-0.5	9.87%	0-0.5	8.56%
0.5-1	23.25%	0.5-1	22.63%
1-1.5	21.46%	1-1.5	22.57%
1.5-2	16.09%	1.5-2	14.87%
2-2.5	11.80%	2-2.5	13.89%
2.5-3	7.80%	2.5-3	7.29%
3-3.5	4.29%	3-3.5	4.11%
3.5-4	2.29%	3.5-4	2.72%
4-4.5	1.43%	4-4.5	1.97%
4.5-5	1.22%	4.5-5	1.10%
5-5.5	0.50%	5-5.5	0.29%
Total=	100%	Total=	100%

*Tabla 4.7: Frecuencia promedio de altura de ola significativa dirección Norte. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.*

Hs o H%	Dirección: 348.75°-360°	Dirección: 0°-11.25°	DIRECCIÓN N (PROMEDIO)
0-0.5	9.87%	8.56%	9.22%
0.5-1	23.25%	22.63%	22.94%
1-1.5	21.46%	22.57%	22.01%
1.5-2	16.09%	14.87%	15.48%
2-2.5	11.80%	13.89%	12.85%
2.5-3	7.80%	7.29%	7.54%
3-3.5	4.29%	4.11%	4.20%
3.5-4	2.29%	2.72%	2.50%
4-4.5	1.43%	1.97%	1.70%
4.5-5	1.22%	1.10%	1.16%
5-5.5	0.50%	0.29%	0.40%

Consecutivamente se obtienen las probabilidades de no excedencia y excedencia del oleaje. Si se quisiera graficar estas probabilidades contra su altura de ola correspondiente encontraríamos que no se podría obtener un ajuste aceptable que nos arroje una ecuación para generar el régimen de oleaje para cualquier dirección, es por esa razón que, para la probabilidad de no excedencia, la cual es la que nos interesa modelar, se requiere obtener su variable reducida (Y), la cual se puede obtener con cualquier distribución probabilística. Para este modelo se utilizó una distribución normal (SCT, 1982).

$$Y = -Ln(-Ln(1 - P(H_s))) \quad \text{Ec. 24.0}$$

Como se mencionó anteriormente, las direcciones más frecuentes, por ende, las que generan mayor oleaje son ESE, SE y E por lo que los regímenes direccionales solo se obtendrán de estas direcciones.

### Régimen medio dirección Este Sureste

Las frecuencias de alturas de olas ocasionadas por vientos provenientes del ESE se muestran en las Tablas 4.8 y 4.8.1.

### DIRECCIÓN ESE

Tabla 4.8: Frecuencia de altura de ola significativa dirección Este-Sureste. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

Dirección: 101.25°-112.5°	
Hs o H <sub>1/3</sub>	Frecuencia
0-0.5	6.39%
0.5-1	42.56%
1-1.5	36.37%
1.5-2	12.03%
2-2.5	2.23%
2.5-3	0.24%
3-3.5	0.06%
3.5-4	0.03%
4-4.5	0.01%
5-5.5	0.02%
6-6.5	0.01%
8-8.5	0.01%
8.5-9	0.03%
Total=	100%

Tabla 4.8.1: Frecuencia de altura de ola significativa dirección Este-Sureste. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

Dirección: 112.5°-123.75°	
Hs o H <sub>1/3</sub>	Frecuencia
0-0.5	5.96%
0.5-1	38.61%
1-1.5	38.66%
1.5-2	13.23%
2-2.5	2.78%
2.5-3	0.65%
3-3.5	0.03%
3.5-4	0.05%
5.5-6	0.01%
7-7.5	0.03%
Total=	100.00%

Teniendo ya las probabilidades se obtiene la variable asociada a cada una, como se observa en la Tabla 4.9, para de esta manera poder graficar y obtener la ecuación que mejor se ajuste a los puntos.

Tabla 4.9: Obtención de variable reducida “Y” asociada a la frecuencia de alturas de ola dirección ESE. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

Hs o H%	Dirección: 101.25°-112.5°	Dirección: 112.5°-123.75°	DIRECCIÓN ESE (PROMEDIO)	Hs o H%	Prob (H<Hi)	Prob (H>Hi)	Y
0-0.5	6.39%	5.96%	6.18%	0.5	6.18%	93.82%	-1.0241
0.5-1	42.56%	38.61%	40.58%	1	46.76%	53.24%	0.2742
1-1.5	36.37%	38.66%	37.51%	1.5	84.27%	15.73%	1.7654
1.5-2	12.03%	13.23%	12.63%	2	96.90%	3.10%	3.4578
2-2.5	2.23%	2.78%	2.50%	2.5	99.40%	0.60%	5.1196
2.5-3	0.24%	0.65%	0.45%	3	99.85%	0.15%	6.5041
3-3.5	0.06%	0.03%	0.04%	3.5	99.89%	0.11%	6.8285
3.5-4	0.03%	0.05%	0.04%	4	99.94%	0.06%	7.3384
4-4.5	0.01%	0.00%	0.01%	4.5	99.94%	0.06%	7.4297
4.5-5	0.00%	0.00%	0.00%	5	99.94%	0.06%	7.4297
5-5.5	0.02%	0.00%	0.01%	5.5	99.95%	0.05%	7.6418
5.5-6	0.00%	0.01%	0.01%	6	99.96%	0.04%	7.7885
6-6.5	0.01%	0.00%	0.01%	6.5	99.96%	0.04%	7.9357
6.5-7	0.00%	0.00%	0.00%	7	99.96%	0.04%	7.9357
7-7.5	0.00%	0.03%	0.01%	7.5	99.98%	0.02%	8.3916
7.5-8	0.00%	0.00%	0.00%	8	99.98%	0.02%	8.3916
8-8.5	0.01%	0.00%	0.01%	8.5	99.98%	0.02%	8.6793
8.5-9	0.03%	0.00%	0.02%	9	100.00%	0.00%	

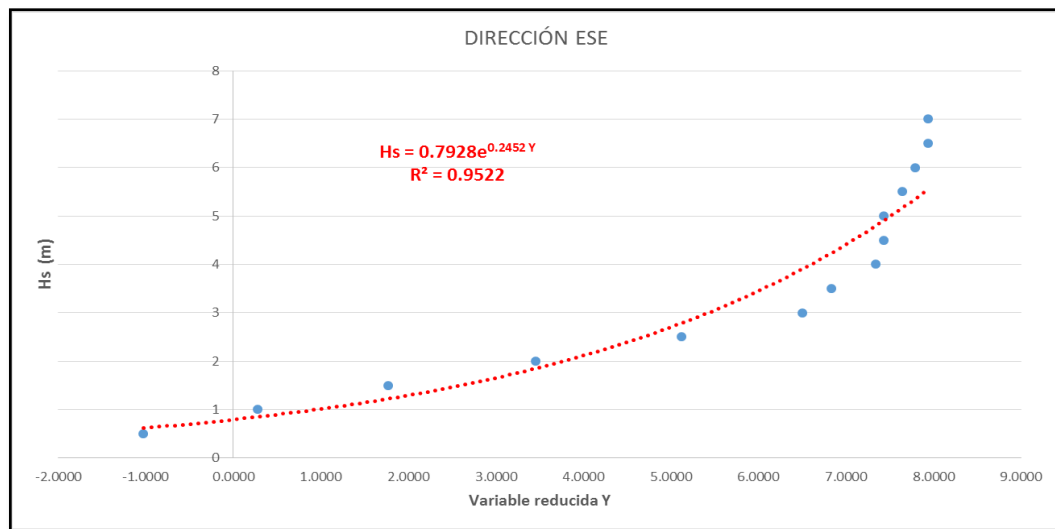


Figura 4.5: Gráfica de régimen medio dirección ESE. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

La ecuación del régimen medio dirección ESE será:

$$H_{SSE} = 0.7928 e^{0.2452 Y} \quad \text{Ec. 25.0}$$

Se observa que el coeficiente de correlación da cercano a 1, aunque la línea de tendencia no ajusta todos los puntos, si observamos la Tabla 4.9 se puede ver que las alturas de ola de 0 hasta 2 metros contienen casi el 100% de frecuencia de ocurrencia y la línea de tendencia ajusta de manera aceptable estos puntos, por lo que se tomará la ecuación 25.0 como aceptable.

### Régimen medio dirección Sureste

Las frecuencias de alturas de olas ocasionadas por vientos provenientes del SE se muestran en las Tablas 4.10 y 4.10.1.

## DIRECCIÓN SE

Tabla 4.10: Frecuencia de altura de ola significativa dirección Sureste. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

Dirección: 123.75°-135°	
Hs o H½	Frecuencia
0-0.5	5.92%
0.5-1	32.81%
1-1.5	40.83%
1.5-2	15.94%
2-2.5	3.58%
2.5-3	0.75%
3-3.5	0.10%
3.5-4	0.07%
Total=	100%

Tabla 4.10.1: Frecuencia de altura de ola significativa dirección Sureste. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

Dirección: 135°-146.25°	
Hs o H½	Frecuencia
0-0.5	5.67%
0.5-1	33.08%
1-1.5	38.67%
1.5-2	17.33%
2-2.5	3.95%
2.5-3	1.07%
3-3.5	0.07%
3.5-4	0.12%
4-4.5	0.02%
Total=	100%

Tabla 4.11: Obtención de variable reducida "Y" asociada a la frecuencia de alturas de ola dirección SE. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

Hs o H½	Dirección: 123.75°-135°	Dirección: 135°-146.25°	DIRECCIÓN SE (PROMEDIO)	Hs o H½	Prob (H<Hi)	Prob (H>Hi)	Y
0-0.5	5.92%	5.67%	5.80%	0.5	5.80%	94.20%	-1.04660483
0.5-1	32.81%	33.08%	32.94%	1	38.74%	61.26%	0.05302309
1-1.5	40.83%	38.67%	39.75%	1.5	78.49%	21.51%	1.41792808
1.5-2	15.94%	17.33%	16.64%	2	95.13%	4.87%	2.99663408
2-2.5	3.58%	3.95%	3.77%	2.5	98.89%	1.11%	4.49810612
2.5-3	0.75%	1.07%	0.91%	3	99.80%	0.20%	6.21989237
3-3.5	0.10%	0.07%	0.09%	3.5	99.89%	0.11%	6.81789253
3.5-4	0.07%	0.12%	0.10%	4	99.99%	0.01%	8.99237091
4-4.5	0.00%	0.02%	0.01%	4.5	100.00%	0.00%	

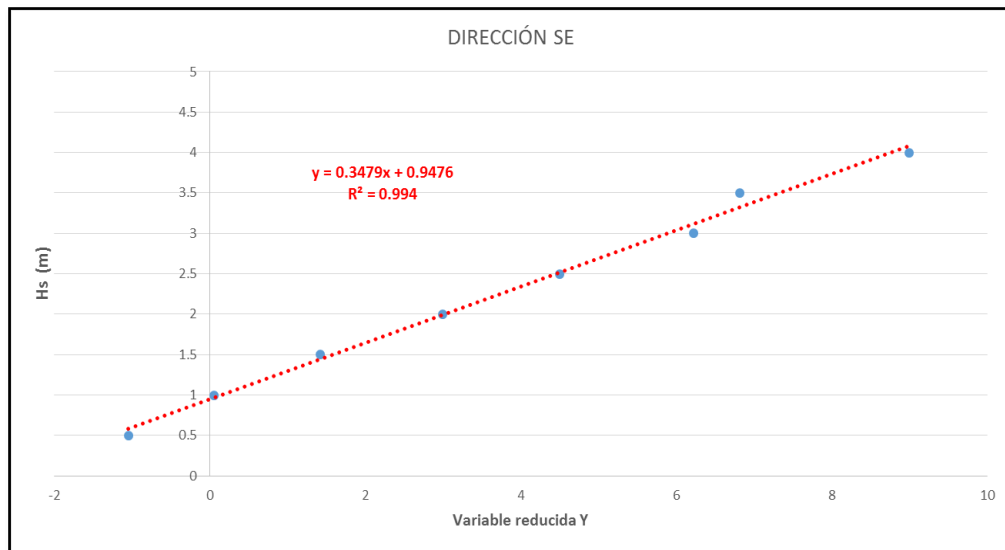


Figura 4.6: Gráfica de régimen medio dirección SE. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

La ecuación del régimen medio dirección SE será:

$$H_{SE} = 0.3479 Y + 0.9476 \quad \text{Ec. 26.0}$$

Se observa que el coeficiente de correlación (R) es muy cercano a 1 razón por la cual se toma como buena la ecuación del régimen medio obtenida.

### Régimen medio dirección Este

Las frecuencias de alturas de olas ocasionadas por vientos provenientes del E se muestran en las Tablas 4.12 y 4.12.1.

### DIRECCIÓN E

Tabla 4.12: Frecuencia de altura de ola significativa dirección Este. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

Dirección: 78.75°-90°	
Hs o H½	Frecuencia
0-0.5	7.45%
0.5-1	43.63%
1-1.5	33.91%
1.5-2	11.94%
2-2.5	2.06%
2.5-3	0.74%
3-3.5	0.20%
3.5-4	0.05%
6.5-7	0.02%
7-7.5	0.02%
Total=	100.00%

Tabla 4.12.1: Frecuencia de altura de ola significativa dirección Este. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

Dirección: 90°-101.25°	
Hs o H½	Frecuencia
0-0.5	6.44%
0.5-1	42.88%
1-1.5	34.84%
1.5-2	12.90%
2-2.5	2.41%
2.5-3	0.32%
3-3.5	0.19%
3.5-4	0.01%
6.5-7	0.01%
Total=	100.00%

Tabla 4.13: Obtención de variable reducida "Y" asociada a la frecuencia de alturas de ola dirección E. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

Hs o H½	Dirección: 78.75°-90°	Dirección: 78.75°-90°	DIRECCIÓN E (PROMEDIO)	Hs o H½	Prob (H<Hi)	Prob (H>Hi)	Y
0-0.5	7.45%	6.44%	6.94%	0.5	6.94%	93.06%	-0.9811
0.5-1	43.63%	42.88%	43.26%	1	50.20%	49.80%	0.3723
1-1.5	33.91%	34.84%	34.38%	1.5	84.58%	15.42%	1.7868
1.5-2	11.94%	12.90%	12.42%	2	97.00%	3.00%	3.4901
2-2.5	2.06%	2.41%	2.23%	2.5	99.23%	0.77%	4.8602
2.5-3	0.74%	0.32%	0.53%	3	99.76%	0.24%	6.0221
3-3.5	0.20%	0.19%	0.19%	3.5	99.95%	0.05%	7.6326
3.5-4	0.05%	0.01%	0.03%	4	99.98%	0.02%	8.4957
6.5-7	0.02%	0.01%	0.01%	7	99.99%	0.01%	9.4891
7-7.5	0.02%	0.00%	0.01%	7.5	100.00%	0.00%	

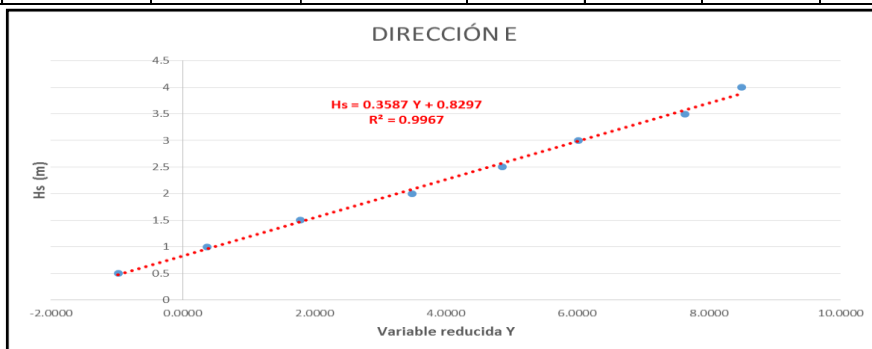


Figura 4.7: Gráfica de régimen medio dirección E. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.



La ecuación del régimen medio dirección E sería:

$$H_{SSE} = 0.3587 Y + 0.8297 \quad \text{Ec. 27.0}$$

Se puede observar que el coeficiente de correlación (R) es muy cercano a 1 razón por la cual se toma como buena la ecuación 27.0 del régimen medio obtenida.

### Régimen extremal

La escala de tiempo utilizada fue 1 año, es decir, de cada año comprendido del 2005 al 2015 se obtuvo la altura de ola máxima presentada, como o muestra la Tabla 4.14.

*Tabla 4.14: Altura de ola máxima por año. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.*

AÑO	H max (m)
2005	5.3
2006	6
2007	8.89
2008	6.9
2009	3.73
2010	3.7
2011	4.26
2012	4.8
2013	4.57
2014	5.45
2015	3.79

Sabiendo que la probabilidad de altura de olas pequeñas es mayor se obtiene la probabilidad de ocurrencia ordenando dichas alturas de mayor a menor. La variable reducida se obtuvo con la siguiente función (SCT, 1982):

$$Y = -Ln(-Ln(1 - Prob(H max))) \quad \text{Ec. 28.0}$$

Una vez que se conoce como obtener la variable reducida se construyó la Tabla 4.15.

*Tabla 4.15: Variable reducida "Y" asociada a la probabilidad de ocurrencia de la altura máxima anual. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.*

Dato	H max (m)	Prob(H>Hi)	Y
1	8.89	8.33%	2.4417164
2	6.9	16.67%	1.70198336
3	6	25.00%	1.24589932
4	5.45	33.33%	0.90272046
5	5.3	41.67%	0.6180462
6	4.8	50.00%	0.36651292
7	4.57	58.33%	0.13299584
8	4.26	66.67%	-0.09404783
9	3.79	75.00%	-0.32663426
10	3.73	83.33%	-0.58319808
11	3.7	91.67%	0

Con la información obtenida se grafica la variable reducida Y contra la altura de ola máxima, tal como se muestra en la Figura 4.8.

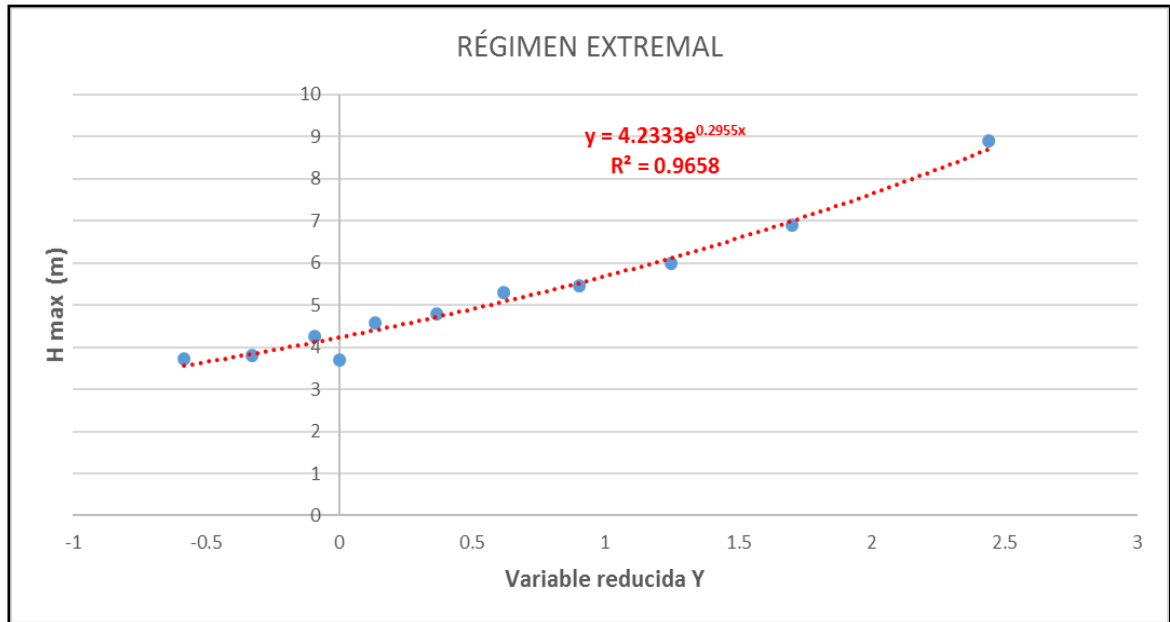


Figura 4.8: Régimen extremal. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

La ecuación del régimen extremal escalar será:

$$H_{s_{extremal}} = 4.2333e^{0.2955 Y} \quad Ec. 29.0$$

Se observa que el coeficiente de correlación (R) es muy cercano a 1 razón por la cual se toma como buena la ecuación del régimen extremal obtenida.

#### 4.2 Refracción del oleaje incidente en la Playa de Lechuguillas, Veracruz.

##### Obtención de datos iniciales

Para el estudio de refracción se utilizó el método del plano de oleaje para lo cual se dibujó teniendo en cuenta cada avance en profundidades indefinidas igual a 4 olas y en zonas de profundidades reducidas igual a 2 olas.

Para dibujar estos planos se tomó en cuenta un periodo de retorno  $T = 6 [s]$ , el cual, según el análisis de clima marítimo, es el más frecuente en la zona del Golfo de México. Además se obtuvo la longitud de ola en profundidades indefinidas  $L_0$  haciendo uso de la ecuación 8.0, dando como resultado:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 56.21 [m]$$

Esto con la finalidad de obtener la profundidad a la cual se entra en zonas definidas o como se le conoce también el índice de refracción.

Por lo tanto, el índice de refracción se obtuvo de la siguiente manera:

$$\frac{d}{L_0} > \frac{1}{2} \text{ (en profundidades indefinidas)}$$

$$d = \frac{L_0}{2} \approx 28 \text{ [m]}$$

Esto quiere decir que a la profundidad de 28 metros se tendrá el cambio de profundidades indefinidas a profundidades reducidas. Por lo que el método para dibujar los avances de ola tendrá que cambiar en este punto tal como se explicó en el marco teórico.

Una vez conocido el índice de refracción se generó la Tabla 4.16 de profundidades reducidas y longitud de ola, partiendo de los 28 metros hasta 1 metro, haciendo uso de la ecuación 6.1 o la Tabla incluida en el Anexo 8.7. Esta Tabla generada será de utilidad para el procedimiento que se explicó en el marco teórico para la fabricación del plano de oleaje.

Tabla 4.16: Longitud de ola (L) en profundidades reducidas. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016.

d(m)	d/Lo	L(m)
28	0.49816	55.998
27	0.48037	55.947
26	0.46257	55.883
25	0.44478	55.879
24	0.42699	55.709
23	0.40920	55.590
22	0.39141	55.444
21	0.37362	55.266
20	0.35583	55.050
19	0.33804	54.786
18	0.32024	54.467
17	0.30245	54.083
16	0.28466	53.623
15	0.26687	53.073
14	0.24908	52.420
13	0.23129	51.646
12	0.21350	50.733
11	0.19570	49.662
10	0.17791	48.406
9	0.16012	46.938
8	0.14233	45.224
7	0.12454	43.219
6	0.10675	40.867
5	0.08896	38.090
4	0.07117	34.772
3	0.05337	30.722
2	0.03558	25.544
1	0.01779	17.691

## Obtención de datos batimétricos

Los datos batimétricos usados para la construcción del plano de oleaje fueron obtenidos en la página de internet del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) de la cual fueron descargados los archivos en metadatos en formato SHAPE que a su vez fueron procesados por el software AutoCAD Civil3D. Sin embargo, los datos batimétricos que tiene INEGI resultaron ser insuficientes ya que contiene batimetría a cada 10 metros de profundidad, además que dicha batimetría llega hasta los 20 metros, es decir, se tenía un margen sin información de 0 a 19 metros de profundidad lo cual para la construcción de los planos de oleaje se requirió batimetría más a detalle.

Tener batimetría a detalle para la realización de proyectos costeros es de gran importancia. El problema es que el país no cuenta con este tipo de información de manera libre, por lo que resulta muy complejo poder obtenerla. Debido a que fue imposible encontrar batimetría a detalle del Golfo de México se tomó la decisión de interpolar la batimetría de INEGI utilizando las herramientas del software ArcGIS en el cual se necesitó la siguiente información vectorial:

- Batimetría de INEGI (a cada 10 metros)
- Curvas de nivel de la zona en estudio (obtenida de INEGI)
- Línea de costa (Obtenida de INEGI)

Una vez obtenida esta información vectorial en formato SHAPE se ingresaron al ArcGIS y se usó el comando TOPO to Raster el cual convierte los metadatos en una imagen o mapa de bits donde cada pixel es un elemento de una matriz de grado 3 (XYZ en este caso), una vez obtenida esta matriz se interpola extrayendo las curvas de nivel con los pixeles o elementos de la matriz con "Z" o cota igual.

En la Figura 4.9 se presenta la batimetría proporcionada con INEGI en comparación con la batimetría obtenida con ArcGIS.



Figura 4.9: Batimetría extrapolada con base en datos batimétricos de INEGI. Fuente: Elaboración propia interpolando datos obtenidos de INEGI.

### Construcción de planos de oleaje

Con la Tabla 4.16 se procedió a programar en hoja de cálculo una Tabla de avances y semiavances dependiendo la profundidad que tendría el avance (semiavance) por dibujar. Haciendo uso de una macros que interpole los datos de la Tabla 4.16 y con una serie de condicionales en el cual si en la celda de llenado de profundidades se escribe una "I" (de Profundidades indefinidas) automáticamente la programación arrojará en las celdas de avances (semiavances) la distancia  $L_o$  multiplicada por el número de olas que incluya el avance (4 olas para el caso de profundidades indefinidas). En caso contrario, si la profundidad es menor a 28 metros se escribirá dicha profundidad en las celdas de llenado de profundidades y automáticamente la programación arrojará la distancia de la longitud de ola a dibujar interpolándola de la Tabla 4.16 y multiplicada por las olas que incluye el avance (2 olas para el caso de profundidades reducidas).

La distancia entre cada ortogonal, escogida de manera arbitraria, fue de 500 metros para cada plano de oleaje por lo que  $S_o = 500$

La estructura y forma de llenado de la tabla se explica en la Figura 4.10.

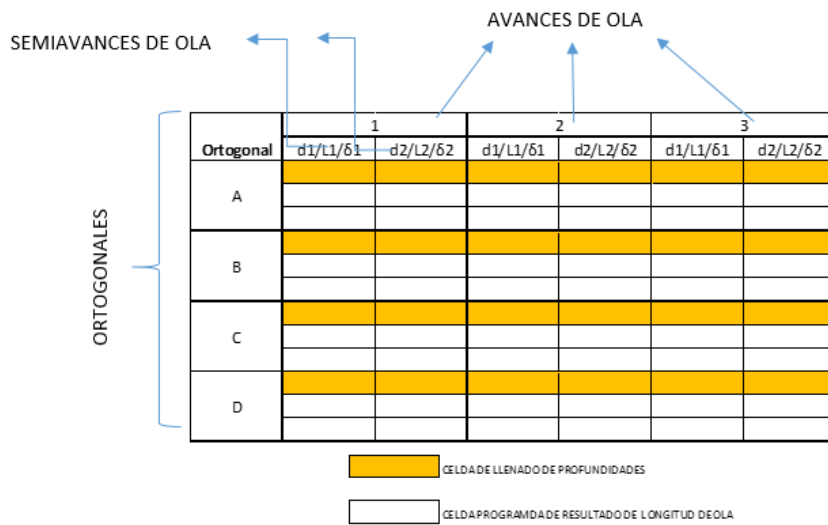


Figura 4.10: Forma de llenado de la Tabla de construcción de planos de oleaje. Fuente: Elaboración propia en hoja de cálculo.

Los planos de oleaje para las direcciones de estudio se presentan en el Anexo 8.9 al igual que las Tablas programadas en hoja de cálculo que se encuentran en el Anexo 8.8 con las cuales se obtuvieron los datos para su creación.

### Análisis de resultados obtenidos a partir de los planos de oleaje

Una vez construidos los planos de oleaje los cuales representan gráficamente el fenómeno de refracción de un grupo de olas podemos obtener el coeficiente de refracción  $K_r$  de

cada dirección del oleaje y con ayuda de la Tabla incluida en el Anexo 8.7 se podrá obtener el coeficiente de Shoaling o asomeramiento  $K_s$ .

Por la ecuación 12.1 se sabe que:

$$K_r = \sqrt{\frac{S_0}{S}} \quad \text{Ec. 12.2}$$

$$K_s = \sqrt{\frac{C_0}{C}} \quad \text{Ec. 12.3}$$

### Coeficiente de Shoaling $K_s$

Debido a que a una profundidad menor a 4 metros la relación  $\frac{d}{L_0}$  comenzaba a arrojar coeficientes de Shoaling lejanos a la realidad de la playa de Lechuguillas (se presentaban coeficientes mayores a 1) se decidió tomar esta profundidad como la de diseño para obtener ambos coeficientes que nos permitirán conocer la altura de ola a pie de obra.

Por lo tanto, en coeficiente de Shoaling para los 3 frentes de estudio será:

$$\frac{d}{L_0} = \frac{4}{56.21} = 0.7116 \longrightarrow \frac{H}{H_0} = 0.9694 = K_r$$

Este resultado se obtuvo interpolando los valores de  $\frac{d}{L_0}$  y  $\frac{H}{H_0}$  que envolvían a la  $\frac{d}{L_0} = 0.7116$ .

### Coeficiente de refracción $K_r$

Tomando en cuenta las Figuras 4.11, 4.12 y 4.13 que representan la distancia final del frente de olas ( $S$ ) obtenida del avance a 4 metros de profundidad se obtienen los coeficientes de refracción para cada frente de ola:

#### $K_r$ dirección Este

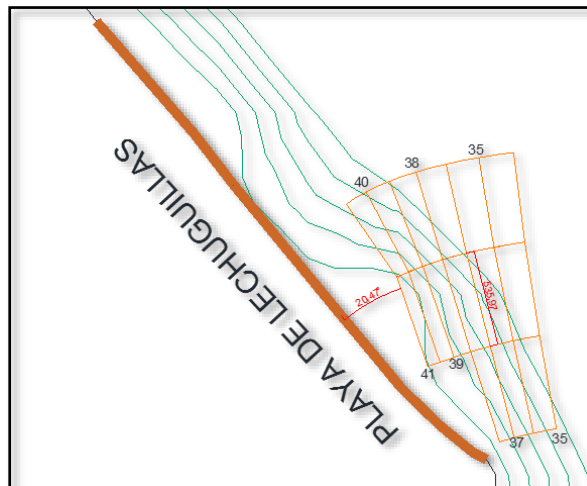


Figura 4.11: Últimos avances de ola del plano de oleaje dirección E. Fuente: Elaboración propia.

$$K_{r(ESTE)} = \sqrt{\frac{S_0}{S}} = \sqrt{\frac{500}{535.97}} = 0.9658$$

$K_r$  dirección Este-Sureste

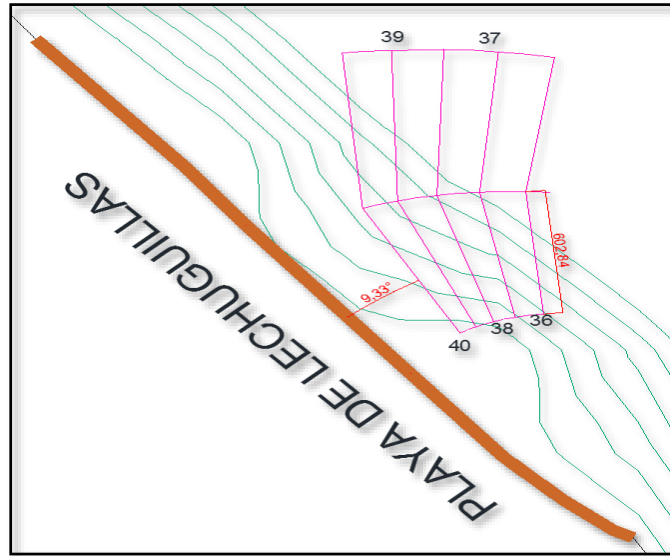


Figura 4.12: Últimos avances de ola del plano de oleaje dirección. Fuente: Elaboración propia.

$$K_{r(ESTE-SURESTE)} = \sqrt{\frac{S_0}{S}} = \sqrt{\frac{500}{602.84}} = 0.9107$$

$K_r$  dirección Sureste

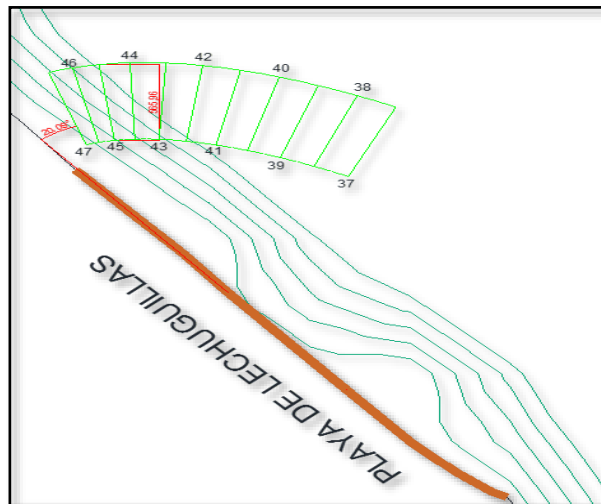


Figura 4.13: Últimos avances de ola del plano de oleaje dirección SE. Fuente: Elaboración propia.

$$K_{r(SURESTE)} = \sqrt{\frac{S_0}{S}} = \sqrt{\frac{500}{565.96}} = 0.9399$$

### 4.3 Régimen medio direccional a pie de obra

Una vez obtenidos los regímenes direccionales de oleaje en alta mar y los coeficientes de refracción y Shoaling siguiendo la ecuación 12.1 se pueden obtener las alturas de ola a pie de obra, lo cual es esencial para el diseño de cualquier proyecto costero. Se sabe que la probabilidad de ocurrencia de cualquier temporal no cambia si es en altamar a pie de obra, es decir, si se tiene una altura “x” en altamar con una probabilidad del 50% de ocurrencia, al trasladar esa altura a pie de obra (multiplicándola por  $K_r K_s$ ) obteniendo una altura “y” se tendrá la misma probabilidad del 50% de presentarse. Por lo tanto, para obtener un régimen direccional a pie de obra bastará con multiplicar las alturas de ola en altamar por  $K_r K_s$  conservando la probabilidad de ocurrencia de las mismas.

### 4.4 Régimen medio a pie de obra dirección Este

En la Tabla 4.17 se muestra las aturas de ola en altamar y a pie de con su respectiva probabilidad y variable reducida (Y) para la dirección Este. Con dicha información se generan las gráficas de ambos regímenes obteniendo su ecuación correspondiente.

Tabla 4.17: Altura de ola a pie de obra y su variable reducida “Y” dirección E. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la boya de la Bahía de Campeche, NDBC, 2016 y datos de los planos de oleaje.

Hs o H½	Dirección: 78.75°-90°	Dirección: 78.75°-90°	DIRECCIÓN E (PROMEDIO)	Hs o H½	Hpo	Prob (H<Hi)	Prob (H>Hi)	Y
0-0.5	7.45%	6.44%	6.94%	0.5	0.46817808	6.94%	93.06%	-0.9811
0.5-1	43.63%	42.88%	43.26%	1	0.93635616	50.20%	49.80%	0.3723
1-1.5	33.91%	34.84%	34.38%	1.5	1.40453424	84.58%	15.42%	1.7868
1.5-2	11.94%	12.90%	12.42%	2	1.87271232	97.00%	3.00%	3.4901
2-2.5	2.06%	2.41%	2.23%	2.5	2.3408904	99.23%	0.77%	4.8602
2.5-3	0.74%	0.32%	0.53%	3	2.80906848	99.76%	0.24%	6.0221
3-3.5	0.20%	0.19%	0.19%	3.5	3.27724656	99.95%	0.05%	7.6326
3.5-4	0.05%	0.01%	0.03%	4	3.74542464	99.98%	0.02%	8.4957
6.5-7	0.02%	0.01%	0.01%	7	6.55449313	99.99%	0.01%	9.4891
7-7.5	0.02%	0.00%	0.01%	7.5	7.02267121	100.00%	0.00%	

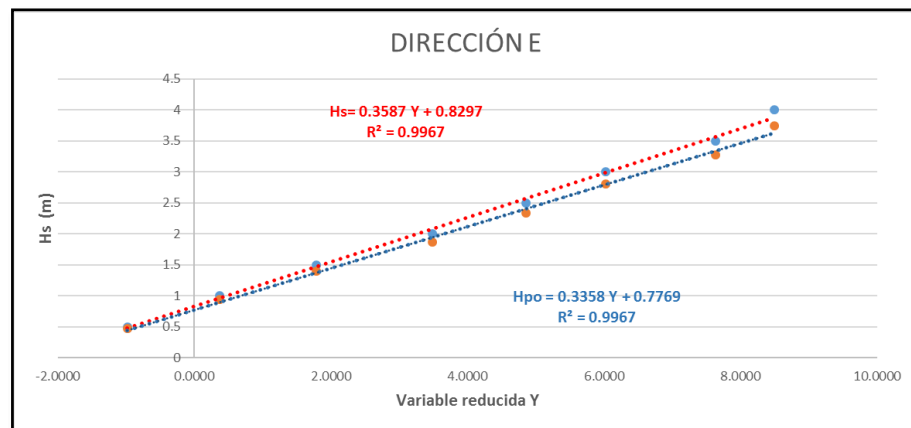


Figura 4.14: Gráfica de régimen medio direccional en altamar y régimen medio direccional a pie de obra dirección E. Fuente: Elaboración propia.



La ecuación del régimen medio dirección Este a pie de obra será:

$$Hpo_E = 0.3358 Y + 0.7769 \quad Ec. 30.0$$

Donde:

$Hpo =$  Altura de ola a pie de obra

Se observa que el coeficiente de correlación (R) es muy cercano a 1 razón por la cual se toma como buena la ecuación del régimen medio obtenida

#### 4.5 Régimen medio a pie de obra dirección Este-Sureste

La Tabla 4.18 muestra las aturas de ola en altamar y a pie de con su respectiva probabilidad y variable reducida (Y) para la dirección Este-Sureste. Con dicha información se generan las gráficas de ambos regímenes obteniendo su ecuación correspondiente.

Tabla 4.18: Altura de ola a pie de obra y su variable reducida "Y" dirección ESE. Fuente: Elaboración propia.

Hs o H%	Dirección: 101.25°-112.5°	Dirección: 112.5°-123.75°	DIRECCIÓN ESE (PROMEDIO)	Hs o H%	Hpo	Prob (H<Hi)	Prob (H>Hi)	Y
0-0.5	6.39%	5.96%	6.18%	0.5	0.44144875	6.18%	93.82%	-1.0241
0.5-1	42.56%	38.61%	40.58%	1	0.88289749	46.76%	53.24%	0.2742
1-1.5	36.37%	38.66%	37.51%	1.5	1.32434624	84.27%	15.73%	1.7654
1.5-2	12.03%	13.23%	12.63%	2	1.76579498	96.90%	3.10%	3.4578
2-2.5	2.23%	2.78%	2.50%	2.5	2.20724373	99.40%	0.60%	5.1196
2.5-3	0.24%	0.65%	0.45%	3	2.64869247	99.85%	0.15%	6.5041
3-3.5	0.06%	0.03%	0.04%	3.5	3.09014122	99.89%	0.11%	6.8285
3.5-4	0.03%	0.05%	0.04%	4	3.53158996	99.94%	0.06%	7.3384
4-4.5	0.01%	0.00%	0.01%	4.5	3.97303871	99.94%	0.06%	7.4297
4.5-5	0.00%	0.00%	0.00%	5	4.41448745	99.94%	0.06%	7.4297
5-5.5	0.02%	0.00%	0.01%	5.5	4.8559362	99.95%	0.05%	7.6418
5.5-6	0.00%	0.01%	0.01%	6	5.29738494	99.96%	0.04%	7.7885
6-6.5	0.01%	0.00%	0.01%	6.5	5.73883369	99.96%	0.04%	7.9357
6.5-7	0.00%	0.00%	0.00%	7	6.18028244	99.96%	0.04%	7.9357
7-7.5	0.00%	0.03%	0.01%	7.5	6.62173118	99.98%	0.02%	8.3916
7.5-8	0.00%	0.00%	0.00%	8	7.06317993	99.98%	0.02%	8.3916
8-8.5	0.01%	0.00%	0.01%	8.5	7.50462867	99.98%	0.02%	8.6793
8.5-9	0.03%	0.00%	0.02%	9	7.94607742	100.00%	0.00%	

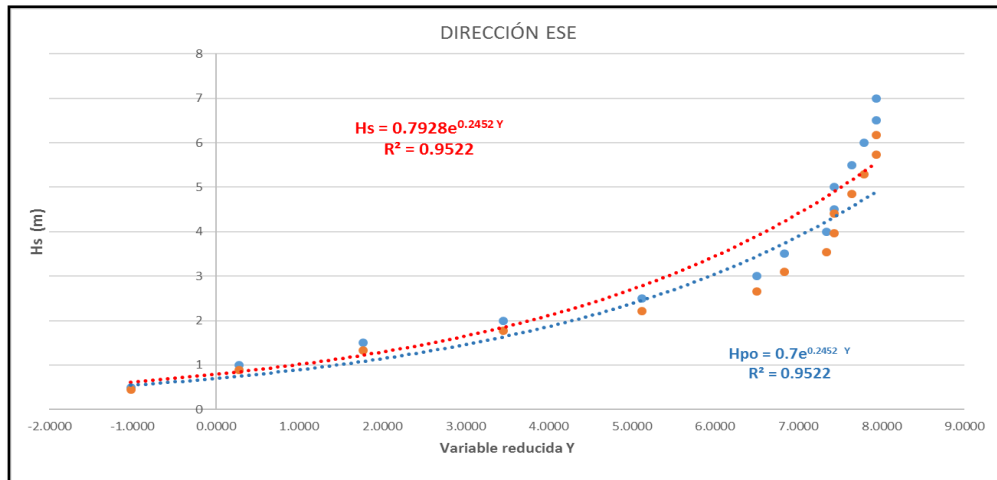


Figura 4.15: Gráfica de régimen medio direccional en altamar y régimen medio direccional a pie de obra dirección ESE. Fuente: Elaboración propia.

La ecuación del régimen medio dirección Este Sureste a pie de obra será:

$$Hpo_{SSE} = 0.7 e^{0.2452 Y} \quad Ec. 31.0$$

Se observa que el coeficiente de correlación da cercano a 1, aunque la línea de tendencia no ajusta todos los puntos, si observamos la Tabla 4.18 se puede ver que las alturas de ola de 0 hasta 2 metros contienen casi el 100% de frecuencia de ocurrencia y la línea de tendencia ajusta de manera aceptable estos puntos, por lo que se tomará la ecuación 31.0 como aceptable.

#### 4.6 Régimen medio a pie de obra dirección Sureste

La Tabla 4.19 muestra las aturas de ola en altamar y a pie de con su respectiva probabilidad y variable reducida (Y) para la dirección Sureste. Con dicha información se generan las gráficas de ambos regímenes obteniendo su ecuación correspondiente.

Tabla 4.19: Altura de ola a pie de obra y su variable reducida "Y" dirección SE. Fuente: Elaboración propia.

Hs o H½	Dirección: 123.75°-135°	Dirección: 135°-146.25°	DIRECCIÓN SE (PROMEDIO)	Hs o H½	Hpo	Prob (H<Hi)	Prob (H>Hi)	Y
0-0.5	5.92%	5.67%	5.80%	0.5	0.45560497	5.80%	94.20%	-1.04660483
0.5-1	32.81%	33.08%	32.94%	1	0.91120993	38.74%	61.26%	0.05302309
1-1.5	40.83%	38.67%	39.75%	1.5	1.3668149	78.49%	21.51%	1.41792808
1.5-2	15.94%	17.33%	16.64%	2	1.82241986	95.13%	4.87%	2.99663408
2-2.5	3.58%	3.95%	3.77%	2.5	2.27802483	98.89%	1.11%	4.49810612
2.5-3	0.75%	1.07%	0.91%	3	2.73362979	99.80%	0.20%	6.21989237
3-3.5	0.10%	0.07%	0.09%	3.5	3.18923476	99.89%	0.11%	6.81789253
3.5-4	0.07%	0.12%	0.10%	4	3.64483972	99.99%	0.01%	8.99237091
4-4.5	0.00%	0.02%	0.01%	4.5	4.10044469	100.00%	0.00%	

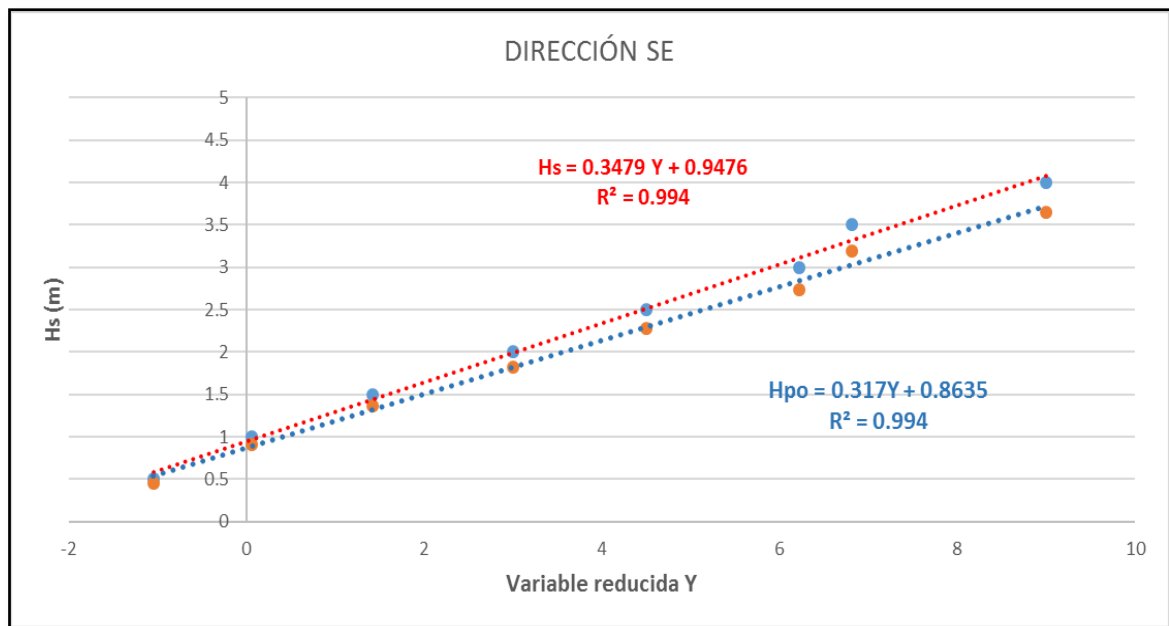


Figura 4.16: Gráfica de régimen medio direccional en altamar y régimen medio direccional a pie de obra dirección SE. Fuente: Elaboración Propia.

La ecuación del régimen medio dirección Este Sureste a pie de obra será:

$$H_{po_{SE}} = 0.317 Y + 0.8635 \quad Ec. 32.0$$

Se observa que el coeficiente de correlación (R) es muy cercano a 1 razón por la cual se toma como buena la ecuación del régimen medio obtenida.

#### **4.7 Dinámica litoral de la playa de lechuguillas, Veracruz**

Tomando en cuenta la ecuación de Cerc para el transporte de litoral (Ec. 14.0) observamos que se requieren 3 variables: La altura de ola a pie de obra, La probabilidad de presentarse dicha altura de ola y el ángulo de incidencia del oleaje con respecto a la playa.

Cabe mencionar que la fórmula de Cerc, al tener variables probabilísticas la capacidad de transporte que se obtiene a través de esta formulación no podrá ser tomada como una referencia absoluta, pero si proporciona una idea de lo que sucede realmente en la playa de Lechuguillas.

Con respecto a los datos necesarios, se proponen alturas de olas en un rango de 0.2 a 2 metros, con las ecuaciones del régimen medio a pie de obra de cada dirección de viento se obtiene las variables reducidas (Y) asociada a cada altura de ola y por lo tanto la probabilidad asociada. Cabe mencionar que esta probabilidad será direccional pero no es la probabilidad de ocurrencia real, es decir que será solo un porcentaje tomando como si cada dirección del viento fuera un 100%. Para obtener la probabilidad real de ocurrencia de esta altura de ola asociada a cualquier dirección del viento bastará con multiplicar las probabilidades obtenidas por la probabilidad de ocurrencia del viento estudiado (Tabla 4.4). En el apartado 4.1 se detalla analíticamente lo explicado en este párrafo.

El ángulo de incidencia será el encontrado en el último avance de ola dibujado en los planos de oleaje. Estos ángulos se pueden observar en las Figuras 4.11, 4.12 y 4.13 del apartado "Análisis de resultados obtenidos a partir de los planos oleaje".

#### **Transporte de litoral ocasionado por oleaje que proviene de la dirección Este**

Considerando la ecuación del régimen medio a pie de obra dirección Este:

$$H_{po_E} = 0.3358 Y + 0.7769 \quad Ec. 30.0$$

Despejando la variable reducida de dicha ecuación:

$$Y = \frac{H_{po_E} - 0.7769}{0.3358} \quad Ec. 30.1$$

Definiendo a la variable reducida para alturas de ola a pie de obra como (SCT, 1982):

$$Y = -Ln(-Ln(1 - P(H_{po}))) \quad Ec. 33.0$$

Despejando  $P(H_{po})$

$$P(H_{po}) = 1 - e^{-e^{-Y}} \quad \text{Ec. 33.1}$$

Con las ecuaciones desarrolladas se construye la siguiente Tabla proponiendo alturas a pie de obra de 2, 1.5, 1.2, 1, 0.5, 0.3 y 0.2 metros y sabiendo que la probabilidad de la dirección del viento en dirección Este en la boya es de:

$$\text{Probabilidad dirección Este en boya} = 22.60\%$$

$$\text{Probabilidad real} = 22.60\% * \text{Prob}(1 - P(H_{po}))$$

Tabla 4.20: Probabilidad real de no ocurrencia de alturas de ola propuestas, dirección E. Fuente: Elaboración propia.

Hpo (m)	Y	P(Hpo)	Prob (1-P(Hpo))	Prob. Real
0.2	-1.7179869	99.620%	0.380%	0.086%
0.3	-1.42019059	98.404%	1.596%	0.361%
0.5	-0.82459797	89.781%	10.219%	2.309%
1	0.66438356	40.225%	59.775%	13.509%
1.2	1.25997618	24.698%	75.302%	17.018%
1.5	2.1533651	10.961%	89.039%	20.123%
2	3.64234663	2.585%	97.415%	22.016%

Una vez obtenidas las probabilidades reales asociadas a cada altura de ola se obtiene la probabilidad que existe entre los intervalos de alturas y la capacidad de transporte de la dirección Este, con un ángulo de incidencia entre la playa y el oleaje igual a:

$$\alpha_{Este} = 20.47^\circ$$

Tabla 4.21: Acarreo de litoral dirección Este. Fuente: Elaboración propia.

Intervalo de alturas (m)	Hpo (m)	Prob (Hpo>a)	Prob (Hpo>b)	Prob(a<Hpo<b)	Ángulo	Q m3/año
0.2	0.3	0.25	0.086%	0.361%	20.47	197.438528
0.3	0.5	0.4	0.361%	2.309%	20.47	4534.36955
0.5	1	0.75	2.309%	13.509%	20.47	125446.917
1	1.2	1.1	13.509%	17.018%	20.47	102399.842
1.2	1.5	1.35	17.018%	20.123%	20.47	151160.722
1.5	2	1.75	20.123%	22.016%	20.47	176329.643
<b>Σ=</b>						<b>560068.932</b>

### Transporte de litoral ocasionado por oleaje que proviene de la dirección Este-Sureste

Considerando la ecuación del régimen medio a pie de obra dirección Este-Sureste:

$$Hpo_{ESE} = 0.7 e^{0.2452 Y} \quad \text{Ec. 31.0}$$

Despejando la variable reducida de dicha ecuación:

$$Y = \frac{\ln\left(\frac{H_{po}}{0.7}\right)}{0.2452} \quad Ec. 31.1$$

Con la ecuación 33.1 del despeje de la definición de la variable reducida a pie de obra y la Ec. 31.0 y 31.1 se construye la Tabla 4.22 proponiendo alturas a pie de obra de 2, 1.5, 1.2, 1, 0.5, 0.3 y 0.2 metros y sabiendo que la probabilidad de la dirección del viento en dirección Este en la boya es de:

$$\text{Probabilidad dirección Este – Sureste en boya} = 23.18\%$$

$$\text{Probabilidad real} = 23.18\% * \text{Prob}(1 - P(H_{po}))$$

Tabla 4.22: Probabilidad real de no ocurrencia de alturas de ola propuestas dirección ESE. Fuente: Elaboración propia.

Hpo (m)	Y	P(Hpo)	Prob (1-P(Hpo))	Prob. Real
0.2	-5.109148	100.000%	0.000%	0.000%
0.3	-3.455538	100.000%	0.000%	0.000%
0.5	-1.372236	98.063%	1.937%	0.449%
1	1.4546286	20.823%	79.177%	18.353%
1.2	2.1981913	10.506%	89.494%	20.745%
1.5	3.1082384	4.370%	95.630%	22.167%
2	4.2814932	1.373%	98.627%	22.862%

Una vez obtenidas las probabilidades reales asociadas a cada altura de ola se obtiene la probabilidad que existe entre los intervalos de alturas y la capacidad de transporte de la dirección Este-Sureste, con un ángulo de incidencia entre la playa y el oleaje igual a:

$$\alpha_{\text{Este Sureste}} = 9.33^\circ$$

Tabla 4.23: Acarreo de litoral dirección Este-Sureste. Fuente: Elaboración propia.

Intervalo (m)	Hpo (m)	Prob (Hpo>a)	Prob (Hpo>b)	Prob(a<Hpo<b)	Ángulo	Q m3/año
0.2	0.3	0.25	0.000%	0.000%	9.33	1.4266E-10
0.3	0.5	0.4	0.000%	0.449%	9.33	510.040201
0.5	1	0.75	0.449%	18.353%	9.33	97921.2071
1	1.2	1.1	18.353%	20.745%	9.33	34072.6525
1.2	1.5	1.35	20.745%	22.167%	9.33	33818.9942
1.5	2	1.75	22.167%	22.862%	9.33	31597.4456
						$\Sigma =$ 197920.34

### Transporte de litoral ocasionado por oleaje que proviene de la dirección Sureste

Considerando la ecuación del régimen medio a pie de obra dirección Este Sureste:

$$H_{po_{SE}} = 0.317 Y + 0.8635 \quad Ec. 32.0$$

Despejando la variable reducida de dicha ecuación:

$$Y = \frac{H_{poSE} - 0.8635}{0.317}$$

Ec. 32.1

Con la ecuación 33.1 del despeje de la definición de la variable reducida a pie de obra y la Ec. 32.0 y 32.1 se construye la Tabla 4.24 proponiendo alturas a pie de obra de 2, 1.5, 1.2, 1, 0.5, 0.3 y 0.2 metros y sabiendo que la probabilidad de la dirección del viento en dirección Este en la boya es de:

$$\begin{aligned} \text{Probabilidad dirección Sureste en boya} &= 13.78\% \\ \text{Probabilidad real} &= 13.78\% * \text{Prob}(1 - P(H_{po})) \end{aligned}$$

Tabla 4.24: Probabilidad real de no ocurrencia de alturas de ola propuestas dirección SE. Fuente: Elaboración propia.

Hpo (m)	Y	P(Hpo)	rob (1-P(Hpo)	Prob. Real
0.2	-2.09305994	99.970%	0.030%	0.004%
0.3	-1.77760252	99.730%	0.270%	0.037%
0.5	-1.1466877	95.705%	4.295%	0.592%
1	0.43059937	47.802%	52.198%	7.193%
1.2	1.0615142	29.244%	70.756%	9.750%
1.5	2.00788644	12.565%	87.435%	12.049%
2	3.5851735	2.735%	97.265%	13.403%

Una vez obtenidas las probabilidades reales asociadas a cada altura de ola se obtiene la probabilidad que existe entre los intervalos de alturas y la capacidad de transporte de la dirección Sureste, con un ángulo de incidencia entre la playa y el oleaje igual a:

$$\alpha_{Sureste} = 20.09^\circ$$

Tabla 4.25: Acarreo de litoral dirección Sureste. Elaboración propia.

Intervalo (m)	Hpo (m)	Prob (Hpo>a)	Prob (Hpo>b)	Prob(a<Hpo<b)	Ángulo	Q m3/año
0.2	0.3	0.25	0.004%	0.037%	0.033%	23.3618856
0.3	0.5	0.4	0.037%	0.592%	0.555%	1270.73832
0.5	1	0.75	0.592%	7.193%	6.601%	72801.6363
1	1.2	1.1	7.193%	9.750%	2.557%	73472.9838
1.2	1.5	1.35	9.750%	12.049%	2.298%	110186.508
1.5	2	1.75	12.049%	13.403%	1.355%	124238.629
<b>Σ=</b>						<b>381993.857</b>

### Análisis de resultados del transporte de litoral

La Tabla 4.26 muestra, en resumen, el transporte de litoral acumulado por los 3 frentes de ola en estudio. Por los planos de oleaje se llega a la conclusión de que el transporte de sedimentos de cada frente se lleva a cabo de Sur a Norte (S-N) por lo que se tendrá mayor movimiento de sedimentos en esa dirección, aunque el análisis de clima marítimo nos muestra que el oleaje proveniente del Noreste (NE) y del Este Noreste (ENE) cuenta

también con una frecuencia considerable por lo que estos vientos, a su vez, generarán que la playa entre en un equilibrio teórico.

Tabla 4.26: Resumen de acarreo de litoral de las tres direcciones. Fuente: Elaboración propia..

Dirección Temporal	Q m3/año	Dirección transporte
ESTE	560068.932	S-N
ESTE SURESTE	197920.340	S-N
SURESTE	381993.857	S-N
$\Sigma=$	<b>1139983.13</b>	<b>S-N</b>

En conclusión, el volumen de sedimentos transportados teóricamente al año serán  $1,139,983.13 \frac{m^3}{año}$ , de Sur a Norte. Esto no toma en cuenta el volumen de sedimentos transportados por las demás direcciones de viento, simplemente de las direcciones con mayor probabilidad de ocurrencia por lo que este dato solo nos sirve para identificar que la mayor parte del transporte de litoral se dará de Sur a Norte.

#### 4.8 Regeneración de playa por el método de la teoría monoparabólica de Dean

Como se explicó en el marco teórico, la teoría de Dean supone que la playa tiene un comportamiento parabólico, por lo que para playas con comportamientos diferentes esta teoría no podría utilizarse para realizar una regeneración de playa por lo que se plantea la hipótesis de que la playa de Lechuguillas tiene un comportamiento monoparabólico.

Para realizar el cálculo de la regeneración fue importante realizar un muestreo representativo de la arena de la playa de Lechuguillas, después se realizó el tamizado de la muestra para así determinar el  $D_{50}$  de la misma para después poder utilizar ese dato en la formulación por lo que todo este proceso podremos dividirlo en tres etapas las cuales son: trabajo de campo (muestreo de arena en sitio), trabajo de laboratorio (tamizado de las muestras) y trabajo de gabinete (interpretación de datos y formulación de los mismos).

##### Trabajo en campo (muestreo de arena en sitio)

Para obtener un muestro representativo que pueda servir para obtener el  $D_{50}$  de la arena de una playa es necesario obtener arena de tres puntos diferentes de la playa:

- Berma o Playa seca
- Intermareal o estrán
- Sumergida

En la Figura 4.17 se pude observar los tres puntos en donde son requeridas las muestras.

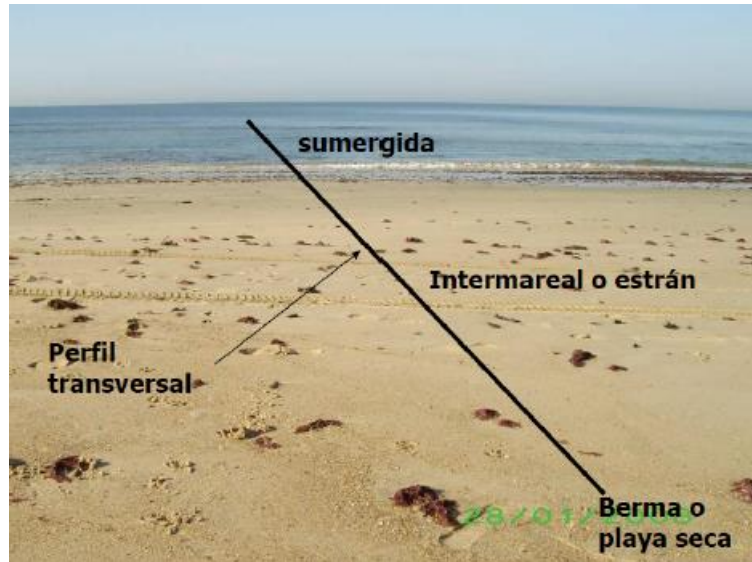


Figura 4.17: Puntos donde son requeridas las muestras de arena. Fuente: U. de Cádiz, España, 2016.

Se obtuvieron tres muestras de cada uno de estos puntos. Cada muestra en un lugar diferente de la playa. En la imagen del Anexo 8.3, obtenida a través de un vuelo programado de dron, se puede observar la playa a regenerar y los puntos en donde se obtuvieron dichas muestras. Además, en el Anexo fotográfico se puede observar algunas fotografías del muestreo.

Las muestras se separaron en bolsas de aproximadamente un kilo por punto muestreado y se separaron independientemente una de otra. La Figura 4.18, 4.19 y 4.20 presentan las muestras separadas.



Figura 4.18: Muestras de la estación E-01 de los tres puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia.





Figura 4.19: Muestras de la estación E-02 de los tres puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.20: Muestras de la estación E-03 de los tres puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia.

### Trabajo de laboratorio (tamizado de las muestras)

Una vez obtenidas las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental para realizar las pruebas de tamizado. Los tamices utilizados fueron los mostrados en la Figura 4.21 cuya apertura corresponde a la presentada en la tabla 4.27.

Tabla 4.27: Tamices utilizados. Fuente: Elaboración propia.

Nº TAMIZ (ASTM)	Luz de malla (mm)
8	2.360
20	0.850
25	0.710
40	0.425
60	0.250
100	0.150
140	0.106



Figura 4.21: Tamices utilizados. Fuente: Elaboración propia.

Dichas muestras fueron homogenizadas en sólo 3, juntando la arena de la zona de berma en una sola y de igual manera la de la zona de estrán y zona sumergida. Una vez realizado esto se pesó aproximadamente 1.5 kg de las 3 muestras y después fueron secadas en estufa de laboratorio a una temperatura de 80 °C durante 24 horas.

Pasadas las horas de secado se prosiguió a realizar el tamizado de las muestras, para esto sólo fue utilizado un kilogramo de cada una. Después de realizado el tamizado de la arena se obtuvo el D<sub>50</sub> de la misma interpolando el porcentaje retenido acumulado contra la abertura o luz de malla por la que se tamizó la arena. Los resultados se presentan en las Tablas 4.28, 4.29 y 4.30. Esta metodología fue realizada según el método de muestreo y pruebas (granulometría) de materiales de suelos para terracerías que se refiere a las normas N-CTM-1-01, N-CMT-1-02 Y N-CMT-1-03.

Tabla 4.28: Obtención de D<sub>50</sub> de arena de zona de berma. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO						
Trabajo: Obtención de D <sub>50</sub> de arena recolectada de la playa de Lechuguillas Veracruz.						
Muestra: Zona de berma		Fecha de tamizado: 14/06/2017				
Localización: Playa de Lechuguillas, Veracruz.						
Nº TAMIZ (ASTM)	Luz de malla (mm)	muestra (gr)	% Retención	% Retenido acumulado	% Que pasa acumulado	
8	2.360	0.0000	0.00	0.00	100.00	
20	0.850	0.0000	0.00	0.00	100.00	
25	0.710	0.0000	0.00	0.00	100.00	
40	0.425	0.0014	0.14	0.14	99.86	
60	0.250	0.6780	67.98	68.12	31.88	
100	0.150	0.2320	23.26	91.38	8.62	
140	0.106	0.0680	6.82	98.20	1.80	
<140	0.063	0.018	1.80	100.00	0.00	
<b>TOTAL=</b>		<b>0.9974</b>			<b>D<sub>50</sub> (mm):</b>	<b>0.271360</b>

Tabla 4.29: Obtención de D<sub>50</sub> de arena de zona de estrán. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO						
Trabajo: Obtención de D <sub>50</sub> de arena recolectada de la playa de Lechuguillas Veracruz.						
Muestra: Zona de estrán		Fecha de tamizado: 14-06-2017				
Localización: Playa de Lechuguillas, Veracruz.						
Nº TAMIZ (ASTM)	Luz de malla (mm)	muestra (gr)	% Retención	% Retenido acumulado	% Que pasa acumulado	
8	2.360	0.0000	0.00	0.00	100.00	
20	0.850	0.0020	0.20	0.20	99.80	
25	0.710	0.0020	0.20	0.40	99.60	
40	0.425	0.0820	8.20	8.60	91.40	
60	0.250	0.7300	73.00	81.60	18.40	
100	0.150	0.1600	16.00	97.60	2.40	
140	0.106	0.0210	2.10	99.70	0.30	
<140	0.063	0.003	0.30	100.00	0.00	
<b>TOTAL=</b>		<b>1.00</b>			<b>D<sub>50</sub> (mm):</b>	<b>0.39659</b>

Tabla 4.30: Obtención de D50 de arena de zona sumergida. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO					
Trabajo: Obtención de D50 de arena recolectada de la playa de Lechuguillas Veracruz.					
Muestra: Zona sumergida			Fecha de tamizado: 14/06/2017		
Localización: Playa de Lechuguillas, Veracruz.					
Nº TAMIZ (ASTM)	Luz de malla (mm)	muestra (gr)	% Retención	% Retenido acumulado	% Que pasa acumulado
8	2.360	0.0240	2.41	2.41	97.59
20	0.850	0.0380	3.82	6.22	93.78
25	0.710	0.0180	1.81	8.03	91.97
40	0.425	0.2780	27.91	35.94	64.06
60	0.250	0.4960	49.80	85.74	14.26
100	0.150	0.1320	13.25	99.00	1.00
140	0.106	0.0060	0.60	99.60	0.40
<140	0.063	0.004	0.40	100.00	0.00
Total muestra		0.996			D <sub>50</sub> (mm): 0.44800

Tabla 4.31: Promedio de D50 de arena muestreada. Fuente: Elaboración propia.

Zona	Código	D50
Berma	E01	0.271
Estrán	E02	0.397
Sumergida	E03	0.448
Promedio		0.372

En el Anexo fotográfico (Anexo 8.11) se puede observar fotografías del proceso de las pruebas en laboratorio.

### Perfil de equilibrio de playa

Una vez obtenidos los D<sub>50</sub> de cada muestra de arena, de la Tabla 3.2 se obtiene la constante A de Dean del perfil natural de playa interpolando entre los valores de A para un D<sub>50</sub> igual a 0.370 y 0.380 para obtener el valor del parámetro A para un D<sub>50</sub> igual a 0.372.

Tabla 4.32: Obtención del parámetro A de Dean de la playa natural. Fuente: Beach Nourishment. Theory and Practice, R. G. Dean, 2002.

D(mm)	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.1	0.063	0.0672	0.0714	0.0756	0.0798	0.084	0.0872	0.0904	0.0936	0.0968
0.2	0.100	0.103	0.106	0.109	0.112	0.115	0.117	0.119	0.121	0.123
0.3	0.125	0.127	0.129	0.131	0.133	0.135	0.137	0.139	0.141	0.143
0.4	0.145	0.1466	0.1482	0.1498	0.1514	0.153	0.1546	0.1562	0.1578	0.1594
0.5	0.161	0.1622	0.1634	0.1646	0.1658	0.167	0.1682	0.1694	0.1706	0.1718
0.6	0.173	0.1742	0.1754	0.1766	0.1778	0.179	0.1802	0.1814	0.1826	0.1838
0.7	0.185	0.1859	0.1868	0.1877	0.1886	0.1895	0.1904	0.1913	0.1922	0.1931
0.8	0.194	0.1948	0.1956	0.1964	0.1972	0.198	0.1988	0.1996	0.2004	0.2012
0.9	0.202	0.2028	0.2036	0.2044	0.2052	0.206	0.2068	0.2076	0.2084	0.2092
1.0	0.210	0.2108	0.2116	0.2124	0.2132	0.2140	0.2148	0.2156	0.2164	0.2172

Tabla 4.33: parámetro A de Dean para un  $D_{50} = 0.372$ .  
Fuente: Elaboración propia.

D50	AN
0.370	0.139
0.380	0.141
<b>0.372</b>	<b>0.1394</b>

Con el parámetro A del perfil natural ( $A_N$ ) de Dean se obtiene las profundidades de dicho perfil ( $h_N$ ) con la ecuación 16.1. Proponiendo longitudes x de 0 a 200 metros.

$$h_N = (0.1394) x^{\frac{2}{3}} \quad \text{Ec. 16.1}$$

Tabla 4.34: Profundidad de perfil natural con respecto a X. Fuente: Elaboración propia

X (m)	HN (m)
0	0.00
2	0.22
4	0.35
10	0.65
20	1.03
50	1.89
100	3.00
150	3.94
200	4.77

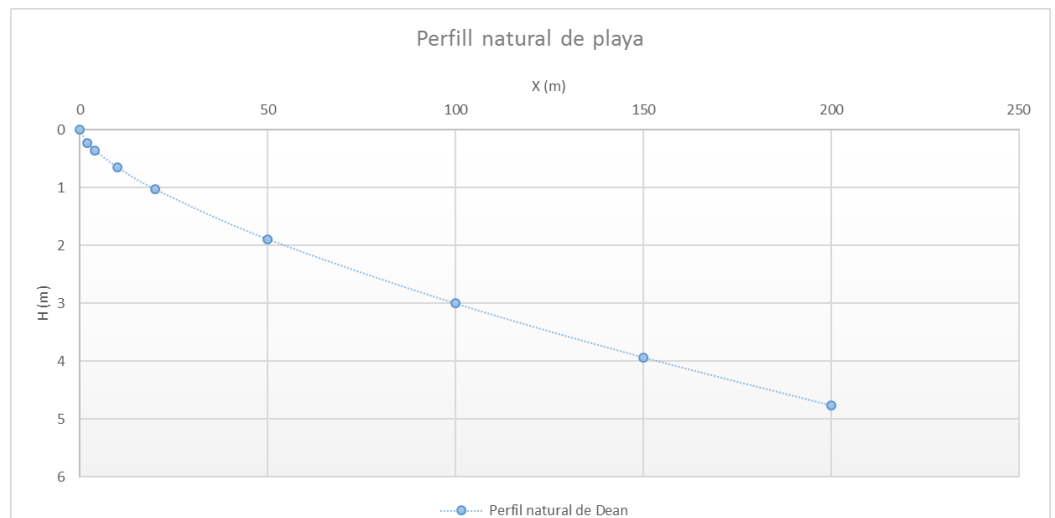


Figura 4.22: Perfil teórico natural de la playa de Lechuguillas. Fuente: Elaboración propia.

se propone un  $\Delta y_o = 25 \text{ m}$  que serán los metros que se pretende ampliar la playa hacia costa afuera. Además, se propone un  $D_{50}$  de la arena de aportación de 0.45 mm el cual es mayor al  $D_{50}$  natural de la playa. Con la ecuación 16.2 se obtiene la  $h_F$  del perfil de equilibrio de la playa regenerada, con esta información se generó la Tabla 4.35 y la Figura 4.23.

$$h_F = 0.153 x'^{\frac{2}{3}} \quad \text{Ec. 16.2}$$

Tabla 4.35: Profundidad de perfil final con respecto a X. Fuente: Elaboración propia.

X (m)	HN (m)	X' (m)	HF (m)
0	0.00	25	0.00
2	0.22	27	0.24
4	0.35	29	0.39
10	0.65	35	0.71
20	1.03	45	1.13
50	1.89	75	2.08
100	3.00	125	3.30
150	3.94	175	4.32
200	4.77	225	5.23

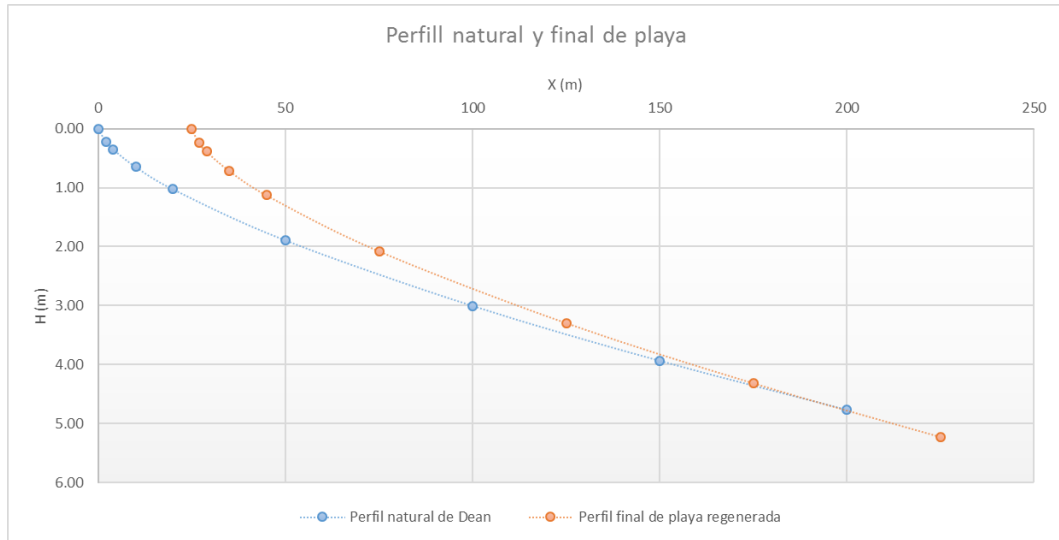


Figura 4.23: Perfil teórico natural de la playa de Lechuguillas y perfil final de la playa regenerada. Fuente: Elaboración propia.

Obtenidos el perfil de equilibrio natural y final de playa se da paso a obtener el punto de intersección I entre ambas parábolas con la ecuación 18.0 y 19.0.

$$x_I = \frac{\Delta y_o}{1 - \left(\frac{A_N}{A_F}\right)^{\frac{3}{2}}} = \frac{25}{1 - \left(\frac{0.1394}{0.153}\right)^{\frac{3}{2}}} = 191.828$$

$$H_I = A_N(x_I)^{\frac{2}{3}} = 0.1394(191.828)^{\frac{2}{3}} = 4.636$$

$$\therefore I = (x_I, H_I) = (191.828, 4.636)$$

De la ecuación 21.0 se obtiene el área del perfil de equilibrio de aportación de arena.

$$S_T = \frac{3}{5} H_I * \Delta y_o = \frac{3}{5} (4.636) * 25 = 69.54 \text{ m}^2$$

## 5. Propuesta de regeneración de la playa de lechuguillas y beneficio ambiental

### 5.1 Volumen necesario para la regeneración de la Playa de Lechuguillas

En el apartado 4.8 “Regeneración de Playa por el método de la teoría monoparabólica de Dean” se logró obtener el perfil de la playa regenerada en interacción con el perfil natural obteniendo un área del perfil de equilibrio de aportación de arena igual a 69.54 m<sup>2</sup>.

Utilizando la ecuación 22.0 podemos obtener el volumen requerido de aportación de arena para lograr la regeneración de 25 metros más de playa teniendo una longitud de la playa de 1415 metros.

$$V = S_T * L_{Playa} \quad \text{Ec. 22.0}$$

$$V = 69.54 * 1415 = 98,399.1 \text{ m}^3$$

Por lo que el volumen de aportación sería igual a 98,399.1 m<sup>3</sup> cabe mencionar que este volumen solo será para generar una playa recta, partiendo del límite de la playa original. Para zona de berma y parte del estrán debe ser considerado un volumen adicional dependiendo las condiciones y características que se requieran de la playa nueva.

### 5.2 Zona de berma

Gracias a las imágenes obtenidas con el dron y a la información que estas generan se pudo obtener el perfil de la zona de berma que tiene la playa en su estado original. Estos perfiles se obtuvieron de 3 zonas diferentes, dichas zonas aparecen en el apartado 8.4, 8.5 y 8.6 de los Anexos:

1. Perfil en sentido transversal en zona de muestreo E-01
2. Perfil en sentido transversal en zona de muestreo E-02
3. Perfil en sentido transversal en zona de muestreo E-03

Los perfiles de elevación del terreno se muestran en las Figuras 5.0, 5.1 y 5.2. Es importante mencionar que en vuelo con dron no se usaron puntos georreferenciados de control por lo que la cota en “Z” maneja un error de elevación, pero como del perfil de elevación nos interesa únicamente los diferenciales de altura este error no es considerable.

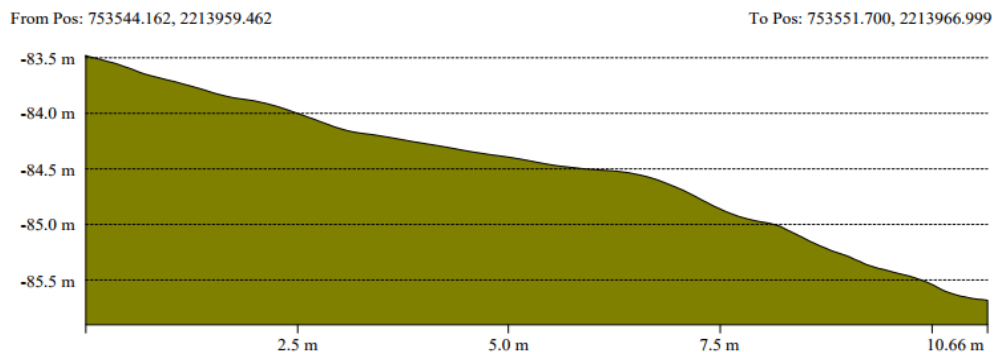


Figura 5.0: Perfil de elevación en zona de muestreo E-01. Fuente: Datos obtenidos a través de procesamiento de imágenes obtenidas con dron.

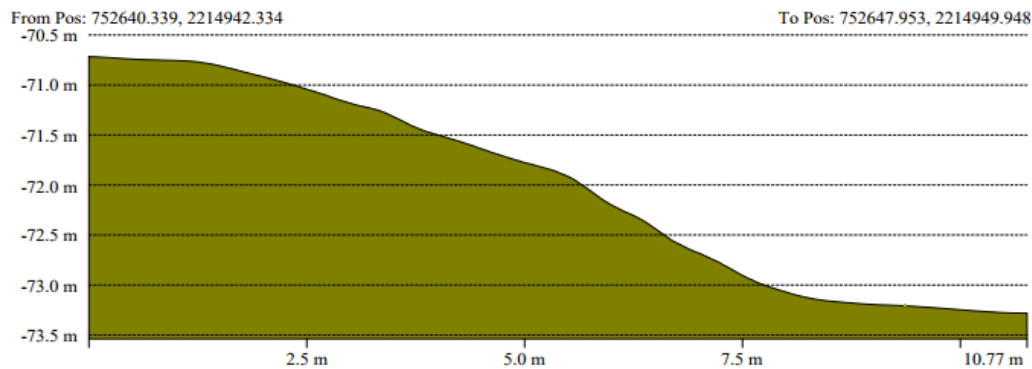
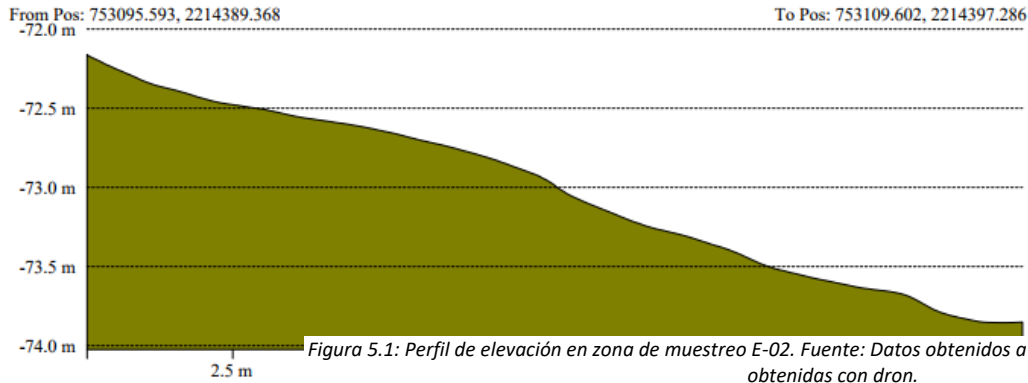


Figura 5.2: Perfil de elevación en zona de muestreo E-03. Fuente: Datos obtenidos a través de procesamiento de imágenes obtenidas con dron.

Gracias a la información otorgada por biólogos de la CONANP se sabe que las tortugas Verde y Lora prefieren la zona con dunas poco pronunciadas y una pendiente ligera en sentido transversal para desovar por lo que la berma propuesta para la playa regenerada será similar a la de los perfiles de las Figuras 5.0, 5.1 y 5.2. La forma y condiciones de realizar esto es meramente del proceso constructivo por lo que está fuera de los alcances de esta tesis.

Como se mencionó en el apartado 2.3 de esta tesis las tortugas que anidan en la Playa de Lechuguillas son reconocidas como especies fieles a su lugar de anidación por lo que es importante que se considere que la playa regenerada cuente con arena de la misma zona para conservar su color, su textura y otras características de la misma con el fin de no perturbar el arribo de las tortugas a una playa nueva.

### 5.3 Equilibrio de la Playa de Lechuguillas en planta

En muchas ocasiones a la playa regenerada se le suele “cerrar” colocando barreras artificiales como diques o espigones, esto con la finalidad de evitar el acarreo longitudinal de sedimentos que pudieran tener. Biólogos de la CONANP mencionaron que se desconoce a ciencia exacta la dirección con la que las tortugas arriban a la Playa de Lechuguillas por lo que es inviable colocar espigones y/o diques en la playa regenerada ya que estos podrían desorientar a las tortugas y en consecuencia se perderían posibles nidos en la playa.

Otra forma de evitar el acarreo longitudinal de sedimentos en la playa es depositar el sedimento adicional dejando un ángulo de incidencia con el oleaje tal que al realizar el estudio de acarreo de litoral este sea menor al natural haciéndolo tender a cero.

Para lograr esto es necesario utilizar el último avance de los planos de oleaje realizados (mostrados en el apartado 8.9 de los Anexos) y la fórmula de Cerc (Ec. 14.0) del apartado 4.9 de este documento. Se logra observar que haciendo tender a 0° el ángulo de incidencia entre el oleaje y la playa el acarreo de litoral se haría nulo, pero lograr este ángulo que cumpla con todas las direcciones del oleaje es imposible ya que si bien puede cumplir con una dirección no cumpliría con el resto.

Esta problemática tendría que atacarse de manera constructiva, analizando el acomodo en planta que se le puede dar a la playa iterando con múltiples propuestas hasta llegar a la que generar menor acarreo de litoral. Este proceso sale de los alcances de este documento.

#### **5.4 Beneficio ambiental de la regeneración de la Playa de Lechuguillas**

En la Figura 5.4 se puede observar la superficie de playa regenerada en comparación con el área de la playa original. Esto se logró gracias al análisis de clima marítimo, al proceso analítico de regeneración visto y al vuelo con dron realizado. El área de la playa regenerada sumada al área original es aproximadamente 82510.6586 m<sup>2</sup>.

Se observa que el área nueva es casi el doble de la playa original. Recordando el apartado 2.4 donde se obtuvo que la tortuga Lora al año tiene 0.0006  $\frac{nidos}{m^2}$  y la tortuga Verde 0.0107  $\frac{nidos}{m^2}$  podemos obtener que con la playa regenerada se tendrán las siguientes anidaciones:

##### ***Tortuga Lora***

$$0.0006 \frac{nidos}{m^2} * 82510.6586 m^2 = 49.50 nidos \approx 50 nidos$$

##### ***Tortuga Verde***



$$0.0107 \frac{\text{nidos}}{\text{m}^2} * 82510.6586 \text{ m}^2 = 882.86 \text{ nidos} \approx 883 \text{ nidos}$$

Se puede observar que la regeneración de playa propuesta podría aumentar el arribo de tortugas a la zona en casi el doble.

## Área nueva de playa regenerada en comparación con área natural

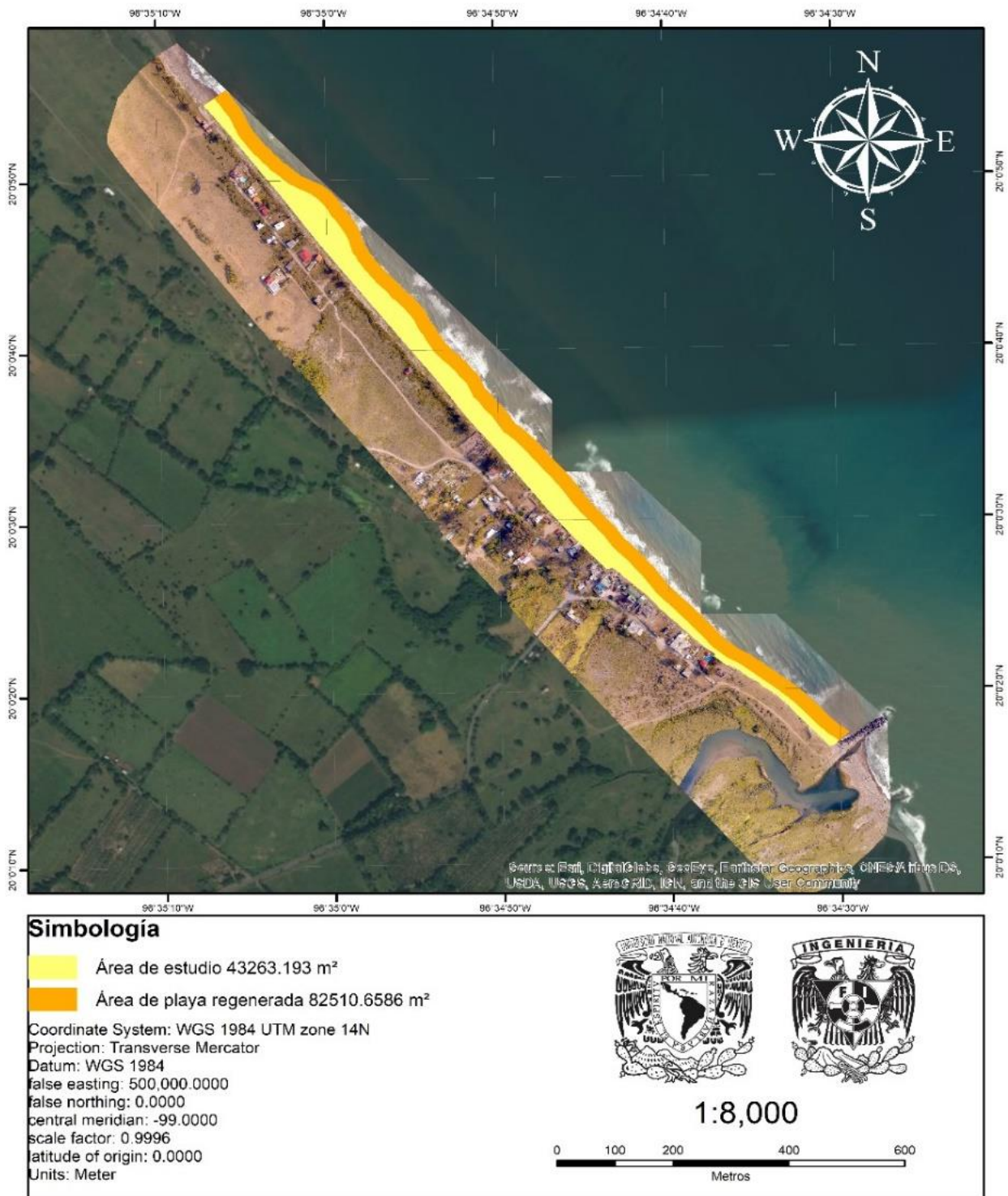


Figura 5.2: Vista en planta de playa regenerada en comparación con la playa original. Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología estudiada y de imágenes de dron.

## 6 Conclusiones

1. Se logró utilizar la ingeniería en puertos y costas para proponer un área de playa regenerada con la cual se podrá aportar casi el doble de anidaciones de la tortuga *Lepidochelys kempii* de 26 a 50 nidos y *Chelonia mydas* de 463 a 883 nidos por año en la zona de la playa de Lechuguillas, Veracruz.
2. El análisis de clima marítimo del Golfo de México con los datos de la boya estadounidense de la bahía de Campeche, arrojó los siguientes resultados:
  - I. Tiempo de retorno característico del Golfo de México es de 6 segundos.
  - II. Las direcciones de viento predominantes en el Golfo de México son Este, Este-Sureste y Sureste con una probabilidad de ocurrencia de 22.60%, 23.18% y 13.78% respetivamente.
  - III. Distribuciones conjuntas de periodo de retorno – altura de ola significativa y distribución conjunta altura de ola significativa – dirección de viento.
  - IV. El régimen medio dirección Este queda representado por la ecuación  $H_{S_{SE}} = 0.3587 Y + 0.8297$ .
  - V. El régimen medio dirección Este Sureste queda representado por la ecuación  $H_{S_{SSE}} = 0.7928 e^{0.2452 Y}$ .
  - VI. El régimen medio dirección Sureste queda representado por la ecuación  $H_{S_{SE}} = 0.3479 Y + 0.9476$ .
  - VII. Régimen extremal anual en alta mar del Golfo de México queda representado por la ecuación  $H_{S_{extremal}} = 4.2333 e^{0.2955 Y}$ .
3. Se logró dibujar los planos de oleaje en dirección de viento Este, Sureste y Este-Sureste para representar de manera gráfica el movimiento de un frente de ola cualquiera generado de altamar trasladado hasta pie de obra.
4. Los regímenes medios direccionales a pie de obra obtenidos por los vientos del Este, Este-Sureste y Sureste se representa por las ecuaciones  $H_{po_E} = 0.3358 Y + 0.7769$ ,  $H_{po_{SSE}} = 0.7 e^{0.2452 Y}$  y  $H_{po_E} = 0.3358 Y + 0.7769$  respectivamente, lo cual fue posible obtener gracias al análisis de los planos de oleaje realizados y de los regímenes medios direccionales en altamar de cada frente de ola analizado.
5. El acarreo de litoral en la Playa de Lechuguillas ocasionado por el oleaje proveniente del Este, Sureste y Este-Sureste siguiendo la ecuación del CERC a pie de obra es de  $1,139,983.13 \frac{m^3}{año}$  con dirección de acarreo de Sur a Norte.

6. A partir del muestreo de arena obtenida en sitio de 3 puntos diferentes de la Playa de Lechuguillas se obtuvo el  $D_{50}$  promedio de las tres diferentes zonas (Berma, estrán y sumergida) igual a 0.372 milímetros.
7. Con base en el  $D_{50}= 0.372$  mm de la arena de la Playa de Lechuguillas se graficó la forma monoparabólica de Dean (1977) del perfil natural de la playa representado por la ecuación  $h_N = (0.1394) x^{\frac{2}{3}}$ .
8. El perfil monoparabólico de Dean de la playa regenerada se obtuvo proponiendo un  $D_{50}$  de relleno ( $D_{50}=0.45$  mm) mayor al  $D_{50}$  natural de la playa ( $D_{50}=0.372$  mm) con un incremento de 25 metros con dirección a mar adentro. Se observó que con el  $D_{50}$  propuesto ambos perfiles logran interactuar a una profundidad de 4.36 metros y dicho perfil queda representado por la ecuación  $h_F = 0.153 x'^{\frac{2}{3}}$ .
9. El volumen necesario para regenerar 25 metros de playa nueva, sin contar la zona de berma, es de 98,399.1 m<sup>3</sup>.
10. Con la información otorgada por los biólogos de la CONANP se obtuvo la demanda de tortugas *Chelonia mydas* y *Lepidochelys kempii* que arriban a la playa de Lechuguillas en promedio por año que es del orden de  $0.0107 \frac{\text{nidos}}{\text{m}^2}$  y  $0.0006 \frac{\text{nidos}}{\text{m}^2}$ , respectivamente.
11. El uso de una herramienta geomática moderna como es el dron proporcionó imágenes actuales de la Playa de Lechuguillas las cuales sirvieron para obtener posibles causas locales de la erosión de la playa y para la propuesta de regeneración, además que el procesamiento de dichas imágenes permitió obtener el perfil de elevación del terreno en zona de berma de la playa y con esto plantear alternativas de regeneración en esta zona.
12. La falta de información libre con respecto al clima marítimo y batimetría cercana a la costa que cuenta nuestro país fueron grandes limitantes en el desarrollo de esta tesis por lo que se optó por utilizar información de una boya estadounidense y se recurrió a realizar batimetría extrapolada con la batimetría proporcionada por INEGI. Esto último conlleva a no tener un resultado verídico en su totalidad ya que, si bien la batimetría obtenida a través de una extrapolación se ajusta correctamente a la línea de costa no deja de ser una información tomada en sitio lo cual puede provocar incertidumbre al momento de analizar diferentes resultados.

13. Se requiere que el país cuente con información técnica de libre acceso y descarga en temas portuarios y costeros (información de clima marítimo obtenido a través de boyas en altamar e información batimétrica a detalle) con la finalidad de poder generar proyectos o anteproyectos confiables en temas costeros.
  
14. Los resultados obtenidos en esta tesis tienen gran relevancia para temas de conservación de especies de tortugas marinas en todo el litoral mexicano y puede servir de referencia a muchas dependencias, secretarías, asociaciones civiles, etcétera que tengan como objetivo este tema. Además, los resultados técnicos obtenidos en la metodología pueden ser de gran utilidad para cualquier proyecto costero que se pretenda realizar en la zona del Golfo de México, especialmente los cercanos a la Playa de Lechuguillas.

## 7 Referencias bibliográficas

1. Macdonel Martínez Guillermo, P. V. Julio, P. O. Juan, L. G. Héctor 1999, "*Ingeniería Marítima Portuaria*", Primera edición: Alfaomega Grupo Editor, México.
2. Frías Valdez Armando, M. C. Gonzalo, "*Ingeniería de Costas*", Editorial Limusa.
3. Robert G. Dean, 2002, "*Beach Nourishment. Theory and Parctice*", publicado por World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
4. T. Hudspeth Robert, 2006, "*Waves and wave forces on coastal and ocean structures*", Publicado: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. OregonState University, USA.
5. Puertos del Estado, "*Clima medio de oleaje*", Publicado: Banco de datos oceanográficos de Puertos del Estado, España. 2006.
6. Puertos del Estado, "*Extremos máximos de oleaje*", Publicado: Banco de datos oceanográficos de Puertos del Estado, España. 2006.
7. Bruun Per, "*Port Engieneering*", Volumen 1, cuarta edición.
8. R. Silvester, 1974, "*Coastal Engineering, 1*", Elsevier Scientific Publishing Company, Depatmaent of Civil Engineering, University of Western Australia, Nedlands, W.W., Australia.
9. R. Silvester, 1974, "*Coastal Engineering, 2*", Elsevier Scientific Publishing Company, Depatmaent of Civil Engineering, University of Western Australia, Nedlands, W.W., Australia.
10. Garnica Miranda Raúl, 2008, "*Modelo Matemático de los Fenómenos que Modifican el Oleaje. Aplicación a las Obras de Protección de la Central Núcleo Eléctrica Laguna Verde (CNLV)*", Tesis de Maestría en Ciencias con Especialidad en Hidráulica, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco.

11. Lizano R. Omar G., 2003, *“Técnicas de pronóstico de oleaje para las costas de Costa Rica”*, Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica, Instituto Meteorológico Nacional.
12. Secretaria de Comunicación y Transportes (STC), 1982, *“Estudios Físicos y Experimentales Puerto Industrial Tuxpan, Ver.”* Elaborado por Consultoría Técnica, S.C. para la SCT.
13. Departamento de Pesca, 1980, *“Estudio Integral Para el Desarrollo del Sistema Estuarino del Río Papaloapan”*.
14. Apuntes Universitat Politecnica de Catalunya, *“Oleaje, Popagación”*, Ingeniería de Costes (EG).
15. Universidad de Cantabria, documento temático, *“Regeneración de playas”*, Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas.
16. Apuntes de Ingeniería de Costas, Universidad de Cantabria, *“Metodología de Diseño y Regeneración de Playas”*.
17. Secretaría Pro Tempore de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT), 2005, *“Tortuga Lora (Lepidochelys kempii)”*, San José, Costa Rica.
18. Secretaría Pro Tempore de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT), 2005, *“Tortuga Verde (Chelonia mydas)”*, San José, Costa Rica.
19. SEMARNAT, NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.
20. SEMARNAT, NORMA Oficial Mexicana NOM-162-SEMARNAT-2012.
21. Ramírez Morales Juan Carlos, 2009, *“Proyecto de regeneración de las playas de el Rinconcillo y Palmones T.T.M.M. de Algeciras y Los Barrios (Cádiz)”*, Tesis de titulación de Ingeniería técnica de Obras Públicas, especialidad Construcciones Civiles, Universidad de Cádiz, Escuela Superior Politécnica de Algeciras, España.
22. Prointec, 2005, *“Estudio batimétrico y dinámica litoral de las playas del Rinconcillo y Palmones T.T.M.M. de Algeciras y Los Barrios”*, Ministerio del

medio ambiente, Dirección General de Costas, Demarcación de Costas Andalucía-Atlántico.

23. Rosales (2005), *“Transmisión del oleaje irregular en rompeolas superficiales permeables a talud”*, Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U. Z., México D. F.
24. Apuntes Universidad de Cádiz, *“Teoría de ondas”, “Previsión del oleaje”, “Regímenes de oleaje y temporales”, “Dinámica litoral”, “Altura de ola de cálculo”*, Ingeniería en Puertos y Costas, Ingeniería Civil, Escuela Superior Politécnica de Algeciras, Cádiz, España.
25. National Data Bouy Center, Información de la boya *“Station 42055 (LLNR 1122) - BAY OF CAMPECHE - 214 NM NE OF Veracruz, MX.”*, información obtenida desde del 2005 hasta 2015 de National Oceanic and Atmospheric Administration's Sitio web:  
[http://www.ndbc.noaa.gov/station\\_history.php?station=42055](http://www.ndbc.noaa.gov/station_history.php?station=42055).
26. INEGI, *“Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Vega de Alatorre, Veracruz Ignacio de la Llave”*, 2009.



## 8 Anexos

### 8.1 Plan de vuelo de dron

# Quality Report



Generated with Pix4Dmapper Pro version 3.2.23

**Important:** Click on the different icons for:

- Help to analyze the results in the Quality Report
- Additional information about the sections

Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

#### Summary

Project	LECHUGUILLAS 3
Processed	2017-06-29 23:45:13
Camera Model Name(s)	FC330_3.6_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	5,11 cm / 2,01 in
Area Covered	0.5364 km <sup>2</sup> / 53.6353 ha / 0.2072 sq. mi. / 132.604 acres
Time for Initial Processing (without report)	58m.08s

#### Quality Check

Images	median of 39250 keypoints per image	
Dataset	194 out of 194 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	38,12% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 8642,34 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, no 3D GCP	

#### Preview



Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

# Calibration Details



Number of Calibrated Images	194 out of 194
Number of Geolocated Images	194 out of 194

## Initial Image Positions

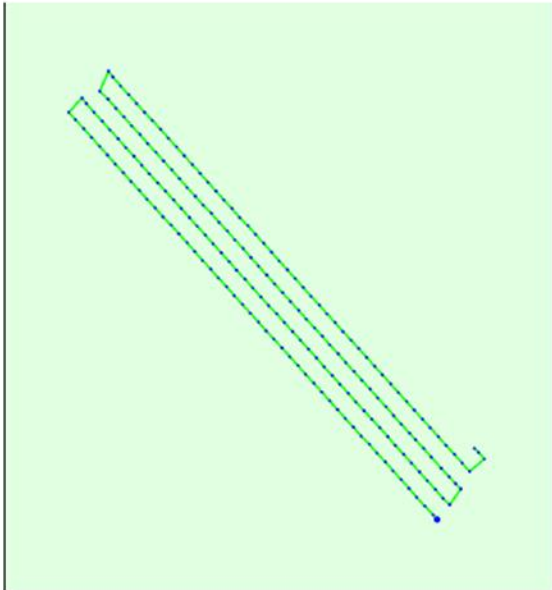


Figure 2: Top view of the initial image position, The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

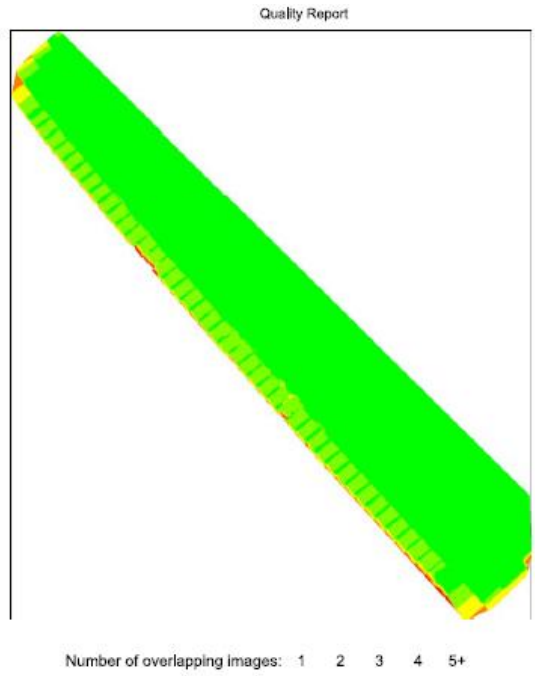
## Absolute camera position and orientation uncertainties



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0,798	0,803	1,861	0,540	0,690	0,116
Sigma	0,175	0,175	0,410	0,040	0,032	0,020

## Overlap





**Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic.** Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

## Bundle Block Adjustment Details

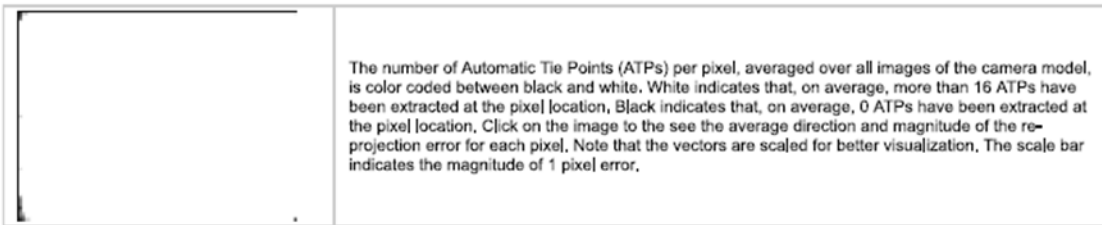
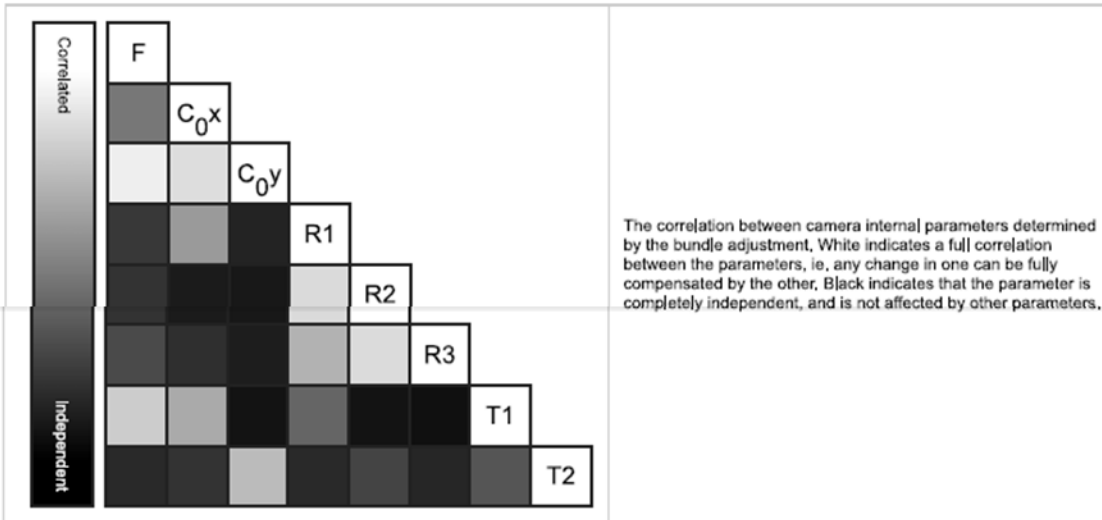
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	1815803
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	638873
Mean Reprojection Error [pixels]	0.201

### Internal Camera Parameters

FC330\_3.6\_4000x3000 (RGB), Sensor Dimensions: 6,317 [mm] x 4,738 [mm]

EXIF ID: FC330\_3.6\_4000x3000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	2285,722 [pixel] 3,610 [mm]	2000,006 [pixel] 3,159 [mm]	1500,003 [pixel] 2,369 [mm]	-0,001	-0,002	0,000	-0,001	-0,001
Optimized Values	3157,146 [pixel] 4,986 [mm]	1863,826 [pixel] 2,944 [mm]	1428,998 [pixel] 2,257 [mm]	-0,017	0,022	0,028	-0,006	0,002
Uncertainties (Sigma)	17,251 [pixel] 0,027 [mm]	3,459 [pixel] 0,005 [mm]	3,489 [pixel] 0,006 [mm]	0,001	0,003	0,003	0,000	0,000



### 2D Keypoints Table

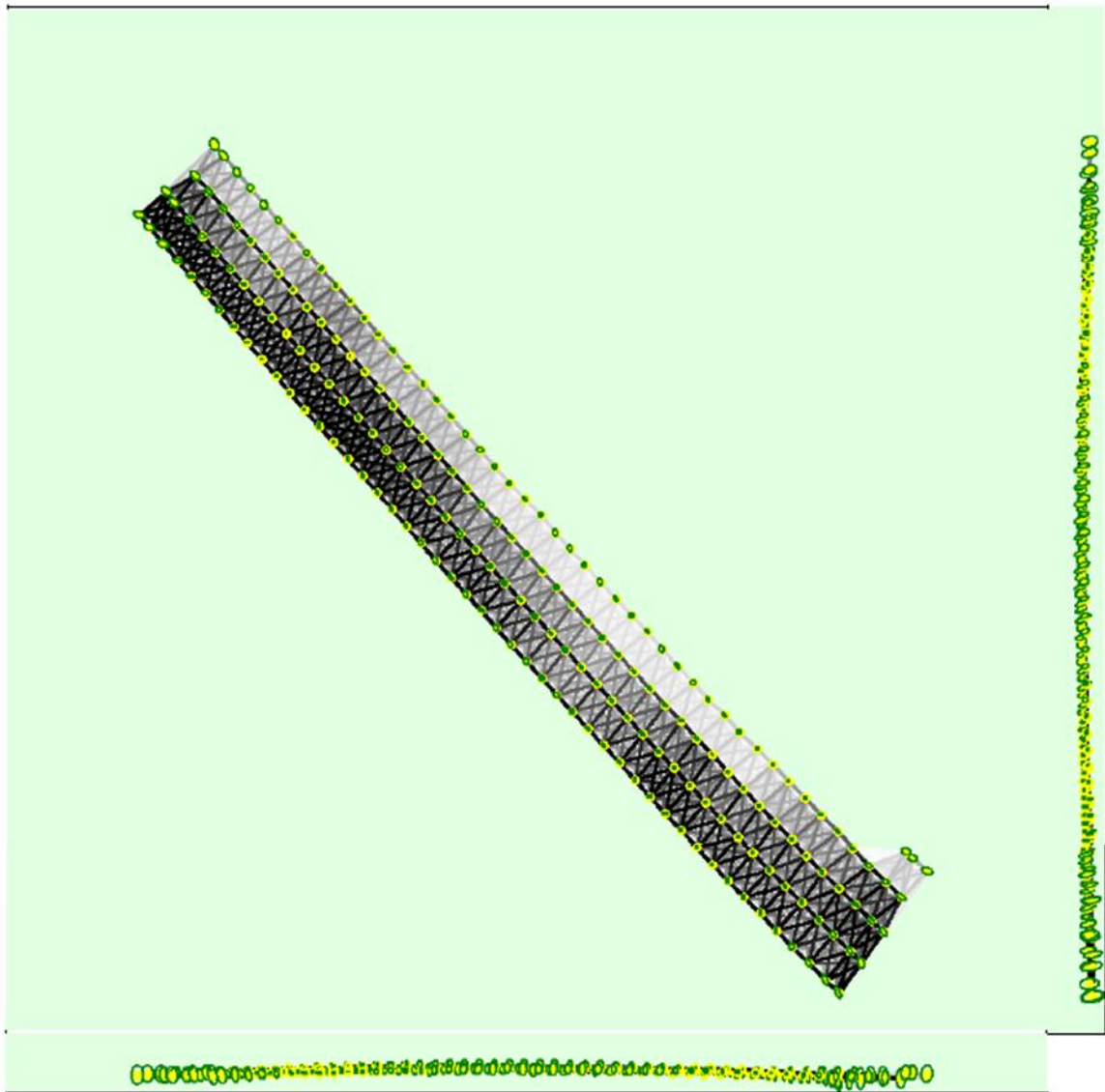
	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	39250	8642
Min	31950	1076
Max	45615	20189
Mean	39082	9360

3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	410677
In 3 Images	111660
In 4 Images	49503
In 5 Images	22755
In 6 Images	14418
In 7 Images	10264
In 8 Images	7217
In 9 Images	3979
In 10 Images	2924
In 11 Images	2351
In 12 Images	1545
In 13 Images	675
In 14 Images	445
In 15 Images	265
In 16 Images	159
In 17 Images	34
In 18 Images	2

2D Keypoint Matches



Uncertainty ellipses 10x magnified

85

Number of matches

25 222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

## ? Relative camera position and orientation uncertainties



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.407	0.428	0.671	0.148	0.134	0.082
Sigma	0.182	0.189	0.368	0.064	0.048	0.038

## Geolocation Details



### ? Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15,00	10,31	0,00	0,00
-15,00	-12,00	4,12	0,00	0,00
-12,00	-9,00	6,19	0,00	0,00
-9,00	-6,00	8,25	18,04	18,04
-6,00	-3,00	7,73	17,01	10,31
-3,00	0,00	6,70	11,34	24,23
0,00	3,00	10,31	26,80	18,56
3,00	6,00	16,49	14,95	12,89
6,00	9,00	10,31	7,22	10,82
9,00	12,00	8,76	3,09	5,15
12,00	15,00	10,82	1,55	0,00
15,00	-	0,00	0,00	0,00
<b>Mean [m]</b>		-0,000286	-0,000089	0,002861
<b>Sigma [m]</b>		9,534074	5,126438	5,324308
<b>RMS Error [m]</b>		9,534074	5,126438	5,324309

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1,5 and 1,5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

### ? Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	31,96	58,25	97,42
[-2.00, 2.00]	64,95	95,88	100,00
[-3.00, 3.00]	89,69	100,00	100,00
<b>Mean of Geolocation Accuracy [m]</b>	5,000000	5,000000	10,000000
<b>Sigma of Geolocation Accuracy [m]</b>	0,000000	0,000000	0,000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	4,724
Phi	1,971
Kappa	3,431

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

## Initial Processing Details



### System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i5-6200U CPU @ 2.30GHz RAM: 4GB GPU: Intel(R) HD Graphics 520 (Driver: 21.20.16.4590)
Operating System	Windows 10 Home Single Language, 64-bit

### Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS84 (egm96)
Output Coordinate System	WGS84 / UTM zone 14N (egm96)

### Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic

Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Lever-Arm Parameters Optimization: None Rematch: Auto, yes Bundle Adjustment: Classic
-----------------------	---

## Point Cloud Densification details



### Processing Options



Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
Advanced: Matching Window Size	7x7 pixels
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Advanced: Limit Camera Depth Automatically	no
Time for Point Cloud Densification	35m:40s

### Results



Number of Processed Clusters	8
Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	10245376
Average Density (per m <sup>3</sup> )	22,74

## DSM, Orthomosaic and Index Details



### Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (5,11 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	36m:05s
Time for Orthomosaic Generation	02h:49m:35s



## 8.2 Características geométricas de la playa

### Características Geométricas de la Playa



#### SIMBOLOGÍA

-  Centro Tortuguero
-  Area de Estudio 43263.193 m<sup>2</sup>

Coordinate System: WGS 1984 UTM zone 14N  
Projection: Transverse Mercator  
Datum: WGS 1984  
false easting: 500,000.0000  
false northing: 0.0000  
central meridian: -99.0000  
scale factor: 0.9996  
latitude of origin: 0.0000  
Units: Meter



1:8,000



### 8.3 Planta de la playa con puntos de muestreo de arena

## Estaciones de muestreo de arena



#### SIMBOLOGÍA

-  PUNTOS DE MUESTREO ESTACIÓN 3
-  PUNTOS DE MUESTREO ESTACIÓN 2
-  PUNTOS DE MUESTREO ESTACIÓN 1
-  CENTRO TORTUGUERO
-  AREA DE ESTUDIO



1:8,000






## 8.4 Estación E01 de muestreo de arena


### Estación 01 de muestreo de arena




**SIMBOLOGÍA**

 Puntos de Muestreo Estación 1

PUNTO	X(M)	Y(M)
E01-1	753465.544	2214017.259
E01-2	753471.989	2214025.212
E01-3	753479.256	2214032.616




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



INGENIERÍA

**1:400**



0 5 10 20 30  
Metros



## 8.5 Estación E02 de muestreo de arena

### Estación 02 de muestreo de arena



#### SIMBOLOGÍA

 Puntos de Muestreo Estación 3

PUNTO	X	Y
E02-1	753118.617	2214370.783
E02-2	753136.079	2214385.600
E02-3	753155.526	2214400.284



1:400





## 8.6 Estación E03 de muestro de arena

### Estación 03 de muestreo de arena



Centro Tortugero



Puntos de Muestreo Estación 3

PUNTO	X (M)	Y (M)
E03-1	752638.794	2214954.993
E03-2	752654.457	2214966.211
E03-3	752668.427	2214979.335



1:400





## 8.7 Tabla de parámetros referenciados a la profundidad relativa $\frac{d}{L_0}$ en profundidades indefinidas

Tabla 8.0. Parámetros referenciados a la profundidad relativa  $\frac{d}{L_0}$  en profundidades indefinidas. Fuente: Apuntes U. de Cádiz, 2016.

$d/L_0$	$d/L$	$2\pi d/L$	TANH $2\pi d/L$	SINH $2\pi d/L$	COSH $2\pi d/L$	$H/H_0$	K	$4\pi d/L$	SINH $4\pi d/L$	COSH $4\pi d/L$	n	$C_G/C_0$	M
.005000	.03110	.1954	.1929	.1967	1.0192	1.620	.9812	.3908	.4008	1.077	.9875	.1905	133
.006100	.03136	.1970	.1945	.1983	1.0195	1.614	.9809	.3921	.4044	1.079	.9873	.1920	130
.006200	.03162	.1987	.1961	.2000	1.0198	1.607	.9806	.3973	.4079	1.080	.9871	.1935	128
.006300	.03188	.2003	.1976	.2016	1.0201	1.601	.9803	.4006	.4114	1.081	.9869	.1950	126
.006400	.03213	.2019	.1992	.2033	1.0205	1.595	.9799	.4038	.4148	1.083	.9867	.1965	124
.006500	.03238	.2035	.2007	.2049	1.0208	1.589	.9796	.4070	.4183	1.084	.9865	.1980	123
.006600	.03264	.2051	.2022	.2065	1.0211	1.583	.9793	.4101	.4217	1.085	.9863	.1994	121
.006700	.03289	.2066	.2037	.2081	1.0214	1.578	.9790	.4133	.4251	1.087	.9860	.2009	119
.006800	.03313	.2082	.2052	.2097	1.0217	1.572	.9787	.4164	.4285	1.088	.9858	.2023	117
.006900	.03338	.2097	.2067	.2113	1.0221	1.567	.9784	.4195	.4319	1.089	.9856	.2037	116
.007000	.03362	.2113	.2082	.2128	1.0224	1.561	.9781	.4225	.4352	1.091	.9854	.2051	114
.007100	.03387	.2128	.2096	.2144	1.0227	1.556	.9778	.4256	.4386	1.092	.9852	.2065	112
.007200	.03411	.2143	.2111	.2160	1.0231	1.551	.9774	.4286	.4419	1.093	.9850	.2079	111
.007300	.03435	.2158	.2125	.2175	1.0234	1.546	.9771	.4316	.4452	1.095	.9848	.2093	109
.007400	.03459	.2173	.2139	.2190	1.0237	1.541	.9768	.4346	.4484	1.096	.9846	.2106	108
.007500	.03482	.2188	.2154	.2205	1.0240	1.536	.9765	.4376	.4517	1.097	.9844	.2120	106
.007600	.03506	.2203	.2168	.2221	1.0244	1.531	.9762	.4406	.4549	1.099	.9842	.2134	105
.007700	.03529	.2218	.2182	.2236	1.0247	1.526	.9759	.4435	.4582	1.100	.9840	.2147	104
.007800	.03552	.2232	.2196	.2251	1.0250	1.521	.9756	.4464	.4614	1.101	.9838	.2160	102
.007900	.03576	.2247	.2209	.2265	1.0253	1.517	.9753	.4493	.4646	1.103	.9836	.2173	101
.008000	.03598	.2261	.2223	.2280	1.0257	1.512	.9750	.4522	.4678	1.104	.9834	.2186	100
.008100	.03621	.2275	.2237	.2295	1.0260	1.508	.9747	.4551	.4709	1.105	.9832	.2199	98.6
.008200	.03644	.2290	.2250	.2310	1.0263	1.503	.9744	.4579	.4741	1.107	.9830	.2212	97.5
.008300	.03666	.2304	.2264	.2324	1.0266	1.499	.9741	.4607	.4772	1.108	.9827	.2225	96.3
.008400	.03689	.2318	.2277	.2338	1.0270	1.495	.9737	.4636	.4803	1.109	.9825	.2237	95.2
.008500	.03711	.2332	.2290	.2353	1.0273	1.491	.9734	.4664	.4834	1.111	.9823	.2250	94.1
.008600	.03733	.2346	.2303	.2367	1.0276	1.487	.9731	.4691	.4865	1.112	.9821	.2262	93.0
.008700	.03755	.2360	.2317	.2381	1.0280	1.482	.9728	.4719	.4896	1.113	.9819	.2275	91.9
.008800	.03777	.2373	.2330	.2396	1.0283	1.478	.9725	.4747	.4927	1.115	.9817	.2287	90.9
.008900	.03799	.2387	.2343	.2410	1.0286	1.474	.9722	.4774	.4957	1.116	.9815	.2300	89.9
.009000	.03821	.2401	.2356	.2424	1.0290	1.471	.9718	.4801	.4988	1.118	.9813	.2312	88.9
.009100	.03842	.2414	.2368	.2438	1.0293	1.467	.9715	.4828	.5018	1.119	.9811	.2324	88.0
.009200	.03864	.2428	.2381	.2452	1.0296	1.463	.9712	.4855	.5049	1.120	.9809	.2336	87.1
.009300	.03885	.2441	.2394	.2465	1.0299	1.459	.9709	.4882	.5079	1.122	.9807	.2348	86.1
.009400	.03906	.2455	.2407	.2479	1.0303	1.456	.9706	.4909	.5109	1.123	.9805	.2360	85.2
.009500	.03928	.2468	.2419	.2493	1.0306	1.452	.9703	.4936	.5138	1.124	.9803	.2371	84.3
.009600	.03949	.2481	.2431	.2507	1.0309	1.448	.9700	.4962	.5168	1.126	.9801	.2383	83.5
.009700	.03970	.2494	.2443	.2520	1.0313	1.445	.9697	.4988	.5198	1.127	.9799	.2394	82.7
.009800	.03990	.2507	.2456	.2534	1.0316	1.442	.9694	.5014	.5227	1.128	.9797	.2406	81.8
.009900	.04011	.2520	.2468	.2547	1.0319	1.438	.9691	.5040	.5257	1.130	.9794	.2417	81.0
.01000	.04032	.2533	.2480	.2560	1.0322	1.435	.9688	.5066	.5286	1.131	.9792	.2429	80.2
.01100	.04233	.2660	.2598	.2691	1.0356	1.403	.9656	.5319	.5574	1.145	.9772	.2539	73.1
.01200	.04426	.2781	.2711	.2817	1.0389	1.375	.9625	.5562	.5853	1.159	.9751	.2643	67.1
.01300	.04612	.2898	.2820	.2938	1.0423	1.350	.9594	.5795	.6125	1.173	.9731	.2743	62.1
.01400	.04791	.3010	.2924	.3056	1.0456	1.327	.9564	.6020	.6391	1.187	.9710	.2838	57.8
.01500	.04964	.3119	.3022	.3170	1.0490	1.307	.9533	.6238	.6651	1.201	.9690	.2928	54.0
.01600	.05132	.3225	.3117	.3281	1.0524	1.288	.9502	.6450	.6906	1.215	.9670	.3011	50.8
.01700	.05296	.3328	.3209	.3389	1.0559	1.271	.9471	.6655	.7158	1.230	.9649	.3096	47.9
.01800	.05455	.3428	.3298	.3495	1.0593	1.255	.9440	.6856	.7405	1.244	.9629	.3176	45.3
.01900	.05611	.3525	.3386	.3599	1.0628	1.240	.9409	.7051	.7650	1.259	.9609	.3253	43.0

.02000	.05763	.3621	.3470	.3701	1.0663	1.226	.9378	.7242	.7891	1.274	.9588	.3327	41.0
.02100	.05912	.3714	.3552	.3800	1.0698	1.213	.9348	.7429	.8131	1.289	.9568	.3399	39.1
.02200	.06057	.3806	.3632	.3898	1.0733	1.201	.9317	.7612	.8368	1.304	.9548	.3468	37.4
.02300	.06200	.3896	.3710	.3995	1.0768	1.189	.9287	.7791	.8603	1.319	.9528	.3535	35.9
.02400	.06340	.3984	.3786	.4090	1.0804	1.178	.9256	.7967	.8837	1.335	.9508	.3600	34.4
.02500	.06478	.4070	.3860	.4184	1.0840	1.168	.9225	.8140	.9069	1.350	.9488	.3662	33.1
.02600	.06613	.4155	.3932	.4276	1.0876	1.159	.9195	.8310	.9310	1.366	.9468	.3722	31.9
.02700	.06747	.4239	.4002	.4367	1.0912	1.150	.9164	.8478	.9530	1.381	.9448	.3781	30.8
.02800	.06878	.4322	.4071	.4457	1.0949	1.141	.9133	.8643	.9760	1.397	.9428	.3838	29.8
.02900	.07007	.4403	.4138	.4546	1.0985	1.133	.9103	.8805	.9988	1.413	.9408	.3893	28.8
.03000	.07135	.4483	.4205	.4634	1.1021	1.125	.9073	.8966	1.022	1.430	.9388	.3947	27.9
.03100	.07260	.4562	.4269	.4721	1.1059	1.118	.9042	.9124	1.044	1.446	.9369	.4000	27.1
.03200	.07385	.4640	.4333	.4808	1.1096	1.111	.9012	.9280	1.067	1.462	.9349	.4051	26.3
.03300	.07507	.4717	.4395	.4894	1.1133	1.104	.8982	.9434	1.090	1.479	.9329	.4100	25.6
.03400	.07630	.4794	.4457	.4980	1.1171	1.098	.8952	.9588	1.113	1.496	.9309	.4149	24.8
.03500	.07748	.4868	.4517	.5064	1.1209	1.092	.8921	.9737	1.135	1.513	.9289	.4196	24.19
.03600	.07867	.4943	.4577	.5147	1.1247	1.086	.8891	.9886	1.158	1.530	.9270	.4242	23.56
.03700	.07984	.5017	.4635	.5230	1.1285	1.080	.8861	1.003	1.180	1.547	.9250	.4287	22.97
.03800	.08100	.5090	.4691	.5312	1.1324	1.075	.8831	1.018	1.203	1.564	.9230	.4330	22.42
.03900	.08215	.5162	.4747	.5394	1.1362	1.069	.8801	1.032	1.226	1.582	.9211	.4372	21.90
.04000	.08329	.5233	.4802	.5475	1.1401	1.064	.8771	1.047	1.248	1.600	.9192	.4414	21.40
.04100	.08442	.5304	.4857	.5556	1.1440	1.059	.8741	1.061	1.271	1.617	.9172	.4455	20.92
.04200	.08553	.5374	.4911	.5637	1.1479	1.055	.8711	1.075	1.294	1.636	.9153	.4495	20.46
.04300	.08664	.5444	.4964	.5717	1.1518	1.050	.8681	1.089	1.317	1.654	.9133	.4534	20.03
.04400	.08774	.5513	.5015	.5796	1.1558	1.046	.8652	1.103	1.340	1.672	.9114	.4571	19.62
.04500	.08883	.5581	.5066	.5876	1.1599	1.042	.8621	1.116	1.363	1.691	.9095	.4607	19.23
.04600	.08991	.5649	.5116	.5954	1.1639	1.038	.8592	1.130	1.386	1.709	.9076	.4643	18.85
.04700	.09098	.5717	.5166	.6033	1.1679	1.034	.8562	1.143	1.409	1.728	.9057	.4679	18.49
.04800	.09205	.5784	.5215	.6111	1.1720	1.030	.8532	1.157	1.433	1.747	.9037	.4713	18.15
.04900	.09311	.5850	.5263	.6189	1.1760	1.026	.8503	1.170	1.456	1.766	.9018	.4746	17.82
.05000	.09416	.5916	.5310	.6267	1.1802	1.023	.8473	1.183	1.479	1.786	.8999	.4779	17.50
.05100	.09520	.5981	.5357	.6344	1.1843	1.019	.8444	1.196	1.503	1.805	.8980	.4811	17.19
.05200	.09623	.6046	.5403	.6421	1.1884	1.016	.8415	1.209	1.526	1.825	.8961	.4842	16.90
.05300	.09726	.6111	.5449	.6499	1.1926	1.013	.8385	1.222	1.550	1.845	.8943	.4873	16.62
.05400	.09829	.6176	.5494	.6575	1.1968	1.010	.8356	1.235	1.574	1.865	.8924	.4903	16.35
.05500	.09930	.6239	.5538	.6652	1.2011	1.007	.8326	1.248	1.598	1.885	.8905	.4932	16.09
.05600	.1003	.6303	.5582	.6729	1.2053	1.004	.8297	1.261	1.622	1.906	.8886	.4960	15.84
.05700	.1013	.6366	.5626	.6805	1.2096	1.001	.8267	1.273	1.646	1.926	.8867	.4988	15.60
.05800	.1023	.6428	.5668	.6880	1.2138	.9985	.8239	1.286	1.670	1.947	.8849	.5015	15.36
.05900	.1033	.6491	.5711	.6956	1.2181	.9958	.8209	1.298	1.695	1.968	.8830	.5042	15.13
.06000	.1043	.6553	.5753	.7033	1.2225	.9932	.8180	1.311	1.719	1.989	.8811	.5068	14.91
.06100	.1053	.6616	.5794	.7110	1.2270	.9907	.8150	1.323	1.744	2.011	.8792	.5094	14.70
.06200	.1063	.6678	.5834	.7187	1.2315	.9883	.8121	1.336	1.770	2.033	.8773	.5119	14.50
.06300	.1073	.6739	.5874	.7256	1.2355	.9860	.8093	1.348	1.795	2.055	.8755	.5143	14.30
.06400	.1082	.6799	.5914	.7335	1.2402	.9837	.8063	1.360	1.819	2.076	.8737	.5167	14.11
.06500	.1092	.6860	.5954	.7411	1.2447	.9815	.8035	1.372	1.845	2.098	.8719	.5191	13.92
.06600	.1101	.6920	.5993	.7486	1.2492	.9793	.8005	1.384	1.870	2.121	.8700	.5214	13.74
.06700	.1111	.6981	.6031	.7561	1.2537	.9772	.7977	1.396	1.896	2.144	.8682	.5236	13.57
.06800	.1120	.7037	.6069	.7633	1.2580	.9752	.7948	1.408	1.921	2.166	.8664	.5258	13.40
.06900	.1130	.7099	.6106	.7711	1.2628	.9732	.7919	1.420	1.948	2.189	.8646	.5279	13.24
.07000	.1139	.7157	.6144	.7783	1.2672	.9713	.7890	1.432	1.974	2.213	.8627	.5300	13.08
.07100	.1149	.7219	.6181	.7863	1.2721	.9694	.7861	1.444	2.000	2.236	.8609	.5321	12.92
.07200	.1158	.7277	.6217	.7937	1.2767	.9676	.7833	1.455	2.026	2.260	.8591	.5341	12.77
.07300	.1168	.7336	.6252	.8011	1.2813	.9658	.7804	1.467	2.053	2.284	.8572	.5360	12.62
.07400	.1177	.7395	.6289	.8088	1.2861	.9641	.7775	1.479	2.080	2.308	.8554	.5380	12.48
.07500	.1186	.7453	.6324	.8162	1.2908	.9624	.7747	1.490	2.107	2.332	.8537	.5399	12.34
.07600	.1195	.7511	.6359	.8237	1.2956	.9607	.7719	1.502	2.135	2.357	.8519	.5417	12.21
.07700	.1205	.7569	.6392	.8312	1.3004	.9591	.7690	1.514	2.162	2.382	.8501	.5435	12.08
.07800	.1214	.7625	.6427	.8386	1.3051	.9576	.7662	1.525	2.189	2.407	.8483	.5452	11.95
.07900	.1223	.7683	.6460	.8462	1.3100	.9562	.7634	1.537	2.217	2.432	.8465	.5469	11.83





.1500	.1833	1.152	.8183	1.424	1.740	.9133	.5748	2.303	4.954	5.054	.7325	.5994	7.369
.1510	.1841	1.157	.8200	1.433	1.747	.9133	.5723	2.314	5.007	5.106	.7311	.5994	7.339
.1520	.1850	1.162	.8217	1.442	1.755	.9132	.5699	2.324	5.061	5.159	.7296	.5995	7.309
.1530	.1858	1.167	.8234	1.451	1.762	.9132	.5675	2.335	5.115	5.212	.7282	.5996	7.279
.1540	.1866	1.173	.8250	1.460	1.770	.9132	.5651	2.345	5.169	5.265	.7268	.5996	7.250
.1550	.1875	1.178	.8267	1.469	1.777	.9131	.5627	2.356	5.225	5.320	.7254	.5997	7.221
.1560	.1883	1.183	.8284	1.479	1.785	.9130	.5602	2.366	5.283	5.376	.7240	.5998	7.191
.1570	.1891	1.188	.8301	1.488	1.793	.9129	.5577	2.377	5.339	5.432	.7226	.5999	7.162
.1580	.1900	1.194	.8317	1.498	1.801	.9130	.5552	2.387	5.398	5.490	.7212	.5998	7.134
.1590	.1908	1.199	.8333	1.507	1.809	.9130	.5528	2.398	5.454	5.544	.7198	.5998	7.107
.1600	.1917	1.204	.8349	1.517	1.817	.9130	.5504	2.408	5.513	5.603	.7184	.5998	7.079
.1610	.1925	1.209	.8365	1.527	1.825	.9130	.5480	2.419	5.571	5.660	.7171	.5998	7.052
.1620	.1933	1.215	.8381	1.536	1.833	.9130	.5456	2.429	5.630	5.718	.7157	.5998	7.026
.1630	.1941	1.220	.8396	1.546	1.841	.9130	.5432	2.440	5.690	5.777	.7144	.5998	7.000
.1640	.1950	1.225	.8411	1.555	1.849	.9130	.5409	2.450	5.751	5.837	.7130	.5998	6.975
.1650	.1958	1.230	.8427	1.565	1.857	.9131	.5385	2.461	5.813	5.898	.7117	.5997	6.949
.1660	.1966	1.235	.8442	1.574	1.865	.9132	.5362	2.471	5.874	5.959	.7103	.5996	6.924
.1670	.1975	1.240	.8457	1.584	1.873	.9132	.5339	2.482	5.938	6.021	.7090	.5996	6.900
.1680	.1983	1.246	.8472	1.594	1.882	.9133	.5315	2.492	6.003	6.085	.7076	.5995	6.876
.1690	.1992	1.251	.8486	1.604	1.890	.9133	.5291	2.503	6.066	6.148	.7063	.5994	6.853
.1700	.2000	1.257	.8501	1.614	1.899	.9134	.5267	2.513	6.130	6.212	.7050	.5993	6.830
.1710	.2008	1.262	.8515	1.624	1.907	.9135	.5243	2.523	6.197	6.275	.7036	.5992	6.807
.1720	.2017	1.267	.8529	1.634	1.915	.9136	.5220	2.534	6.262	6.342	.7023	.5991	6.784
.1730	.2025	1.272	.8544	1.644	1.924	.9137	.5197	2.544	6.329	6.407	.7010	.5989	6.761
.1740	.2033	1.277	.8558	1.654	1.933	.9138	.5174	2.555	6.395	6.473	.6997	.5988	6.738
.1750	.2042	1.282	.8572	1.664	1.941	.9139	.5151	2.565	6.465	6.541	.6984	.5987	6.716
.1760	.2050	1.288	.8586	1.675	1.951	.9140	.5127	2.576	6.534	6.610	.6971	.5985	6.694
.1770	.2058	1.293	.8600	1.685	1.959	.9141	.5104	2.586	6.603	6.679	.6958	.5984	6.672
.1780	.2066	1.298	.8614	1.695	1.968	.9142	.5081	2.597	6.672	6.747	.6946	.5982	6.651
.1790	.2075	1.304	.8627	1.706	1.977	.9144	.5058	2.607	6.744	6.818	.6933	.5980	6.631
.1800	.2083	1.309	.8640	1.716	1.986	.9145	.5036	2.618	6.818	6.891	.6920	.5979	6.611
.1810	.2092	1.314	.8653	1.727	1.995	.9146	.5013	2.629	6.890	6.963	.6907	.5977	6.591
.1820	.2100	1.320	.8666	1.737	2.004	.9148	.4990	2.639	6.963	7.035	.6895	.5975	6.571
.1830	.2108	1.325	.8680	1.748	2.013	.9149	.4967	2.650	7.038	7.109	.6882	.5974	6.550
.1840	.2117	1.330	.8693	1.758	2.022	.9150	.4945	2.660	7.113	7.183	.6870	.5972	6.530
.1850	.2125	1.335	.8706	1.769	2.032	.9152	.4922	2.671	7.191	7.260	.6857	.5969	6.511
.1860	.2134	1.341	.8718	1.780	2.041	.9154	.4899	2.681	7.267	7.336	.6845	.5967	6.492
.1870	.2142	1.346	.8731	1.791	2.051	.9155	.4876	2.692	7.345	7.412	.6832	.5965	6.474
.1880	.2150	1.351	.8743	1.801	2.060	.9157	.4854	2.702	7.421	7.488	.6820	.5963	6.456
.1890	.2159	1.356	.8755	1.812	2.070	.9159	.4832	2.712	7.500	7.566	.6808	.5961	6.438
.1900	.2167	1.362	.8767	1.823	2.079	.9161	.4809	2.723	7.581	7.647	.6796	.5958	6.421
.1910	.2176	1.367	.8779	1.834	2.089	.9163	.4787	2.734	7.663	7.728	.6784	.5955	6.403
.1920	.2184	1.372	.8791	1.845	2.099	.9165	.4765	2.744	7.746	7.810	.6772	.5952	6.385
.1930	.2192	1.377	.8803	1.856	2.108	.9167	.4743	2.755	7.827	7.891	.6760	.5950	6.368
.1940	.2201	1.383	.8815	1.867	2.118	.9169	.4721	2.765	7.911	7.974	.6748	.5948	6.351
.1950	.2209	1.388	.8827	1.879	2.128	.9170	.4699	2.776	7.996	8.059	.6736	.5946	6.334
.1960	.2218	1.393	.8839	1.890	2.138	.9172	.4677	2.787	8.083	8.145	.6724	.5944	6.317
.1970	.2226	1.399	.8850	1.901	2.148	.9174	.4655	2.797	8.167	8.228	.6712	.5941	6.300
.1980	.2234	1.404	.8862	1.913	2.158	.9176	.4633	2.808	8.256	8.316	.6700	.5938	6.284
.1990	.2243	1.409	.8873	1.924	2.169	.9179	.4611	2.819	8.346	8.406	.6689	.5935	6.268
.2000	.2251	1.414	.8884	1.935	2.178	.9181	.4590	2.829	8.436	8.495	.6677	.5932	6.253
.2010	.2260	1.420	.8895	1.947	2.189	.9183	.4569	2.840	8.524	8.583	.6666	.5929	6.237
.2020	.2268	1.425	.8906	1.959	2.199	.9186	.4547	2.850	8.616	8.674	.6654	.5926	6.222
.2030	.2277	1.430	.8917	1.970	2.210	.9188	.4526	2.861	8.708	8.766	.6642	.5923	6.206
.2040	.2285	1.436	.8928	1.982	2.220	.9190	.4504	2.872	8.803	8.860	.6631	.5920	6.191
.2050	.2293	1.441	.8939	1.994	2.231	.9193	.4483	2.882	8.897	8.953	.6620	.5917	6.176
.2060	.2302	1.446	.8950	2.006	2.242	.9195	.4462	2.893	8.994	9.050	.6608	.5914	6.161
.2070	.2310	1.451	.8960	2.017	2.252	.9197	.4441	2.903	9.090	9.144	.6597	.5911	6.147
.2080	.2319	1.457	.8971	2.030	2.263	.9200	.4419	2.914	9.187	9.240	.6586	.5908	6.133
.2090	.2328	1.462	.8981	2.042	2.274	.9202	.4398	2.925	9.288	9.342	.6574	.5905	6.119

.2100	.2336	1.468	.8991	2.055	2.285	.9205	.4377	2.936	9.389	9.442	.6563	.5901	6.105
.2110	.2344	1.473	.9001	2.066	2.295	.9207	.4357	2.946	9.490	9.542	.6552	.5898	6.091
.2120	.2353	1.479	.9011	2.079	2.307	.9210	.4336	2.957	9.590	9.642	.6541	.5894	6.077
.2130	.2361	1.484	.9021	2.091	2.318	.9213	.4315	2.967	9.693	9.744	.6531	.5891	6.064
.2140	.2370	1.489	.9031	2.103	2.329	.9215	.4294	2.978	9.796	9.847	.6520	.5888	6.051
.2150	.2378	1.494	.9041	2.115	2.340	.9218	.4274	2.989	9.902	9.952	.6509	.5884	6.037
.2160	.2387	1.500	.9051	2.128	2.351	.9221	.4253	2.999	10.01	10.06	.6498	.5881	6.024
.2170	.2395	1.506	.9061	2.142	2.364	.9223	.4232	3.010	10.12	10.17	.6488	.5878	6.011
.2180	.2404	1.511	.9070	2.154	2.375	.9226	.4211	3.021	10.23	10.28	.6477	.5874	5.999
.2190	.2412	1.516	.9079	2.166	2.386	.9228	.4191	3.031	10.34	10.38	.6467	.5871	5.987
.2200	.2421	1.521	.9088	2.178	2.397	.9231	.4171	3.042	10.45	10.50	.6456	.5868	5.975
.2210	.2429	1.526	.9097	2.192	2.409	.9234	.4151	3.052	10.56	10.61	.6446	.5864	5.963
.2220	.2438	1.532	.9107	2.204	2.421	.9236	.4131	3.063	10.68	10.72	.6436	.5861	5.951
.2230	.2446	1.537	.9116	2.218	2.433	.9239	.4111	3.074	10.79	10.84	.6425	.5857	5.939
.2240	.2455	1.542	.9125	2.230	2.444	.9242	.4091	3.085	10.91	10.95	.6414	.5854	5.927
.2250	.2463	1.548	.9134	2.244	2.457	.9245	.4071	3.095	11.02	11.07	.6404	.5850	5.915
.2260	.2472	1.553	.9143	2.257	2.469	.9248	.4051	3.106	11.15	11.19	.6394	.5846	5.903
.2270	.2481	1.559	.9152	2.271	2.481	.9251	.4031	3.117	11.27	11.31	.6383	.5842	5.891
.2280	.2489	1.564	.9161	2.284	2.493	.9254	.4011	3.128	11.39	11.44	.6373	.5838	5.880
.2290	.2498	1.569	.9170	2.297	2.506	.9258	.3991	3.138	11.51	11.56	.6363	.5834	5.869
.2300	.2506	1.575	.9178	2.311	2.518	.9261	.3971	3.149	11.64	11.68	.6353	.5830	5.858
.2310	.2515	1.580	.9186	2.325	2.531	.9264	.3952	3.160	11.77	11.81	.6343	.5826	5.848
.2320	.2523	1.585	.9194	2.338	2.543	.9267	.3932	3.171	11.90	11.93	.6333	.5823	5.837
.2330	.2532	1.591	.9203	2.352	2.556	.9270	.3912	3.182	12.03	12.07	.6323	.5819	5.827
.2340	.2540	1.596	.9211	2.366	2.569	.9273	.3893	3.192	12.15	12.19	.6313	.5815	5.816
.2350	.2549	1.602	.9219	2.380	2.581	.9276	.3874	3.203	12.29	12.33	.6304	.5811	5.806
.2360	.2558	1.607	.9227	2.393	2.594	.9279	.3855	3.214	12.43	12.47	.6294	.5807	5.796
.2370	.2566	1.612	.9235	2.408	2.607	.9282	.3836	3.225	12.55	12.59	.6284	.5804	5.786
.2380	.2575	1.618	.9243	2.422	2.620	.9285	.3816	3.236	12.69	12.73	.6275	.5800	5.776
.2390	.2584	1.623	.9251	2.436	2.634	.9288	.3797	3.247	12.83	12.87	.6265	.5796	5.766
.2400	.2592	1.629	.9259	2.450	2.647	.9291	.3779	3.257	12.97	13.01	.6256	.5792	5.756
.2410	.2601	1.634	.9267	2.464	2.660	.9294	.3760	3.268	13.11	13.15	.6246	.5788	5.746
.2420	.2610	1.640	.9275	2.480	2.674	.9298	.3741	3.279	13.26	13.30	.6237	.5784	5.736
.2430	.2618	1.645	.9282	2.494	2.687	.9301	.3722	3.290	13.40	13.44	.6228	.5780	5.727
.2440	.2627	1.650	.9289	2.508	2.700	.9304	.3704	3.301	13.55	13.59	.6218	.5776	5.718
.2450	.2635	1.656	.9296	2.523	2.714	.9307	.3685	3.312	13.70	13.73	.6209	.5772	5.710
.2460	.2644	1.661	.9304	2.538	2.728	.9310	.3666	3.323	13.85	13.88	.6200	.5768	5.701
.2470	.2653	1.667	.9311	2.553	2.742	.9314	.3648	3.334	14.00	14.04	.6191	.5764	5.692
.2480	.2661	1.672	.9318	2.568	2.755	.9317	.3629	3.344	14.15	14.19	.6182	.5760	5.684
.2490	.2670	1.678	.9325	2.583	2.770	.9320	.3610	3.355	14.31	14.35	.6173	.5756	5.675
.2500	.2679	1.683	.9332	2.599	2.784	.9323	.3592	3.367	14.47	14.51	.6164	.5752	5.667
.2510	.2687	1.689	.9339	2.614	2.798	.9327	.3574	3.377	14.62	14.66	.6155	.5748	5.658
.2520	.2696	1.694	.9346	2.629	2.813	.9330	.3556	3.388	14.79	14.82	.6146	.5744	5.650
.2530	.2705	1.700	.9353	2.645	2.828	.9333	.3537	3.399	14.95	14.99	.6137	.5740	5.641
.2540	.2714	1.705	.9360	2.660	2.842	.9336	.3519	3.410	15.12	15.15	.6128	.5736	5.633
.2550	.2722	1.711	.9367	2.676	2.856	.9340	.3501	3.421	15.29	15.32	.6120	.5732	5.624
.2560	.2731	1.716	.9374	2.691	2.871	.9343	.3483	3.432	15.45	15.49	.6111	.5728	5.616
.2570	.2740	1.722	.9381	2.707	2.886	.9346	.3465	3.443	15.63	15.66	.6102	.5724	5.608
.2580	.2749	1.727	.9388	2.723	2.901	.9349	.3447	3.454	15.80	15.83	.6093	.5720	5.600
.2590	.2757	1.732	.9394	2.739	2.916	.9353	.3430	3.465	15.97	16.00	.6085	.5716	5.592
.2600	.2766	1.738	.9400	2.755	2.931	.9356	.3412	3.476	16.15	16.18	.6076	.5712	5.585
.2610	.2775	1.744	.9406	2.772	2.946	.9360	.3394	3.487	16.33	16.36	.6068	.5707	5.578
.2620	.2784	1.749	.9412	2.788	2.962	.9363	.3376	3.498	16.51	16.54	.6060	.5703	5.571
.2630	.2792	1.755	.9418	2.804	2.977	.9367	.3359	3.509	16.69	16.73	.6052	.5699	5.563
.2640	.2801	1.760	.9425	2.820	2.992	.9370	.3342	3.520	16.88	16.91	.6043	.5695	5.556
.2650	.2810	1.766	.9431	2.837	3.008	.9373	.3325	3.531	17.07	17.10	.6035	.5691	5.548
.2660	.2819	1.771	.9437	2.853	3.023	.9377	.3308	3.542	17.26	17.28	.6027	.5687	5.541
.2670	.2827	1.776	.9443	2.870	3.039	.9380	.3291	3.553	17.45	17.45	.6018	.5683	5.534
.2680	.2836	1.782	.9449	2.886	3.055	.9383	.3274	3.564	17.64	17.67	.6010	.5679	5.527
.2690	.2845	1.788	.9455	2.904	3.071	.9386	.3256	3.575	17.84	17.87	.6002	.5675	5.520

.2700	.2854	1.793	.9461	2.921	3.088	.9390	.3239	3.587	18.04	18.07	.5994	.5671	5.513
.2710	.2863	1.799	.9467	2.938	3.104	.9393	.3222	3.598	18.24	18.27	.5986	.5667	5.506
.2720	.2872	1.804	.9473	2.956	3.120	.9396	.3205	3.610	18.46	18.49	.5978	.5663	5.499
.2730	.2880	1.810	.9478	2.973	3.136	.9400	.3189	3.620	18.65	18.67	.5971	.5659	5.493
.2740	.2889	1.815	.9484	2.990	3.153	.9403	.3172	3.631	18.86	18.89	.5963	.5655	5.486
.2750	.2898	1.821	.9490	3.008	3.170	.9406	.3155	3.642	19.07	19.10	.5955	.5651	5.480
.2760	.2907	1.826	.9495	3.025	3.186	.9410	.3139	3.653	19.28	19.30	.5947	.5647	5.474
.2770	.2916	1.832	.9500	3.043	3.203	.9413	.3122	3.664	19.49	19.51	.5940	.5643	5.468
.2780	.2924	1.837	.9505	3.061	3.220	.9416	.3106	3.675	19.71	19.74	.5932	.5639	5.462
.2790	.2933	1.843	.9511	3.079	3.237	.9420	.3089	3.686	19.93	19.96	.5925	.5635	5.456
.2800	.2942	1.849	.9516	3.097	3.254	.9423	.3073	3.697	20.16	20.18	.5917	.5631	5.450
.2810	.2951	1.854	.9521	3.115	3.272	.9426	.3057	3.709	20.39	20.41	.5910	.5627	5.444
.2820	.2960	1.860	.9526	3.133	3.289	.9430	.3040	3.720	20.62	20.64	.5902	.5623	5.438
.2830	.2969	1.866	.9532	3.152	3.307	.9433	.3024	3.731	20.85	20.87	.5895	.5619	5.432
.2840	.2978	1.871	.9537	3.171	3.325	.9436	.3008	3.742	21.09	21.11	.5887	.5615	5.426
.2850	.2987	1.877	.9542	3.190	3.343	.9440	.2992	3.754	21.33	21.35	.5880	.5611	5.420
.2860	.2996	1.882	.9547	3.209	3.361	.9443	.2976	3.765	21.57	21.59	.5873	.5607	5.414
.2870	.3005	1.888	.9552	3.228	3.379	.9446	.2959	3.776	21.82	21.84	.5866	.5603	5.409
.2880	.3014	1.893	.9557	3.246	3.396	.9449	.2944	3.787	22.05	22.07	.5859	.5600	5.403
.2890	.3022	1.899	.9562	3.264	3.414	.9452	.2929	3.798	22.30	22.32	.5852	.5596	5.397
.2900	.3031	1.905	.9567	3.284	3.433	.9456	.2913	3.809	22.54	22.57	.5845	.5592	5.392
.2910	.3040	1.910	.9572	3.303	3.451	.9459	.2898	3.821	22.81	22.83	.5838	.5588	5.386
.2920	.3049	1.916	.9577	3.323	3.471	.9463	.2882	3.832	23.07	23.09	.5831	.5584	5.380
.2930	.3058	1.922	.9581	3.343	3.490	.9466	.2866	3.843	23.33	23.35	.5824	.5580	5.375
.2940	.3067	1.927	.9585	3.362	3.508	.9469	.2851	3.855	23.60	23.62	.5817	.5576	5.371
.2950	.3076	1.933	.9590	3.382	3.527	.9473	.2835	3.866	23.86	23.88	.5810	.5572	5.366
.2960	.3085	1.938	.9594	3.402	3.546	.9476	.2820	3.877	24.12	24.15	.5804	.5568	5.361
.2970	.3094	1.944	.9599	3.422	3.565	.9480	.2805	3.888	24.40	24.42	.5797	.5564	5.356
.2980	.3103	1.950	.9603	3.442	3.585	.9483	.2790	3.900	24.68	24.70	.5790	.5560	5.351
.2990	.3112	1.955	.9607	3.462	3.604	.9486	.2775	3.911	24.96	24.98	.5784	.5556	5.347
.3000	.3121	1.961	.9611	3.483	3.624	.9490	.2760	3.922	25.24	25.26	.5777	.5552	5.342
.3010	.3130	1.967	.9616	3.503	3.643	.9493	.2745	3.933	25.53	25.55	.5771	.5549	5.337
.3020	.3139	1.972	.9620	3.524	3.663	.9496	.2730	3.945	25.82	25.83	.5764	.5545	5.332
.3030	.3148	1.978	.9624	3.545	3.683	.9499	.2715	3.956	26.12	26.14	.5758	.5541	5.328
.3040	.3157	1.984	.9629	3.566	3.703	.9502	.2700	3.968	26.42	26.44	.5751	.5538	5.323
.3050	.3166	1.989	.9633	3.587	3.724	.9505	.2685	3.979	26.72	26.74	.5745	.5534	5.318
.3060	.3175	1.995	.9637	3.609	3.745	.9509	.2670	3.990	27.02	27.04	.5739	.5530	5.314
.3070	.3184	2.001	.9641	3.630	3.765	.9512	.2656	4.002	27.33	27.35	.5732	.5527	5.309
.3080	.3193	2.007	.9645	3.651	3.786	.9515	.2641	4.013	27.65	27.66	.5726	.5523	5.305
.3090	.3202	2.012	.9649	3.673	3.806	.9518	.2627	4.024	27.96	27.98	.5720	.5519	5.300
.3100	.3211	2.018	.9653	3.694	3.827	.9522	.2613	4.036	28.28	28.30	.5714	.5515	5.296
.3110	.3220	2.023	.9656	3.716	3.848	.9525	.2599	4.047	28.60	28.62	.5708	.5511	5.292
.3120	.3230	2.029	.9660	3.738	3.870	.9528	.2584	4.058	28.93	28.95	.5701	.5507	5.288
.3130	.3239	2.035	.9664	3.760	3.891	.9531	.2570	4.070	29.27	29.28	.5695	.5504	5.284
.3140	.3248	2.041	.9668	3.782	3.912	.9535	.2556	4.081	29.60	29.62	.5689	.5500	5.280
.3150	.3257	2.046	.9672	3.805	3.934	.9538	.2542	4.093	29.94	29.96	.5683	.5497	5.276
.3160	.3266	2.052	.9676	3.828	3.956	.9541	.2528	4.104	30.29	30.31	.5678	.5494	5.272
.3170	.3275	2.058	.9679	3.851	3.978	.9544	.2514	4.116	30.64	30.65	.5672	.5490	5.268
.3180	.3284	2.063	.9682	3.873	4.000	.9547	.2500	4.127	30.99	31.00	.5666	.5486	5.264
.3190	.3294	2.069	.9686	3.896	4.022	.9550	.2486	4.139	31.35	31.37	.5660	.5483	5.260
.3200	.3302	2.075	.9690	3.919	4.045	.9553	.2472	4.150	31.71	31.72	.5655	.5479	5.256
.3210	.3311	2.081	.9693	3.943	4.068	.9556	.2459	4.161	32.07	32.08	.5649	.5476	5.252
.3220	.3321	2.086	.9696	3.966	4.090	.9559	.2445	4.173	32.44	32.46	.5643	.5472	5.249
.3230	.3330	2.092	.9700	3.990	4.114	.9562	.2431	4.185	32.83	32.84	.5637	.5468	5.245
.3240	.3339	2.098	.9703	4.014	4.136	.9565	.2418	4.196	33.20	33.22	.5632	.5465	5.241
.3250	.3349	2.104	.9707	4.038	4.160	.9568	.2404	4.208	33.60	33.61	.5627	.5462	5.237
.3260	.3357	2.110	.9710	4.061	4.183	.9571	.2391	4.219	33.97	33.99	.5621	.5458	5.234
.3270	.3367	2.115	.9713	4.085	4.206	.9574	.2378	4.231	34.37	34.38	.5616	.5455	5.231
.3280	.3376	2.121	.9717	4.110	4.230	.9577	.2364	4.242	34.77	34.79	.5610	.5451	5.227
.3290	.3385	2.127	.9720	4.135	4.254	.9580	.2351	4.254	35.18	35.19	.5605	.5448	5.223

.3300	.3394	2.133	.9723	4.259	4.277	.9583	.2338	4.265	35.58	35.59	.5599	.5444	5.220
.3310	.3403	2.138	.9726	4.281	4.301	.9586	.2325	4.277	35.99	36.00	.5594	.5441	5.217
.3320	.3413	2.144	.9729	4.209	4.326	.9589	.2312	4.288	36.42	36.43	.5589	.5438	5.214
.3330	.3422	2.150	.9732	4.234	4.350	.9592	.2299	4.300	36.84	36.85	.5584	.5434	5.210
.3340	.3431	2.156	.9735	4.259	4.375	.9595	.2286	4.311	37.25	37.27	.5578	.5431	5.207
.3350	.3440	2.161	.9738	4.284	4.399	.9598	.2273	4.323	37.70	37.72	.5573	.5427	5.204
.3360	.3449	2.167	.9741	4.310	4.424	.9601	.2260	4.335	38.14	38.15	.5568	.5424	5.201
.3370	.3459	2.173	.9744	4.336	4.450	.9604	.2247	4.346	38.59	38.60	.5563	.5421	5.198
.3380	.3468	2.179	.9747	4.361	4.474	.9607	.2235	4.358	39.02	39.04	.5558	.5417	5.194
.3390	.3477	2.185	.9750	4.388	4.500	.9610	.2222	4.369	39.48	39.49	.5553	.5414	5.191
.3400	.3468	2.190	.9753	4.413	4.525	.9613	.2210	4.381	39.95	39.96	.5548	.5411	5.188
.3410	.3495	2.196	.9756	4.439	4.550	.9615	.2198	4.392	40.40	40.41	.5543	.5408	5.185
.3420	.3504	2.202	.9758	4.466	4.576	.9618	.2185	4.404	40.87	40.89	.5539	.5405	5.182
.3430	.3514	2.208	.9761	4.492	4.602	.9621	.2173	4.416	41.36	41.37	.5534	.5402	5.179
.3440	.3523	2.214	.9764	4.521	4.630	.9623	.2160	4.427	41.85	41.84	.5529	.5399	5.176
.3450	.3532	2.220	.9767	4.547	4.656	.9626	.2148	4.439	42.33	42.34	.5524	.5396	5.173
.3460	.3542	2.225	.9769	4.575	4.682	.9629	.2136	4.451	42.83	42.84	.5519	.5392	5.171
.3470	.3551	2.231	.9772	4.602	4.709	.9632	.2124	4.462	43.34	43.35	.5515	.5389	5.168
.3480	.3560	2.237	.9775	4.629	4.736	.9635	.2111	4.474	43.85	43.86	.5510	.5386	5.165
.3490	.3570	2.243	.9777	4.657	4.763	.9638	.2099	4.486	44.37	44.40	.5505	.5383	5.162
.3500	.3579	2.249	.9780	4.685	4.791	.9640	.2087	4.498	44.89	44.80	.5501	.5380	5.159
.3510	.3588	2.255	.9782	4.713	4.818	.9643	.2076	4.509	45.42	45.43	.5496	.5377	5.157
.3520	.3598	2.260	.9785	4.741	4.845	.9646	.2064	4.521	45.95	45.96	.5492	.5374	5.154
.3530	.3607	2.266	.9787	4.770	4.873	.9648	.2052	4.533	46.50	46.51	.5487	.5371	5.152
.3540	.3616	2.272	.9790	4.798	4.901	.9651	.2040	4.544	47.03	47.04	.5483	.5368	5.149
.3550	.3625	2.278	.9792	4.827	4.929	.9654	.2029	4.556	47.59	47.60	.5479	.5365	5.147
.3560	.3635	2.284	.9795	4.856	4.957	.9657	.2017	4.568	48.15	48.16	.5474	.5362	5.144
.3570	.3644	2.290	.9797	4.885	4.987	.9659	.2005	4.579	48.72	48.73	.5470	.5359	5.141
.3580	.3653	2.296	.9799	4.914	5.015	.9662	.1994	4.591	49.29	49.30	.5466	.5356	5.139
.3590	.3663	2.301	.9801	4.944	5.044	.9665	.1983	4.603	49.88	49.89	.5461	.5353	5.137
.3600	.3672	2.307	.9804	4.974	5.072	.9667	.1972	4.615	50.47	50.48	.5457	.5350	5.134
.3610	.3682	2.313	.9806	5.004	5.103	.9670	.1960	4.627	51.08	51.09	.5453	.5347	5.132
.3620	.3691	2.319	.9808	5.034	5.132	.9673	.1949	4.638	51.67	51.67	.5449	.5344	5.130
.3630	.3700	2.325	.9811	5.063	5.161	.9675	.1938	4.650	52.27	52.28	.5445	.5342	5.127
.3640	.3709	2.331	.9813	5.094	5.191	.9677	.1926	4.661	52.89	52.90	.5441	.5339	5.125
.3650	.3719	2.337	.9815	5.124	5.221	.9680	.1915	4.673	53.52	53.53	.5437	.5336	5.123
.3660	.3728	2.342	.9817	5.155	5.251	.9683	.1904	4.685	54.15	54.16	.5433	.5333	5.121
.3670	.3737	2.348	.9819	5.186	5.281	.9686	.1894	4.697	54.78	54.79	.5429	.5330	5.118
.3680	.3747	2.354	.9821	5.217	5.312	.9688	.1883	4.708	55.42	55.43	.5425	.5327	5.116
.3690	.3756	2.360	.9823	5.248	5.343	.9690	.1872	4.720	56.09	56.10	.5421	.5325	5.114
.3700	.3766	2.366	.9825	5.280	5.374	.9693	.1861	4.732	56.76	56.77	.5417	.5322	5.112
.3710	.3775	2.372	.9827	5.312	5.406	.9696	.1850	4.744	57.43	57.44	.5413	.5319	5.110
.3720	.3785	2.378	.9830	5.345	5.438	.9698	.1839	4.756	58.13	58.14	.5409	.5317	5.107
.3730	.3794	2.384	.9832	5.377	5.469	.9700	.1828	4.768	58.82	58.83	.5405	.5314	5.105
.3740	.3804	2.390	.9834	5.410	5.502	.9702	.1818	4.780	59.52	59.53	.5402	.5312	5.103
.3750	.3813	2.396	.9835	5.443	5.534	.9705	.1807	4.792	60.24	60.25	.5398	.5309	5.101
.3760	.3822	2.402	.9837	5.475	5.566	.9707	.1797	4.803	60.95	60.95	.5394	.5306	5.099
.3770	.3832	2.408	.9839	5.508	5.598	.9709	.1786	4.815	61.68	61.68	.5390	.5304	5.097
.3780	.3841	2.413	.9841	5.541	5.631	.9712	.1776	4.827	62.41	62.42	.5387	.5301	5.095
.3790	.3850	2.419	.9843	5.572	5.661	.9714	.1766	4.838	63.13	63.14	.5383	.5299	5.093
.3800	.3860	2.425	.9845	5.609	5.697	.9717	.1756	4.851	63.91	63.91	.5380	.5296	5.091
.3810	.3869	2.431	.9847	5.643	5.731	.9719	.1745	4.862	64.67	64.67	.5376	.5294	5.090
.3820	.3879	2.437	.9848	5.677	5.765	.9721	.1735	4.875	65.45	65.46	.5372	.5291	5.088
.3830	.3888	2.443	.9850	5.712	5.798	.9724	.1725	4.885	66.16	66.17	.5369	.5288	5.086
.3840	.3898	2.449	.9852	5.746	5.833	.9726	.1715	4.898	67.02	67.03	.5365	.5286	5.084
.3850	.3907	2.455	.9854	5.780	5.866	.9728	.1705	4.910	67.80	67.81	.5362	.5284	5.082
.3860	.3917	2.461	.9855	5.814	5.900	.9730	.1695	4.922	68.61	68.62	.5359	.5281	5.081
.3870	.3926	2.467	.9857	5.850	5.935	.9732	.1685	4.934	69.45	69.46	.5355	.5279	5.079
.3880	.3936	2.473	.9859	5.886	5.970	.9735	.1675	4.946	70.28	70.29	.5352	.5276	5.077
.3890	.3945	2.479	.9860	5.921	6.005	.9737	.1665	4.958	71.12	71.13	.5349	.5274	5.076



.3900	.3955	2.485	.9862	5.957	6.040	.9739	.1656	4.970	71.97	71.98	.5345	.5271	5.074
.3910	.3964	2.491	.9864	5.993	6.076	.9741	.1646	4.982	72.85	72.86	.5342	.5269	5.072
.3920	.3974	2.497	.9865	6.029	6.112	.9743	.1636	4.993	73.72	73.72	.5339	.5267	5.071
.3930	.3983	2.503	.9867	6.066	6.148	.9745	.1627	5.005	74.58	74.59	.5336	.5265	5.069
.3940	.3993	2.509	.9869	6.103	6.185	.9748	.1617	5.017	75.48	75.49	.5332	.5262	5.067
.3950	.4002	2.515	.9870	6.140	6.221	.9750	.1608	5.029	76.40	76.40	.5329	.5260	5.066
.3960	.4012	2.521	.9872	6.177	6.258	.9752	.1598	5.041	77.31	77.32	.5326	.5258	5.064
.3970	.4021	2.527	.9873	6.215	6.295	.9754	.1589	5.053	78.24	78.24	.5323	.5255	5.063
.3980	.4031	2.532	.9874	6.252	6.332	.9756	.1579	5.065	79.19	79.19	.5320	.5253	5.062
.3990	.4040	2.538	.9876	6.290	6.369	.9758	.1570	5.077	80.13	80.13	.5317	.5251	5.060
.4000	.4050	2.544	.9877	6.329	6.407	.9761	.1561	5.089	81.12	81.12	.5314	.5248	5.058
.4010	.4059	2.550	.9879	6.367	6.445	.9763	.1552	5.101	82.07	82.08	.5311	.5246	5.056
.4020	.4069	2.556	.9880	6.406	6.483	.9765	.1542	5.113	83.06	83.06	.5308	.5244	5.055
.4030	.4078	2.562	.9882	6.444	6.521	.9766	.1533	5.125	84.07	84.07	.5305	.5242	5.053
.4040	.4088	2.568	.9883	6.484	6.561	.9768	.1524	5.137	85.11	85.12	.5302	.5240	5.052
.4050	.4098	2.575	.9885	6.525	6.601	.9770	.1515	5.149	86.14	86.14	.5299	.5238	5.050
.4060	.4107	2.581	.9886	6.564	6.640	.9772	.1506	5.161	87.17	87.17	.5296	.5236	5.049
.4070	.4116	2.586	.9887	6.603	6.679	.9774	.1497	5.173	88.19	88.20	.5293	.5234	5.048
.4080	.4126	2.592	.9888	6.644	6.718	.9776	.1488	5.185	89.28	89.28	.5290	.5232	5.046
.4090	.4136	2.598	.9890	6.684	6.758	.9778	.1480	5.197	90.38	90.39	.5287	.5229	5.045
.4100	.4145	2.604	.9891	6.725	6.799	.9780	.1471	5.209	91.44	91.44	.5285	.5227	5.044
.4110	.4155	2.610	.9892	6.766	6.839	.9782	.1462	5.221	92.54	92.55	.5282	.5225	5.043
.4120	.4164	2.616	.9894	6.806	6.879	.9784	.1454	5.233	93.67	93.67	.5279	.5223	5.041
.4130	.4174	2.623	.9895	6.849	6.921	.9786	.1445	5.245	94.83	94.83	.5277	.5221	5.040
.4140	.4183	2.629	.9896	6.890	6.963	.9788	.1436	5.257	95.95	95.96	.5274	.5219	5.039
.4150	.4193	2.635	.9898	6.932	7.004	.9790	.1428	5.269	97.13	97.13	.5271	.5217	5.037
.4160	.4203	2.641	.9899	6.974	7.046	.9792	.1419	5.281	98.29	98.30	.5269	.5215	5.036
.4170	.4212	2.647	.9900	7.018	7.088	.9794	.1411	5.294	99.52	99.52	.5266	.5213	5.035
.4180	.4222	2.653	.9901	7.060	7.130	.9795	.1403	5.305	100.7	100.7	.5263	.5211	5.034
.4190	.4231	2.659	.9902	7.102	7.173	.9797	.1394	5.317	101.9	101.9	.5261	.5209	5.033
.4200	.4241	2.665	.9904	7.146	7.215	.9798	.1386	5.329	103.1	103.1	.5258	.5208	5.031
.4210	.4251	2.671	.9905	7.190	7.259	.9800	.1378	5.341	104.4	104.4	.5256	.5206	5.030
.4220	.4260	2.677	.9906	7.234	7.303	.9802	.1369	5.353	105.7	105.7	.5253	.5204	5.029
.4230	.4270	2.683	.9907	7.279	7.349	.9804	.1361	5.366	107.0	107.0	.5251	.5202	5.028
.4240	.4280	2.689	.9908	7.325	7.392	.9806	.1353	5.378	108.3	108.3	.5248	.5200	5.027
.4250	.4289	2.695	.9909	7.371	7.438	.9808	.1345	5.390	109.7	109.7	.5246	.5198	5.026
.4260	.4298	2.701	.9910	7.412	7.479	.9810	.1337	5.402	110.9	110.9	.5244	.5196	5.025
.4270	.4308	2.707	.9911	7.457	7.524	.9811	.1329	5.414	112.2	112.2	.5241	.5195	5.024
.4280	.4318	2.713	.9912	7.503	7.570	.9812	.1321	5.426	113.6	113.6	.5239	.5193	5.023
.4290	.4328	2.719	.9913	7.550	7.616	.9814	.1313	5.438	115.0	115.0	.5237	.5191	5.022
.4300	.4337	2.725	.9914	7.595	7.661	.9816	.1305	5.450	116.4	116.4	.5234	.5189	5.021
.4310	.4347	2.731	.9915	7.642	7.707	.9818	.1298	5.462	117.8	117.8	.5232	.5187	5.020
.4320	.4356	2.737	.9916	7.688	7.753	.9819	.1290	5.474	119.2	119.3	.5230	.5186	5.019
.4330	.4366	2.743	.9917	7.735	7.800	.9821	.1282	5.486	120.7	120.7	.5227	.5184	5.018
.4340	.4376	2.749	.9918	7.783	7.847	.9823	.1274	5.499	122.2	122.2	.5225	.5182	5.017
.4350	.4385	2.755	.9919	7.831	7.895	.9824	.1267	5.511	123.7	123.7	.5223	.5181	5.016
.4360	.4395	2.762	.9920	7.880	7.943	.9826	.1259	5.523	125.2	125.2	.5221	.5179	5.015
.4370	.4405	2.768	.9921	7.922	7.991	.9828	.1251	5.535	126.7	126.7	.5218	.5177	5.014
.4380	.4414	2.774	.9922	7.975	8.035	.9829	.1244	5.547	128.3	128.3	.5216	.5176	5.013
.4390	.4424	2.780	.9923	8.026	8.088	.9830	.1236	5.560	129.9	129.9	.5214	.5174	5.012
.4400	.4431	2.786	.9924	8.075	8.136	.9832	.1229	5.572	131.4	131.4	.5212	.5172	5.011
.4410	.4441	2.792	.9925	8.124	8.185	.9833	.1222	5.584	133.0	133.0	.5210	.5171	5.010
.4420	.4453	2.798	.9926	8.175	8.236	.9835	.1214	5.596	134.7	134.7	.5208	.5169	5.009
.4430	.4463	2.804	.9927	8.228	8.285	.9836	.1207	5.608	136.3	136.3	.5206	.5168	5.008
.4440	.4472	2.810	.9928	8.274	8.334	.9838	.1200	5.620	137.9	137.9	.5204	.5166	5.007
.4450	.4482	2.816	.9929	8.326	8.387	.9839	.1192	5.632	139.6	139.7	.5202	.5165	5.006
.4460	.4492	2.822	.9930	8.379	8.438	.9841	.1185	5.644	141.4	141.4	.5200	.5163	5.005
.4470	.4501	2.828	.9930	8.427	8.486	.9843	.1178	5.657	143.1	143.1	.5198	.5161	5.005
.4480	.4511	2.834	.9931	8.481	8.540	.9844	.1171	5.669	144.8	144.8	.5196	.5160	5.004
.4490	.4521	2.840	.9932	8.532	8.590	.9846	.1164	5.681	146.6	146.6	.5194	.5158	5.003

.4500	.4531	2.847	.9933	8.585	8.643	.9847	.1157	5.693	148.4	148.4	.5192	.5157	5.002
.4510	.4540	2.853	.9934	8.638	8.695	.9848	.1150	5.705	150.2	150.2	.5190	.5156	5.001
.4520	.4550	2.859	.9935	8.693	8.750	.9849	.1143	5.717	152.1	152.1	.5188	.5154	5.000
.4530	.4560	2.865	.9935	8.747	8.804	.9851	.1136	5.730	154.0	154.0	.5186	.5152	5.000
.4540	.4569	2.871	.9936	8.797	8.854	.9852	.1129	5.742	155.9	155.9	.5184	.5151	4.999
.4550	.4579	2.877	.9937	8.853	8.910	.9853	.1122	5.754	157.7	157.7	.5182	.5150	4.998
.4560	.4589	2.883	.9938	8.910	8.965	.9855	.1115	5.766	159.7	159.7	.5181	.5148	4.997
.4570	.4599	2.890	.9938	8.965	9.021	.9857	.1109	5.779	161.7	161.7	.5179	.5146	4.997
.4580	.4608	2.896	.9939	9.016	9.072	.9858	.1102	5.791	163.6	163.6	.5177	.5145	4.996
.4590	.4618	2.902	.9940	9.074	9.129	.9859	.1095	5.803	165.6	165.6	.5175	.5144	4.995
.4600	.4628	2.908	.9941	9.132	9.186	.9860	.1089	5.815	167.7	167.7	.5173	.5143	4.994
.4610	.4637	2.914	.9941	9.183	9.238	.9862	.1083	5.827	169.7	169.7	.5172	.5141	4.994
.4620	.4647	2.920	.9942	9.242	9.296	.9863	.1076	5.840	171.8	171.8	.5170	.5140	4.993
.4630	.4657	2.926	.9943	9.301	9.354	.9864	.1069	5.852	173.9	173.9	.5168	.5139	4.992
.4640	.4666	2.932	.9944	9.353	9.406	.9865	.1063	5.864	176.0	176.0	.5167	.5138	4.991
.4650	.4676	2.938	.9944	9.413	9.466	.9867	.1056	5.876	178.2	178.2	.5165	.5136	4.991
.4660	.4686	2.944	.9945	9.472	9.525	.9868	.1050	5.888	180.4	180.4	.5163	.5135	4.990
.4670	.4695	2.951	.9946	9.533	9.585	.9869	.1043	5.900	182.6	182.6	.5162	.5134	4.989
.4680	.4705	2.957	.9946	9.586	9.638	.9871	.1037	5.912	184.8	184.8	.5160	.5132	4.989
.4690	.4715	2.963	.9947	9.647	9.699	.9872	.1031	5.925	187.2	187.2	.5158	.5131	4.988
.4700	.4725	2.969	.9947	9.709	9.760	.9873	.1025	5.937	189.5	189.5	.5157	.5129	4.988
.4710	.4735	2.975	.9948	9.770	9.821	.9874	.1018	5.949	191.8	191.8	.5155	.5128	4.987
.4720	.4744	2.981	.9949	9.826	9.877	.9875	.1012	5.962	194.2	194.2	.5154	.5127	4.986
.4730	.4754	2.987	.9949	9.888	9.938	.9876	.1006	5.974	196.5	196.5	.5152	.5126	4.986
.4740	.4764	2.993	.9950	9.951	10.00	.9877	.1000	5.986	199.0	199.0	.5150	.5125	4.985
.4750	.4774	2.999	.9951	10.01	10.07	.9878	.09942	5.999	201.4	201.4	.5149	.5124	4.984
.4760	.4783	3.005	.9951	10.07	10.12	.9880	.09882	6.011	203.9	203.9	.5147	.5122	4.984
.4770	.4793	3.012	.9952	10.13	10.18	.9881	.09820	6.023	206.5	206.5	.5146	.5121	4.983
.4780	.4803	3.018	.9952	10.20	10.25	.9882	.09759	6.036	209.0	209.0	.5144	.5120	4.983
.4790	.4813	3.024	.9953	10.26	10.31	.9883	.09698	6.048	211.7	211.7	.5143	.5119	4.982
.4800	.4822	3.030	.9953	10.32	10.37	.9885	.09641	6.060	214.2	214.2	.5142	.5117	4.982
.4810	.4832	3.036	.9954	10.39	10.43	.9886	.09583	6.072	216.8	216.8	.5140	.5116	4.981
.4820	.4842	3.042	.9955	10.45	10.50	.9887	.09523	6.085	219.5	219.5	.5139	.5115	4.980
.4830	.4852	3.049	.9955	10.52	10.57	.9888	.09464	6.097	222.2	222.2	.5137	.5114	4.980
.4840	.4862	3.055	.9956	10.59	10.63	.9889	.09405	6.109	225.0	225.0	.5136	.5113	4.979
.4850	.4871	3.061	.9956	10.65	10.69	.9890	.09352	6.121	228.3	228.3	.5134	.5112	4.979
.4860	.4881	3.067	.9957	10.71	10.76	.9891	.09294	6.134	230.6	230.6	.5133	.5111	4.978
.4870	.4891	3.073	.9957	10.78	10.83	.9892	.09236	6.146	233.5	233.5	.5132	.5110	4.978
.4880	.4901	3.079	.9958	10.85	10.90	.9893	.09178	6.159	236.4	236.4	.5130	.5109	4.977
.4890	.4911	3.086	.9958	10.92	10.96	.9895	.09121	6.171	239.6	239.6	.5129	.5107	4.977
.4900	.4920	3.092	.9959	10.99	11.03	.9896	.09064	6.183	242.3	242.3	.5128	.5106	4.976
.4910	.4930	3.098	.9959	11.05	11.09	.9897	.09010	6.195	245.2	245.2	.5126	.5105	4.976
.4920	.4940	3.104	.9960	11.12	11.16	.9898	.08956	6.208	248.3	248.3	.5125	.5104	4.975
.4930	.4950	3.110	.9960	11.19	11.24	.9899	.08901	6.220	251.3	251.3	.5124	.5103	4.975
.4940	.4960	3.117	.9961	11.26	11.31	.9899	.08845	6.232	254.5	254.5	.5122	.5102	4.974
.4950	.4969	3.122	.9961	11.32	11.37	.9900	.08793	6.245	257.6	257.6	.5121	.5101	4.974
.4960	.4979	3.128	.9962	11.40	11.44	.9901	.08741	6.257	260.8	260.8	.5120	.5100	4.973
.4970	.4989	3.135	.9962	11.47	11.51	.9902	.08691	6.269	264.0	264.0	.5119	.5099	4.973
.4980	.4999	3.141	.9963	11.54	11.59	.9903	.08641	6.282	267.3	267.3	.5118	.5098	4.972
.4990	.5009	3.147	.9963	11.61	11.65	.9904	.08584	6.294	270.6	270.6	.5116	.5097	4.972
.5000	.5018	3.153	.9964	11.68	11.72	.9905	.08530	6.306	274.0	274.0	.5115	.5096	4.971
.5010	.5028	3.159	.9964	11.75	11.80	.9906	.08477	6.319	277.5	277.5	.5114	.5095	4.971
.5020	.5038	3.166	.9964	11.83	11.87	.9907	.08424	6.331	280.8	280.8	.5113	.5094	4.971
.5030	.5048	3.172	.9965	11.91	11.95	.9908	.08371	6.343	284.3	284.3	.5112	.5093	4.970
.5040	.5058	3.178	.9965	11.98	12.02	.9909	.08320	6.356	287.9	287.9	.5110	.5092	4.970
.5050	.5067	3.184	.9966	12.05	12.09	.9909	.08270	6.368	291.4	291.4	.5109	.5092	4.969
.5060	.5077	3.190	.9966	12.12	12.16	.9910	.08220	6.380	295.0	295.0	.5108	.5091	4.969
.5070	.5087	3.196	.9967	12.20	12.24	.9911	.08169	6.393	298.7	298.7	.5107	.5090	4.968
.5080	.5097	3.203	.9967	12.28	12.32	.9912	.08119	6.405	302.4	302.4	.5106	.5089	4.968
.5090	.5107	3.209	.9968	12.35	12.39	.9913	.08068	6.417	306.2	306.2	.5105	.5088	4.967

.5100	.5117	3.215	.9968	12.43	12.47	.9914	.08022	6.430	310.0	310.0	.5104	.5087	4.967
.5110	.5126	3.221	.9968	12.50	12.54	.9915	.07972	6.442	313.8	313.8	.5103	.5086	4.967
.5120	.5136	3.227	.9969	12.58	12.62	.9915	.07922	6.454	317.7	317.7	.5102	.5086	4.966
.5130	.5146	3.233	.9969	12.66	12.70	.9916	.07873	6.467	321.7	321.7	.5101	.5085	4.966
.5140	.5156	3.240	.9970	12.74	12.78	.9917	.07824	6.479	325.7	325.7	.5100	.5084	4.965
.5150	.5166	3.246	.9970	12.82	12.86	.9918	.07776	6.491	329.7	329.7	.5098	.5083	4.965
.5160	.5176	3.252	.9970	12.90	12.94	.9919	.07729	6.504	333.8	333.8	.5097	.5082	4.965
.5170	.5185	3.258	.9971	12.98	13.02	.9919	.07682	6.516	337.9	337.9	.5096	.5082	4.964
.5180	.5195	3.264	.9971	13.06	13.10	.9920	.07634	6.529	342.2	342.2	.5095	.5081	4.964
.5190	.5205	3.270	.9971	13.14	13.18	.9921	.07587	6.541	346.4	346.4	.5094	.5080	4.964
.5200	.5215	3.277	.9972	13.22	13.26	.9922	.07540	6.553	350.7	350.7	.5093	.5079	4.963
.5210	.5225	3.283	.9972	13.31	13.35	.9923	.07494	6.566	355.1	355.1	.5092	.5078	4.963
.5220	.5235	3.289	.9972	13.39	13.43	.9924	.07449	6.578	359.6	359.6	.5092	.5077	4.963
.5230	.5244	3.295	.9973	13.47	13.51	.9924	.07404	6.590	364.0	364.0	.5091	.5077	4.962
.5240	.5254	3.301	.9973	13.55	13.59	.9925	.07358	6.603	368.5	368.5	.5090	.5076	4.962
.5250	.5264	3.308	.9973	13.64	13.68	.9926	.07312	6.615	373.1	373.1	.5089	.5075	4.962
.5260	.5274	3.314	.9974	13.73	13.76	.9927	.07266	6.628	377.8	377.8	.5088	.5074	4.961
.5270	.5284	3.320	.9974	13.81	13.85	.9927	.07221	6.640	382.5	382.5	.5087	.5074	4.961
.5280	.5294	3.326	.9974	13.90	13.94	.9928	.07177	6.652	387.3	387.3	.5086	.5073	4.961
.5290	.5304	3.333	.9975	13.99	14.02	.9929	.07134	6.665	392.2	392.2	.5085	.5072	4.960
.5300	.5314	3.339	.9975	14.07	14.10	.9930	.07091	6.677	397.0	397.0	.5084	.5071	4.960
.5310	.5323	3.345	.9975	14.16	14.19	.9931	.07047	6.690	402.0	402.0	.5083	.5070	4.960
.5320	.5333	3.351	.9976	14.25	14.28	.9931	.07003	6.702	406.9	406.9	.5082	.5070	4.959
.5330	.5343	3.357	.9976	14.34	14.37	.9932	.06959	6.714	412.0	412.0	.5082	.5069	4.959
.5340	.5353	3.363	.9976	14.43	14.46	.9933	.06915	6.727	417.2	417.2	.5081	.5068	4.959
.5350	.5363	3.370	.9976	14.52	14.55	.9933	.06872	6.739	422.4	422.4	.5080	.5068	4.959
.5360	.5373	3.376	.9977	14.61	14.64	.9934	.06829	6.752	427.7	427.7	.5079	.5067	4.958
.5370	.5383	3.382	.9977	14.70	14.73	.9935	.06787	6.764	433.1	433.1	.5078	.5066	4.958
.5380	.5393	3.388	.9977	14.79	14.82	.9935	.06746	6.776	438.5	438.5	.5077	.5066	4.958
.5390	.5402	3.394	.9977	14.88	14.91	.9936	.06705	6.789	444.0	444.0	.5077	.5065	4.958
.5400	.5412	3.401	.9978	14.97	15.01	.9936	.06664	6.801	449.5	449.5	.5076	.5065	4.957
.5410	.5422	3.407	.9978	15.07	15.10	.9937	.06623	6.814	455.1	455.1	.5075	.5064	4.957
.5420	.5432	3.413	.9978	15.16	15.19	.9938	.06582	6.826	460.7	460.7	.5074	.5063	4.957
.5430	.5442	3.419	.9979	15.25	15.29	.9938	.06542	6.838	466.4	466.4	.5073	.5063	4.956
.5440	.5452	3.426	.9979	15.35	15.38	.9939	.06501	6.851	472.2	472.2	.5073	.5062	4.956
.5450	.5461	3.432	.9979	15.45	15.48	.9940	.06461	6.863	478.1	478.1	.5072	.5061	4.956
.5460	.5471	3.438	.9979	15.54	15.58	.9941	.06420	6.876	484.3	484.3	.5071	.5060	4.956
.5470	.5481	3.444	.9980	15.64	15.67	.9941	.06380	6.888	490.3	490.3	.5070	.5060	4.955
.5480	.5491	3.450	.9980	15.74	15.77	.9942	.06341	6.901	496.4	496.4	.5070	.5059	4.955
.5490	.5501	3.456	.9980	15.84	15.87	.9942	.06302	6.913	502.5	502.5	.5069	.5059	4.955
.5500	.5511	3.463	.9980	15.94	15.97	.9942	.06263	6.925	508.7	508.7	.5068	.5058	4.955
.5510	.5521	3.469	.9981	16.04	16.07	.9942	.06224	6.937	515.0	515.0	.5067	.5058	4.954
.5520	.5531	3.475	.9981	16.14	16.17	.9943	.06186	6.950	521.6	521.6	.5067	.5057	4.954
.5530	.5541	3.481	.9981	16.24	16.27	.9944	.06148	6.962	528.1	528.1	.5066	.5056	4.954
.5540	.5551	3.488	.9981	16.34	16.37	.9944	.06110	6.975	534.8	534.8	.5065	.5056	4.954
.5550	.5560	3.494	.9982	16.44	16.47	.9945	.06073	6.987	541.4	541.4	.5065	.5056	4.953
.5560	.5570	3.500	.9982	16.54	16.57	.9945	.06035	7.000	548.1	548.1	.5064	.5055	4.953
.5570	.5580	3.506	.9982	16.65	16.68	.9946	.05997	7.012	554.9	554.9	.5063	.5054	4.953
.5580	.5590	3.512	.9982	16.75	16.78	.9947	.05960	7.025	562.0	562.0	.5063	.5053	4.953
.5590	.5600	3.519	.9982	16.85	16.88	.9947	.05923	7.037	569.1	569.1	.5062	.5053	4.953
.5600	.5610	3.525	.9983	16.96	16.99	.9947	.05887	7.050	576.1	576.1	.5061	.5053	4.952
.5610	.5620	3.531	.9983	17.06	17.09	.9948	.05850	7.062	583.3	583.3	.5061	.5052	4.952
.5620	.5630	3.537	.9983	17.17	17.20	.9949	.05814	7.074	590.7	590.7	.5060	.5051	4.952
.5630	.5640	3.543	.9983	17.28	17.31	.9949	.05778	7.087	598.0	598.0	.5059	.5051	4.952
.5640	.5649	3.550	.9984	17.38	17.41	.9950	.05743	7.099	605.0	605.0	.5059	.5050	4.951
.5650	.5659	3.556	.9984	17.49	17.52	.9950	.05707	7.112	613.2	613.2	.5058	.5050	4.951
.5660	.5669	3.562	.9984	17.60	17.63	.9951	.05672	7.124	620.8	620.8	.5057	.5049	4.951
.5670	.5679	3.568	.9984	17.71	17.74	.9951	.05637	7.136	628.5	628.5	.5057	.5049	4.951
.5680	.5689	3.575	.9984	17.82	17.85	.9952	.05602	7.149	636.4	636.4	.5056	.5048	4.951
.5690	.5699	3.581	.9985	17.94	17.97	.9952	.05567	7.161	644.3	644.3	.5056	.5048	4.950

.5700	.5709	3.587	.9985	18.05	18.08	.9953	.05532	7.174	652.4	652.4	.5055	.5047	4.950
.5710	.5719	3.593	.9985	18.16	18.19	.9953	.05497	7.186	660.5	660.5	.5054	.5047	4.950
.5720	.5729	3.600	.9985	18.28	18.31	.9954	.05463	7.199	668.8	668.8	.5054	.5046	4.950
.5730	.5738	3.606	.9985	18.39	18.42	.9954	.05430	7.211	677.2	677.2	.5053	.5046	4.950
.5740	.5748	3.612	.9985	18.50	18.53	.9955	.05396	7.224	685.6	685.6	.5053	.5045	4.950
.5750	.5758	3.618	.9986	18.62	18.64	.9955	.05363	7.236	694.3	694.3	.5052	.5045	4.949
.5760	.5768	3.624	.9986	18.73	18.76	.9956	.05330	7.249	703.2	703.2	.5052	.5044	4.949
.5770	.5778	3.630	.9986	18.85	18.88	.9956	.05297	7.261	711.5	711.5	.5051	.5044	4.949
.5780	.5788	3.637	.9986	18.97	19.00	.9957	.05264	7.274	720.8	720.8	.5051	.5043	4.949
.5790	.5798	3.643	.9986	19.09	19.12	.9957	.05231	7.286	729.9	729.9	.5050	.5043	4.949
.5800	.5808	3.649	.9987	19.21	19.24	.9957	.05198	7.298	739.0	739.0	.5049	.5043	4.948
.5810	.5818	3.656	.9987	19.33	19.36	.9958	.05166	7.311	748.1	748.1	.5049	.5042	4.948
.5820	.5828	3.662	.9987	19.45	19.48	.9958	.05134	7.323	757.5	757.5	.5048	.5042	4.948
.5830	.5838	3.668	.9987	19.58	19.60	.9959	.05102	7.336	767.0	767.0	.5048	.5041	4.948
.5840	.5848	3.674	.9987	19.70	19.73	.9959	.05070	7.348	776.7	776.7	.5047	.5041	4.948
.5850	.5858	3.680	.9987	19.81	19.84	.9960	.05040	7.361	786.5	786.5	.5047	.5040	4.948
.5860	.5867	3.686	.9987	19.94	19.96	.9960	.05009	7.373	796.4	796.4	.5046	.5040	4.948
.5870	.5877	3.693	.9988	20.06	20.09	.9960	.04978	7.386	806.5	806.5	.5046	.5040	4.947
.5880	.5887	3.699	.9988	20.19	20.21	.9961	.04947	7.398	816.5	816.5	.5045	.5039	4.947
.5890	.5897	3.705	.9988	20.32	20.34	.9961	.04916	7.411	826.7	826.7	.5045	.5039	4.947
.5900	.5907	3.712	.9988	20.45	20.47	.9962	.04885	7.423	837.1	837.1	.5044	.5038	4.947
.5910	.5917	3.718	.9988	20.57	20.60	.9962	.04855	7.436	847.6	847.6	.5044	.5038	4.947
.5920	.5927	3.724	.9988	20.70	20.73	.9963	.04824	7.448	858.2	858.2	.5043	.5037	4.947
.5930	.5937	3.730	.9989	20.83	20.86	.9963	.04794	7.460	868.9	868.9	.5043	.5037	4.946
.5940	.5947	3.737	.9989	20.97	20.99	.9963	.04764	7.473	879.8	879.8	.5043	.5037	4.946
.5950	.5957	3.743	.9989	21.10	21.12	.9964	.04735	7.485	890.8	890.8	.5042	.5036	4.946
.5960	.5967	3.749	.9989	21.23	21.25	.9964	.04706	7.498	901.9	901.9	.5042	.5036	4.946
.5970	.5977	3.755	.9989	21.35	21.37	.9964	.04677	7.510	913.4	913.4	.5041	.5036	4.946
.5980	.5987	3.761	.9989	21.49	21.51	.9965	.04648	7.523	925.0	925.0	.5041	.5035	4.946
.5990	.5996	3.767	.9989	21.62	21.64	.9965	.04619	7.535	936.5	936.5	.5040	.5035	4.946
.6000	.6006	3.774	.9990	21.76	21.78	.9965	.04591	7.548	948.1	948.1	.5040	.5035	4.945
.6100	.6106	3.836	.9991	23.17	23.19	.9969	.04313	7.673	1,074	1,074	.5036	.5031	4.944
.6200	.6205	3.899	.9992	24.66	24.68	.9972	.04052	7.798	1,217	1,217	.5032	.5028	4.943
.6300	.6305	3.961	.9993	26.25	26.27	.9975	.03806	7.923	1,379	1,379	.5029	.5025	4.942
.6400	.6404	4.024	.9994	27.95	27.97	.9977	.03576	8.048	1,527	1,527	.5026	.5023	4.941
.6500	.6504	4.086	.9994	29.75	29.77	.9980	.03359	8.173	1,771	1,771	.5023	.5020	4.940
.6600	.6603	4.149	.9995	31.68	31.69	.9982	.03155	8.298	2,008	2,008	.5021	.5018	4.940
.6700	.6703	4.212	.9996	33.73	33.74	.9983	.02964	8.423	2,275	2,275	.5019	.5017	4.939
.6800	.6803	4.274	.9996	35.90	35.92	.9985	.02784	8.548	2,579	2,579	.5017	.5015	4.939
.6900	.6902	4.337	.9997	38.23	38.24	.9987	.02615	8.674	2,923	2,923	.5015	.5013	4.938
.7000	.7002	4.400	.9997	40.71	40.72	.9988	.02456	8.799	3,314	3,314	.5013	.5012	4.938
.7100	.7102	4.462	.9997	43.34	43.35	.9989	.02307	8.925	3,757	3,757	.5012	.5011	4.937
.7200	.7202	4.525	.9998	46.14	46.15	.9990	.02167	9.050	4,258	4,258	.5011	.5010	4.937
.7300	.7302	4.588	.9998	49.13	49.14	.9991	.02035	9.175	4,828	4,828	.5010	.5009	4.937
.7400	.7401	4.650	.9998	52.31	52.32	.9992	.01911	9.301	5,473	5,473	.5009	.5008	4.937
.7500	.7501	4.713	.9998	55.70	55.71	.9993	.01795	9.426	6,204	6,204	.5008	.5007	4.936
.7600	.7601	4.776	.9999	59.31	59.31	.9994	.01686	9.552	7,034	7,034	.5007	.5006	4.936
.7700	.7701	4.839	.9999	63.15	63.16	.9995	.01583	9.677	7,976	7,976	.5006	.5005	4.936
.7800	.7801	4.902	.9999	67.24	67.25	.9996	.01487	9.803	9,042	9,042	.5005	.5004	4.936
.7900	.7901	4.964	.9999	71.60	71.60	.9996	.01397	9.929	10,250	10,250	.5005	.5004	4.936
.8000	.8001	5.027	.9999	76.24	76.24	.9996	.01312	10.05	11,620	11,620	.5004	.5004	4.936
.8100	.8101	5.090	.9999	81.18	81.19	.9996	.01232	10.18	13,180	13,180	.5004	.5004	4.936
.8200	.8201	5.153	.9999	86.44	86.44	.9997	.01157	10.31	14,940	14,940	.5003	.5003	4.935
.8300	.8301	5.215	.9999	92.04	92.05	.9997	.01086	10.43	17,340	17,340	.5003	.5003	4.935
.8400	.8400	5.278	1.000	98.00	98.01	.9997	.01020	10.56	19,210	19,210	.5003	.5003	4.935
.8500	.8500	5.341	1.000	104.4	104.4	.9998	.009582	10.68	21,780	21,780	.5002	.5002	4.935
.8600	.8600	5.404	1.000	111.1	111.1	.9998	.009000	10.81	24,690	24,690	.5002	.5002	4.935
.8700	.8700	5.467	1.000	118.3	118.3	.9998	.008451	10.93	28,000	28,000	.5002	.5002	4.935
.8800	.8800	5.529	1.000	126.0	126.0	.9998	.007934	11.06	31,750	31,750	.5002	.5002	4.935
.8900	.8900	5.592	1.000	134.2	134.2	.9998	.007454	11.18	36,000	36,000	.5002	.5002	4.935



.9000	.9000	5.655	1.000	142.9	142.9	.9999	.007000	11.31	40,810	40,810	.5001	.5001	4.935
.9100	.9100	5.718	1.000	152.1	152.1	.9999	.006574	11.44	46,280	46,280	.5001	.5001	4.935
.9200	.9200	5.781	1.000	162.0	162.0	.9999	.006173	11.56	52,470	52,470	.5001	.5001	4.935
.9300	.9300	5.844	1.000	172.5	172.5	.9999	.005797	11.69	59,500	59,500	.5001	.5001	4.935
.9400	.9400	5.906	1.000	183.7	183.7	.9999	.005445	11.81	67,470	67,470	.5001	.5001	4.935
.9500	.9500	5.969	1.000	195.6	195.6	.9999	.005114	11.94	76,490	76,490	.5001	.5001	4.935
.9600	.9600	6.032	1.000	208.2	208.2	.9999	.004802	12.06	86,740	86,740	.5001	.5001	4.935
.9700	.9700	6.095	1.000	221.7	221.7	.9999	.004519	12.19	98,340	98,340	.5001	.5001	4.935
.9800	.9800	6.158	1.000	236.1	236.1	.9999	.004235	12.32	111,500	111,500	.5001	.5001	4.935
.9900	.9900	6.220	1.000	251.4	251.4	1.000	.003977	12.44	126,500	126,500	.5000	.5000	4.935
1.000	1.000	6.283	1.000	267.7	267.7	1.000	.003735	12.57	143,400	143,400	.5000	.5000	4.935

## 8.8 Tablas de obtención de datos para realizar planos de oleaje

### Dirección Este

Ortogonal	1		2		3		4		5		6		7		8	
	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2
A	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 
B	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 
C	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 
D	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 	56.21 449.66	 

9	10		11		12		13		14		15		16	
	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2
56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66
56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66
56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66

17	18		19		20		21		22		23		24	
	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2
56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66
56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66
56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66
56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66	56.21 449.66

n(olas)= 4  
 $\delta=n/2$  Ld= 2

25		26		27		28		29		30		31		32	
d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2
19.1	18.02	18.6	18.1	17.6	16.9	16.5	15.7	15.1	14.3	13.5	12.6	11.8	10.9	10.1	9.3
54.81	54.47	54.66	54.50	54.31	54.04	53.85	53.46	53.13	52.62	52.03	51.28	50.52	49.54	48.53	47.38
109.62	108.95	109.32	109.00	108.63	108.07	107.71	106.92	106.26	105.23	104.07	102.56	101.04	99.07	97.06	94.76
21.1	20.6	20.3	19.8	19.3	18.8	18.3	17.8	17.3	16.5	15.7	14.9	14.2	13.3	12.5	11.5
55.28	55.18	55.11	55.00	54.87	54.72	54.56	54.39	54.20	53.85	53.46	53.01	52.55	51.88	51.19	50.20
110.57	110.36	110.23	109.99	109.73	109.44	109.13	108.78	108.40	107.71	106.92	106.02	105.10	103.76	102.38	100.40
22.1	21.5	20.8	20.3	19.9	19.7	19.5	19.4	19.3	18.8	18.3	17.6	17.1	16.4	15.4	14.5
55.46	55.36	55.22	55.11	55.02	54.97	54.92	54.89	54.87	54.72	54.56	54.31	54.12	53.81	53.29	52.75
110.92	110.71	110.45	110.23	110.05	109.94	109.84	109.78	109.73	109.44	109.13	108.63	108.24	107.61	106.59	105.49
23.9	23.3	22.8	22.3	21.9	21.8	21.7	21.3	21.2	20.8	20.4	19.9	19.5	18.9	18.2	17.5
55.70	55.63	55.56	55.49	55.43	55.41	55.39	55.32	55.30	55.22	55.14	55.02	54.92	54.75	54.53	54.28
111.39	111.25	111.12	110.98	110.85	110.82	110.78	110.64	110.60	110.45	110.27	110.05	109.84	109.51	109.06	108.55

33		34		35		36		37		38		39		40		41	
d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2
8.4	7.5	6.5	5.9	5.3	4.4	3.8	3.1	2.7	2.1	1.7	1.2						
45.91	44.22	42.04	40.59	38.92	36.10	33.96	31.13	29.17	26.06	23.19	19.26						
91.82	88.44	84.09	81.18	77.85	72.20	67.92	62.25	58.34	52.12	46.38	38.52						
10.5	9.5	8.6	7.7	6.8	5.9	5.3	4.4	3.8	3.3	2.8	2.3	2	1.7	1.5	1.3		
49.03	47.67	46.25	44.62	42.75	40.59	38.92	36.10	33.96	31.94	29.69	27.10	25.54	23.19	21.62	20.05	19.26	16.91
98.07	95.34	92.50	89.24	85.50	81.18	77.85	72.20	67.92	63.87	59.37	54.19	51.09	46.38	43.23	40.09	38.52	33.81
13.5	12.6	11.6	10.6	9.6	8.6	7.7	6.7	5.9	5.1	4.4	3.5	3.1	2.3	1.8	1.2	1.1	0.9
52.03	51.28	50.30	49.16	47.82	46.25	44.62	42.51	40.59	38.37	36.10	32.75	31.13	27.10	23.97	19.26	18.48	16.91
104.07	102.56	100.61	98.32	95.64	92.50	89.24	85.03	81.18	76.73	72.20	65.49	62.25	54.19	47.95	38.52	36.95	33.81
16.7	16	15.1	14.2	13.2	12.2	11.1	10.2	9.3	8.4	7.5	6.6	5.8	5.1	4.5	4.1	3.6	3.4
53.95	53.62	53.13	52.55	51.80	50.92	49.77	48.66	47.38	45.91	44.22	42.28	40.31	38.37	36.43	35.10	33.15	32.34
107.89	107.25	106.26	105.10	103.60	101.83	99.54	97.31	94.76	91.82	88.44	84.56	80.62	76.73	72.86	70.21	66.30	64.68



27		28		29		30		31		32		33		34		35	
d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2
15.4	14.8	14.2	13.8	13	12.2	11.5	10.9	10.3	9.5	8.8	8	7.2	6.6	5.8	5.2	4.6	4
53.29	52.94	52.55	52.26	51.65	50.92	50.20	49.54	48.78	47.67	46.60	45.22	43.62	42.28	40.31	38.65	36.76	34.77
106.59	105.88	105.10	104.53	103.29	101.83	100.40	99.07	97.57	95.34	93.19	90.45	87.24	84.56	80.62	77.29	73.53	69.54
18.9	18.3	18.1	17.8	17.4	16.8	16.2	15.7	15	14.5	13.8	13.1	12.4	11.7	10.9	10.3	9.5	9
54.75	54.56	54.50	54.39	54.24	53.99	53.72	53.46	53.07	52.75	52.26	51.72	51.10	50.41	49.54	48.78	47.67	46.94
109.51	109.13	109.00	108.78	108.47	107.98	107.43	106.92	106.15	105.49	104.53	103.45	102.20	100.82	99.07	97.57	95.34	93.88
21.1	21.1	20.9	20.7	20.5	20.3	20.1	19.6	19.2	18.8	18.5	18.2	17.8	17.2	16.8	16.3	15.8	15.3
55.28	55.28	55.24	55.20	55.16	55.11	55.07	54.94	54.84	54.72	54.63	54.53	54.39	54.16	53.99	53.76	53.51	53.24
110.57	110.57	110.49	110.40	110.32	110.23	110.14	109.89	109.68	109.44	109.25	109.06	108.78	108.32	107.98	107.52	107.03	106.48
23.5	23.1	22.9	22.6	22.4	21.8	21.2	20.9	20.5	20.7	20.9	21.1	21.2	21.2	20.8	20.5		
55.65	55.60	55.58	55.53	55.50	55.41	55.30	55.24	55.16	55.20	55.24	55.28	55.30	55.30	55.22	55.16		
111.30	111.20	111.15	111.06	111.01	110.82	110.60	110.49	110.32	110.40	110.49	110.57	110.60	110.60	110.45	110.32		
26.5	26.3	26.1	26	25.9	25.7	25.5	25.1	24.9	24.6	24.5	24.2	24.3	24.1	23.9	23.5		
55.91	55.90	55.89	55.88	55.88	55.88	55.88	55.88	55.86	55.81	55.79	55.74	55.76	55.73	55.70	55.65		
111.83	111.80	111.78	111.77	111.77	111.76	111.76	111.76	111.72	111.62	111.59	111.49	111.52	111.45	111.39	111.30		

36		37		38		39		40	
d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2
3.4	2.9	2.4	1.9	1.5	1.2	1	0.9	0.85	0.8
32.34	30.20	27.62	24.76	21.62	19.26	17.69	16.91	16.51	16.12
64.68	60.41	55.23	49.52	43.23	38.52	35.38	33.81	33.03	32.24
8.2	7.5	6.8	6.2	5.6	5.1	4.7	4.3	3.8	3.4
45.57	44.22	42.75	41.34	39.76	38.37	37.09	35.77	33.96	32.34
91.13	88.44	85.50	82.67	79.51	76.73	74.19	71.53	67.92	64.68
14.5	13.9	13.1	12.5	11.6	10.9	9.9	9.1	8.3	7.5
52.75	52.34	51.72	51.19	50.30	49.54	48.26	47.09	45.74	44.22
105.49	104.68	103.45	102.38	100.61	99.07	96.52	94.17	91.48	88.44

Dirección Sureste

Ortogonal	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2
A	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83
B	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83
C	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83
D	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83	56.21 224.83

Ortogonal	10		11		12		13		14		15		16		17		18	
	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2
22.5	21.7	21	20.9	21	21.1	20.9	20.6	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.1	20.1	19.7	19.3
55.52	55.39	55.27	55.24	55.27	55.28	55.24	55.18	55.11	55.11	55.11	55.11	55.11	55.11	55.11	55.07	55.07	54.97	54.87
111.03	110.78	110.53	110.49	110.53	110.57	110.49	110.36	110.23	110.23	110.23	110.23	110.23	110.23	110.23	110.14	110.14	109.94	109.73
56.21	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83
56.21	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83
56.21	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83
56.21	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83

$n(\text{clas}) = 4$   
 $\delta = n/2 \text{ Id} = 2$

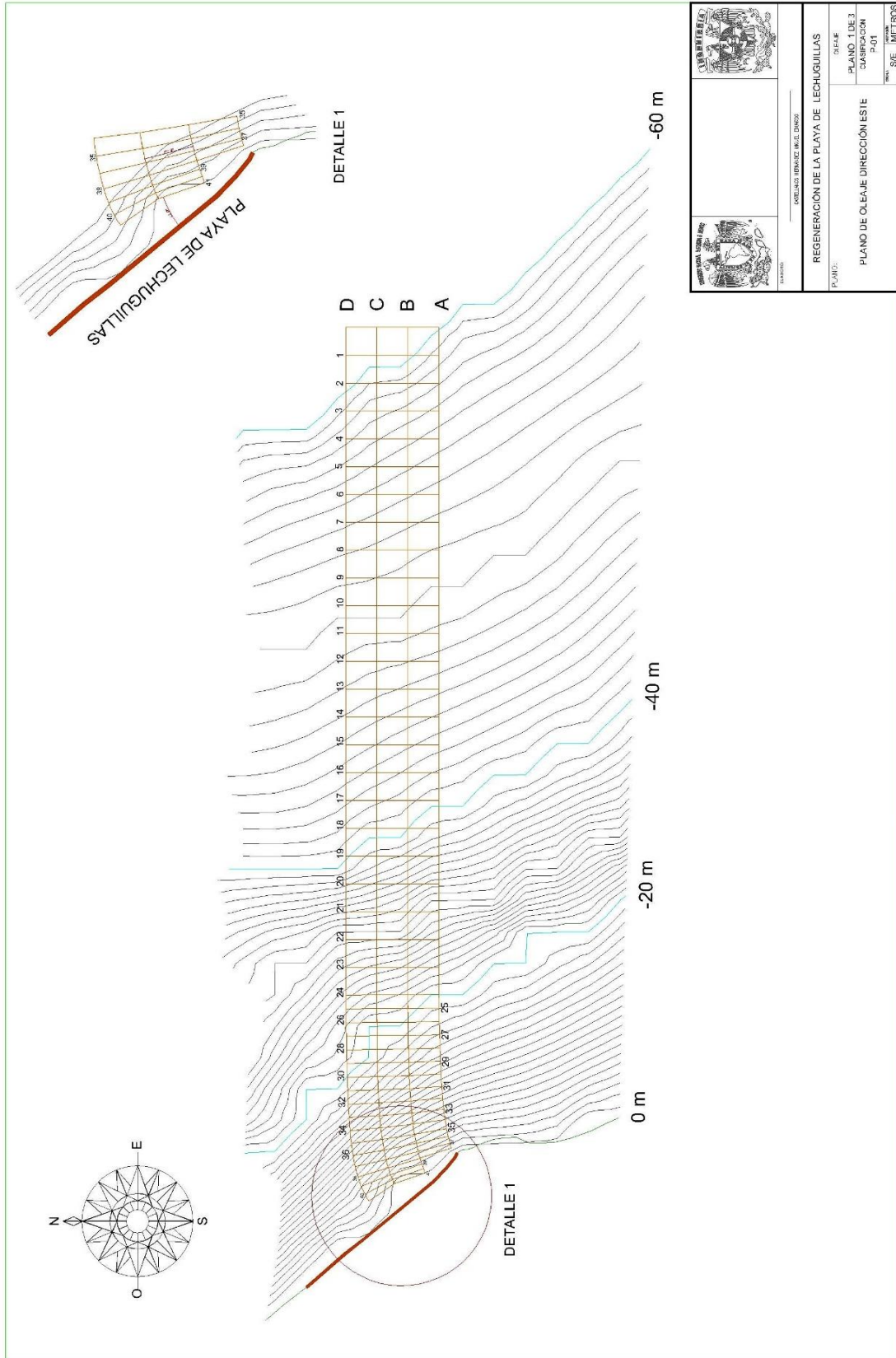
Ortogonal	19		20		21		22		23		24		25		26		27	
	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2
19.9	19.6	18.3	18.1	17.8	17.8	17.6	17.4	17.4	17.4	17.4	17	16.9	16.7	16.4	16.2	16.1	16	15.8
55.02	54.94	54.56	54.50	54.39	54.31	54.24	54.24	54.24	54.24	54.24	54.08	54.04	53.95	53.81	53.72	53.67	53.62	53.51
110.05	109.89	109.13	109.00	108.78	108.63	108.47	108.47	108.47	108.47	108.47	108.17	108.07	107.89	107.61	107.43	107.34	107.25	107.03
21.3	21.1	20.9	20.9	20.8	20.8	20.8	20.6	20.4	20	19.5	19.5	19.5	19.5	19.8	20.1	20.1	20.1	20
55.32	55.28	55.24	55.24	55.22	55.22	55.14	55.18	55.14	55.05	54.92	54.92	54.92	55.00	55.07	55.07	55.07	55.07	55.05
110.64	110.57	110.49	110.49	110.45	110.45	110.27	110.36	110.27	110.10	109.84	109.84	109.84	109.99	110.14	110.14	110.14	110.14	110.10
25.6	25.2	24.7	24.3	23.9	23.4	23	23	22.7	22.5	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4
55.88	55.88	55.83	55.76	55.70	55.64	55.55	55.59	55.55	55.52	55.52	55.50	55.50	55.50	55.50	55.50	55.50	55.50	55.50
111.76	111.76	111.66	111.52	111.39	111.27	111.18	111.18	111.09	111.03	111.03	111.01	111.01	111.01	111.01	111.01	111.01	111.01	111.01
56.21	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83
56.21	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83
56.21	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83
56.21	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83	224.83


28		29		30		31		32		33		34		35		36	
d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2
15.4	15.1	14.8	14.7	14.5	14.1	13.9	13.7	13.5	13.2	12.9	12.7	12.4	12	11.7	11.3	11.1	10.8
53.29	53.13	52.94	52.88	52.75	52.48	52.34	52.19	52.03	51.80	51.55	51.37	51.10	50.73	50.41	49.98	49.77	49.41
106.59	106.26	105.88	105.75	105.49	104.97	104.68	104.37	104.07	103.60	103.11	102.74	102.20	101.47	100.82	99.97	99.54	98.82
20	20	19.9	19.5	19.3	18.9	19	19.1	18.9	18.7	18.5	18.4	18.2	17.9	17.6	17.3	17	16.8
55.05	55.05	55.02	54.92	54.87	54.75	54.79	54.81	54.75	54.69	54.63	54.59	54.53	54.43	54.31	54.20	54.08	53.99
110.10	110.10	110.05	109.84	109.73	109.51	109.57	109.62	109.51	109.38	109.25	109.19	109.06	108.86	108.63	108.40	108.17	107.98

37		38		39		40		41		42		43		44		45	
d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2
10.4	9.9	9.5	9	8.5	8	7.4	6.9	6.4	5.9	5.3	4.7	4.2	3.8	3.2	2.8	2.4	1.8
48.91	48.26	47.67	46.94	46.08	45.22	44.02	42.98	41.81	40.59	38.92	37.09	35.44	33.96	31.53	29.69	27.62	23.97
97.82	96.52	95.34	93.88	92.16	90.45	88.04	85.97	83.61	81.18	77.85	74.19	70.87	67.92	63.06	59.37	55.23	47.95
16.5	16.1	15.7	15.1	14.5	14.1	13.5	12.9	12.1	11.5	10.6	9.9	9.2	8.4	8.5	7.7	5.8	5.1
53.85	53.67	53.46	53.13	52.75	52.48	52.03	51.55	50.82	50.20	49.16	48.26	47.23	45.91	46.08	44.62	40.31	38.37
107.71	107.34	106.92	106.26	105.49	104.97	104.07	103.11	101.65	100.40	98.32	96.52	94.46	91.82	92.16	89.24	80.62	76.73

46		47	
d1/L1/δ1	d2/L2/δ2	d1/L1/δ1	d2/L2/δ2
1.5	1.1	0.9	0.8
21.62	18.48	16.91	16.12
43.23	36.95	33.81	32.24
4.6	3.1	3.5	2.9
36.76	31.13	32.75	30.20
73.53	62.25	65.49	60.41

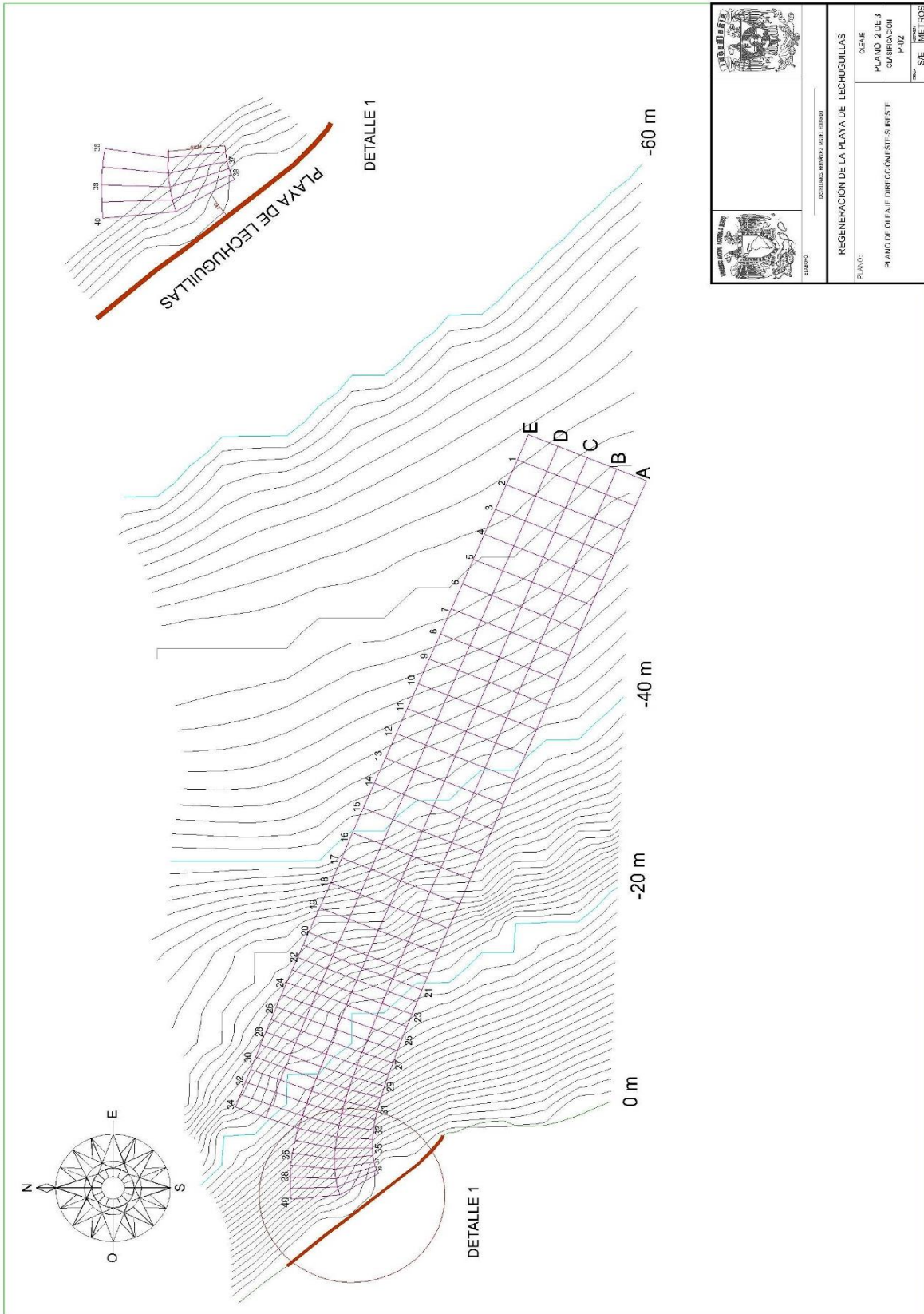
## 8.9 Planos de oleaje Dirección Este



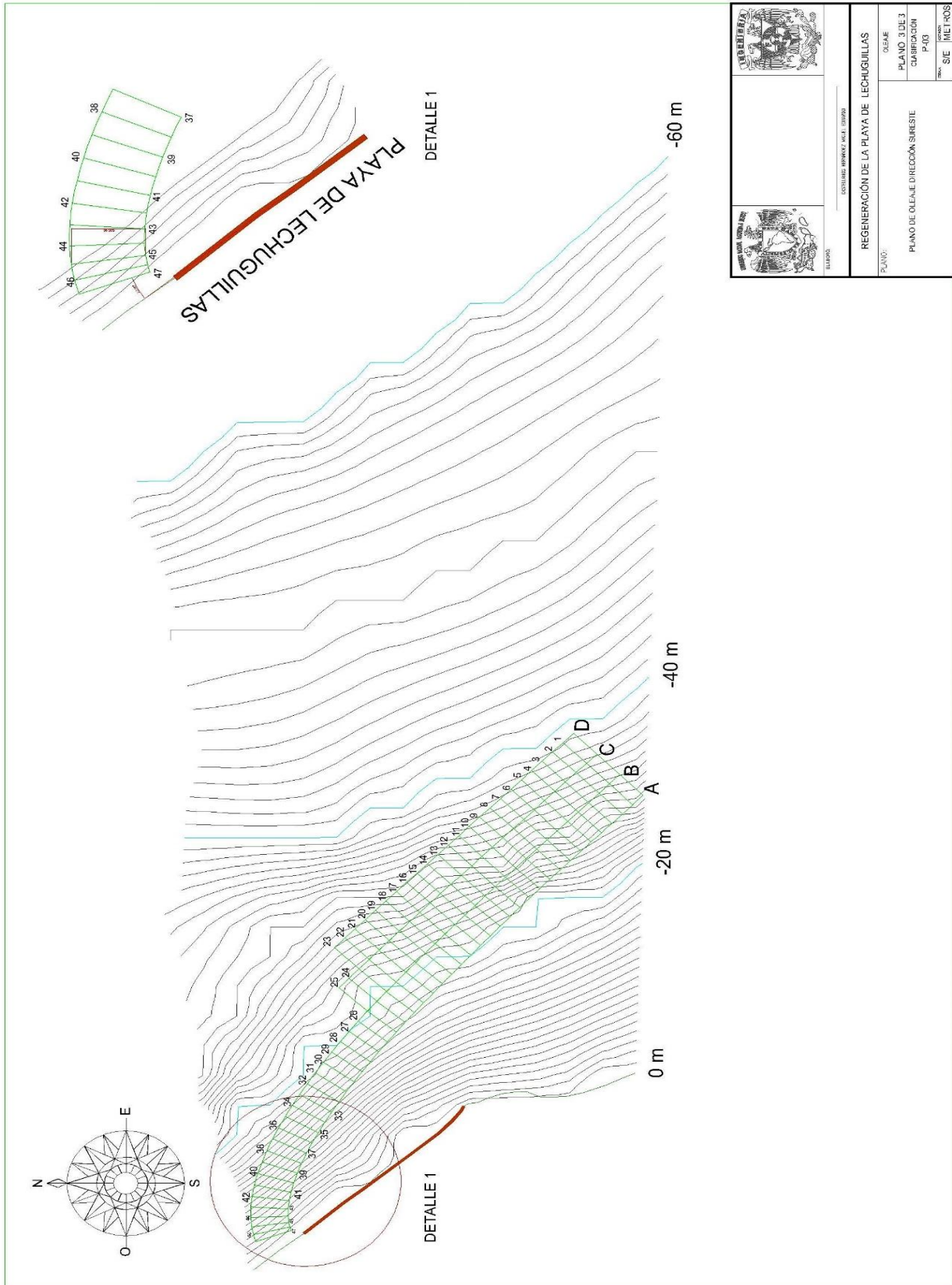
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANTABRIA	
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE OBRAS DE ARTES	
REGENERACIÓN DE LA PLAYA DE LECHUGILLAS	
PLANOS	
PLANO 1 DE 3	COORDINACIÓN
PLANO DE OLAJE DIRECCIÓN ESTE	
ESCALA	UNIDADES
1:500	METROS



# Dirección Este-Sureste



Dirección Sureste



**8.10** Área nueva de playa regenerada en comparación con área natural.

Área nueva de playa regenerada en comparación con área natural



**Simbología**

- Área de estudio 43263.193 m<sup>2</sup>
- Área de playa regenerada 82510.6586 m<sup>2</sup>

Coordinate System: WGS 1984 UTM zone 14N  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984  
 false easting: 500.000.0000  
 false northing: 0.0000  
 central meridian: -99.0000  
 scale factor: 0.9996  
 latitude of origin: 0.0000  
 Units: Meter



1:8,000





8.11 Anexo fotográfico



Figura 8.0: Zona de espigón de la Playa de Lechuguillas. Fuente: Fotografías tomadas en el sitio.



Figura 8.1: Zona con alto grado de erosión de la Playa de lechuguillas. Fuente: Fotografías tomadas en el sitio.



Figura 8.2: Zona de desembocadura de Río Juchique. Fuente: Fotografías tomadas en el sitio.



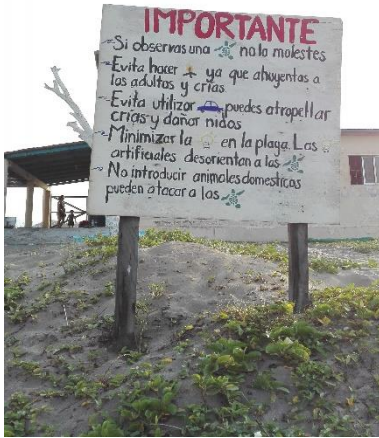


Figura 8.3: Campamento tortuguero de la Playa de Lechuguillas. Fuente: Fotografías tomadas en el sitio.



Figura 8.4: Recolección de muestras de arena. Fuente: Fotografías tomadas en el sitio.



Figura 8.5: Registro de muestras previo al secado. Fuente: Fotografías tomadas en el sitio.



Figura 8.6: Secado de muestras en horno. Fuente: Fotografías tomadas en el sitio.