



Facultad de Ingeniería

Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**Implementación de una metodología de reconstrucción de
perfiles de playa a partir de mediciones indirectas: una
aplicación a playa El Encanto, Reñaca, Región de
Valparaíso.**

Gabriela Rocío Frías Adaos

Diciembre 2016

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE RECONSTRUCCIÓN DE
PERFILES DE PLAYA A PARTIR DE MEDICIONES INDIRECTAS: UNA
APLICACIÓN A PLAYA EL ENCANTO, REÑACA, REGIÓN DE VALPARAÍSO.**

Gabriela Frías Adaos

COMISIÓN REVISORA	NOTA	FIRMA
SR. MAURICIO MOLINA PEREIRA Profesor guía	_____	_____
SR. HERNÁN VERGARA CORTÉS Revisor 1	_____	_____
SR. EDUARDO GONZÁLEZ PACHECO Revisor 2	_____	_____

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

AGRADECIMIENTOS

La realización de esta memoria fue posible gracias al apoyo de mi profesor guía Mauricio Molina Pereira, quien además de agregar valor a mi investigación, me incentivó a desarrollar este trabajo aplicado a la playa El Encanto, zona que por mucho tiempo fue observada y admirada pero nunca estudiada en profundidad. Gracias por su paciencia, ayuda permanente y por depositar su confianza en la culminación de este importante proceso.

Quisiera agradecer también a mi comisión revisora, al profesor Hernán Vergara por disponer desinteresadamente de su tiempo y facilitarme la información básica y fundamental sobre la cual se erige este proyecto de investigación. Al profesor Eduardo González por su ayuda y disponibilidad permanente en la colaboración de esta memoria, sin duda cualidades que espero personalmente también adquirir y ofrecer.

A mi familia, por su incondicional apoyo y comprensión, por brindarme las herramientas que me permitirán terminar este ciclo y convertirme en una profesional, espero cumplir las expectativas y colmarlos de orgullo. A Diego, agradecer su cariño y compañía en los buenos y malos momentos. Sin duda estoy en deuda por las innumerables ocasiones que el mar no nos trató bien y sin embargo no dudaste en ayudar.

Finalmente agradecer a aquellos compañeros de la carrera, que junto con compartir jornadas de trabajo y recreación, fueron un apoyo necesario para llegar a esta instancia final de pregrado.

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS.....	2
2.1	OBJETIVO GENERAL	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3	ALCANCES	3
4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
5	MARCO TEÓRICO.....	8
5.1	OLEAJE.....	8
5.2	MORFOLOGÍA DE PLAYAS	11
5.3	HIDRODINÁMICA DE LA PLAYA.....	12
5.3.1	CORRIENTES ASOCIADAS A LA ROTURA	12
5.3.2	CORRIENTES LONGITUDINALES.....	12
5.3.3	CORRIENTES DE RETORNO.....	13
5.3.4	CORRIENTES DE RESACA.....	14
5.4	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	14
5.4.1	MODOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	16
5.4.2	TRANSPORTE LONGITUDINAL DE SEDIMENTOS	16
5.4.3	TRANSPORTE TRANSVERSAL DE SEDIMENTOS	17
6	ANTEDECENTES DEL MEDIO.....	19
6.1	EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA PLAYA	19
6.2	CARACTERÍSTICAS EL ÁREA DE ESTUDIO	20
6.2.1	CLIMATOLOGÍA.....	20
6.2.1.1	PRECIPITACIONES.....	20
6.2.1.2	VIENTOS	20
6.2.1.3	MAREAS.....	21
6.2.1.4	CORRIENTES.....	21
6.2.2	CONCESIONES MARÍTIMAS.....	22
6.2.3	HIDROGRAFÍA.....	23
6.2.3.1	ESTERO MARGA-MARGA	24
6.2.3.2	ESTERO REÑACA.....	24
6.2.4	BATIMETRÍA Y LÍNEA DE COSTA.....	25
7	METODOLOGÍA	27
7.1	SELECCIÓN DE PERFILES DE PLAYA	28
7.2	MUESTERO DE SEDIMENTOS	30
7.3	CAMPAÑA DE LEVANTAMIENTO DE PERFILES.....	31
7.4	ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO.....	33
7.4.1	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	33
7.4.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	38
7.4.3	ANÁLISIS MINERALÓGICO	40
7.5	POSICIÓN DEL PUNTO DE CAPTURA FOTOGRÁFICA.....	42
7.6	SELECCIÓN DE PUNTOS NOTABLES DE LA PLAYA.....	43

7.7	MEDICIÓN DE NIVEL DE ARENA EN FOTOGRAFÍAS	44
7.8	ANÁLISIS DE CALIDAD DE DATOS.....	46
7.9	CÁLCULO PARA ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE REDUCCIÓN DE SONDA.....	47
7.10	ESTIMACIÓN DE PERFILES A PARTIR DE MEDICIONES INDIRECTAS	49
8	RESULTADOS.....	50
8.1	MEDICIÓN DE PERFILES DE PLAYA	50
8.2	EVOLUCIÓN ANUAL DEL PERFIL TRANSVERSAL DE PLAYA	57
8.3	CÁLCULO DEL ÁREA TOTAL DE ARENA.....	61
8.3.1	ANÁLISIS DE LA SERIE DE TIEMPO	68
8.4	SEDIMENTOLOGÍA DE LA PLAYA	70
8.4.1	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	70
8.4.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	74
8.4.3	ANÁLISIS MINERALÓGICO	75
8.5	UBICACIÓN DE LOS PUNTOS NOTABLES Y SU RELACIÓN CON LOS PERFILES DE PLAYA MEDIDOS.....	80
8.6	CORRELACIÓN DE MEDICIONES INDIRECTAS Y DIRECTAS.....	82
8.6.1	ERRORES TÍPICOS DE LA SIMULACIÓN	85
8.6.2	SIMULACIÓN DE PUNTOS NOTABLES PARA FECHAS ANTERIORES	86
8.7	CÁLCULO DE NIVEL DE ARENA A PARTIR DE CORRELACIÓN DE MEDICIONES INDIRECTAS.....	87
8.7.1	CORROBORACIÓN DEL MÉTODO	87
8.7.2	RECONSTRUCCIÓN DE PERFILES EN CAMPAÑAS REALIZADAS IN SITU.	89
8.7.3	RECREACIÓN DE PERFILES ANTIGUOS A PARTIR DE MEDICIONES INDIRECTAS.....	92
8.8	INSTRUCCIONES DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA.....	99
9	CONCLUSIÓN	101
10	RECOMENDACIONES	103
11	REFERENCIAS.....	104
11.1	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
11.2	REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	105
12	ANEXO 1: ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO	106
13	ANEXO 2: ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE MEDICIONES.....	112

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: CLASIFICACIÓN DE IRIBARREN PARA TIPOS DE ROTURA.....	10
TABLA 2: PRINCIPALES HITOS EN EL DESARROLLO URBANO DEL BALNEARIO DE REÑACA.....	19
TABLA 3: CAUDALES MEDIOS MENSUALES ESTERO MARGA MARGA EN DESEMBOCADURA [m ³ /s].	24
TABLA 4: PRECIPITACIÓN PROMEDIO EN CUENCA DE REÑACA.	25
TABLA 5: IMÁGENES Y REFERENCIAS DE PERFILES SELECCIONADOS.	29
TABLA 6: CAMPAÑAS DE MEDICIÓN REALIZADAS.	33
TABLA 7: ANÁLISIS CRUZADO PARA ESTUDIO DE CALIDAD DE LOS DATOS.....	46
TABLA 8: CALIDAD DE LOS PUNTOS NOTABLES PARA CADA PERFIL DE PLAYA.	47
TABLA 9: RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA EN ESTEROS.	74
TABLA 10: RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	75
TABLA 11: UBICACIÓN DE PUNTOS NOTABLES REPRESENTATIVOS.	80
TABLA 12: MATRIZ DE MEDICIONES EN FOTO E IN-SITU DE PUNTOS NOTABLES.....	83
TABLA 13: RESULTADOS DE CORRELACIÓN Y AJUSTE DEL MODELO DE REGRESIÓN LINEAL.	84
TABLA 14: TIPOS DE ERRORES UTILIZADOS PARA VALIDAR PRECISIÓN DEL MODELO DE AJUSTE. ..	85
TABLA 15: ERRORES ESTADÍSTICOS DE LOS PUNTOS NOTABLES.....	86
TABLA 16: TIPOS DE AJUSTES DE PERFILES A PARTIR DE MEDICIONES INDIRECTAS.	89

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE PLAYA EL ENCANTO.	5
FIGURA 2: CONDICIONES EXTREMAS ESTACIONALES DE LA PLAYA EL ENCANTO.	6
FIGURA 3: PRINCIPALES APORTES SEDIMENTARIOS CERCANOS A PLAYA EL ENCANTO.	7
FIGURA 4: CARACTERÍSTICAS DE UNA ONDA.....	8
FIGURA 5: CLASIFICACIÓN DE LAS ONDAS.	9
FIGURA 6: COMPORTAMIENTO DE UNA ONDA SEGÚN SU PROFUNDIDAD RELATIVA.	9
FIGURA 7: COMPOSICIÓN DEL PERFIL TRANSVERSAL DE PLAYA.	11
FIGURA 8: ESTRUCTURA DE UNA CORRIENTE DE RETORNO.	13
FIGURA 9: CORRIENTES ASOCIADAS A ROTURA EN LA COSTA.	14
FIGURA 10: ESCALAS ESPACIALES TÍPICAS DE LOS CAMBIOS MORFOLÓGICOS EN PLAYAS.	15
FIGURA 11: ESCALAS TEMPORALES TÍPICAS DE LOS CAMBIOS MORFOLÓGICOS EN PLAYAS.....	15
FIGURA 12: TIPOS DE MOVIMIENTOS DE PARTÍCULAS.	16
FIGURA 13: TASA Y DIRECCIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	17
FIGURA 14: CAMBIO ANUAL EN EL PERFIL DE PLAYA.....	18
FIGURA 15: CIRCULACIÓN DE CORRIENTES EN PLEAMAR.....	21
FIGURA 16: CIRCULACIÓN DE CORRIENTES EN BAJAMAR.	22
FIGURA 17: CONCESIONES MARÍTIMAS CERCANAS A PLAYA EL ENCANTO.....	22
FIGURA 18: PRINCIPALES CUENCAS COSTERAS DE LA V REGIÓN.	23
FIGURA 19: BATIMETRÍA EXISTENTE EN LA ZONA DE ESTUDIO.	26
FIGURA 20: ESQUEMA METODOLÓGICO PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE PERFILES DE PLAYA.....	27
FIGURA 21: VISTA EN PLANTA Y LATERAL DE UBICACIÓN DE PERFILES Y SUS ÁREAS REPRESENTATIVAS.	28
FIGURA 22: ZONIFICACIÓN DE ÁREA DE MUESTREO Y PERFILES CARACTERÍSTICOS.....	31
FIGURA 23: TÉCNICA DE EMERY PARA MEDICIÓN DE PERFILES DE PLAYA.	32
FIGURA 24: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE ARENA DE PLAYA EL ENCANTO.	34
FIGURA 25: LUGARES DE MUESTREO EN ESTEROS.	34
FIGURA 26: PROCESO DE TAMIZAJE.....	35
FIGURA 27: ZONA DE MUESTREO DE SEDIMENTOS- CAMPAÑA 2009.....	36
FIGURA 28: CLASIFICACIÓN DE GRANOS SEGÚN LA AMERICAN GEOPHYSICAL UNION.	36
FIGURA 29: ESQUEMA GENÉRICO DE UNA CURVA GRANULOMÉTRICA.	37
FIGURA 30: PARÁMETROS ESTADÍSTICOS, FORMULAS Y LÍMITES UTILIZADOS.	38
FIGURA 31: TIPOS DE SIMETRÍA DE UNA DISTRIBUCIÓN.	39
FIGURA 32: TIPOS DE CURTOSIS SEGÚN GRADO DE CONCENTRACIÓN DE VALORES.....	39
FIGURA 33: LUPA BINOCULAR E IDENTIFICACIÓN DE MINERALES DE UNA MUESTRA.....	40
FIGURA 34: ESCALA DE DUREZA DE MOHS.....	40
FIGURA 35: CLASIFICACIÓN SEGÚN PORCENTAJE DE PRESENCIA DE MINERALES	41
FIGURA 36: GRÁFICO DE ESFERICIDAD DE GRANOS.	42
FIGURA 37: UBICACIÓN SUR DEL PUNTO DE CAPTURA FOTOGRÁFICA.	42
FIGURA 38: PUNTO DE CAPTURA Y ENCUADRE DE FOTO.....	43
FIGURA 39: PRIMERA SELECCIÓN DE PUNTOS NOTABLES DE LA PLAYA.....	43
FIGURA 40: SELECCIÓN FINAL DE PUNTOS NOTABLES.	44
FIGURA 41: ENCUADRE DE FOTOGRAFÍAS Y MEDICIÓN DE ALTURA DE NIVEL DE ARENA.....	45
FIGURA 42: METODOLOGÍA PROPUESTA PARA CÁLCULO DE NRS.	48
FIGURA 43: EJEMPLO DE BITÁCORA DE LEVANTAMIENTO DE PERFILES.	50
FIGURA 44: MEDICIONES DE PERFIL 1 Y SU UBICACIÓN.	51
FIGURA 45: MEDICIONES DE PERFIL 2 Y SU UBICACIÓN.....	52
FIGURA 46: MEDICIONES DE PERFIL 3 Y SU UBICACIÓN.....	53

FIGURA 47: MEDICIONES DE PERFIL 4 Y SU UBICACIÓN.	54
FIGURA 48: MEDICIONES DE PERFIL 5 Y SU UBICACIÓN.	55
FIGURA 49: CAMBIOS EN PERFIL 4 POR INCIDENCIA DE OLEAJE ENERGÉTICO.	60
FIGURA 50: COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN CAMPAÑAS DE MUESTREO DE SEDIMENTOS.	72
FIGURA 51: PRINCIPALES MINERALES ENCONTRADOS.....	76
FIGURA 52: IDENTIFICACIÓN DE MINERALES EN LA MUESTRA.	77
FIGURA 53: RESULTADOS DEL ANÁLISIS MINERALÓGICO.	79
FIGURA 54: VISTA EN PLANTA DE LA UBICACIÓN DE PUNTOS NOTABLES.....	80
FIGURA 55: ESQUEMA DE ESTIMACIÓN DE COTAS DE PUNTOS NOTABLES.	82
FIGURA 56: MATRIZ CON PUNTOS NOTABLES TRANSFORMADOS DE FOTOGRAFÍA A IN-SITU.....	87
FIGURA 57: SUPERPOSICIÓN DE PERFILES DE PLAYA IN SITU CON PUNTO NOTABLES A PARTIR DE REGRESIÓN.....	89
FIGURA 58: RECONSTRUCCIÓN DE PROCESO EROSIVO.	92
FIGURA 59: RECONSTRUCCIÓN DE PERFILES ASIMÉTRICOS.....	93
FIGURA 60: RECONSTRUCCIÓN DE MÁXIMA EROSIÓN.	94
FIGURA 61: DIFERENCIAS EN CONDICIONES DE PLAYA.	98

LISTA DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1: PARÁMETRO DE IRIBARREN.	10
ECUACIÓN 2: INTERPOLACIÓN EN BASE LOGARÍTMICA.	37
ECUACIÓN 3: COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD.	38
ECUACIÓN 4: COEFICIENTE DE CURVATURA.	38
ECUACIÓN 5: COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON.	83
ECUACIÓN 6: MODELO DE REGRESIÓN LINEAL.	83

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: REGISTRO DE LA PENDIENTES DE LOS CINCO PERFILES DE PLAYA Y SU MEDIANA.	56
GRÁFICO 2: EVOLUCIÓN ANUAL DE PERFIL 1.....	57
GRÁFICO 3: EVOLUCIÓN ANUAL DE PERFIL 2.....	57
GRÁFICO 4: EVOLUCIÓN ANUAL DE PERFIL 3.....	58
GRÁFICO 5: EVOLUCIÓN ANUAL DE PERFIL 4.....	58
GRÁFICO 6: EVOLUCIÓN ANUAL DE PERFIL 5.....	58
GRÁFICO 7: ÁREA TOTAL DE ARENA PARA LOS CINCO PERFILES DE PLAYA.....	61
GRÁFICO 8: ÁREA TOTAL NETA DE ARENA PARA LOS CINCO PERFILES.	62
GRÁFICO 9: VARIACIÓN TOTAL DE ARENA PERFIL 1.	63
GRÁFICO 10: VARIACIÓN TOTAL DE ARENA PERFIL 2.....	64
GRÁFICO 11: VARIACIÓN TOTAL DE ARENA PERFIL 3.....	65
GRÁFICO 12: VARIACIÓN TOTAL DE ARENA PERFIL 4.....	66
GRÁFICO 13: VARIACIÓN TOTAL DE ARENA PERFIL 5.....	67
GRÁFICO 14: ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA VARIACIÓN DEL ÁREA TOTAL DE ARENA.	69
GRÁFICO 15: CLASIFICACIÓN DE SEDIMENTO PERFIL 1.	70
GRÁFICO 16: CLASIFICACIÓN DE SEDIMENTO PERFIL 3.	71
GRÁFICO 17: CLASIFICACIÓN DE SEDIMENTO PERFIL 5.	71
GRÁFICO 18: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE MUESTRAS DE ESTEROS.	73
GRÁFICO 19: COTAS DE ELEVACIÓN DE PUNTOS NOTABLES.	82
GRÁFICO 20: CORRELACIÓN ENTRE MEDICIONES PARA PUNTOS NOTABLES EN MURO P1 Y P4. ...	84
GRÁFICO 21: VARIACIÓN DE ARENA TOTAL AÑO 2008-PERFIL 1.	95
GRÁFICO 22: VARIACIÓN DE ARENA TOTAL AÑO 2008-PERFIL 2.	95
GRÁFICO 23: VARIACIÓN DE ARENA TOTAL AÑO 2008- PERFIL 3.....	96
GRÁFICO 24: VARIACIÓN DE ARENA TOTAL AÑO 2008- PERFIL 4.....	96
GRÁFICO 25: VARIACIÓN DE ARENA TOTAL AÑO 2008- PERFIL 5.....	97

RESUMEN

El tramo costero en estudio perteneciente a la ciudad de Viña del Mar, corresponde a la playa El Encanto ubicada al norte del balneario de Reñaca. Esta playa representa un sector muy particular en el litoral central, ya que a diferencia de muchas otras, los cambios morfológicos experimentados por la playa presentan marcadas diferencias en el transcurso anual, que además de ser observables a simple vista, permiten entrever la gran variabilidad en el transporte de sedimento que ocurre en el sector. La identificación de la evolución morfológica de la playa referida a su perfil transversal, se logra a través de la medición de perfiles de playa que permite distinguir la evolución en cada sector estudiado, conociendo sus ciclos de acreción y erosión. Junto a la medición periódica de perfiles, se realiza un seguimiento fotográfico de la playa manteniendo el mismo encuadre que poseen fotografías recopiladas de años anteriores. A través de captura fotográfica mensual se realiza la identificación de ciertos elementos representativos de la playa como por ejemplo: roqueríos prominentes, muros, escalas, etc, que actúan como puntos de control para registrar la variación de nivel de arena en la playa.

Se propone establecer una metodología para la reconstrucción de perfiles de playa mediante la correlación de mediciones directas realizadas a los elementos representativos de la playa, con mediciones indirectas realizadas a los mismos elementos pero en las fotografías. A través de dicha correlación y un ajuste matemático es posible calcular valores de los elementos representativos que son utilizados para reconstruir perfiles de playa a partir de mediciones indirectas obtenidas de fotografías en fechas pasadas.

Tras la aplicación del método planteado se obtiene que la correlación se ajusta eficazmente en aquellos elementos representativos que se encuentran cercanos al punto de captura fotográfica, al incurrir en menores errores de estimación. Sin embargo, aquellos puntos representativos que se encuentran lejanos, es necesario realizar correcciones para un correcto ajuste y obtener así una óptima reconstrucción de perfiles. Dicha información obtenida a partir de mediciones indirectas permite entre otras cosas cuantificar el área de arena movilizada en los períodos de acreción y erosión, y mediante la comparación simultánea con registros de oleaje es posible establecer como un evento de marejadas modifica los perfiles de playa para una fecha determinada.

1 INTRODUCCIÓN

La línea de costa que separa la tierra del océano es un sector particularmente especial debido a los procesos que ocurren en ella y sus efectos en esta franja costera. Si bien los agentes ambientales que actúan sobre una playa varían dependiendo del lugar, estas tienden a comportarse de manera similar.

El principal generador de oleaje en el océano es el viento, dichas olas al acercarse a la costa rompen al sentir la presencia del fondo marino, lo que genera turbulencia convirtiéndose en el principal mecanismo para el transporte de sedimentos y formación de playas.

El proceso natural de transporte de sedimentos a menudo entra en conflicto con la acción del hombre en las ciudades, ya sea por procesos erosivos en una playa que pueda afectar la actividad turística, o en caso contrario, un exceso de sedimentación que pueda generar peligros en áreas de tráfico naval o actividad mercante. Y es allí donde radica la importancia de conocer el comportamiento del transporte de sedimentos, ya que entre cosas permite predecir la variación de la línea de costa en un lugar, estimar la estabilidad de una playa, y conocer sus períodos críticos en el año.

El proyecto de título formulado pretende abordar la problemática presente en la dinámica costera de la playa El Encanto localizada en la ciudad de Viña del Mar, Región de Valparaíso, evidenciada en la erosión de su línea de costa, cuya intensificación visual del fenómeno puede observarse en los bruscos cambios del perfil transversal de la playa entre el período estival e invernal.

Mediante el estudio propuesto se pretende establecer los efectos que involucra la existencia de rocas que conforman el fondo de la playa, en términos de su real función en el balance sedimentario del perfil de la playa. Al mismo tiempo establecer como los cambios en los patrones de marejadas influyen en las modificaciones del perfil de la misma, lo que permitirá establecer los períodos críticos de la playa.

La dificultad de la investigación propuesta radica en la casi nula información de estudios y mediciones referidas a la playa en cuestión y que son considerados como elementos base para un estudio exhaustivo de la playa, en términos de la caracterización sedimentaria, hidrodinámica y batimetría de la zona. Para abarcar dicha escasez de antecedentes, se propone realizar una serie de métodos que impliquen la recolección de información referida a perfiles de playas, análisis granulométrico y mineralógico de sus arenas, entre otros. Una segunda parte del proyecto, incluye un seguimiento fotográfico de la playa a partir de una recolección de fotografías realizadas por estudiantes y académicos de la Universidad de Valparaíso y su posterior seguimiento a los años actuales, que mediante una correlación de mediciones directas (distancias in situ) y mediciones indirectas (distancias en fotografías) de elementos representativos del sector, que harán posible estimar la forma del perfil transversal de la playa para fechas anteriores en que sólo se cuenta con registros fotográficos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer una metodología para la estimación de perfiles de playa a partir de mediciones indirectas obtenidas a través de la distancia de elementos de referencia identificados en fotografías, correlacionadas con mediciones directas obtenidas en terreno.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Además se considera en la realización del proyecto:

- Realizar un seguimiento de la evolución anual de los perfiles de playa, mediante el Método Emery (1961) y cuantificar la variación del área total de arena de sus perfiles.
- Identificar los cambios morfológicos experimentados en el perfil de la playa, identificando los característicos perfiles de invierno y verano.
- Relacionar registros de oleaje de la playa con la respuesta morfológica de esta.
- Utilizar información contenida en fotografías históricas de la playa para recrear los perfiles existentes en dichas fechas.

3 ALCANCES

La presente memoria, como ya se ha mencionado tiene entre sus objetivos desarrollar una metodología que permita dimensionar los cambios en la morfología de la playa, a partir de puntos de referencias (rocas, muros, etc) que se tornan visibles y permitan cuantificar la variación del nivel de arena. Para que dicho objetivo sea logrado, la actual información existente en la playa en estudio hace que sea necesario establecer criterios específicos de seguimiento para una correcta obtención de la información necesaria que permitirá una caracterización de este sector costero y su evolución en el tiempo. Para ello se establecieron criterios que a continuación se detallan:

- La periodicidad en la medición de perfiles de playa debe ser mensual, con la finalidad de registrar toda las condiciones que experimenta la playa en el transcurso anual.
- La ubicación del punto de referencia utilizado en el seguimiento fotográfico debe mantenerse fijo en el tiempo, con el fin de procurar un mismo encuadre para todo el set de fotos recopilado.
- Las características para la selección de puntos notables de la playa debe asegurar que dichos elementos sean observables y medibles tanto en las fotografías como en terreno y puedan además ser registrados en todas las condiciones de erosión y acreción que experimenta la playa.

Un tópico no menor a destacar es que debido a las particulares características que presenta la playa El Encanto, en términos de su morfología, ubicación y comportamiento frente a los agentes dinámicos que la conforman, impiden que teorías o modelos empíricos sean aplicables debido a las limitantes que presenta y que se enumeran a continuación:

- Por tratarse de una playa muy reducida, de manera que sus perfiles varían en tramos muy cortos y no pueden considerarse representativos de su geomorfología en general.
- Por la presencia de roqueríos tanto en los alrededores de la playa, como también en su fondo marino y que interfieren agregando turbulencia a la rotura, lo que modifica la dinámica natural de formación de playas y su balance sedimentario.
- La presencia de elementos constructivos que interfieren en las condiciones de borde de la playa, impiden la aplicación de cualquier fórmula empírica que describa el comportamiento y evolución de su forma.
- La particular configuración morfológica de la playa interactúa con el patrón de oleaje incidente pudiendo amplificar, disminuir o alterar sus efectos en la costa.

Cualquier proceso litoral de escala de tiempo menor, como por ejemplo: erosión del perfil de playa ante eventos de temporales, la formación de barras, etc, requieren la utilización de fórmulas empíricas o de modelos numéricos de evolución a corto plazo (G.I.O.C, 2000). Por lo que se descarta la aplicación de cualquier fórmula teórica y/o modelos empíricos que representen el perfil de la playa, sus cambios y comportamiento hidrodinámico en la zona.

Junto a la limitante anteriormente descrita, se debe mencionar que la metodología propuesta en esta investigación para la reconstrucción de perfiles de playa a partir de mediciones indirectas, permitirá realizar una estimación aproximada de la condición de playa en los períodos de tiempo estudiados.

Con respecto a la serie de tiempo para la medición de perfiles de playa, éstos se efectuaron en un período de tiempo de 21 meses, abarcando el transcurso de tiempo comprendido entre el 6 de septiembre de 2013 al 6 de noviembre de 2015. Dichos datos recolectados, tanto la medición de perfiles como nivel de arena de los elementos seleccionados, conforman las “mediciones directas” a utilizar. En cuanto a la recolección de imágenes de la playa El Encanto, ésta se extiende del 27 de marzo de 2008 hasta 6 de noviembre de 2015. Dicho set fotográfico permitirá obtener las “mediciones indirectas” a través de mediciones de distancias de los elementos representativos en las fotografías. De esta manera se conforma la base de datos primordial para el estudio morfológico de la playa.

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La playa El Encanto se localiza en los 32°57' S y los 71°30' O (Figura 1). Limita al norte con el sector de Cochoa, donde se ubica la facultad de Ciencias del Mar y Recursos Naturales de la Universidad de Valparaíso, al sur con la extensa playa de Reñaca, y expuesta al Oeste hacia el océano Pacífico. Esta playa pertenece a la provincia de Valparaíso, comuna de Viña del Mar, de la V región de Chile.

La playa en estudio se encuentra en la ciudad turística-residencial de Reñaca, ubicada al norte de la comuna de Viña del Mar, considerada uno de los balnearios más concurridos de la V región y del país. Donde sus playas reciben cada año a miles de visitantes de diversa procedencia y que apuntan al litoral central como el gran centro veraniego de los chilenos. (Pardo, 2013).



Figura 1: Ubicación geográfica de playa El Encanto.

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

La particularidad que destaca a la playa El Encanto, y donde nace el interés de este proyecto de título, radica en los marcados cambios morfológicos experimentados en el sector y que obliga a plantearse la pregunta: ¿Qué sucede con la arena de esta playa?.

Al observar la Figura 2, que ilustra la variabilidad en los perfiles de playa, es posible distinguir claramente las condiciones máximas que experimenta la zona en términos de su relleno sedimentario. Al distinguir la magnitud de los cambios mostrados en ambos escenarios, se originan más interrogantes como: si existe acaso intervención humana o sólo se debe a un proceso natural costero, acaso las rocas que bordean la playa influyen en esta variación del nivel de arena, o cuál es la duración de estas condiciones máximas de la playa.

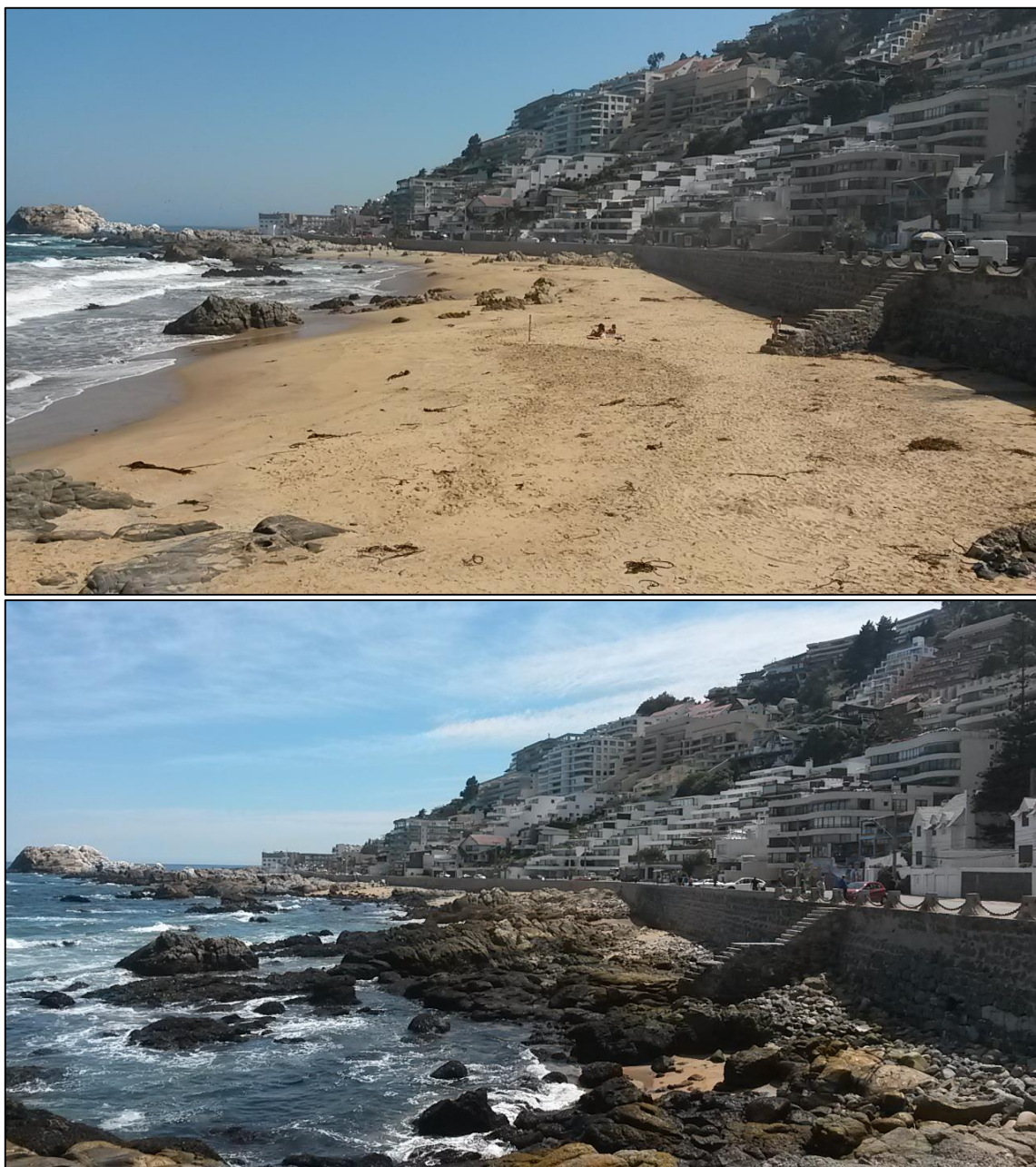


Figura 2: Condiciones extremas estacionales de la playa El Encanto.
Fuente: Colección personal del autor.

Para poder responder las diversas interrogantes será necesario estudiar todos los agentes dinámicos que actúan sobre la playa y que obligan a ésta a modificar su forma, tanto en perfil como en planta, y que deja en evidencia los principales procesos que experimentan todas las playas expuestas al clima marítimo, y que sin embargo no en todas ellas es posible distinguir tan fácilmente su evolución a lo largo del tiempo.

Junto a la facilidad de poder distinguir los cambios de la playa a lo largo de su transcurso anual, se agrega además una vasta información histórica de la playa, en forma de seguimiento

fotográfico realizado ya sea por académicos o estudiantes de la Universidad de Valparaíso, cuyo interés en común es retratar dicha evolución costera desde un mismo punto de referencia.

Es así que nace el interés por continuar este seguimiento fotográfico y complementarlo con mediciones topográficas de la playa, con el objetivo de que estos retratos históricos permitan cuantificar los cambios que ha experimentado la playa a lo largo de casi 8 años de seguimiento fotográfico.

Paralelamente con la obtención del régimen sedimentario de la playa, se considera de real importancia estimar el origen del sedimento que la conforma. Dicho dato permitirá establecer si alguna intervención antrópica podría afectar la futura existencia de la playa y lo más importante aún, cuál es su principal fuente de alimentación de arena.

Para esta última interrogante, se maneja como principal hipótesis que la posible fuente de sedimento depende de los esteros más cercanos a la playa (Figura 3). De modo que se estudiarán los componentes mineralógicos de cada estero y granulometría respectiva, que permitirá establecer fehacientemente su principal fuente de aporte de sedimento.



Figura 3: Principales aportes sedimentarios cercanos a playa El Encanto.
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

5 MARCO TEÓRICO

Para comenzar cualquier estudio del litoral, como elemento primordial se debe conocer y caracterizar el clima marítimo actuante, ya que con dichos elementos se facilita el conocimiento del perfil y planta de una playa, el transporte de sedimentos presente, y el funcionamiento del balance sedimentario existente.

A continuación se hace un breve repaso de los principales tópicos que constituyen la base del conocimiento para la caracterización del funcionamiento de una playa y sus principales fuerzas actuantes que la modifican en el tiempo (Negro, 2004).

5.1 OLEAJE

El oleaje se conoce como la perturbación de la superficie del mar y juega un rol fundamental en la modificación de la línea costera. Dicha perturbación se manifiesta en la interfase agua-atmósfera y es allí donde ocurre la propagación de la energía mecánica de la superficie del mar. La energía propagada puede ser aportada por diversos mecanismos presentes en la naturaleza, ya sea perturbaciones meteorológicas, terremotos, atracción planetaria, y el viento entre otros.

Las olas están conformadas por movimientos ondulatorios y periódicos de la superficie del mar, conformado por crestas y valles que se desplazan de forma horizontal. De esta manera para entender de mejor forma el oleaje, es definirlo como ondas sinusoidales referidas a una escala espacial, donde la longitud de onda (L) se puede determinar como la distancia horizontal entre dos crestas consecutivas, y la altura de la ola (H), como la distancia vertical máxima entre de la cresta hasta el valle de la ola. En cuanto a la escala temporal, se define el período de la ola (T) como el tiempo necesario para que dos crestas consecutivas pasen por el mismo punto, y su inverso conocido como la frecuencia (f). Además se puede establecer la velocidad con que se propaga una cresta que se mueve horizontalmente a través de la superficie, conocida como celeridad ($c=L/T$), que es directamente proporcional a la longitud de onda o período y a la profundidad (h) (Figura 4).

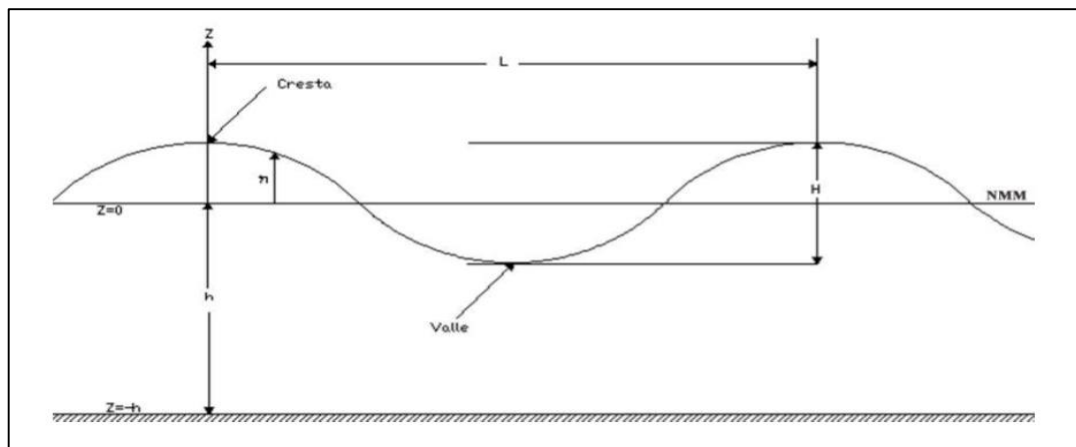


Figura 4: Características de una onda.
Fuente: (Mercado, 2010)

Un registro de oleaje está definido por una amplia gama de períodos, longitudes y alturas de ondas, y dependiendo de su fuerza generadora (Figura 5), se puede realizar una clasificación de ondas según su tipo (Silva Casarín, 2005).

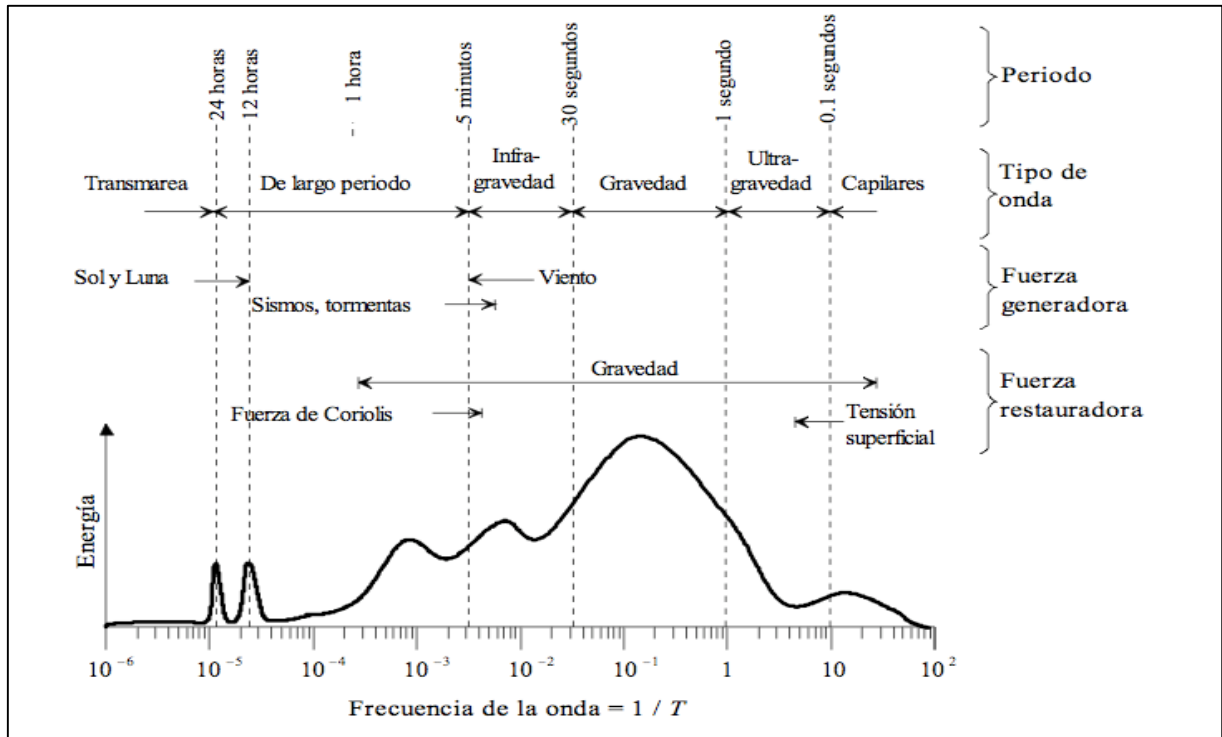


Figura 5: Clasificación de las ondas.

Fuente: (Silva Casarín, 2005)

Existe una clasificación de las ondas de acuerdo con la profundidad relativa (h/L), donde se distinguen tres tipos de zonas (Figura 6):

- Aguas Someras: si $h/L < 1/20$. Oleaje se ve modificado por la profundidad del agua.
- Aguas Intermedias: si $1/20 < h/L < 1/2$. Oleaje comienza a ser afectado por presencia del fondo.
- Aguas Profundas: si $(h/L) > 1/2$. Oleaje no experimenta modificaciones debidas a la profundidad.

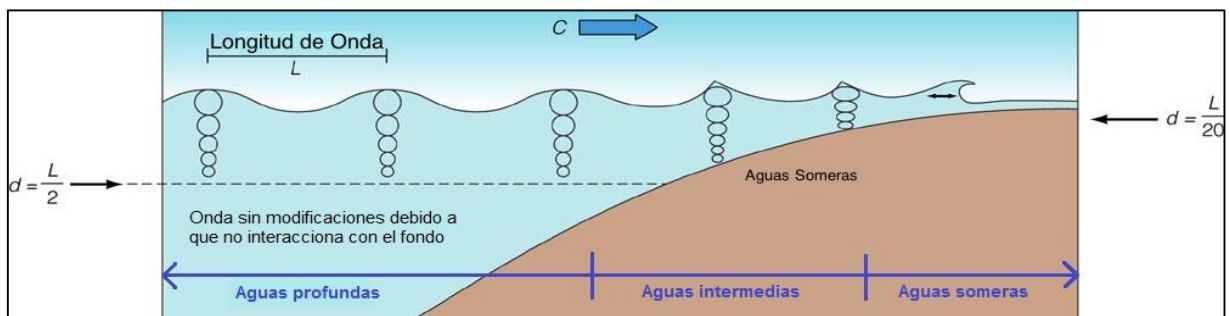


Figura 6: Comportamiento de una onda según su profundidad relativa.

Cuando la profundidad a la que se propaga la onda es inferior a la mitad de su longitud de onda, la ola comienza a experimentar la presencia del fondo marino, es decir, aumenta su altura y comienza a reducir la longitud, lo que provoca ciertas modificaciones en su propagación, que se manifiestan en fenómenos como la difracción, shoaling, reflexión, refracción, entre otros, y donde ocurre finalmente el fenómeno de la rompiente (Mercado, 2010).

Existe un criterio estimativo para clasificar el tipo de rotura, ya que las ondas rompen de diversas formas dependiendo de su altura, período y pendiente de la playa, basado en el parámetro adimensional de Iribarren (Ecuación 1).

Ecuación 1: Parámetro de Iribarren.

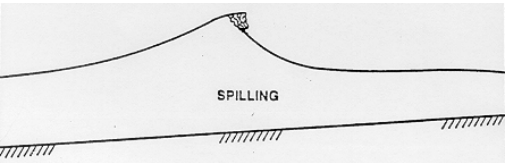
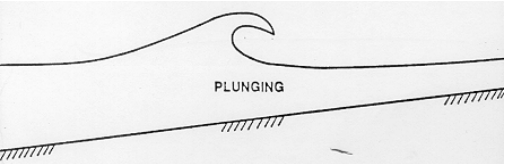
$$I_r = \frac{\tan \beta}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}}$$

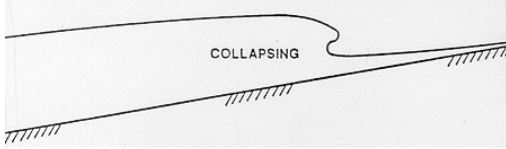
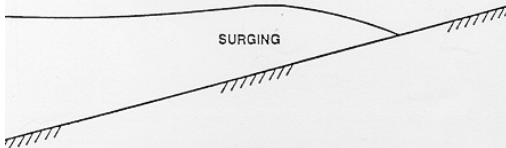
Donde las expresiones corresponden a:

- β : es la pendiente de la playa
- L_0 : es la longitud de onda en profundidades indefinidas
- H_0 : es la altura de ola en aguas profundas

Dependiendo del valor que adquiera este parámetro adimensional, los tipos de rotura se clasifican como se ilustra en la tabla a continuación (G.I.O.C, 2000).

Tabla 1: Clasificación de Iribarren para tipos de rotura.

Tipo	Características
 SPILLING $I_r \leq 0.46$	Descrestamiento o Spilling: En la cresta de la ola aparece espuma, burbujas y turbulencia que eventualmente cubren parte del frente de la misma. La rotura del perfil comienza en la cresta, que se descresta formando un pequeño chorro en algunos casos imperceptible que resbala en el frente de la onda.
 PLUNGING $0.46 \leq I_r \leq 2.5$	Voluta o Plunging: La mayor parte del frente de la onda adquiere la posición vertical, formando una voluta, con un chorro en la parte superior que envolviendo una masa de aire se precipita contra la base de la onda originando un salpicón y roción de agua.

 $2.5 \leq I_r \leq 3.3$	Colapso o Collapsing: La parte inferior del frente de la onda se peralta y voltea, comportándose como una rotura en voluta truncada, ya que el punto del frente, desde donde la onda se voltea o se desmorona, está delante y por debajo de la cresta de la ola.
 $I_r \geq 3.3$	Oscilación o Surging: El frente de la onda y la cresta permanecen relativamente lisos y la onda se desliza por el contorno con pequeña producción de espuma, burbujas y turbulencia.

5.2 MORFOLOGÍA DE PLAYAS

Playa se define como una acumulación de sedimento no consolidado situado entre la línea de máximo alcance del oleaje y una profundidad donde se deja de producir movimiento activo de sedimento (G.I.O.C, 2000). En necesario además definir el *Perfil de Playa*, como la variación de la profundidad con la distancia de la línea de costa en dirección normal a la misma. Dicha configuración varía constantemente como respuesta a los cambios del transporte transversal de sedimentos producidos por la dinámica costera. Los cambios más notorios están asociados al desplazamiento de las barras y el avance o retroceso de la berma (Magrama, 2007).

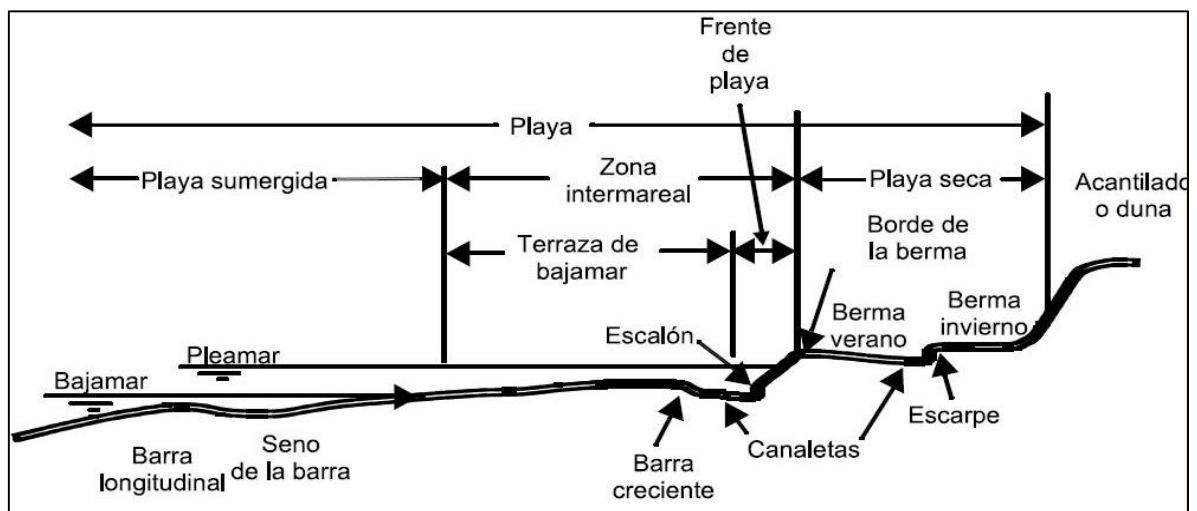


Figura 7: Composición del perfil transversal de playa.

La configuración del perfil de playa es un importante mecanismo para inducir la rotura y disipación de la energía del oleaje, ya que al reducir su pendiente induce la disipación de energía del oleaje antes que alcance la orilla. Esta habilidad de las playas de ajustarse a las fuerzas actuantes hace que sea fundamental conocer su comportamiento frente a los diversos procesos que tienen lugar en la costa.

5.3 HIDRODINÁMICA DE LA PLAYA

Los principales modeladores en la hidrodinámica litoral son las olas, corrientes litorales y la marea. Las corrientes oceánicas no son consideradas ya que no influyen en el transporte de sedimentos que se da lugar en la zona litoral.

Dentro del tramo costero, la zona más importante en términos del volumen de sedimentos que se transporta, es la zona de rompiente. En esta zona de la playa donde ocurre la rotura del oleaje, da lugar a la mayor transformación de energía proveniente de aguas profundas transportada por la masa de agua. El resultado de la acción de estos procesos disipativos es la turbulencia, lo que provoca una intensa agitación de sedimentos del fondo marino colocándolo en suspensión. Este proceso de rotura es capaz de dar una configuración a la línea de costa mediante las corrientes tanto transversales como longitudinales que se dan lugar en esta franja.

5.3.1 CORRIENTES ASOCIADAS A LA ROTURA

Cuando el oleaje alcanza la costa y rompe en la playa, se genera una variedad de corrientes. Sin embargo se pueden distinguir dos patrones de circulación costera:

- A. Cuando las olas se aproximan en dirección normal a la costa y rompen paralelamente a las líneas batimétricas, las corrientes generadas forman ciclos de circulación con corrientes de retorno, usualmente fuerte y estrechas en la dirección mar adentro.
- B. Cuando las olas se aproximan con un cierto ángulo a la línea de costa, las corrientes generadas fluyen paralelamente a la costa y el ciclo de circulación está limitado a la zona de rompiente, entre el punto de rotura y la línea de costa.

Todas las corrientes generadas por la rotura del oleaje son movimientos de aguas en las cercanías de la costa, donde su interacción con flujos oscilatorios y de resaca asociados al oleaje, producen el transporte de sedimento y cambio morfológico característico de las playas.

Las olas forman corrientes que pueden desplazar un volumen de sedimento en forma transversal a la costa (onshore-offshore) o también de forma paralela a la costa (longshore). El comportamiento del oleaje cambia estacionalmente y por consiguiente también lo hace la forma de la playa. Donde el sedimento erosionado es transportado hacia la zona de playa sumergida formando barras submarinas que luego retornan a la playa bajo condiciones de oleaje poco energético. En consecuencia, es común que la forma de una playa refleje con claridad los patrones de circulación de las corrientes presentes en la zona.

5.3.2 CORRIENTES LONGITUDINALES

Este tipo de corriente se caracteriza por flujos de agua paralelos o normales a la playa, producidos por la acción del oleaje. El flujo de agua paralelo a la costa, formado por el ingreso de olas a la playa en forma oblicua se denomina corriente de deriva litoral (Longshore current). Estas corrientes generan un flujo turbulento que se desplaza entre la zona de rompiente y la playa.

El sedimento que conforma la playa al recibir el impacto del oleaje en forma oblicua se desplaza de forma perpendicular al frente de onda incidente, que se va trasladando en forma de deriva litoral a medida que las olas rompen progresivamente. Esta corriente litoral se extiende por todo el ancho de la zona de rompiente. Donde alcanza una máxima fuerza en medio de la zona de rompiente y disminuye en fuerza a medida que se aleja de la costa.

Dicha información posee un rol fundamental a la hora de desear caracterizar una playa e intervenir un sector costero, ya que conociendo la magnitud y dirección de esta deriva litoral permitirá conocer el comportamiento de la hidrodinámica de la playa en estudio y poder predecir sus cambios estacionales.

5.3.3 CORRIENTES DE RETORNO

Las corrientes de retorno o también conocidas como *Rip Currents*, son flujos de agua más concentrados e intensos que se propagan desde la línea de playa hacia el mar formando verdaderos ciclos de circulación costera, lo que constituye un rasgo fundamental de estas corrientes, ya que a diferencia del resto de las corrientes costeras, éstas son perpendiculares a la costa (Figura 8).

Se caracterizan por estar compuestas en tres partes principales:

- Zona de Generación (Feeder): zona de encuentro entre masas de agua, que fluyen hacia el rip paralelamente a la costa.
- Cuello (Neck): Zona de mayor caudal de la corriente, donde las corrientes de generación convergen en un flujo estrecho y rápido que se mueve hacia el mar a través de la zona de rompiente.
- Cabeza (Head): Zona de dispersión del caudal. Donde se expande y disipa el rip.

La generación e intensidad de éstas corrientes dependerá de la forma de la costa, la pendiente de la playa, y de las variaciones batimétricas del lecho marino frente a la costa.

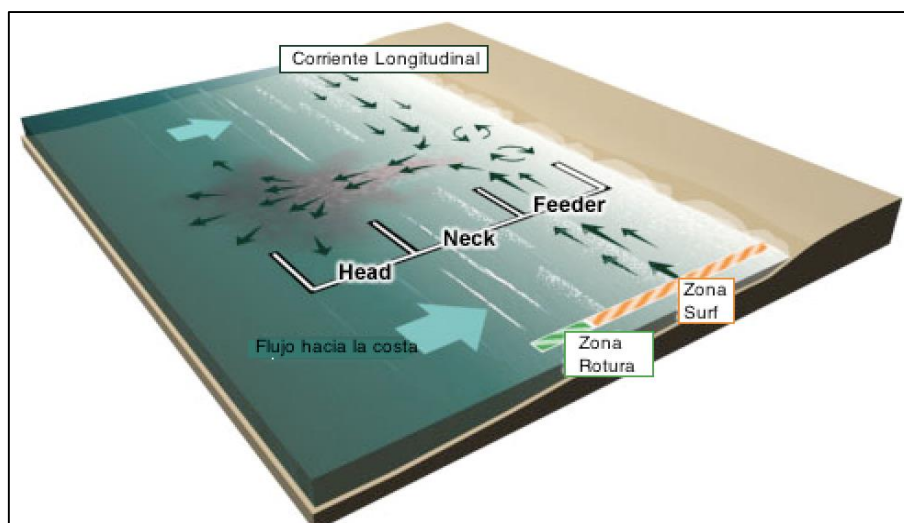


Figura 8: Estructura de una corriente de retorno.
Fuente: www.ripcurrents.noaa.gov

5.3.4 CORRIENTES DE RESACA

La corriente de resaca (conocida también como undertow) consiste en una corriente de fondo fluyendo en dirección hacia el mar, confinado principalmente en la región por debajo de la cresta de la ola y es alimentado por el transporte de la masa de agua traída por el oleaje en rotura. En otras palabras en un flujo de retorno en dirección hacia del mar que compensa a la masa de agua transportada en dirección de la costa por el oleaje en rotura (Figura 9).

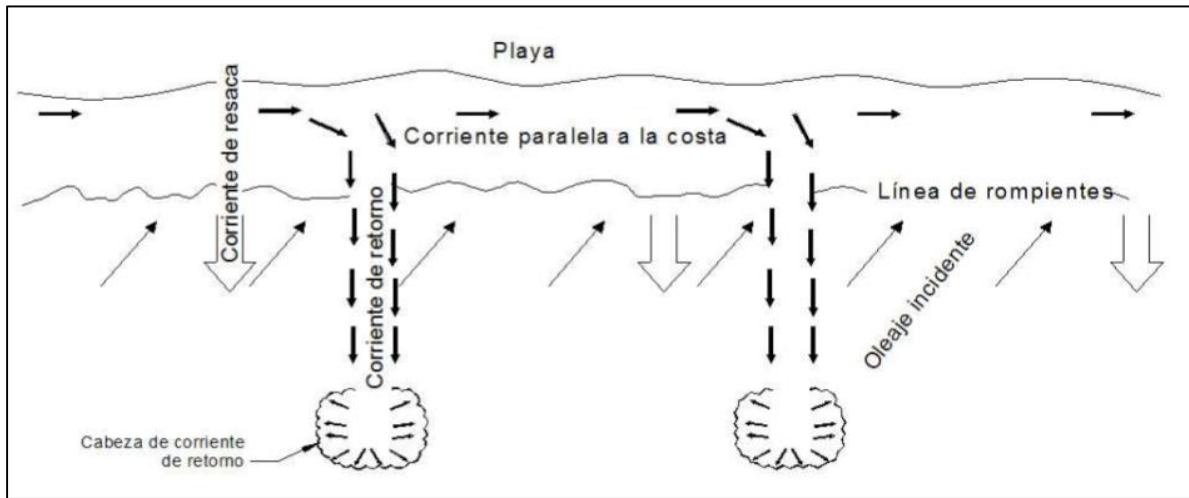


Figura 9: Corrientes asociadas a rotura en la costa.
Fuente: (Mercado, 2010)

5.4 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Un punto clave en cualquier estudio de playas es una correcta determinación del transporte longitudinal de sedimentos, ya que este condiciona la evolución temporal de estos espacios. Este transporte en las playas es fundamentalmente generado por la acción rompiente de las olas y por las corrientes generadas por éstas, que fueron descritas anteriormente y que ocurren a lo largo de la costa, como también en forma perpendicular a ella. Dichas corrientes se consideran más influyentes que las corrientes marinas, debido a su mayor capacidad de transporte de sedimento. De este modo, se destaca a ésta acción marina como la responsable de la modelación y evolución de la franja costera, mediante procesos de acreción, erosión, transporte y acumulación.

Sin embargo, el transporte de sedimentos a lo largo de la costa y perpendicular a ella ocurren a diversas escalas tanto espaciales como temporales debido a sus diversos mecanismos de generación y sus efectos en la costa. (Magrama, 2007).

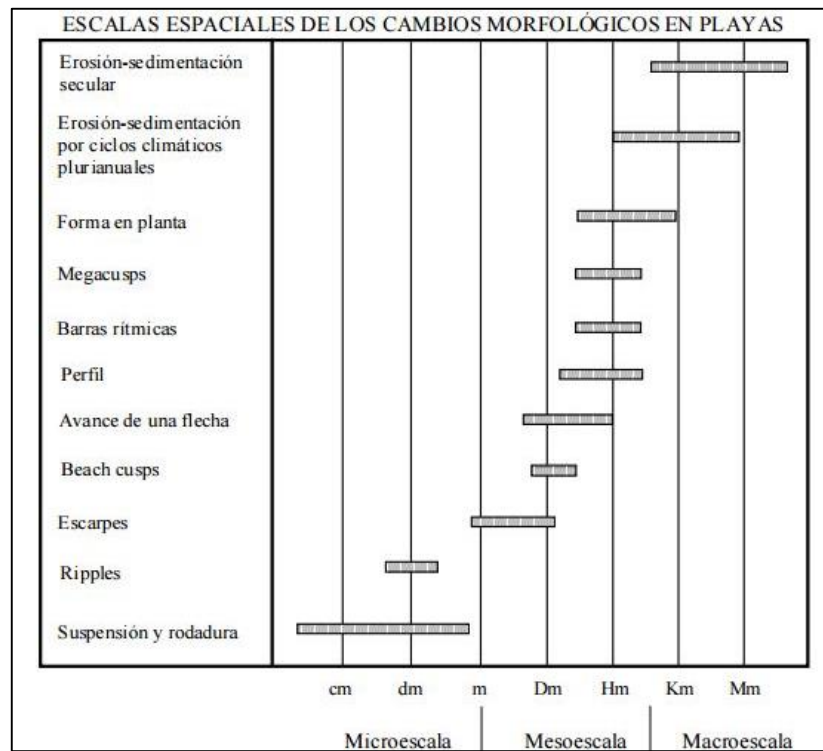


Figura 10: Escalas espaciales típicas de los cambios morfológicos en playas.
Fuente: (Magrama, 2007)

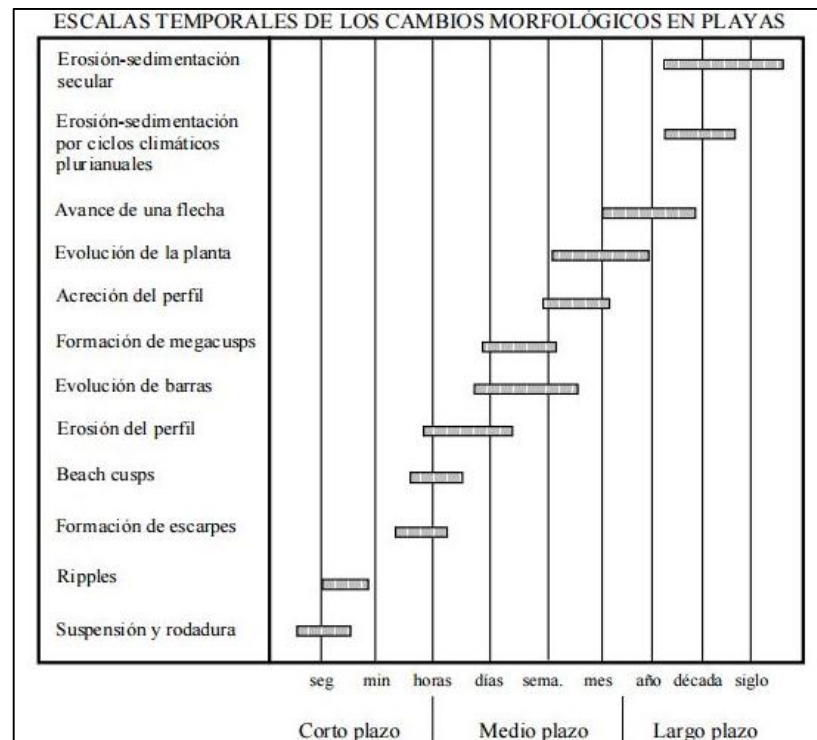


Figura 11: Escalas temporales típicas de los cambios morfológicos en playas.
Fuente: (Magrama, 2007)

5.4.1 MODOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

El movimiento de sedimentos puede presentarse en dos formas: como transporte de fondo o suspensión, donde dependerá mayormente del tamaño de la partícula a movilizar. Para que el movimiento del grano en el lecho marino se inicie, debe ocurrir que la fuerza que ejerce el fluido sobre éste sea mayor que la resistencia que oponga. Y una vez que la partícula esté en movimiento se puede presentar en cuatro formas, como se ilustra a continuación.

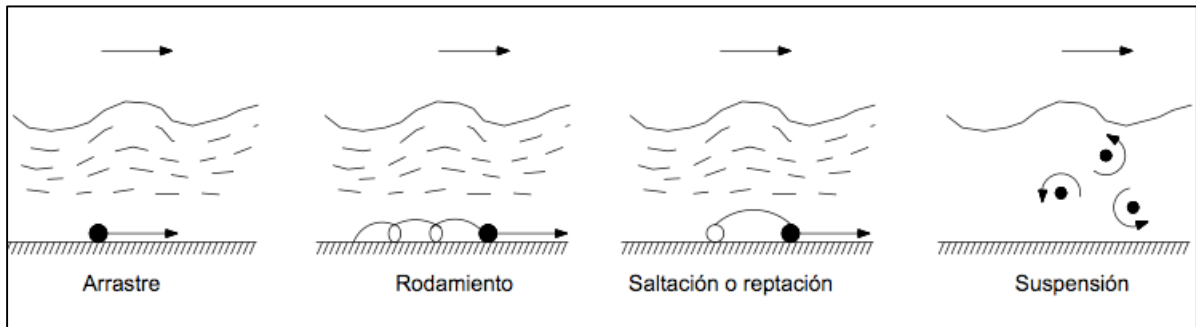


Figura 12: Tipos de movimientos de partículas.
Fuente: (Quezada, 2013)

El tipo de movimiento resultante dependerá de que si la tensión tangencial sobre el grano es superada, entonces resultará una rodadura de la partícula, es decir, las partículas permanecen en contacto con el lecho en forma continua y están limitados por los efectos de la gravedad. En cambio si la tensión tangencial aumenta, los granos comenzarán movilizarse y sobrepasarse entre sí, lo que resultará es una saltación del sedimento por efecto de las fuerzas turbulentas. Y finalmente si la velocidad de corte excede a la velocidad de caída del grano, provocará que la partícula se eleve del fondo y pueda ser transportado mediante suspensión.

5.4.2 TRANSPORTE LONGITUDINAL DE SEDIMENTOS

El transporte longitudinal ocurre de forma paralela a la costa y es el responsable de los mayores cambios de la forma en planta de la costa debido a desplazamientos sedimentarios.

Se conoce que las olas al acercarse a la costa sufren procesos de transformación en su altura y longitud de onda, lo que provoca el rompimiento de la onda transfiriendo cantidad de movimiento a la columna de agua y disipación de energía. Esta última genera corrientes paralelas a la costa en la medida que las olas rompen con un cierto ángulo de incidencia, lo que origina las ya descritas corrientes longitudinales responsables de movilizar sedimentos y generar cambios en la línea de costa.

Debido a las diversas direcciones de oleaje incidente presente en una costa se puede obtener una tasa de transporte de sedimentos en un sentido y en otro. De esta manera se puede determinar dos tipos de transporte:

- A. **Transporte Longitudinal Bruto:** Que incluye tanto el transporte en una dirección como también en la opuesta a lo largo del período de medida, debido a las condiciones cambiantes del oleaje.

- B. **Transporte Longitudinal Neto:** Que indica la diferencia de volúmenes transportados en un sentido u otro, en definitiva es la resultante de transporte longitudinal de sedimentos y es el principal responsable de la evolución de las playas. Mediante la magnitud de este valor se puede inferir la dirección del transporte litoral en una playa (Figura 13).

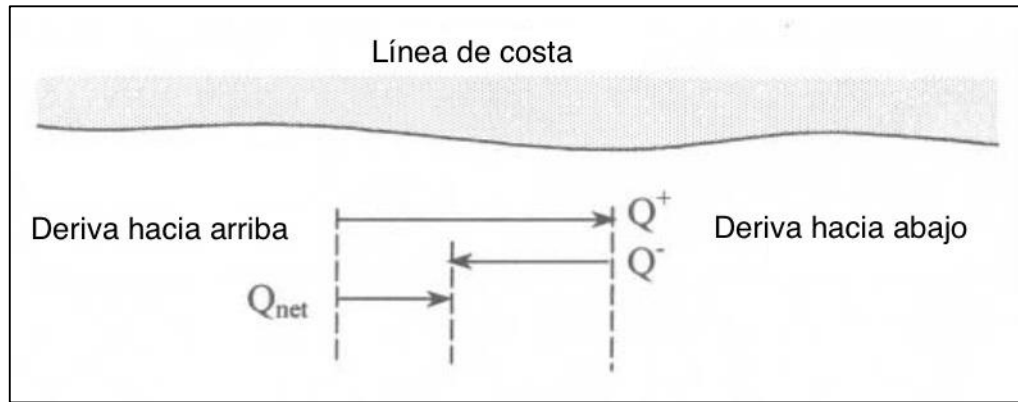


Figura 13: Tasa y dirección del transporte de sedimentos.
Fuente: (Kamphuis, 2000)

5.4.3 TRANSPORTE TRANSVERSAL DE SEDIMENTOS

El transporte transversal de sedimentos ocurre de forma perpendicular a la costa y por lo tanto es el principal responsable de los cambios de perfil de la playa que ocurren de forma estacional y da lugar a los característicos perfiles de acreción o de verano y a los perfiles de erosión o de invierno. De manera que la escala temporal a los que están sujetos dichos cambios se reducen a meses o estaciones, como se observa en la anterior Figura 11.

Existe un perfil de equilibrio dinámico que entrega información fundamental para determinar el perfil medio que no se mueve en dirección transversal, es decir, cuando la playa soporta una cierta tasa de disipación de energía proveniente de las olas y no sigue modificando su perfil. Dicho perfil de equilibrio se extiende hasta la denominada profundidad de cierre, a partir de la cual el oleaje no tiene influencia sobre la forma que adopta el perfil de la playa, al no ocurrir transporte de sedimentos.

Los cambios experimentados en el perfil de la playa son producto de la interacción de diversos agentes dinámicos que modifican la acción del transporte transversal de sedimentos, como el oleaje, viento, nivel de marea, etc. De esta manera los cambios en el perfil de la playa pueden asociarse a dos tipos de estados (Figura 14):

- A. **Perfil de erosión** o disipativo, que se produce bajo la acción de oleaje altamente energético, es decir, oleaje incidente de gran altura y período relativamente corto, lo que provoca una erosión en la parte interna del perfil retrocediendo la línea de costa y transportando material sedimentario mar adentro en forma de barras sumergidas. Resultando de esta forma una disminución de la pendiente del perfil de la playa.

- B. **Perfil de acreción** o acumulación, que se produce bajo la acción de oleaje de poco contenido energético, es decir, oleaje incidente generalmente de pequeña altura y de relativamente largo período, en donde el material almacenado en las barras sumergidas es transportado hacia la costa, reconstruyendo la berma lo que hace avanzar la línea de costa. Resultando finalmente un aumento en la pendiente del perfil.

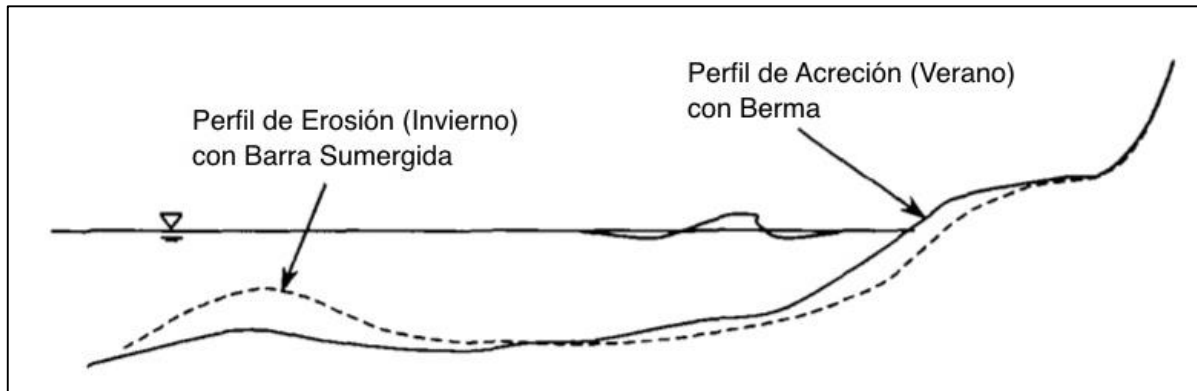


Figura 14: Cambio anual en el perfil de playa.
Fuente: (Kamphuis, 2000)

Estos dos tipos de perfiles mencionados no son sino los límites de un gran rango de estados de perfiles de playa que dependen de la capacidad energética del oleaje incidente, y de las características físicas de las costas entre otras variables. Al igual que todos los fenómenos que influyen en la modificación de la franja costera, éstos están sujetos a una escala temporal. Para el caso del perfil de erosión está sujeto a un orden de horas (por ejemplo la ocurrencia de una tormenta) y en el caso del perfil de acreción puede llegar al orden de meses.

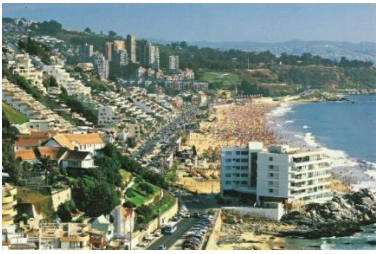
6 ANTEDECENTES DEL MEDIO

6.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA PLAYA

El origen de la ciudad de Reñaca se remonta a 1905, cuando el heredero de la Hacienda de Viña del Mar, Salvador Vergara Álvarez junto a Gastón Hamel de Souza formaron la “Sociedad Inmobiliaria Montemar”, para urbanizar la playa de Reñaca. En el año 1912 se materializa el protocolo para el plano que abarca sólo la superficie plana en torno al estero. Posterior a ello, se comienzan a construir las primeras casas adyacentes a las orillas del cauce del Estero de Reñaca.

Para resaltar la importancia de los espacios costeros en el litoral central del país, tanto en desarrollo inmobiliario como también turístico, es que en la Tabla 2 se ilustran los principales hitos que marcan el desarrollo del balneario de Reñaca.

Tabla 2: Principales hitos en el desarrollo urbano del balneario de Reñaca.

Década de 1920	
	El primer camino costero en Reñaca fue construido en 1917. Sin embargo la playa permaneció desierta por algunos años. En 1940 comienza a edificarse en la calle que bordea la costa, apareciendo así casas utilizadas como segundas residencias. Pese a este incipiente desarrollo inmobiliario, la playa de Reñaca era poco visitada ya que sus aguas eran consideradas peligrosas para el baño debido a la intensidad del oleaje.
Década de 1960	
	En 1965 el balneario comienza a transformarse en el más importante centro del acontecer veraniego. Al urbanizarse la playa, se origina un fuerte desarrollo constructivo, donde las casas construidas fueron derribadas para levantar en su lugar imponentes edificios escalonados en la ladera. Para ese entonces se reconstruye todo el borde costero, convirtiendo a Reñaca en la poseedora de los terrenos más caros del país. (www.vinadelmar.travel, 2015)
Década de 1990	
	Superando los años 80, Reñaca se transforma en el núcleo de mayor desarrollo urbano en todo el litoral central, donde cada verano miles de turistas de todo el país eligen como destino las codiciadas playas de Reñaca y sus alrededores, haciendo de éstos espacios costeros un recurso cada vez más valorado por las ciudades.

6.2 CARACTERÍSTICAS EL ÁREA DE ESTUDIO

El Encanto es una playa arenosa de 220 metros de longitud que actúa como playa receptora de sedimento transportado por corrientes litorales presentes en la costa. Sin embargo, la playa está compuesta por prominentes roqueríos en el fondo que se tornan visibles en el período de invierno y que corresponde al más erosivo de la playa.

El relieve del litoral central se caracteriza por diversos niveles de terrazas de abrasión marina y más específicamente se distinguen dos niveles entre el tramo Marga Marga- Concón. Dicha morfología se encuentra disectada por cursos fluviales de corta extensión (Vergara & Valenzuela, 1981).

En el estudio de Vergara y Valenzuela (1981) se establece que el litoral de Valparaíso corresponde a una costa erosional caracterizada por la presencia de acantilados rocosos y ensenadas en las que existen playas arenosas de extensión inferior a los 750 metros, con algunas excepciones. En el mismo estudio se establecieron características dinámicas para el tramo costero de Reñaca, dando como resultado que el sector se ubica en una zona de energía intermedia conformado por arenas gruesas, por lo que se encuentra en un estado de equilibrio inestable, caracterizado por la depositación de sedimentos en las zonas de menos energía y erosión en los segmentos de mayor energía

6.2.1 CLIMATOLOGÍA

Las condiciones naturales del área de estudio están controladas por un fenómeno de circulación atmosférica general, que regula las condiciones climáticas por la presencia de un centro de alta presión atmosférica casi estacionario (Anticiclón del Pacífico) que alcanza la latitud 30° Sur. Dependiendo de la estación del año, el anticiclón se desplaza más hacia el norte en período de invierno (hasta los 25° Sur), permitiendo la entrada de frentes acompañados de vientos de alta intensidad de dirección N y NW, lluvias y mal tiempo en general. Para el resto del año, el patrón general de vientos es de dirección SW.

En cuanto a las temperaturas en la zona, se puede clasificar la región costera como clima templado, fluctuando en promedio entre los 12° y 18°C.

6.2.1.1 PRECIPITACIONES

El régimen pluvial no es constante a lo largo del año, ya que principalmente se concentra en los meses de invierno (Mayo-Agosto). Donde el volumen total anual de precipitaciones alcanza los 370 mm.

6.2.1.2 VIENTOS

El régimen general de vientos es regulado por dos tipos de circulación:

- Anticiclónica, originada por el margen oriental del Anticiclón del Pacífico.
- Ciclónica, que se deriva de las depresiones migratorias que chocan con el litoral central y sur.

El predominio de los vientos dependerá de las estaciones, ya que los vientos del tercer cuadrante se experimentan durante las estaciones de primavera y verano. Los vientos del SW en verano experimentan durante el día un notorio aumento de intensidad, que va disminuyendo después de la puesta de sol y que sobre todo después de altas temperaturas diurnas se conocen como “Surazos”, alcanzando una velocidad aproximada de 30 hasta 40 nudos. En invierno en cambio, los vientos predominantes provienen del cuarto cuadrante. Estos vientos de circulación ciclónica se manifiestan con dirección N y NW, con una intensidad media que varía de los 15 hasta los 30 nudos, con características de temporal.

Referente a los períodos peak del oleaje, se ha determinado que se encuentran entre los 11 y 15 [s], con un valor medio entorno a los 13 [s] (EPV, 2012).

6.2.1.3 MAREAS

Las mareas presentes en la zona de estudio obedecen al régimen mixto semidiurno, es decir, se presentan dos bajamares y dos pleamares, existiendo un lapso entre ellas de 6 horas y 12 minutos. Mientras que el rango mareal en sicigias para la bahía de Valparaíso es de 1,85 [m] (SHOA, 2015)

6.2.1.4 CORRIENTES

De acuerdo a mediciones efectuadas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), se ha detectado la presencia de una corriente de tipo casi permanente, la que genera corrientes transversales en direcciones también constantes (Figura 15 y 16).

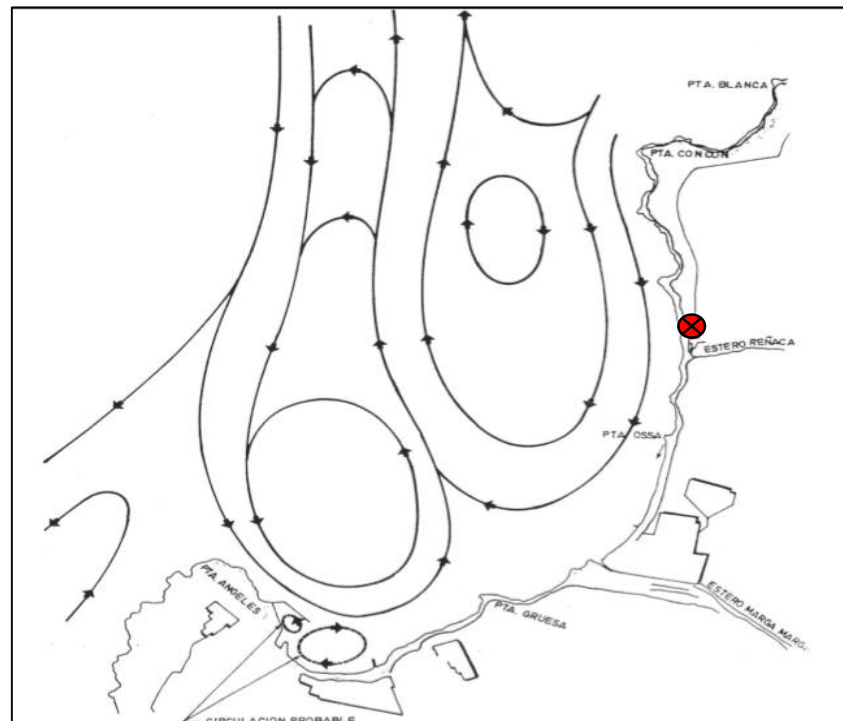


Figura 15: Circulación de corrientes en pleamar.

Fuente: (EPV, 2012)

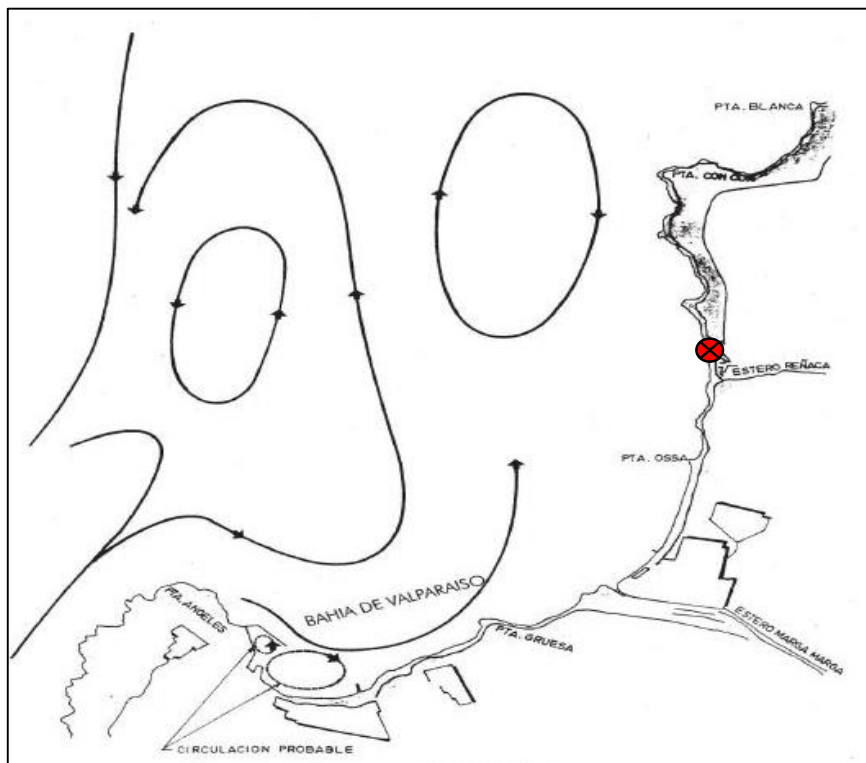


Figura 16: Circulación de corrientes en bajamar.
Fuente: (EPV, 2012)

6.2.2 CONCESIONES MARÍTIMAS

Hasta el mes de Mayo de 2015, la playa El Encanto no se encuentra otorgada mediante ninguna concesión marítima a alguna persona natural o jurídica. Sin embargo, colinda con concesiones marítimas mayores otorgadas a la Universidad de Valparaíso que se ilustran en la Figura 17:



Figura 17: Concesiones marítimas cercanas a playa El Encanto.
Fuente: www.concesionesmaritimas.cl

6.2.3 HIDROGRAFÍA

La cuenca costera de la región de Valparaíso se extiende entre Los Molles por el norte y las Rocas de Santo Domingo por el sur, y abarca una superficie aproximada de 3.510 km². El sector de interés para este estudio se encuentra en las denominadas cuencas costeras del sur y corresponden a aquellas ubicadas al sur del río Aconcagua.

El litoral central de la V Región está conformado por una red de drenaje compuesta principalmente de norte a sur, por los esteros Los Molles, Guaquén, Las Salinas, Papudo, Catapilco, Puchuncaví, Pucalán, Reñaca, Marga-Marga o Viña del Mar, El Sauce, Casablanca, El Yugo, El Membrillo, San Jerónimo, El Totoral, El Rosario, Cartagena, El Sauce y Río Maipo en Desembocadura (Figura 18).

En los sectores comprendidos entre el litoral y las cuencas de los esteros antes mencionados, la red de drenaje se constituye de esteros y quebradas de muy corto desarrollo, que alcanzan el mar en forma individual y conforman pequeñas cuencas.

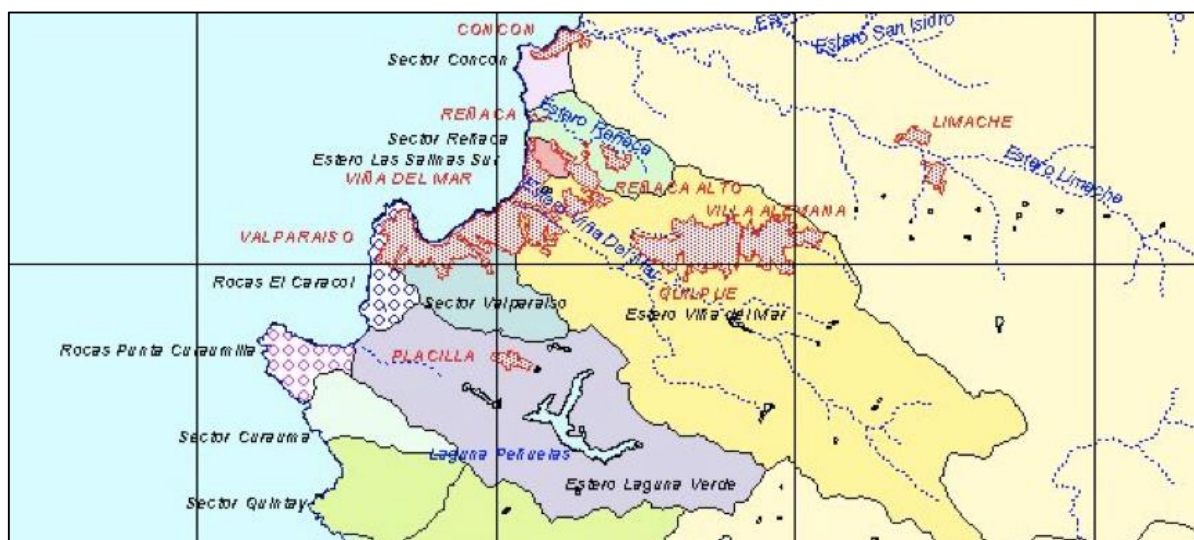


Figura 18: Principales cuencas costeras de la V región.
Fuente: (DGA, 2005)

El régimen de escorrentía que caracteriza a los esteros y quebradas, tanto en las cuencas costeras como en los denominados sectores costeros, es esencialmente de origen pluvial, por lo que su escurrimiento está estrechamente asociado a la distribución estacional de las precipitaciones (DGA, 2005). A modo de caracterizar el régimen de precipitaciones se destacan los siguientes aspectos:

- La precipitación media anual oscila entre 250 y 450 [mm] anuales, incrementándose de norte a sur.
- Alrededor del 90 % de la precipitación total anual se concentra entre los meses de mayo a septiembre.
- Destaca por su alta pluviosidad, alrededor de unos 650 mm al año en promedio, el sector alto de la cuenca del estero Marga-Marga o Viña del Mar y de El Sauce-Peñuelas.

Los sectores como estero Marga-Marga, estero San Gerónimo, estero El Rosario, estero Cartagena y el Estero El Sauce, tienen su origen en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa. El sector del estero de Reñaca considerado de importancia en este estudio está formado por las áreas que conforman la divisoria de agua de los sectores anteriormente indicados y que determinan cuencas de menor extensión superficial que las primeras. Los esteros que nacen en cordones de cerros bajos, depositan material de buena selección, aunque con clastos fundamentalmente angulosos, esto se debe principalmente por el corto transporte y porque la principal superficie de erosión han sido las rocas antiguas existentes en sus cuencas de drenaje.

6.2.3.1 ESTERO MARGA-MARGA

Se ubica inmediatamente al sur del río Aconcagua, en la cuenca de Viña del Mar, cuyos afluentes principales son los esteros Marga-Marga, Quilpué y Las Palmas. Es una cuenca costera con una superficie de 416 km².

El estero tiene como tributarios otros pequeños cursos de agua que recogen las aguas de las quebradas que bajan de los cerros vecinos y de los desagüaderos de los embalses construidos para retener las aguas lluvias invernales. El más importante es el estero Quilpué que partiendo desde el Rincón de Peñablanca, recoge desde las quebradas el agua del sector norte; por el lado sur los esteros: Moscoso, Las Palmas, del Carrizo, del Fullero y los Coligues contribuyen a la formación de su caudal (Quezada J. , 2010).

En la cuenca del estero Marga-Marga, no hay registros sistemáticos de caudales, sin embargo existen estadísticas de caudales generadas por un modelo de precipitación-escorrentía junto con correlaciones con serie de caudales similares en la zona, obteniendo así caudales medios mensuales (Tabla 3) para 50% y 85% de probabilidad de excedencia.

Tabla 3: Caudales medios mensuales Estero Marga Marga en desembocadura [m3/s].

Cuenca	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Anual
50%	0,09	0,58	1,99	3,79	3,09	1,74	0,73	0,43	0,23	0,14	0,09	0,06	1,08
80%	0,03	0,16	0,74	1,63	1,25	0,7	0,27	0,16	0,09	0,06	0,03	0,03	0,43

Fuente: (CNR, 2003)

Los sedimentos provienen mayoritariamente de la erosión de los flancos de las laderas y del arrastre violento por lluvias ocasionalmente fuertes, que condicionan una permeabilidad regular a mala.

6.2.3.2 ESTERO REÑACA

La cuenca del estero Reñaca se ubica en el sector limítrofe entre las comunas de Viña de Mar y Concón. Se caracteriza por ser una cuenca hidrográfica de carácter costero interfluvial, la cual se origina en la cordillera de la costa (Cerros El Cóndor y Los Culenes), y desemboca al océano en el balneario de Reñaca. Se caracteriza por tener un caudal de agua permanente, sin embargo es constantemente intervenido de forma antropogénica ya sea para crear accesos peatonales que atraviesan el estero o para crear áreas de estacionamientos en época estival.

Referente a la topografía de la cuenca de Reñaca, gran parte tiene como substrato rocas graníticas, específicamente granodiorita gris clara de grano grueso. A través del tiempo se han formado variaciones de suelo, cuya característica es su textura limo arenosa, y sus colores varían desde amarillento a anaranjado rojizo (Ojeda, 2013).

El estero de Reñaca, posee un curso principal de 13,6 [km] de extensión y una dirección predominante Este-Oeste. Sustenta un régimen de agua permanente proveniente de numerosas vertientes ubicadas en torno a la cabecera de la cuenca. Sin embargo su curso de agua se torna importante sólo en condiciones de escorrentía por lluvia, presentando importantes crecidas de caudal.

Una de las grandes desventajas presentes en el estudio del comportamiento del estero, es que no existen estaciones fluviométricas que permitan conocer registros de su caudal. El único dato que se posee es respecto a la pluviosidad en la cuenca (Tabla 4), donde las mayores precipitaciones se registran en los meses de junio y julio.

Tabla 4: Precipitación promedio en cuenca de Reñaca.

Sector Hidrogeológico	Área Cuenca Aportante [Km2]	Área Cuenca Acuífero [Km2]	Precipitación Media Anual [mm]
Concón	13,0	13,0	370,0
Reñaca	35,4	17,7	400,0
Esteros Las Salinas Sur	6,4	1,7	400,0
Esteros Marga Marga	424,5	160,5	550,0

Fuente: (Ojeda, 2013)

Los sedimentos de origen continental arrastrados por los cursos de agua hasta su desembocadura en el océano Pacífico, son posteriormente sometidos a la acción de las corrientes longitudinales. Particularmente en el centro-sur de Chile, esta deriva litoral transporta sedimentos desde las desembocaduras de los ríos o esteros en dirección Norte producto del oleaje reinante de dirección SW (Fariña & Camaño, 2012).

6.2.4 BATIMETRÍA Y LÍNEA DE COSTA

La topografía del fondo marino y línea de costa de la zona en estudio es uno de los tópicos con mayor carencia de datos, ya que la única información existente es la contenida en las cartas náuticas elaboradas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, y que abarcan las siguientes zonas cercanas al área de interés:

- Carta N° 5000: Valparaíso a Golfo de Arauco.
- Carta N° 4000: Coquimbo a Valparaíso.
- Carta N° 4320: Quintero a Valparaíso.

Las tres cartas antes mencionadas poseen una abundancia de datos para la batimetría del litoral central, sin embargo para el caso específico de la playa El Encanto el último veril medido y que corresponde al más cercano a la línea de costa se ubica en los 50 [m] (Figura 19). A pesar de ser una profundidad bastante próxima a la costa, las características particulares que

presenta la playa en términos de promontorios rocosos sumergidos, hacen que se requiera un mayor detalle en el estudio de su fondo marino.

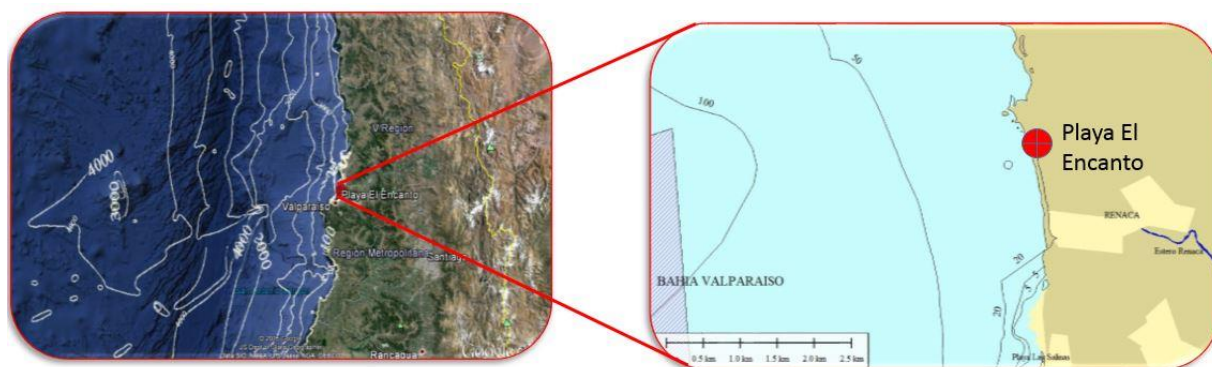


Figura 19: Batimetría existente en la zona de estudio.
Fuente: Superposición de imágenes con Global Mapper y Google Earth.

7 METODOLOGÍA

Con el objetivo de realizar un estudio adecuado de la playa El Encanto, se procede a caracterizar la zona mediante diversas etapas (Figura 20) que permitirán una correcta medición y evaluación de los perfiles de playa y su área total de arena, y que entre cosas facilitarán el estudio de los diversos perfiles extremos observados en la playa y su evolución en el tiempo, con el propósito de generar los perfiles de playa existentes en fechas anteriores. Además del cálculo de área total de acreción y erosión a partir de las mediciones de perfiles, se realiza una asociación simultánea con un registro de oleaje obtenido del proyecto FONDEF-IDEA: “Un Atlas de Oleaje para Chile” desarrollado por la carrera de Ingeniería Civil Oceánica, y que a través de la transferencia espectral es posible determinar las condiciones de oleaje en la zona, pudiendo así establecer la respuesta de la playa ante la acción del oleaje, mediante la visualización de los efectos de oleaje energético sobre la morfología de los perfiles y su evolución.

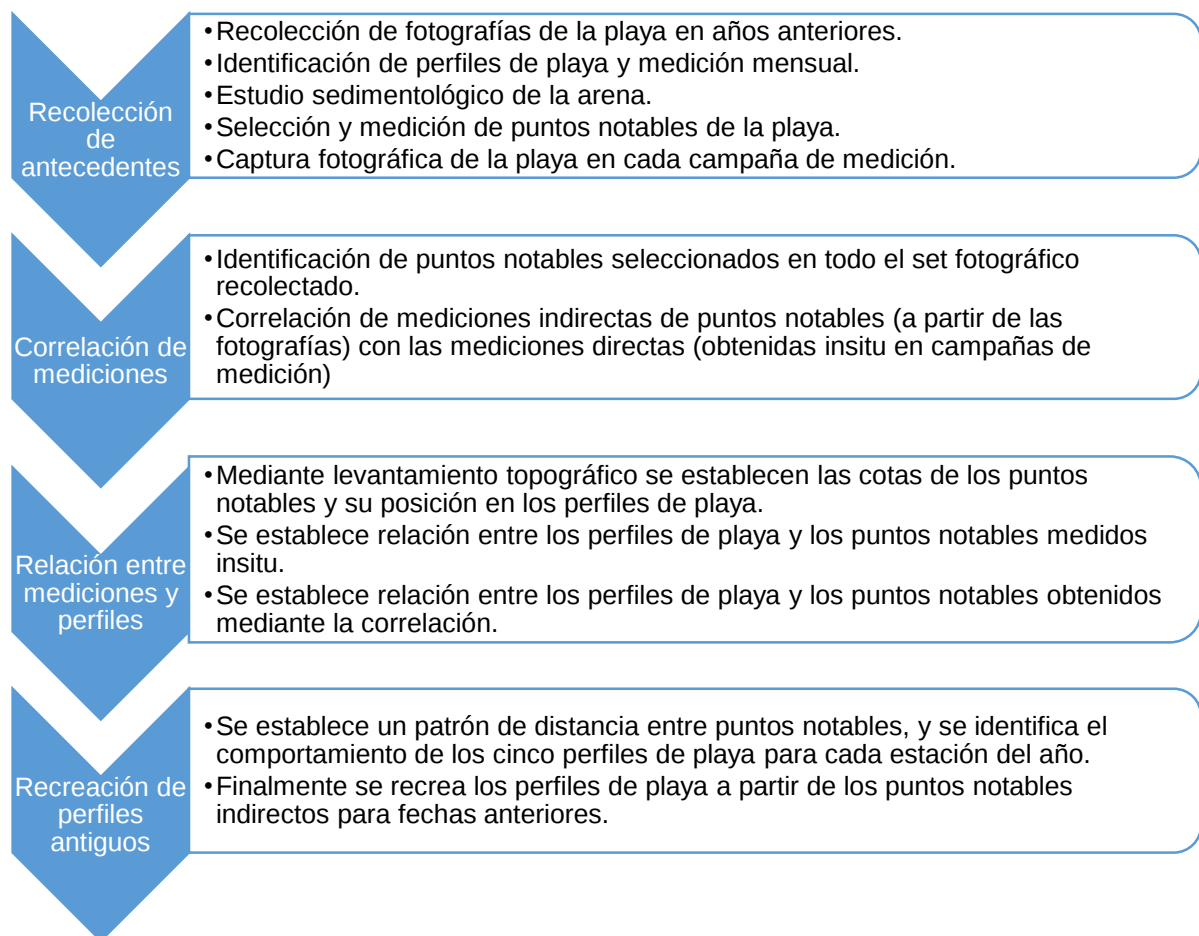


Figura 20: Esquema metodológico para la reconstrucción de perfiles de playa.

Las etapas que se mencionadas anteriormente se realizan con el objetivo de crear una base de información que permita dimensionar los cambios en el perfil de playa, mediante mediciones directas, es decir en terreno, o indirectas como la utilización de puntos notables que consisten

en referencias visibles en la playa, que dependiendo del transcurso anual, se tornan visibles y permiten cuantificar los cambios morfológicos de la playa, y a su vez, son utilizados como puntos de control de la variación del nivel de arena.

Adicionalmente se realiza un estudio sedimentológico para caracterizar el tipo de arena de la playa El Encanto y sus posibles fuentes de origen, incluyendo un análisis granulométrico, estadístico y mineralógico de las muestras recolectadas.

7.1 SELECCIÓN DE PERFILES DE PLAYA

Como se describió anteriormente en el capítulo “Antecedentes del Medio” (página 20), se puede observar que en toda la extensión de la playa El Encanto existen formaciones rocosas que tienden a subdividir la playa en tramos, es por este motivo que se opta por trazar cinco perfiles en planta de la playa, de manera que cada tramo seleccionado sea representativo de su porción aledaña (Figura 21-A). Una vez elegida la ubicación de los perfiles, es posible trazar la vista transversal de la playa que será analizada en cada campaña de medición (Figura 21-B).

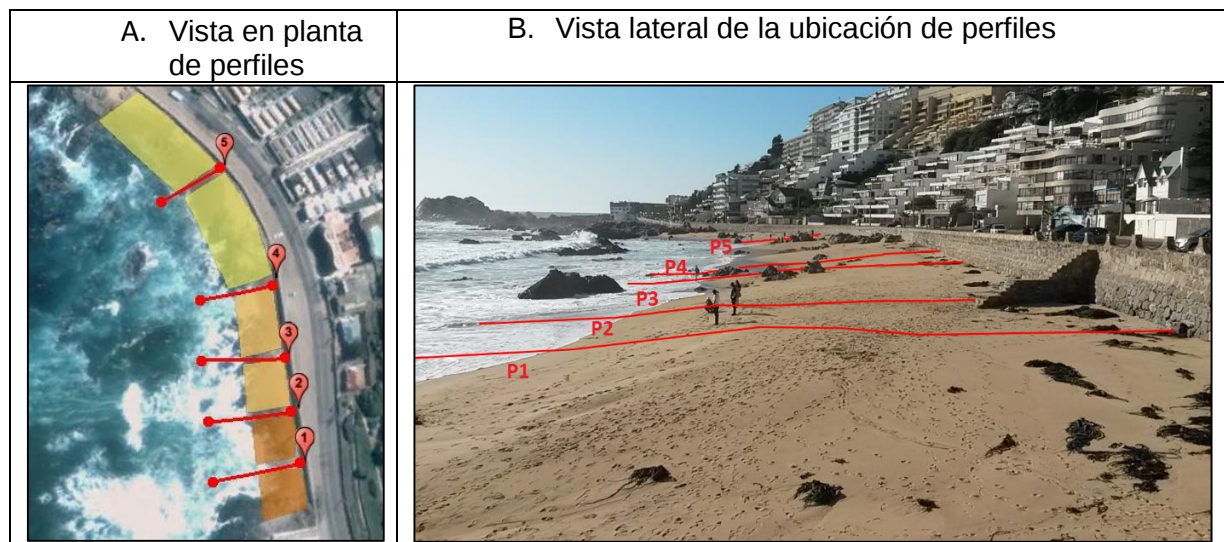


Figura 21: Vista en planta y lateral de ubicación de perfiles y sus áreas representativas.
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth 2014.

Se establecen las ubicaciones de los cinco perfiles y sus respectivas referencias para una fácil localización a la hora de realizar campañas de medición. A continuación en la Tabla 5 se ilustran las características topográficas de cada perfil y sus referencias:

Tabla 5: Imágenes y referencias de perfiles seleccionados.

FOTOGRAFÍA DE REFERENCIAS	REFERENCIAS DEL PERFIL
	PERFIL 1 Referencia del perfil: Parte sur, entre muro de edificio y escala de piedra. • <u>Ref. Posterior (P)</u>: Farol de patio. • <u>Ref. Anterior (A)</u>: Borde norte del cuarto monolito contando desde la escalera. • Estación cero (E0): Borde sobre muro.
	PERFIL 2 Referencia del perfil: Ubicado al norte de escala de piedra. • <u>Ref. Posterior (P)</u>: Poste norte con transformador ubicado en la calle. • <u>Ref. Anterior (A)</u>: Segundo monolito del borde muro. • Estación cero (E0): Borde sobre muro.
	PERFIL 3 Referencia del perfil: Sector centro de la playa. • <u>Ref. Posterior (P)</u>: Estatua de virgen en muro anterior a la calle. • <u>Ref. Anterior (A)</u>: Piedra con punta de granito en el muro. • Estación cero (E0): Borde sobre muro.
	PERFIL 4 Referencia del perfil: Sector centro de la playa que colinda con desagüe. • <u>Ref. Posterior (P)</u>: Borde norte de edificio blanco sobre el cerro. • <u>Ref. Anterior (A)</u>: Poste ubicado en la calle. • Estación cero (E0): Borde sobre muro.



PERFIL 5

Referencia del perfil:

Sector norte de la playa.

- Ref. Posterior (P): Línea norte de edificio Los Navegantes.
- Ref. Anterior (A): Línea norte de edificio Los Navegantes en los primeros niveles.
- Estación cero (E0): Borde sobre muro.

En el sector sur de la playa se decide trazar los perfiles 1, 2 y 3, que se encuentran relativamente cercanos, pero que en la evolucion anual de la playa evidencian marcadas diferencias. El número de perfiles trazados en este sector se debe: i) El lado sur de la playa se encuentra mayormente expuesto al oleaje proveniente tanto del SW como del NW, por lo tanto presenta mayores variaciones en la forma del perfil dependiendo de la dirección de oleaje incidente, ii) Experimenta los fenómenos de refracción y difracción del oleaje producidos por las formaciones rocosas cercanas en ambos extremos, iii) El emplazamiento de una escala de acceso a la playa que subdivide el sector modificando la acumulación de arena en cada tramo. El objetivo de ubicar tres perfiles en este primer trecho se debe que se desea registrar con mayor detalle los diversos cambios experimentados en esta corta distancia. Para el tramo central de la playa se traza el perfil 4 que se encuentra emplazado entres dos grandes formaciones rocosas y finalmente para el sector norte de la playa se traza el perfil 5, que de toda la extensión es el sector que se encuentra mayormente protegido del oleaje NW.

Al realizar el trazado de los cinco perfiles a lo largo de la playa, es posible identificar tres zonas con comportamientos morfológicos similares, es por ello que de aquí al resto de esta memoria se considerarán los perfiles 1, 3 y 5 como representativos para los sectores sur, medio y norte de la playa.

7.2 MUESTERO DE SEDIMENTOS

Para el muestreo de sedimentos, se eligieron los tres tramos representativos de toda la playa; una muestra en el sector norte, una en el sector medio, y una última muestra en el sector sur. De este modo, la etapa consiste en la toma de muestras en los perfiles 1, 3 y 5 que permitirán obtener una idea de la composición granulométrica de toda la playa El Encanto.

Para conocer las características granulométricas del lugar se obtuvieron muestras de sedimento en diversos tramos del perfil transversal: explanada, zona intermareal, y zona sumergida para cada perfil característico de este sector costero. Mediante este sistema se recolectaron ocho muestras de sedimento a lo largo de los tres perfiles seleccionados como representativos de cada tramo (Figura 22).

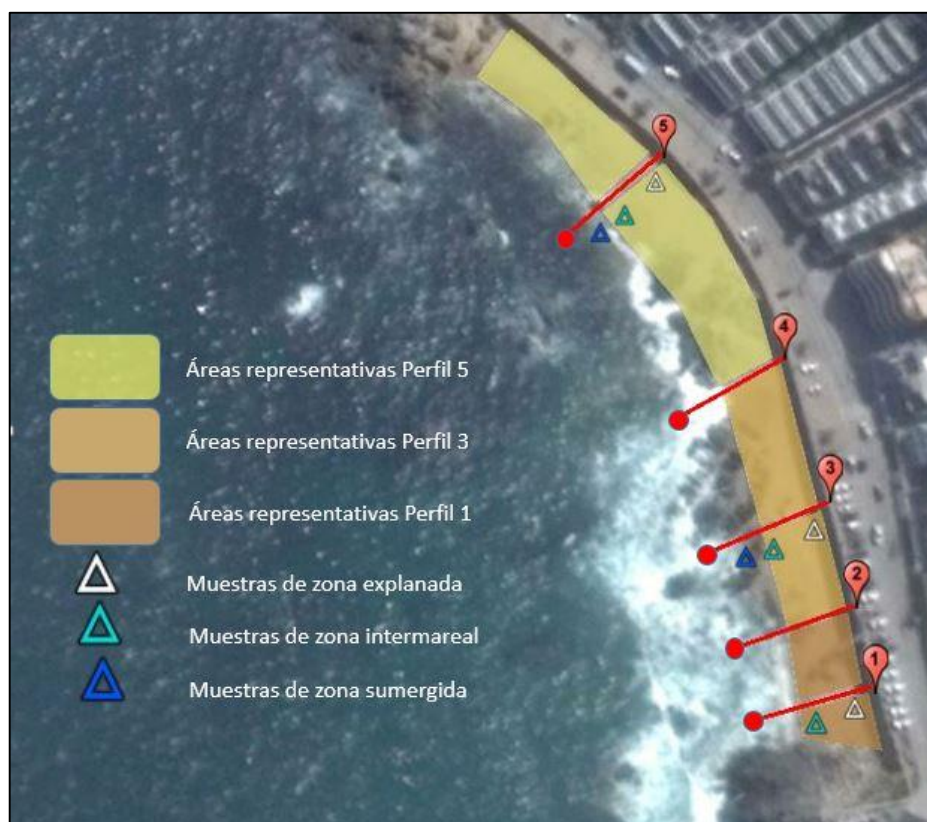


Figura 22: Zonificación de área de muestreo y perfiles característicos.
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth, 2014.

La única excepción realizada en la toma de muestras de la campaña del 19 de Mayo de 2014, toma lugar en el perfil 1, debido a las condiciones climáticas presentes en la fecha de muestreo, junto con la complicada configuración costera presente en dicho perfil, al no existir explanada en dicho sector por encontrarse en la fase erosiva del perfil de playa.

7.3 CAMPAÑA DE LEVANTAMIENTO DE PERFILES

El levantamiento de perfiles es realizado mediante el método de Emery (1961). En donde la regularidad de las campañas de medición se ajusta a la necesidad de registrar todos los cambios estacionales experimentados por el perfil transversal de la playa, con el objetivo de finalmente poder cuantificar el volumen de sedimento transportado.

Una de las técnicas más simples para la medición de perfiles de playa es conocida como el Método de Emery (1961). Para emplear este método se necesitan dos estacas del mismo largo y una cinta métrica para realizar dichas mediciones. Para medir la playa pendiente abajo hacia el mar, se debe observar la vista a través de la parte superior de la estaca lejana con el horizonte y marcar la distancia (a) que se registra en la estaca del observador que se encuentra graduada con el sistema métrico (Figura 23). De esta forma la distancia (a) es igual a la distancia (b) que la playa va aumentando o disminuyendo dentro de la distancia horizontal entre las estacas (el mismo largo de las estacas).

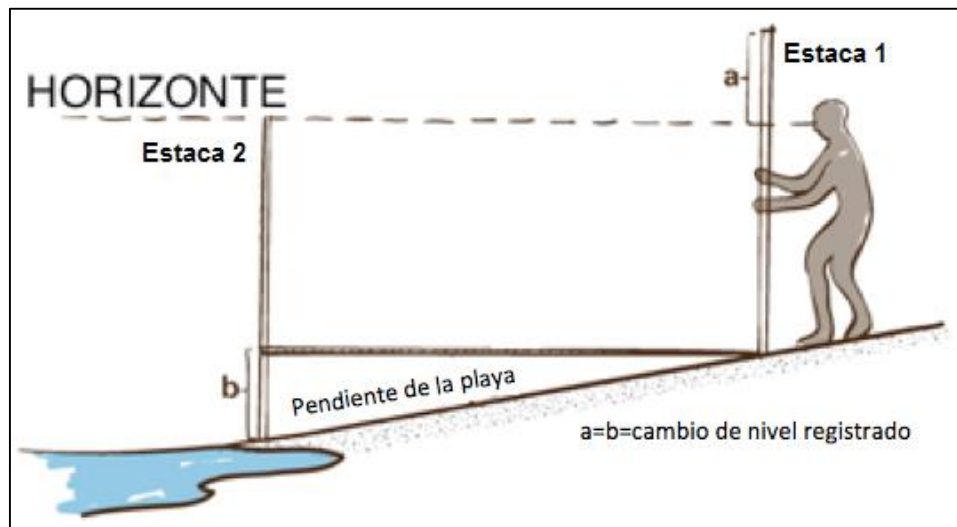


Figura 23: Técnica de Emery para medición de perfiles de playa.

Instrucciones para Método de Emery:

1. Establecer un punto de control en el suelo (Referencia). Esto se hace antes de tomar el perfil. El mismo punto de control se vuelve a utilizar para cada perfil posterior y es el punto de partida para todas las mediciones. Un segundo punto de control se utiliza también (recomendablemente postes de electricidad, elementos de construcción, etc). Estos dos puntos de referencias definen una línea a seguir para medir el perfil de la playa.
2. Anotar datos de la locación (número de perfil, ubicación de la playa, fecha, etc)
3. Registrar Altura de las Estacas. Medir la altura del terreno en relación con la parte superior del punto de control.
4. Establecer Estaca 1. Instalar el soporte la barra graduada en el suelo al lado del punto de control.
5. Establecer Estaca 2. La segunda persona toma la Estaca 2 hacia el océano alineándose con la línea de perfil establecida por las referencias, manteniendo una distancia entre estacas de 1,5 metros.
6. Medición y Registro. El observador con la estaca graduada debe hacer coincidir la parte superior de la Estaca 2 con el horizonte y de esta forma leer en la barra graduada (Estaca 1) el número de elevación marcada.
7. Avanzar. Una vez tomadas las notas, mover la Estaca 1 a la misma posición ocupada por la Estaca 2, mientras esta última avanza 1,5 metros hacia adelante. Se vuelve a registrar la elevación. Dicho procedimiento se repite hasta alcanzar la línea de agua.

El grado de precisión de este método es considerado confiable ya que en diversas pruebas de sensibilidad de medición se obtienen diferencias máximas de 1,5 centímetros en las diversas lecturas de desnivelaciones, es decir, los errores son comparables a las deformaciones locales producidas por el tránsito peatonal en la playa (Emery, 1961). Las ventajas de esta simple técnica es que ofrece mediciones razonablemente precisas de perfiles de playa, además de ser un método rápido, barato y liviano, cuyos implementos son de fácil accesibilidad y transporte.

Mediante la realización de 21 campañas de medición se ha podido registrar la variabilidad anual del perfil, junto a los característicos perfiles de acreción y erosión, de manera de poder establecer los meses más críticos de la playa en términos de volumen de sedimento, y los meses con mayor área de explanada de playa.

Tabla 6: Campañas de medición realizadas.

Campañas 2013-2014		Campañas 2015	
Campaña 1	06-09-2013	Campaña 12	12-02-2015
Campaña 2	25-03-2014	Campaña 13	28-03-2015
Campaña 3	11-04-2014	Campaña 14	01-04-2015
Campaña 4	26-04-2014	Campaña 15	28-04-2015
Campaña 5	08-05-2014	Campaña 16	05-05-2015
Campaña 6	11-07-2014	Campaña 17	19-06-2015
Campaña 7	11-09-2014	Campaña 18	01-08-2015
Campaña 8	01-10-2014	Campaña 19	28-08-2015
Campaña 9	16-10-2014	Campaña 20	24-09-2015
Campaña 10	27-11-2014	Campaña 21	06-11-2015
Campaña 11	27-12-2014		

Para el total de campañas realizadas existe una variabilidad en el registro de perfiles medidos debido principalmente a que en períodos de invierno algunos de los perfiles fueron imposible ser medidos debido a la dificultad en el acceso a ellos, ya sea por el oleaje energético incidente o por la nula existencia de arena y sólo existencia de prominentes formaciones rocosas.

7.4 ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO

Para la realización de un completo análisis sedimentológico de la arena de playa El Encanto, se estudian las muestras con un enfoque granulométrico, estadístico y mineralógico, a modo de clasificar e identificar correctamente sus granos.

7.4.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

- **Recolección de muestras**

El muestreo de la playa se realiza con el fin de determinar la distribución de tamaños de las partículas que componen el suelo. Para ello es necesario obtener muestras características de las principales zonas que conforman la playa. Por este motivo se seleccionan tres muestras de sedimento superficial (alcanzando no más de 10 cm de profundidad) a lo largo del perfil transversal de la playa y que se ubica de forma perpendicular la línea de costa. Las tres muestras seleccionadas representan la zona de explanada, zona intermareal y zona sumergida del perfil (Figura 24).



Figura 24: Recolección de muestras de arena de playa El Encanto.
Fuente: Colección personal del autor.

Junto al análisis del sedimento de los perfiles de playa, se incluye la toma de muestras de los esteros ubicados al sur de la zona de estudio, y que corresponden las posibles fuentes de aporte de sedimento de la playa, considerando que la deriva litoral en este tramo se desplaza de Sur a Norte (Fariña & Camaño, 2012). Con el objetivo de caracterizar el tipo de grano proveniente de estas zonas, es que se recolectan las siguientes muestras (Figura 25):

- Estero Las Palmas
- Estero Marga Marga interior
- Estero Marga Marga desembocadura
- Estero Reñaca desembocadura

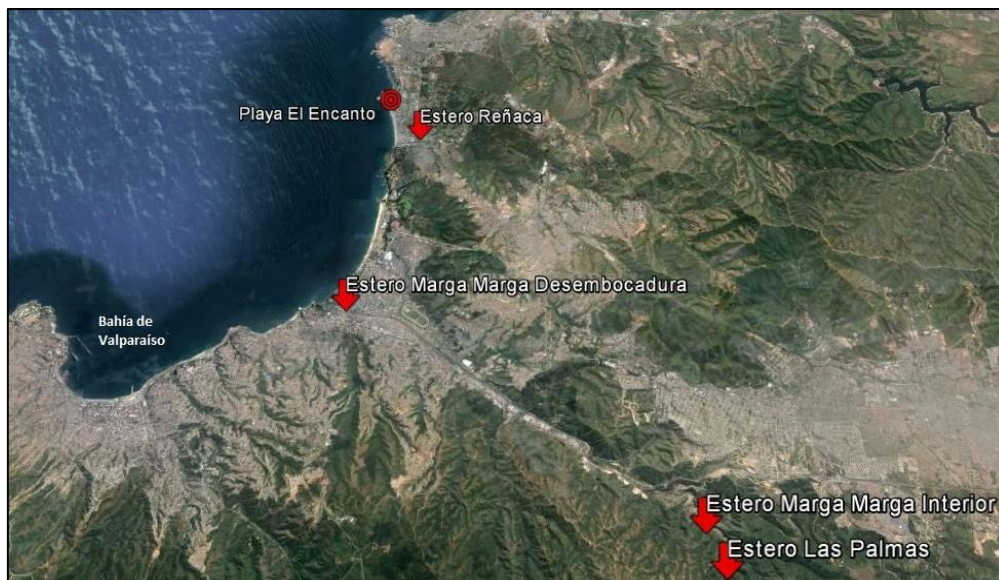


Figura 25: Lugares de muestreo en esteros.
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

- **Proceso de tamizaje**

Las muestras recolectadas son sometidas a proceso de tamizaje, y de los distintos métodos existentes para realizar este tipo de análisis granulométrico, el más utilizado es el de tamices acoplados en cascada. Para ello se coloca una serie normalizada de tamices de malla cuadrada y de abertura decreciente, a través del cual se hace pasar una cantidad aproximada a 100 [grs] de cada muestra secada con anterioridad, por el primer tamiz (el de abertura mayor) y luego mediante un agitador mecánico se somete el conjunto a un movimiento vibratorio (Figura 26), por un período de tiempo de 10 minutos con el fin de obtener una marcada diferenciación de granos del sedimento muestreado (Vergara, 1991).

El producto a analizar o producto bruto, **B**, queda distribuido en diferentes fracciones según el tamaño de partícula denominándose:

- RECHAZO: Producto que queda sobre el tamiz.
- CERNIDO: Producto que atraviesa el tamiz.

En una tamización en cascada el cernido de un tamiz constituye la alimentación del siguiente, por tanto se obtienen tantos rechazos como tamices constituyan la cascada y un solo cernido, constituido por el producto que atraviesa las mallas del último tamiz o tamiz de abertura de malla más pequeña. Teóricamente se debe cumplir que $B = C + R$, siendo **B** la cantidad a analizar o producto bruto, **C** el cernido y **R** la suma de todos los rechazos.



Figura 26: Proceso de tamizaje.
Fuente: Colección personal del autor.

Para su posterior análisis granulométrico, es necesaria una balanza de precisión de 0,001[gr] que permitirá realizar una curva granulométrica a partir de los pesos pasantes y obtener los diámetros característicos necesarios para diversos cálculos como por ejemplo velocidad de caída del grano, cálculo de transporte de sedimentos, entre otros.

Tras el pesaje inicial de las muestras, y su posterior medida tras el proceso tamizaje se suelen observar diferencias de $\pm 0,5\%$ que son consideradas las pérdidas debido al trasvasije de las muestras desde los tamices hasta la balanza.

Los resultados obtenidos del análisis granulométrico descrito para las campañas realizadas por el autor, son comparados con los obtenidos para la misma playa pero con muestras recolectadas el 22 de Abril de 2009 (Figura 27) realizada por el académico Mauricio Molina (Molina, 2009).



Figura 27: Zona de muestreo de sedimentos- Campaña 2009.
Fuente: (Molina, 2009)

- **Clasificación de sedimentos**

La finalidad del análisis granulométrico descrito es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Del mismo modo poder determinar el diámetro promedio de la arena presente en cada tramo de la playa en estudio. Con este motivo se utiliza la clasificación de granos de la American Geophysical Union y cuyos criterios de selección se observan en la Figura 28.

Grupo	Clase	Tamaño (mm)	
Piedras (guijarros)	Muy grande	2,048	a 4,096
	Grande	1,024	a 2,048
	Mediana	512	a 1,024
	Pequeña	256	a 512
Cantos (cascajo)	Grande	128	a 256
	Pequeña	64	a 128
Grava	Muy gruesa	32	a 64
	Gruesa	16	a 32
	Mediana	8	a 16
	Fina	4	a 8
	Muy fina	2	a 4
Arena	Muy gruesa	1.000	a 2.000
	Gruesa	0.500	a 1.000
	Mediana	0.250	a 0.500
	Fina	0.125	a 0.250
	Muy fina	0.062	a 0.125
Limo	Gruesa	0.031	a 0.062
	Mediana	0.016	a 0.031
	Fina	0.008	a 0.016
	Muy fina	0.004	a 0.008
Arcilla	Gruesa	0.002	a 0.004
	Mediana	0.001	a 0.002
	Fina	0.0005	a 0.001
	Muy fina	0.00024	a 0.0005

Figura 28: Clasificación de granos según la American Geophysical Union.

La información que se obtiene del análisis granulométrico se presenta en forma de curva (Figura 29), donde el porcentaje pasante es representado en el eje vertical, y el diámetro de los granos en el eje horizontal. La importancia de esta representación gráfica es que a partir de esta se pueden obtener los diámetros característicos, como por ejemplo:

- D90 : diámetro del sedimento que es excedido por el 90% de la muestra.
- D60 : diámetro del sedimento que es excedido por el 60% de la muestra.
- D50 : diámetro del sedimento que es excedido por el 50% de la muestra.
- D30 : diámetro del sedimento que es excedido por el 30% de la muestra.
- D10 : diámetro del sedimento que es excedido por el 10% de la muestra.

La obtención de dichos diámetros característicos se hace por interpolación, tomando en cuenta la base logarítmica ilustrada en la siguiente expresión:

Ecuación 2: Interpolación en base logarítmica.

$$\frac{\log D_x - \log D_1}{\log D_2 - \log D_1} = \frac{\%D_x - \%D_1}{\%D_2 - \%D_1}$$

La distribución del tamaño de las partículas es representada gráficamente mediante una curva granulométrica, cuyo eje horizontal está en escala logarítmica y el vertical en escala natural. La forma que adopta dicha curva permite inferir la distribución granulométrica del suelo analizado. A modo de ejemplo, si un suelo está constituido por un solo tamaño de partículas, la curva que lo represente será una línea vertical. Mientras que a mayor variedad de tamaño de granos, la curva se tornará más diagonal.

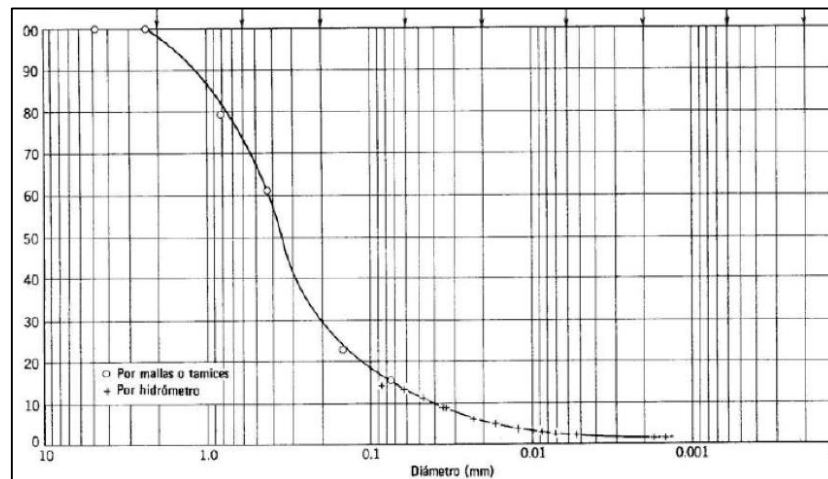


Figura 29: Esquema genérico de una curva granulométrica.

Con el mismo objetivo de indicar el grado de variación del tamaño de granos presente en una muestra de suelo existe un coeficiente de uniformidad (Cu).

Ecuación 3: Coeficiente de uniformidad.

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Este parámetro sirve para medir y calificar el grado de distribución de tamaños de las partículas de un suelo. Es decir, si las partículas son de tamaño muy similar, entonces C_U será pequeño y al suelo se le denomina “uniforme” o “mal graduado”. En el caso contrario, si el suelo tiene diversos tamaños de granos su coeficiente C_U será grande y el suelo se denomina “bien graduado”.

Otro parámetro que sirve para definir la graduación de un suelo es el Coeficiente de Concavidad o Curvatura (C_c). Este parámetro también ayuda a la interpretación de la graduación del suelo, dando información sobre el equilibrio dentro los diversos tamaños de grano (Ecuación 4).

Ecuación 4: Coeficiente de curvatura.

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

7.4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Una vez conocidos los diámetros característicos a partir de la curva granulométrica es posible el cálculo de los coeficientes estadísticos de Folk y Ward (1957) como medidas de dispersión de los datos de la muestra analizada (Figura 30).

Parámetros y fórmula	Límites
Tamaño promedio gráfico $M_z = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84}}{3}$	Grava: mayor de -1,0 φ (2 mm) Arena: -1,0 φ a 4,0 φ (2 a 1/16 mm) Limo: 4,0 φ a 8,0 φ (1/16 a 1/256 mm) Arcilla: < 8,0 φ (1/256 mm)
Desviación estándar gráfica inclusiva $\sigma_I = \frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6,6}$	Muy bien clasificado: < 0,35 φ Bien clasificado: < 0,35 φ a 0,50 φ Moderadamente bien clasificado: 0,50 φ a 0,71 φ Moderadamente clasificado: 0,71 φ a 1,00 φ Mal clasificado: 1,00 φ a 2,00 φ Muy mal clasificado: 2,00 φ a 4,00 φ Extremadamente mal clasificado: > 4,00 φ
Grado de asimetría gráfica inclusiva $Ski = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{84} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{\varphi_5 + \varphi_{95} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{95} - \varphi_5)}$	Muy asimétrico hacia finos: +1,0 a +0,3 Asimétrico hacia finos: +0,3 a +0,1 Casi asimétrico: +0,1 a -0,1 Asimétrico hacia gruesos: -0,1 a -0,3 Muy asimétrico hacia gruesos: -0,3 a -1,0
Medida de curtosis gráfica $k_G = \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{2,44(\varphi_{75} - \varphi_{25})}$	Muy platicúrtico: < 0,67 Platicúrtico: 0,67 a 0,90 Mesocúrtico: 0,90 a 1,11 Leptocúrtico: 1,11 a 1,50 Muy leptocúrtico: 1,50 a 3,00 Extremadamente leptocúrtico: > 3,00

Figura 30: Parámetros estadísticos, formulas y límites utilizados.

Fuente: (Ward, 1957)

Donde los principales parámetros estadísticos que destacan son:

- **Tamaño Medio**

Representa el valor medio del grano, utilizando los diámetros característicos: d_{16} , d_{50} y d_{84} . Este valor permite catalogar el tipo de sedimento analizado mediante la clasificación de la American Geophysical Union.

- **Desviación Estándar**

Mide el grado de dispersión que existe entre los datos respecto a la media aritmética. En granulometría se utiliza para representar la clasificación de los sedimentos que va de muy bien clasificado a extremadamente mal clasificado.

- **Asimetría**

Es la medida que indica la simetría de la distribución de una variable respecto a la media aritmética. Este coeficiente indica si hay el mismo número de elementos a izquierda y derecha de la media. En granulometría representa la distribución de las frecuencias en los diámetros de los sedimentos.

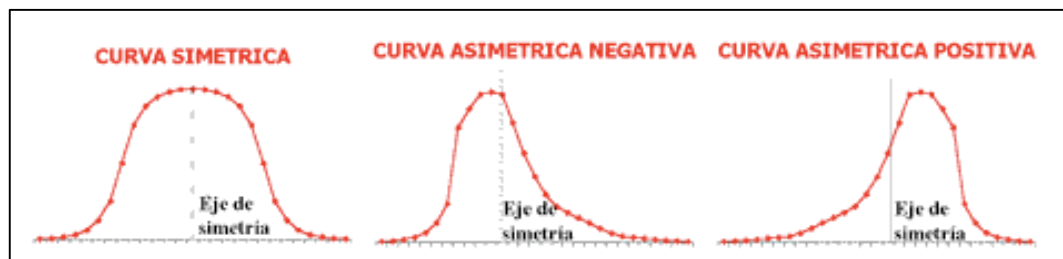


Figura 31: Tipos de simetría de una distribución.

Fuente: (Aula Fácil, 2015)

- **Curtosis**

Este coeficiente analiza el grado de concentración que presentan los valores alrededor de los valores centrales de la variable, y dependiente del grado de concentración se clasifican en Mesocúrtica, si el grado de concentración de valores es medio, Leptocúrtica, si el grado de concentración es alto, y en Platicúrtica si el valor de concentración es reducido.

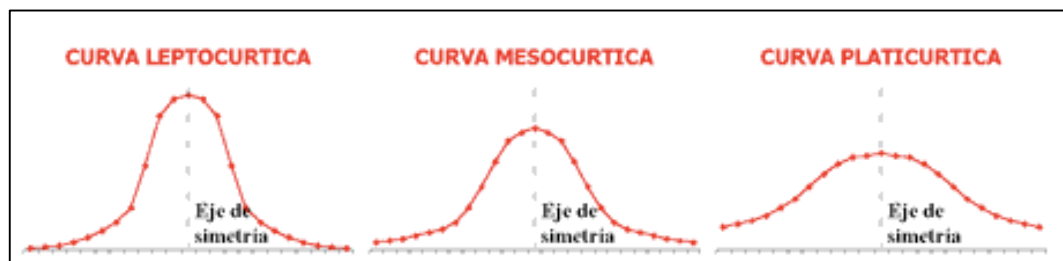


Figura 32: Tipos de curtosis según grado de concentración de valores.

Fuente: (Aula Fácil, 2015)

7.4.3 ANÁLISIS MINERALÓGICO

La última etapa del estudio sedimentológico consiste en un análisis mineralógico convencional del tipo semi cuantitativo, ya que se basa en un reconocimiento macroscópico de las muestras, permitiendo así distinguir las diversas propiedades tanto físicas como mineralógicas de los granos para finalmente clasificarlos. Este reconocimiento visual es de gran importancia y se concentra en las siguientes tres propiedades de los minerales:

- **Composición mineralógica de la muestra**

Para el reconocimiento de los minerales de una muestra se recurre a la denominada mineralogía óptica, que consiste en identificar los diversos granos de sedimento a través de una simple observación mediante una lupa binocular. La composición mineralógica es una propiedad física de gran importancia, ya que en base a esta se puede determinar la clasificación específica de la muestra en estudio, y además permite inferir el área de origen y distancia a la fuente de aporte de sedimento. En general, la composición mineralógica de una muestra depende de la litología del área de fuente.



Figura 33: Lupa binocular e identificación de minerales de una muestra
Fuente: Colección personal del autor.

Otras de las propiedades físicas que determina a cada mineral es la dureza, que en otras palabras es la resistencia que ofrece la superficie lisa del mineral a ser rayado y se traduce en la resistencia a la abrasión. La escala de Mohs es una graduación de 1 a 10 que permite clasificar y medir la dureza de los minerales, estableciendo en su grado máximo al diamante, y en su grado más bajo al talco con dureza 1 (Figura 34).



Figura 34: Escala de dureza de Mohs
Fuente: (www.cienciasnaturales.es)

- **Porcentaje de presencia de cada mineral**

La siguiente propiedad a analizar, consiste en la estimación visual del porcentaje de presencia para cada tipo de mineral en la muestra, siguiendo el procedimiento de Terry & Chilingar (1955).

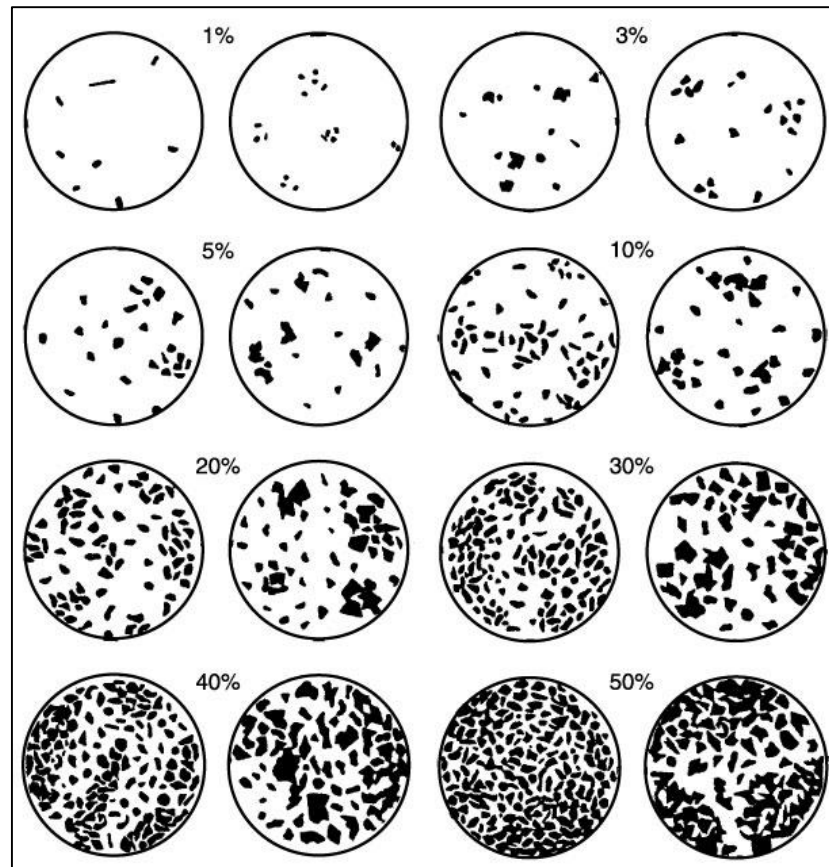


Figura 35: Clasificación según porcentaje de presencia de minerales
Fuente: (Terry & Chilingar, 1955)

- **Morfología de los granos**

El principal objetivo del estudio morfológico de los granos es determinar las condiciones de depósito de los sedimentos, bajo el supuesto que los procesos físicos que afectan a las partículas dejan su marca característica sobre el grano. Dicho análisis incluye la textura, forma, esfericidad, entre otros. Sin embargo la característica que adquiere mayor significado para el estudio de los procesos de transporte de sedimento desde su área de origen, es la esfericidad.

La esfericidad corresponde al grado de angulosidad que presenta la partícula de sedimento, y se estima en base a la curvatura de sus esquinas, y es posible estimar dicho grado a través de una comparación visual con tablas estándar que ilustran formaciones desde “angular” a “bien redondeado” (Figura 36).

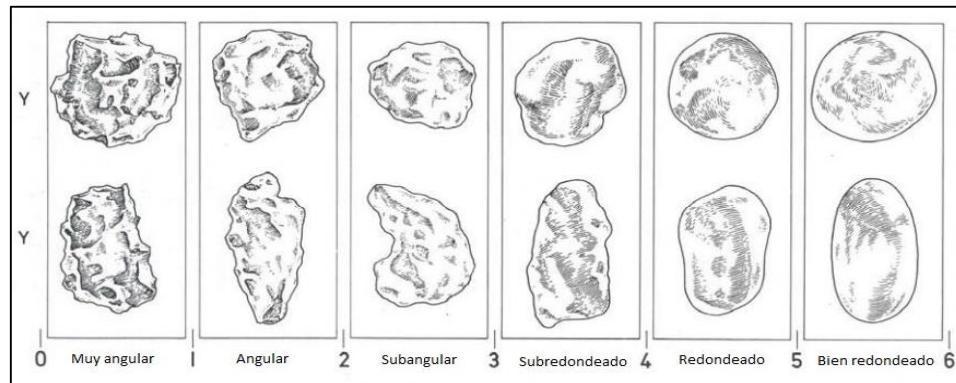


Figura 36: Gráfico de esfericidad de granos.

Fuente: (Power, 1953)

7.5 POSICIÓN DEL PUNTO DE CAPTURA FOTOGRÁFICA

Para el estudio de la evolución anual de la playa, es necesario identificar los principales cambios en el perfil en términos de erosión y acreción de su superficie y cambios en su línea de costa a partir de un seguimiento fotográfico de la misma. Para ello se requiere de tres consideraciones:

- Seguimiento sistemático del proceso de evolución anual de la playa. Es decir, establecer un período mensual de captura para evidenciar cambios invernales y estivales.
- Creación de un punto inamovible de captura fotográfica (Figura 37). Dicha posición se torna fundamental ya que el ángulo, altura e inclinación de la fotografía deben ser iguales para que las diversas distancias medidas sean relacionadas (Figura 38-A).
- Establecimiento de un encuadre para la vista lateral a capturar (Figura 38-B). Al igual que el punto de captura, el encuadre de la foto es fundamental ya que posteriormente todo el set fotográfico debe calzar y coincidir los elementos característicos marcados.



Figura 37: Ubicación sur del punto de captura fotográfica.

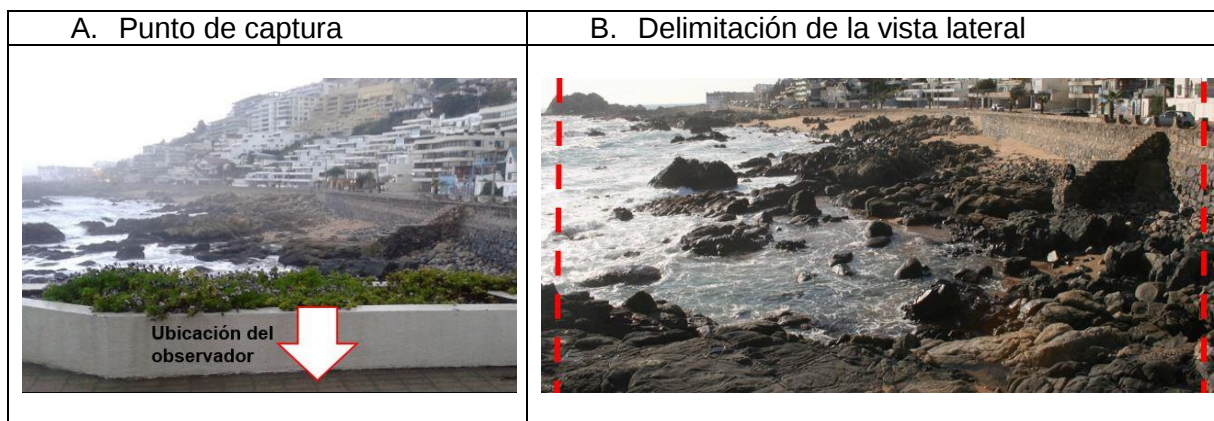


Figura 38: Punto de captura y encuadre de foto.

7.6 SELECCIÓN DE PUNTOS NOTABLES DE LA PLAYA

Con el objetivo de distinguir las variaciones en el nivel de arena presenta en la playa, se seleccionan elementos característicos dentro de ella, que junto con extenderse en los cinco perfiles trazados éstos además se encuentran visibles tanto en condiciones de erosión como de acreción de la playa.

Los puntos notables seleccionados se ilustran en la Figura 39, y están constituidos por la alturas del muro de contención de los perfiles, los tres descansos que componen la escala de acceso de la playa entre los perfiles 1 y 2, seleccionando además rocas representativas y prominentes en los todos los perfiles.



Figura 39: Primera selección de puntos notables de la playa.

Dos principales características destacan a los puntos seleccionados, la primera de ellas es que se encuentran identificables a lo largo de toda la serie de tiempo adquirida en fotografías, y la segunda es que su ubicación permite su medición en terreno, para posteriormente correlacionar sus valores in situ con los obtenidos en las fotografías.

Sin embargo, tras la selección de los puntos notables y su identificación en las fotografías, se evidencian dos escenarios:

- Existen puntos confiables, en el que su ubicación es muy notoria y presentan muy buena nitidez para la medición del nivel de arena.
- Existen puntos confiables con poca precisión para la cuantificación del nivel de arena. Esto debido a dos principales causas: los puntos se encuentran muy lejanos al punto de captura (por ejemplo: altura del punto Muro P5), o puntos que debido al contorno en donde se encuentran, tornan difícil su identificación y medición (por ejemplo: Roca P4).

Debido a las causas anteriormente descritas, se realiza un filtro para seleccionar aquellos puntos que sean notoriamente visibles y de fácil medición, para evitar incurrir en imprecisiones debido a la poca nitidez de los puntos. Quedando finalmente 14 puntos notables (Figura 40) que permitirán cuantificar el nivel de arena a partir de las fotografías para posteriormente correlacionarlas con las mediciones en terreno realizadas.



Figura 40: Selección final de puntos notables.

7.7 MEDICIÓN DE NIVEL DE ARENA EN FOTOGRAFÍAS

Una vez seleccionados los 14 puntos notables de la playa, se trabaja con el encuadre de la fotografía, ya que debido a los diversos ángulos y posiciones del punto de captura de años anteriores, el cuadro fotográfico varía. De esta forma de un total de 112 fotografías recolectadas, se homogeniza el encuadre, se descartan algunas con el fin de dejar sólo las fotografías con un mismo ángulo, posición y dirección de captura, alcanzando finalmente un total de 79 registros fotográficos.

Para la medición del nivel de arena de cada elemento representativo de la playa, se utiliza el software Microsoft Power Point Professional Plus 2013, creando una diapositiva para cada una de las 79 fotografías, alineándolas a través de puntos de referencias como por ejemplo ubicación de edificios, descansos de escala de acceso, rocas sumergidas, etc. Si bien algunas de las capturas es necesaria modificarlas ya sea girándolas, alargándolas, o acortándolas, esto se realiza de manera que todo el set fotográfico tenga el mismo encuadre y la ubicación de todos los elementos coincidan.

Una vez referenciadas y encuadradas las fotos, se trazan líneas en los puntos notables, para medir la altura del nivel de arena, registrado en cada fotografía (Figura 41). Este dato se calibra con el objetivo que la distancia medida en centímetros sea posteriormente relacionada con la distancia real medida también en centímetros.



Figura 41: Encuadre de fotografías y medición de altura de nivel de arena.

7.8 ANÁLISIS DE CALIDAD DE DATOS

El método a utilizar para realizar la medición del volumen de sedimento transportado a partir de mediciones indirectas, consta en una primera etapa de un análisis de los datos que entregan los puntos notables seleccionados de las fotografías, como también de las mediciones in situ.

Las mediciones indirectas son las realizadas a partir de las fotografías encuadradas y homogeneizadas, cuya altura del nivel de arena de los puntos notables permitirán realizar aproximaciones del volumen de sedimento registrado en las fechas anteriores al período de este estudio. No obstante, algunos de dichos puntos se encuentran muy lejanos al punto de captura y por lo tanto su variación en píxeles no refleja la variación real de arena. Para esta problemática se hace imperativo el uso de las mediciones directas que son aquellas realizadas en terreno y permitirán correlacionar las variaciones de arena en función de los centímetros medidos en la fotografía con los centímetros reales registrados en terreno.

Sin embargo, pese a la diferencia en el número de mediciones obtenidas tanto en fotografía como en terreno, se hace necesario realizar un análisis de la calidad de datos obtenidos a partir de las fotografías. Para dicho análisis se comienza estudiando la **precisión** de la medición a partir de las fotos, es decir, calificar la capacidad que presenta el punto notable de ser medido: clasificándose como buena para aquellos puntos confiables que presentan buena nitidez o pobre para aquellos puntos que a pesar de ser observables no aportan con mucha precisión.

La etapa siguiente es cuantificar la **cantidad** datos realizados in situ, que servirán como base para la correlación entre ambas mediciones y que permitirán calcular el valor real de la variación del nivel de arena. Para dicho análisis se consideran tres rangos: mediciones que presentan un solo registro, los que presentan varios (entre 2 a 7 mediciones), y los que presentan muchos (entre 8 a 20 mediciones).

De esta forma, combinando ambas características descritas: la precisión de la medición (a partir de las fotografías) y la cantidad de datos reales disponibles para cada punto (a partir de mediciones in situ), se puede tabular la **calidad** de cada punto notable en estudio. Para resumir dicho proceso se hace un análisis cruzado en ambas variables, obteniendo los siguientes resultados (Tabla 7).

Tabla 7: Análisis cruzado para estudio de calidad de los datos.

Análisis Cruzado		Cantidad de datos (in situ)		
		Una sola	Pocas	Muchas
Precisión (fotografía)	Buena 10	Baja 2	Media 2	Alta 6
	Pobre 4	Escasa 1	Baja 1	Media 2
Total: 14		3	3	8

Tras aplicar el análisis anteriormente descrito se puede concluir, que de los 14 puntos notables seleccionados, diez de ellos poseen una calidad media a alta, tres de ellos presentan una baja calidad y sólo uno presenta una calidad escasa. Como se menciona en el punto 7.6, la selección de los puntos notables se realiza con el objetivo que todos los perfiles de la playa sean representados por algún elemento. De esta forma se ilustra en la siguiente tabla, la calidad de los puntos notables asociados a cada perfil de playa.

Tabla 8: Calidad de los puntos notables para cada perfil de playa.

Perfil de Playa	Precisión		Cantidad			Calidad			
	Buena	Pobre	Una sola	Pocas	Muchas	Alta	Media	Baja	Escasa
1	5			1	4	4	1		
2	1		1					1	
3	3		1	1	1	1	1	1	
4	1	1	1		1	1			1
5		3		1	2		2	1	
Total	10	4	3	3	8	6	4	3	1

De esta forma se puede concluir que el perfil 1 es aquél que posee puntos notables con mayor calidad en sus mediciones gracias a la poca distancia existente con el punto de captura de la foto. En cambio el perfil 2, posee un solo punto notable y de baja calidad. Un escenario mejor presenta el perfil 3 con puntos notables de diversa calidad. Lo mismo ocurre con los perfiles 4 y 5.

7.9 CÁLCULO PARA ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE REDUCCIÓN DE SONDA

Con el objetivo de estimar la altitud de los 14 puntos notables se selecciona el Nivel de Reducción de Sonda (NRS) como plano de referencia. Para calcular la altitud de dichos puntos respecto al NRS, se propone una metodología que consiste en relacionar el nivel del mar de la playa El Encanto (a través de la posición del pelo de agua al momento de la campaña de medición del 6 de noviembre de 2015) con el nivel de marea en una ubicación cercana conocida, en este caso se utiliza la bahía de Valparaíso y cuyo nivel de marea se obtiene del registro de la estación de monitoreo del nivel del mar facilitado por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO (IOC-UNESCO), calculando el promedio de las desnivelaciones del nivel medio del mar (NMM) para un período de 40 días, asegurando que el registro incluya las dos condiciones de sicigias y cuadraturas de la marea. Un tercer dato relacionado es la ubicación del NRS respecto del NMM cuya desnivelación es obtenida de las tablas de marea elaboradas por el SHOA (2015).

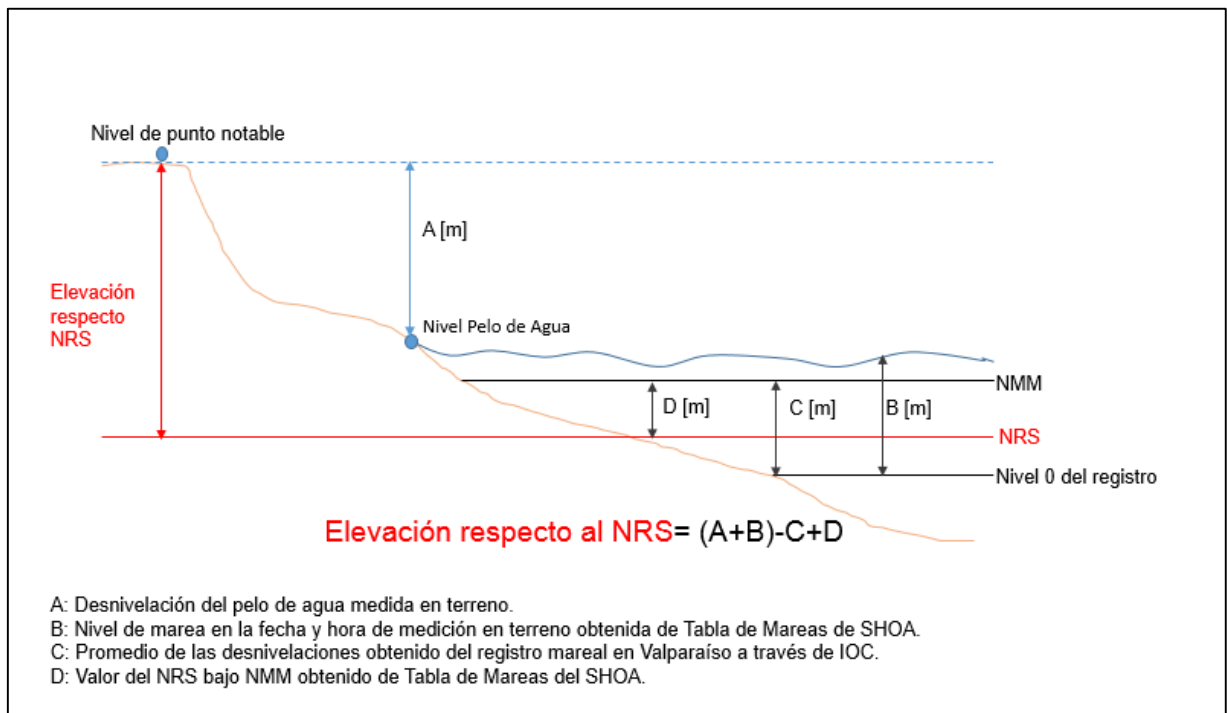


Figura 42: Metodología propuesta para cálculo de NRS.

Para obtener el valor de NRS en la playa El Encanto, se establecen los siguientes parámetros de la figura anterior:

- Nivel Pelo de Agua: Equivale al punto donde se ubica la línea de agua al momento de la medición. Sin embargo, al ser variable su posición a lo largo de la playa se debe establecer un punto medio.
- Nivel Cero del Registro: Equivale al nivel del mareógrafo en Valparaíso obtenido de IOC.
- Nivel Medio del Mar: Corresponde a la ubicación promedio de las desnivelaciones obtenidas del registro mareal antes mencionado.
- Nivel Punto de Medición: Corresponde al punto arbitrario que se desea referenciar, es decir, los catorce punto notables.
- Elevación respecto NRS: Corresponde a la desnivelación del pelo de agua más el nivel de marea obtenido de la tabla de mareas para la fecha de medición, restando el Nivel Medio del Mar y finalmente sumando la desnivelación respecto al NRS en la bahía de Valparaíso también obtenido de la tabla de mareas del SHOA.

De esta forma, la observación en terreno del nivel del pelo de agua se relaciona con el registro del mareógrafo en la fecha y hora en que se realizó la medición en terreno. Vinculando con ello cada punto notable con el cero instrumental, es posible determinar el nivel de medio de la

serie a partir del promedio de las desnivelaciones para un período superior a 30 días, lo que se vincula con el NRS a partir de la formulación descrita en la Figura 42.

Para el cálculo aproximado de la elevación respecto al NRS en la playa El Encanto se deben considerar cuatro supuestos que harán posible su estimación:

1. Se adopta el valor 0,91 como la ubicación del NRS bajo el NMM obtenido directamente de la tabla de mareas del SHOA (2015).
2. El nivel del mar entregado por el registro del mareógrafo de IOC equivale efectivamente al nivel medio del mar.
3. Suposición que las condiciones de la bahía de Valparaíso son equivalentes a las condiciones en playa El Encanto, es decir, el nivel del pelo de agua medido en terreno es equivalente al nivel entregado por el instrumento en Valparaíso.
4. Se asume que la medición de la posición del pelo de agua en terreno es correcto, a pesar de presentar una gran variedad de posiciones a lo largo de la playa. Esta estimación incide directamente en el resultado de la profundidad del NRS y es donde radica el mayor porcentaje de error para el cálculo propuesto.

7.10 ESTIMACIÓN DE PERFILES A PARTIR DE MEDICIONES INDIRECTAS

Una vez establecido el número de puntos notables que pueden ser utilizados como indicadores del nivel de arena para cada uno de los perfiles de la playa, se procede primero a comprobar que el método a utilizar para la recreación de perfiles de playa en fechas anteriores sea eficaz. Para ello se contrastan las mediciones de perfiles de las 21 campañas realizadas in situ, con la recreación de las mismas 21 campañas pero cuyos perfiles son originados a partir de los puntos notables obtenidos a partir de la regresión lineal.

Con la comprobación de los indicadores de nivel de arena entregados por los puntos notables, es posible distinguir aquellos puntos que representan correctamente el perfil de playa simulado, y aquellos que necesitan correcciones en su magnitud.

Paralelamente al análisis anteriormente descrito, es necesario realizar un análisis cualitativo del comportamiento de los cinco perfiles de playa, con el objetivo de distinguir similitudes y diferencias en su evolución anual, en términos de la variación de su pendiente, forma de la berma de la playa, longitud del perfil alcanzada, etc. Características que aportarán valiosa información para la última etapa de este proyecto y que consiste en la recreación de perfiles de playas para fechas anteriores en la que sólo se disponen de fotografías.

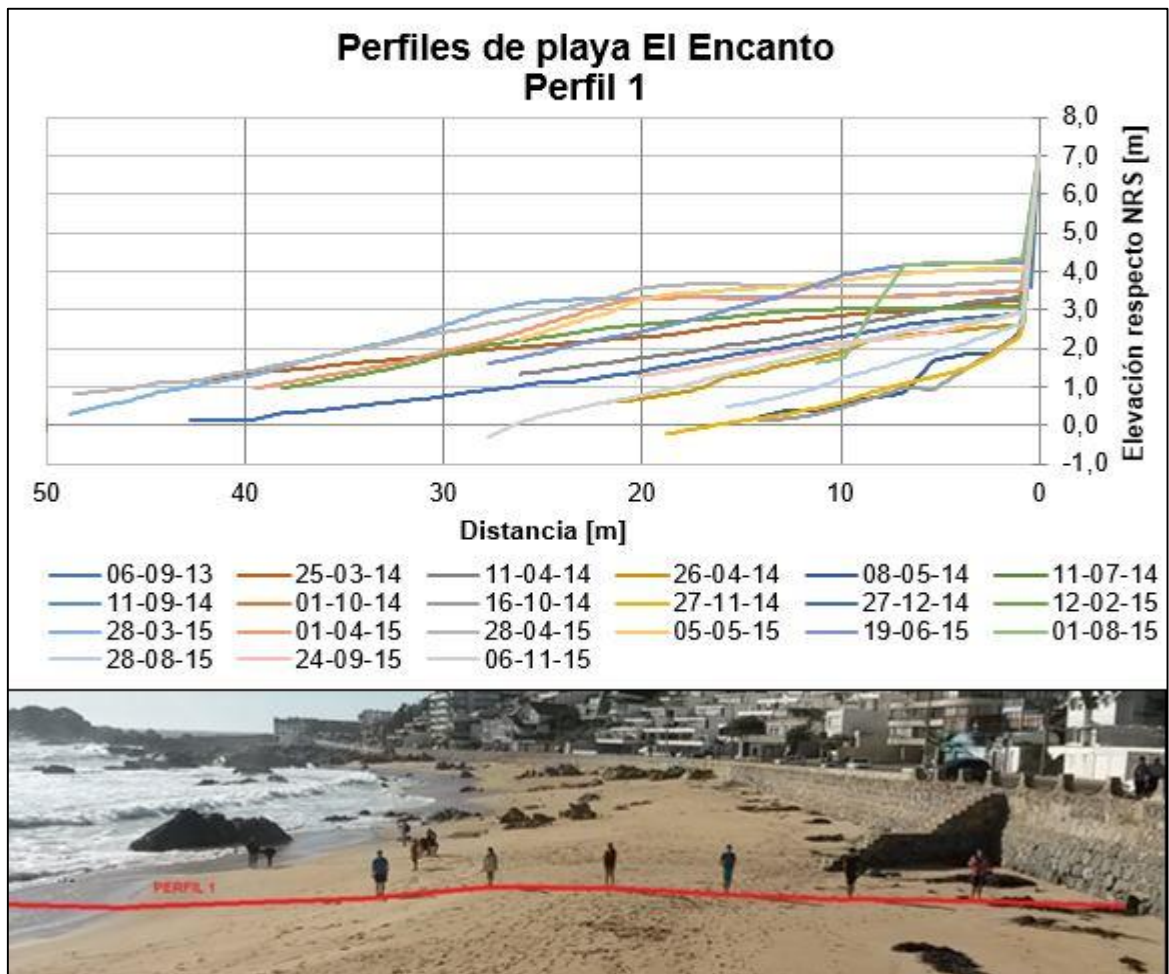


Figura 44: Mediciones de Perfil 1 y su ubicación.

Principales observaciones Perfil 1:

El primer perfil de playa trazado corresponde a la porción sur de la playa El Encanto, se caracteriza por estar resguardado del oleaje incidente del SW, sin embargo se ve afectado por el fenómeno de difracción debido a la formación rocosa donde se emplaza un edificio residencial y a mayor profundidad la presencia de la Roca El Encanto. Este perfil conforma el sector de la playa más vulnerable y que evidencia con mayor facilidad el cambio en el contenido energético del oleaje, ya que la ocurrencia de marejadas erosiona fácilmente esta zona y se tornan visibles sus cambios.

El trazado del perfil se realiza sobre pequeños promontorios rocosos, que en la fase erosiva de la playa son observables a simple vista. Sin embargo, en toda su extensión no se presentan interrupciones en su trazado, permitiendo así lograr una medición segura hasta los 48,8 metros de extensión. En cuanto a las mayores variaciones del nivel de arena medidas en el muro que bordea la playa alcanzan los 2,1 [m], y en la zona de la explanada, un máximo aproximado de 3,1 [m] de altura.

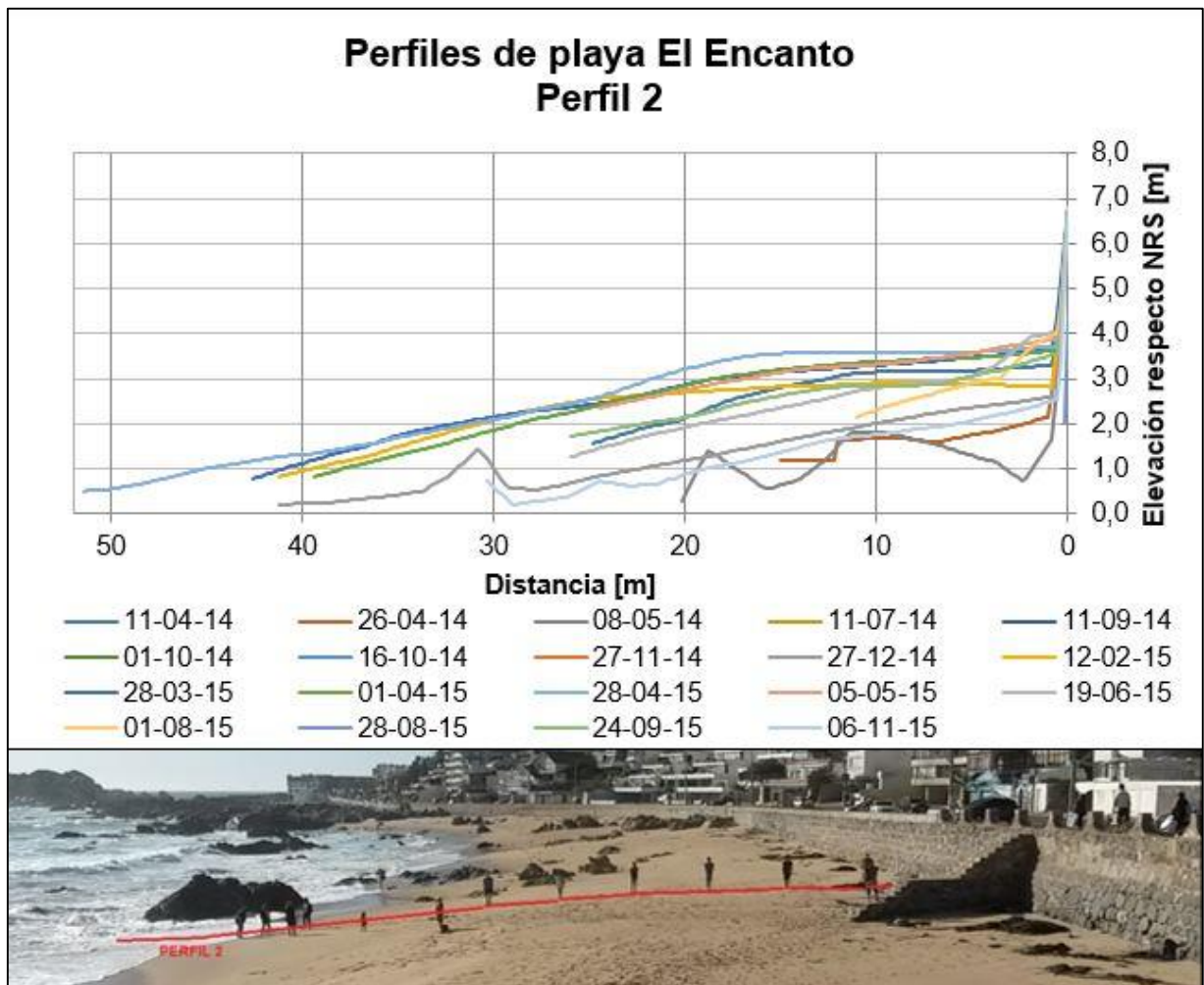


Figura 45: Mediciones de Perfil 2 y su ubicación.

Principales observaciones Perfil 2:

El segundo perfil trazado también compone la zona sur de la playa en estudio, sin embargo su principal característica es su fondo está compuesto por imponentes formaciones rocosas que se tornan visibles en la fase erosiva de la playa y se extienden en los primeros 20 [m]. Dichas formaciones se presentan a lo largo de todo el trazado del perfil. En cuanto a las mayores variaciones de arena son registradas en el muro de contención de la playa alcanzando los 1,79 [m], y en la zona de explanada superando los 2,5 [m] de variación, alcanzando una extensión horizontal de 51,4 [m].

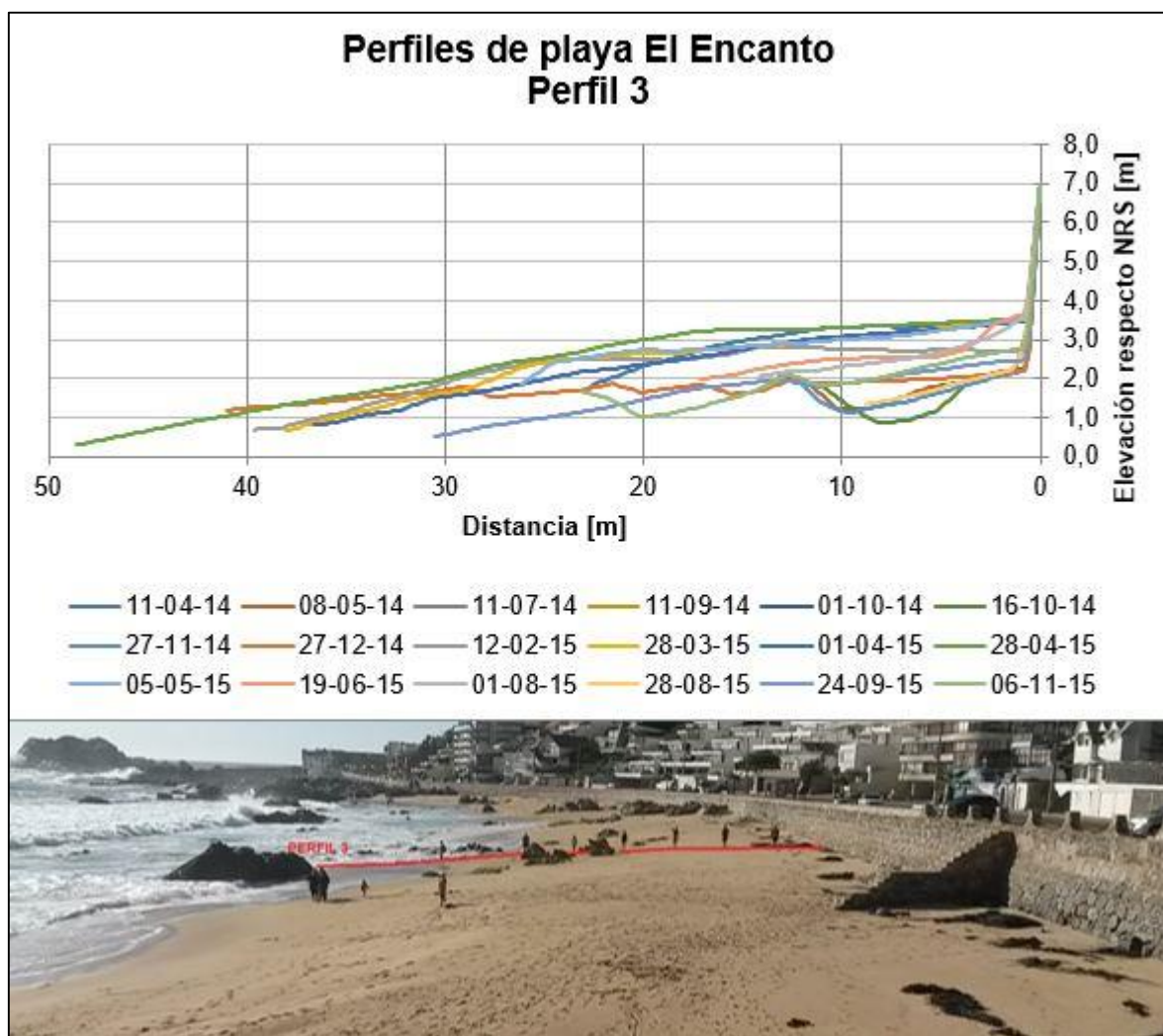


Figura 46: Mediciones de Perfil 3 y su ubicación.

Principales observaciones Perfil 3:

El tercer perfil medido se ubica en la zona central de la playa El Encanto y a pesar de encontrarse totalmente expuesto al oleaje de diversas direcciones, presenta formaciones rocosas tanto en la zona sumergida e intermareal que generan una cierta protección ante la fuerza erosiva del oleaje, de modo que las variaciones de su nivel de arena son mucho menores. Esto se traduce en 1,1 [m] de variación cercano al muro, y 1,9 [m] en la explanada del perfil, alcanzando una distancia horizontal de medición de 48,6 [m].

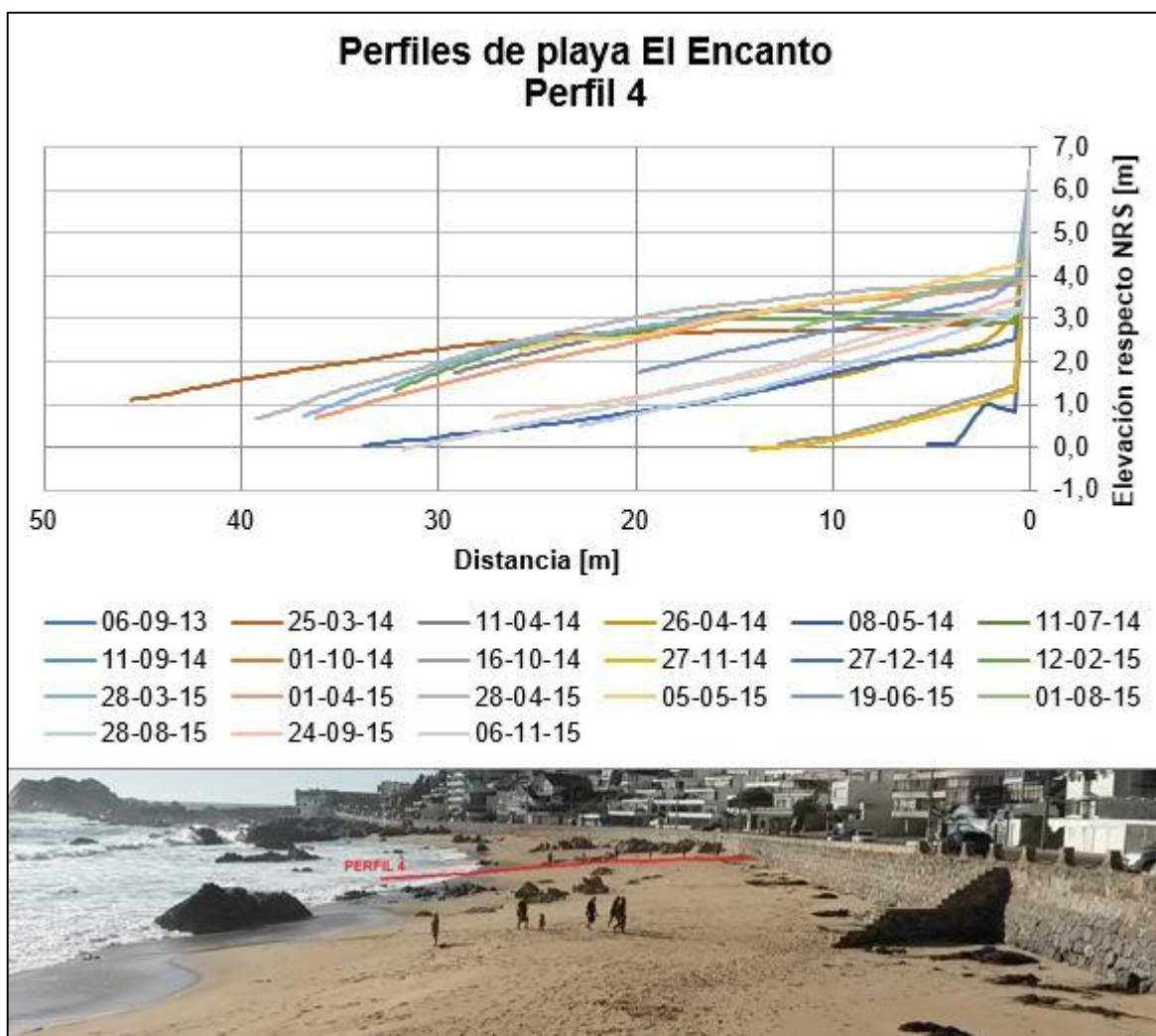


Figura 47: Mediciones de Perfil 4 y su ubicación.

Principales observaciones Perfil 4:

El cuarto perfil medido se ubica en el sector centro-norte de la playa, y posee dos características que lo diferencian de los demás perfiles trazados. La primera de ellas, es que en el muro de contención de la playa se ubica la salida de un tubo de descarga de aguas lluvias, que en período invernal presenta un reducido pero constante caudal de descarga lo que acrecienta la erosión del perfil. La segunda característica, es que a lo largo del trazado no se encuentran formaciones rocosas, es decir, el fondo del perfil está compuesto en su totalidad de arena. Ambas particularidades del perfil y su acción en conjunto hacen que la erosión del perfil adquiera una forma de canal, provocando que el oleaje incidente llegue hasta el mismo muro de contención, dividiendo la playa en dos tramos. Dicho fenómeno se traduce en una variación en el nivel de arena alcanzando los 1,96 [m] en muro, y 3 [m] en la explanada del perfil, con una longitud horizontal de medición de 45,6 [m].

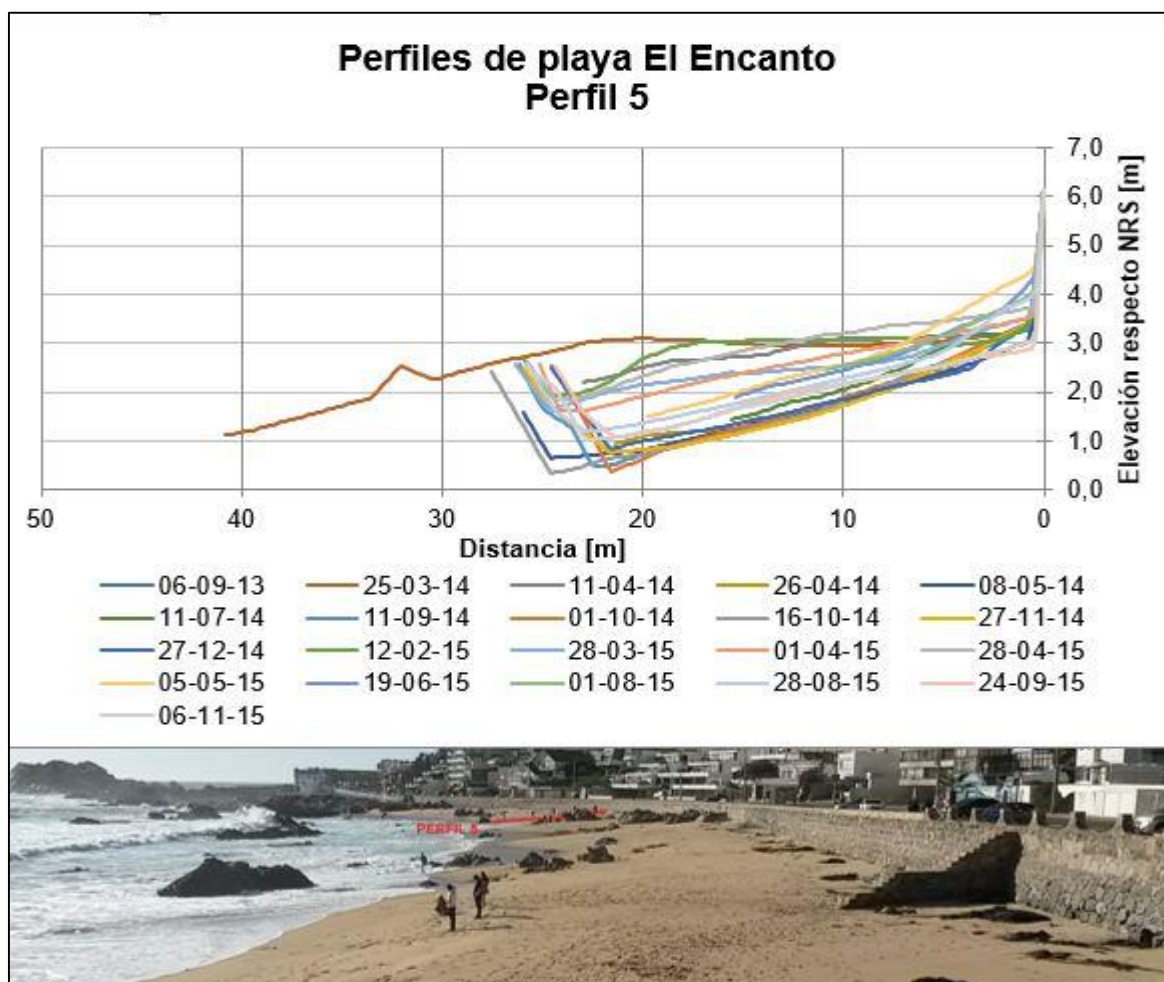


Figura 48: Mediciones de Perfil 5 y su ubicación.

Principales observaciones Perfil 5:

El último perfil trazado se ubica en el sector norte de la playa y se caracteriza por ser el tramo con mayor cobertura de arena de la playa en términos de mayor estabilidad sedimentaria en el transcurso anual, presentando roqueríos en los sectores aledaños. El trazado del perfil es el que posee menor longitud horizontal con 40,8 [m], cuya medición final se ubica sobre una roca central ubicada en la zona intermareal de la playa. Las variaciones en el nivel de arena se traducen en 1,48 [m] en el muro de contención y 1,6 [m] promedio en la explanada de la playa. Finalmente cabe destacar que este perfil es medible tanto en período estival e invernal a diferencia de los perfiles 1 y 2 que sólo son cuantificables en la fase erosiva de la playa, donde además de no existir arena en su explanada se suma la dificultad de su acceso.

Las diferencias observables en los gráficos anteriores, en cuando a la extensión horizontal del perfil medido varían no sólo por el tipo de fase en que se encuentra la playa (erosión o acreción), sino también por el nivel de marea presente en el momento de las mediciones. Si bien, a la hora de planificar los levantamientos de perfiles se procura su realización en el momento de bajar y con la menor altura de ola posible, existieron campañas de medición

que debieron realizarse bajo condiciones de marejadas o también en pleamar. A modo general, se observa una diferencia de 10 [m] para aquellas mediciones realizadas con pleamar.

Tras las diversas campañas de medición, es posible calcular las pendientes de cada uno de ellos, pudiendo así establecer la pendiente característica para cada perfil de playa (Gráfico 1).

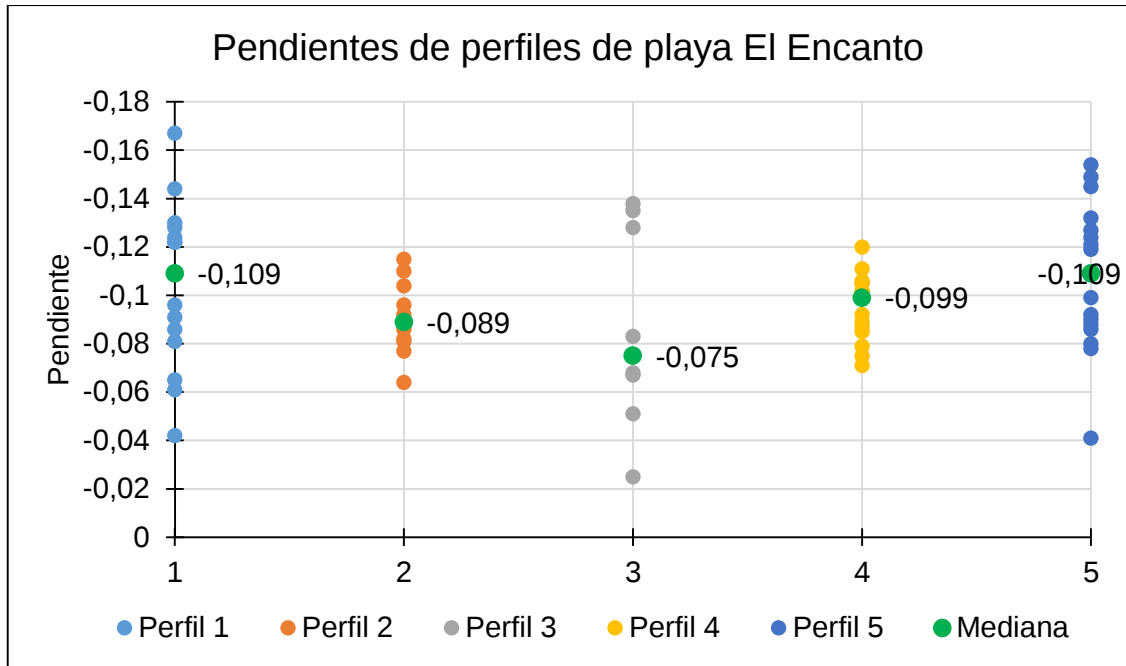


Gráfico 1: Registro de la pendientes de los cinco perfiles de playa y su mediana.

A partir del gráfico anterior, se puede observar un comportamiento similar entre los perfiles extremos de la playa (Perfiles 1 y 5), en donde se registra una gran variedad de pendientes de los perfiles medidos. Un caso contrario ocurre con los perfiles 2 y 4, donde se observa una abundancia de registros concentrados en un mismo rango. Finalmente el perfil 3 de la playa registra un comportamiento diferente al resto, donde se observan dos marcadas tendencias con rangos extremos.

Una de las razones a las que podría deberse la gran variedad de registros en los perfiles 1 y 5, es que éstos se encuentran en las zonas más expuestas de la playa, y por lo tanto la respuesta de la playa es diferente para cada estado de mar incidente. En cambio los perfiles 2 y 4 se encuentran cercanos a las grandes formaciones rocosas que conforman la playa, y que actuarían como barrera ante la acción del oleaje, por este motivo es que la pendiente de la playa se mantiene en un rango mucho menor. Sin embargo las pendientes registradas en el perfil 3, presentan dos marcadas concentraciones de datos en rangos extremos. Este fenómeno puede producirse debido que este tramo se encuentra fuertemente protegido por lo roqueríos de la zona central de la playa, de manera que en el período acreción de la playa la pendiente del perfil no registra grandes variaciones, en cambio cuando comienza la fase erosiva de la playa, éste registra un retroceso y disminución de pendiente que se mantiene en el tiempo a pesar de las diversas ocurrencias de oleaje energético en tiempo invernal, debido a la condición de abrigo que le brinda la formación rocosa en el sector.

8.2 EVOLUCIÓN ANUAL DEL PERFIL TRANSVERSAL DE PLAYA

Una de las grandes ventajas que se obtiene de un seguimiento sistemático de playas, es que mediante el levantamiento continuo de perfiles se hace posible conocer y representar los variados cambios en el volumen de arena y conocer así la evolución anual de la playa. De esta forma, se establecen cuales zonas de la playa se consideran críticas y vulnerables ante la acción del oleaje. Y en caso contrario, establecer un margen de meses en que la playa alcanzará su máxima capacidad sedimentaria. A continuación se ilustran los procesos de acreción y erosión registrados en los cinco perfiles de playa medidos.

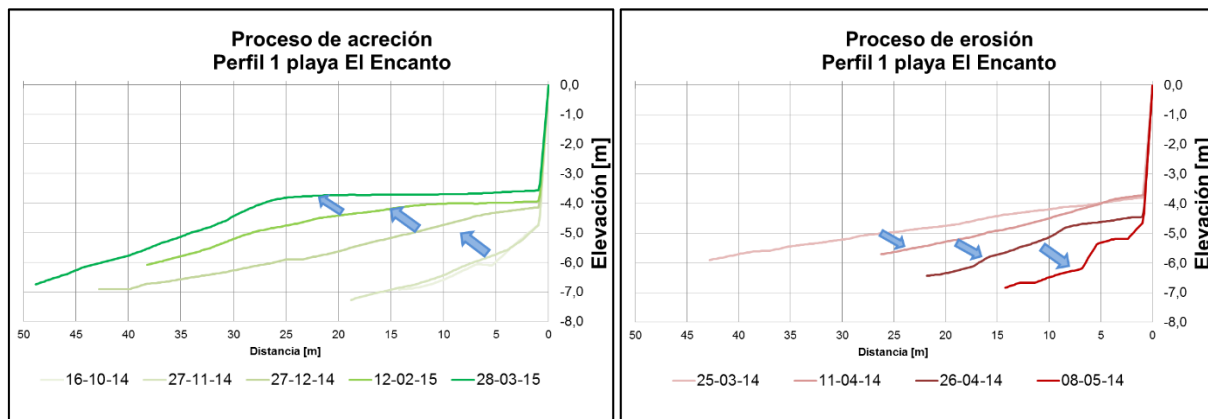


Gráfico 2: Evolución anual de Perfil 1

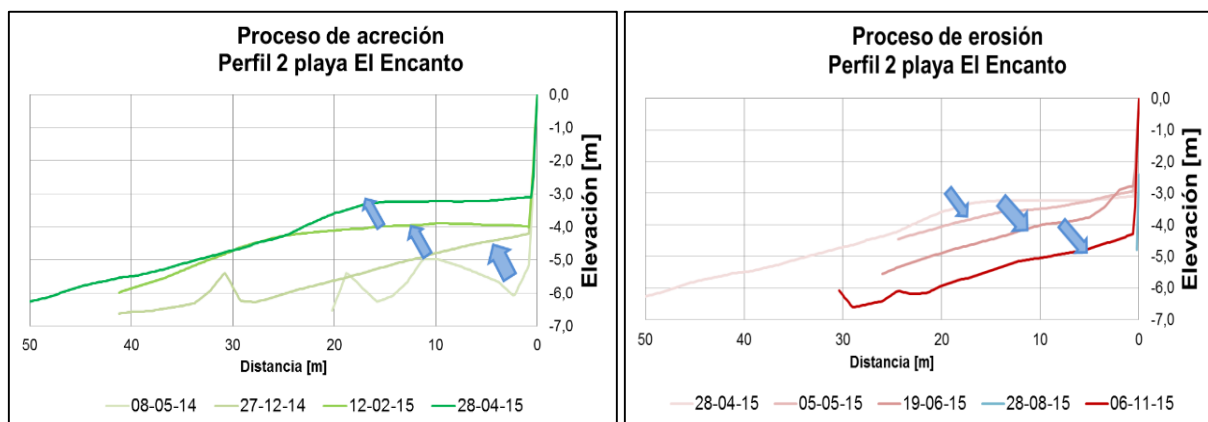


Gráfico 3: Evolución anual de Perfil 2.

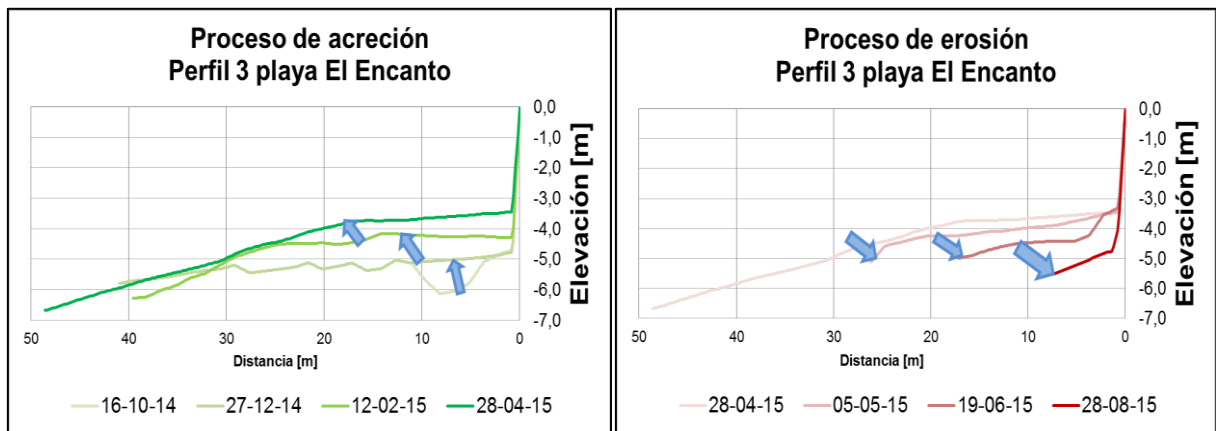


Gráfico 4: Evolución anual de Perfil 3

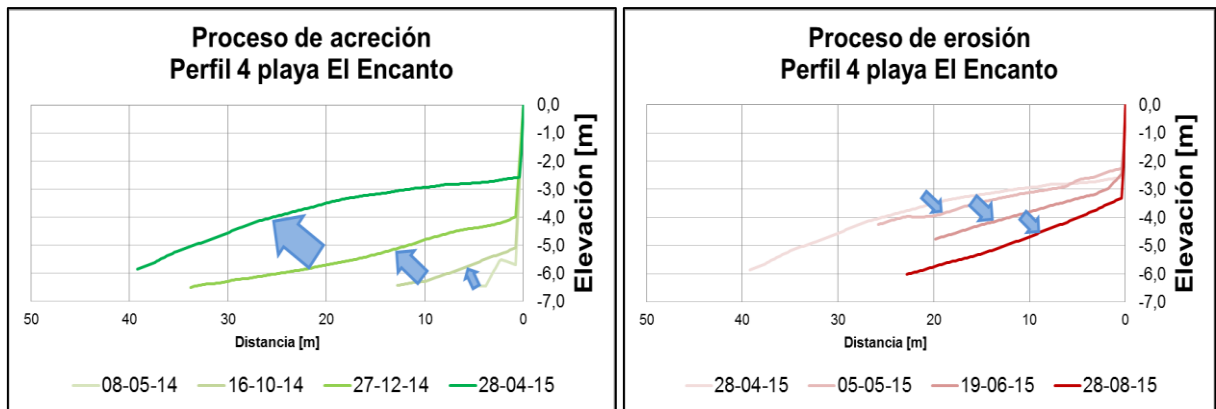


Gráfico 5: Evolución anual de Perfil 4.

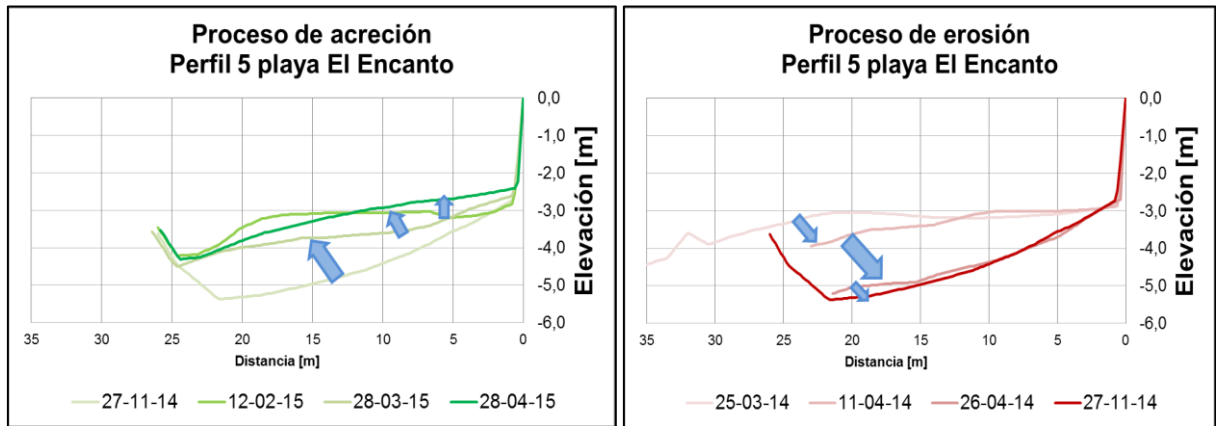


Gráfico 6: Evolución anual de Perfil 5.

Como se puede observar a partir de los registros anteriormente expuestos, en los perfiles 1,2 y 3, su fase erosiva alcanza tal nivel de pérdida de arena que el fondo rocoso de la explanada queda expuesto y es posible registrarlo por el levantamiento de perfiles.

En cuando a la pendiente de la berma de la playa, se observa un aumento en período de verano, pero a medida que inicia su fase erosiva la pendiente comienza a disminuir.

Otro aspecto importante a destacar es que se torna muy difícil establecer un margen preciso de meses en el que se produce la fase erosiva o en caso contrario de acreción, ya que los diversos estados de oleaje energético tienen una ocurrencia variada a través de los años. No obstante a partir del registro de perfiles realizado en esta memoria se puede inferir que en los meses de marzo y abril comienza a aumentar el contenido energético del oleaje incidente de la playa dando lugar al inicio del proceso de erosión. Sin embargo, el punto máximo de esta etapa se vuelve más imprecisa y dependerá de cuánto se extienda la ocurrencia de los fenómenos hidrodinámicos erosivos. Para éste registro de mediciones que abarca el segundo semestre del año 2013 hasta el segundo semestre de 2015, se pueden establecer que entre los meses de agosto y noviembre la playa El Encanto alcanza su máxima pérdida de arena.

Para los meses de recuperación de la playa, se puede determinar un rango entre los meses de octubre y noviembre como comienzo de su etapa de acreción, alcanzando su punto máximo de recobro de arena entre los meses de marzo y abril, donde se reinicia el ciclo anual de la playa, comenzando nuevamente la erosión.

- **Oleaje energético**

Se debe mencionar el efecto que produce el oleaje de tormenta sobre la morfología de los perfiles de playa, ya que éstos pueden provocar cambios drásticos en el volumen de arena de la playa en el corto plazo, cambiando el rango de meses en el que se producen los ciclos de acreción y erosión.

El impacto que tiene el oleaje de tormenta sobre la erosión de la playa depende de la intensidad de la tormenta y esto depende tanto de la altura de la ola incidente como también de su duración. Esto hace que a la llegada de los temporales supone un aumento en la energía del oleaje rompiente lo que conlleva a un déficit en la arena de la zona sumergida, por lo cual se compensa con una erosión de la zona emergida de la playa (intermareal y explanada), provocando un retroceso de la playa en una disminución de la pendiente del perfil (Medina *et al*, 1995).

Como se menciona en la página 15 (Figura 11), se establecen las escalas temporales para los procesos de acreción ubicándose entre *semanas* a *meses*; y para la erosión del perfil sólo *horas* a *semanas*. Este último espacio temporal pudo ser verificado, ya que diversas mediciones de perfiles de playa evidenciaron importantes déficit de volumen de arena en el transcurso de sólo unos días. A modo de ejemplo se ilustra a continuación uno de dichos casos (Figura 49), en un lapso de sólo 15 días el nivel de arena de la explanada disminuye en un promedio de 1,8 [m], y en los 12 días subsiguientes vuelve a disminuir en promedio 1,5 [m], quedando los perfil 1 y 2 completamente erosionados.

Con este ejemplo expuesto se puede observar que en el transcurso de un mes, fácilmente puede existir una disminución de casi 3 [m] de altura en el nivel de arena de la playa El Encanto bajo condiciones de oleaje con alto contenido energético en plena fase erosiva, por lo que este caso en particular en tan sólo 27 días la arena de la playa desaparece.

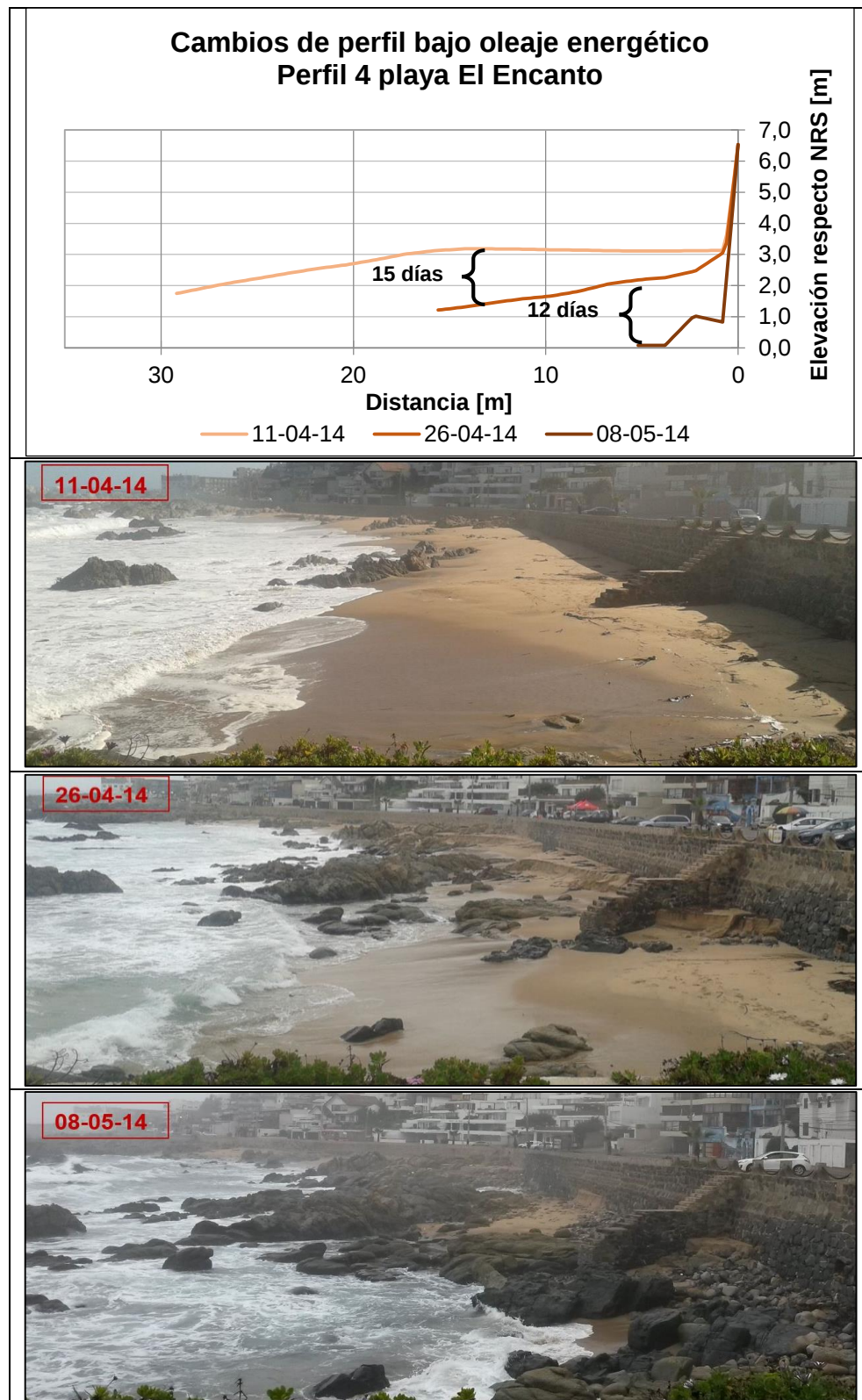


Figura 49: Cambios en Perfil 4 por incidencia de oleaje energético.

8.3 CÁLCULO DEL ÁREA TOTAL DE ARENA

La coordinada medición realizada a los cinco perfiles de la playa El Encanto durante los años 2014 y 2015, permite registrar la variación de la cantidad de sedimento experimentada en la playa, pudiendo de esta forma establecer los períodos de mayor acreción y máxima erosión para cada tramo seleccionado. El Gráfico 7 ilustra el aumento o disminución del área de arena por metro lineal de playa para cada perfil de manera mensual. Además se ilustra de forma simultánea la ocurrencia de eventos de marejadas importantes obtenidos del estudio realizado por Campos-Caba (2016).

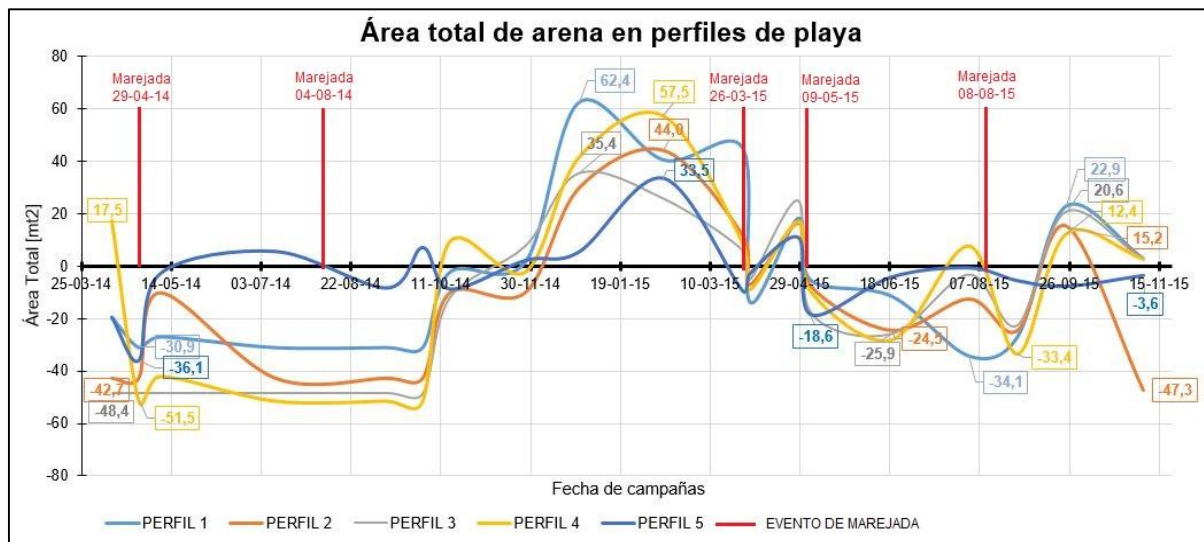


Gráfico 7: Área total de arena para los cinco perfiles de playa.

Del cálculo anterior se destaca que los perfiles 3, 4 y 5 registran sus mayores disminuciones de área entre las campañas del 25-03-2014 y 15-05-2014. Mientras que los perfiles 1 y 2 registran sus máximas pérdidas mensuales entre las fechas 07-06-2015 y el 06-11-2015. Es necesario mencionar que los rangos de meses en que se registran las máximas condiciones no pueden ser estandarizados, ya que el comportamiento de la playa dependerá entre otros factores a la ocurrencia o no de eventos de tormenta que pueden modificar drásticamente la forma del perfil de playa, y que pueden no necesariamente ocurrir en los meses establecidos de época invernal. Otro tópico que merece explicación es la nula variación de área de arena que se observa en los perfiles 1, 2 y 3 en las fechas comprendidas entre el 14-05-2014 y 11-10-2014. Esto se debe a que dichos perfiles alcanzaron sus máximas condiciones de erosión, de modo que su medición corresponde al fondo rocoso presente en toda su extensión.

El registro de las campañas de medición permite además observar períodos de tiempo en que los diversos perfiles presentaron comportamientos opuestos, es decir, mientras la mayoría de los perfiles experimentaban pérdida de sedimento, en alguno de ellos ocurría lo contrario al incrementar su área de arena. Un ejemplo de este fenómeno puede observarse en el Gráfico 7, específicamente para el período de tiempo comprendido entre las fechas 19-01-15 y 10-03-15, donde los perfiles 1 y 3 registran una disminución de su área de arena, mientras que los perfiles 2, 4 y 5 experimentan un incremento de su explanada. Otro escenario puede ser identificado en la fecha 18-06-15 del mismo gráfico, sin embargo esta vez los perfiles 1 y 5

incrementan su área de arena, mientras que los perfiles 2, 3 y 4 experimentan un efecto erosivo. En el primer caso expuesto se puede inferir que debido a la dirección del oleaje incidente se produce una erosión en los primeros perfiles ubicados en el sector sur de la playa, mientras que al mismo tiempo los perfiles del sector norte ve incrementada su área de arena, produciéndose una especie de pivoteo del relleno sedimentario, transportándolo desde el sector sur de la playa hacia el norte. En el segundo caso expuesto, la dirección del oleaje produce una erosión en el sector medio de la playa (perfiles 2, 3 y 4), y un incremento del área de arena en ambos extremos de la playa (perfiles 1 y 5).

El Gráfico 8 a diferencia el anterior, ilustra el área neta de arena por metro lineal de playa, es decir, considera los aumentos y disminuciones de arena. Como se observa en el gráfico, el perfil 5 presenta un particular comportamiento, ya que a simple vista no se observan incrementos en su área de total (sus valores se mantienen en valores negativos), la explicación a este fenómeno radica en que las dos primeras campañas de medición registraron una importante disminución del área de arena, de modo que cualquier incremento posterior del área no fue suficiente para revertir la magnitud de esta pérdida inicial.

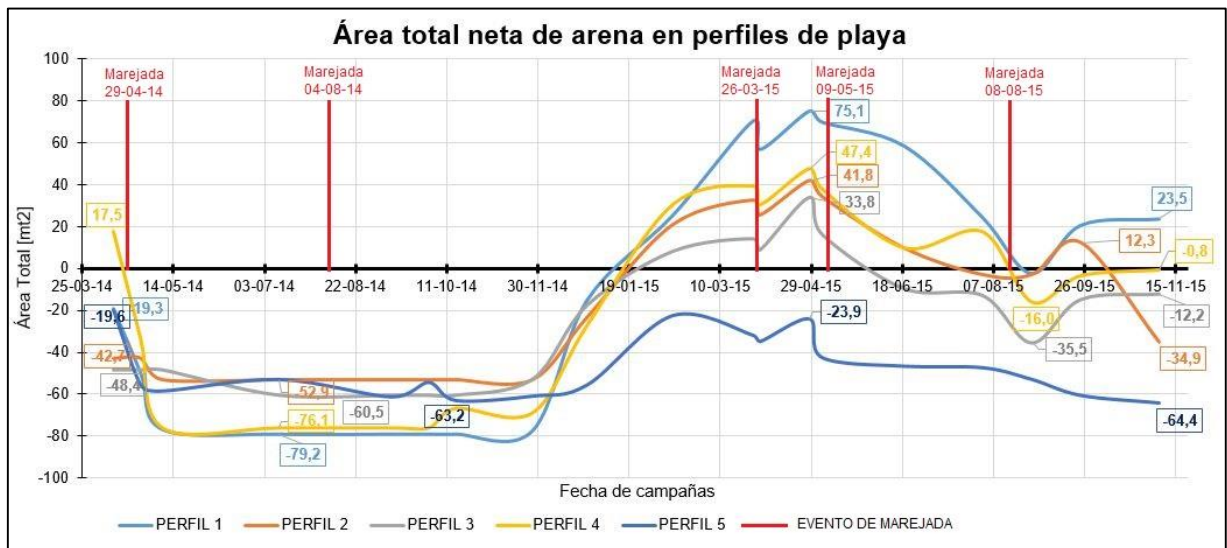


Gráfico 8: Área total neta de arena para los cinco perfiles.

A modo de comprobación, se adiciona a la identificación de marejadas importantes antes mencionadas, un registro de serie de tiempo que contiene las alturas significativas ocurridas en la playa El Encanto para el período de tiempo en que se realizaron las campañas de medición de perfiles. Dichos parámetros de resumen son obtenidos a través de la metodología de transferencia espectral de oleaje del proyecto “Un Atlas de Oleaje para Chile”. De esta manera es posible visualizar las variaciones morfológicas de la playa ante la acción de ciertas condiciones de oleaje.

Para conocer en detalle la variación mensual del área de arena por metro lineal, se ilustran a continuación gráficos para cada uno de los cinco perfiles de la playa El Encanto. Donde el valor obtenido es el incremento o disminución de área total de arena entre dos campañas de medición de perfiles consecutivas.

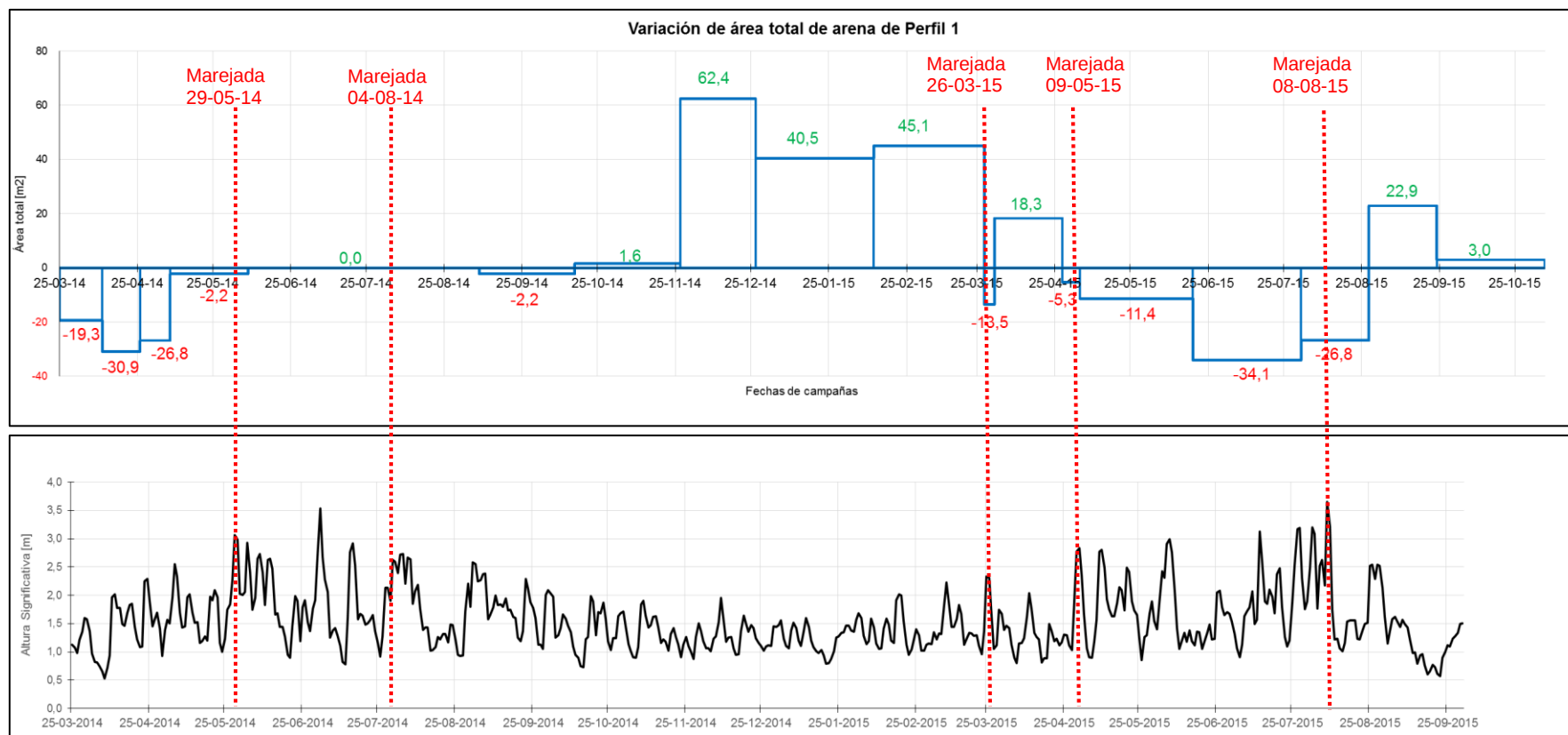


Gráfico 9: Variación total de arena Perfil 1.

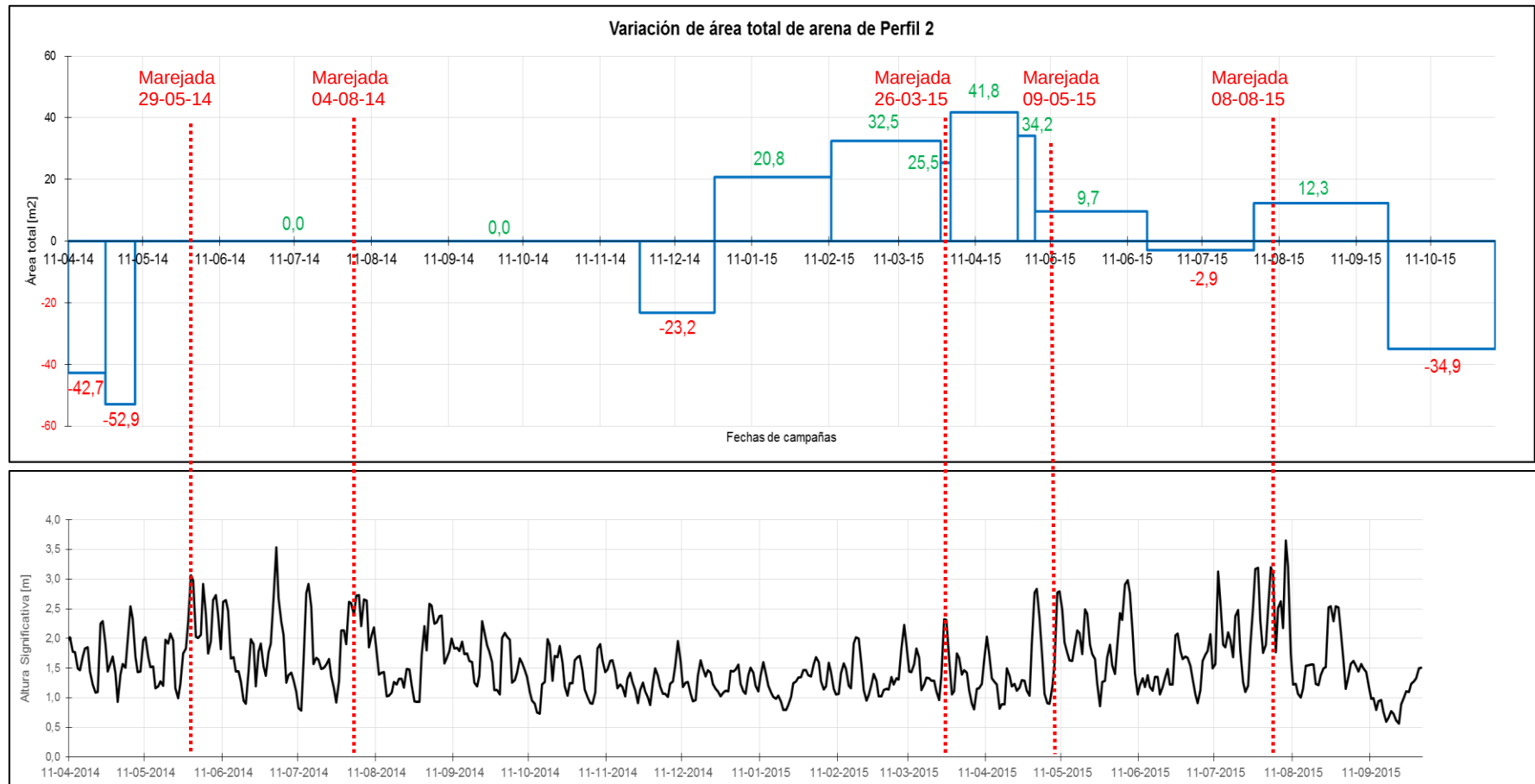


Gráfico 10: Variación total de arena Perfil 2.

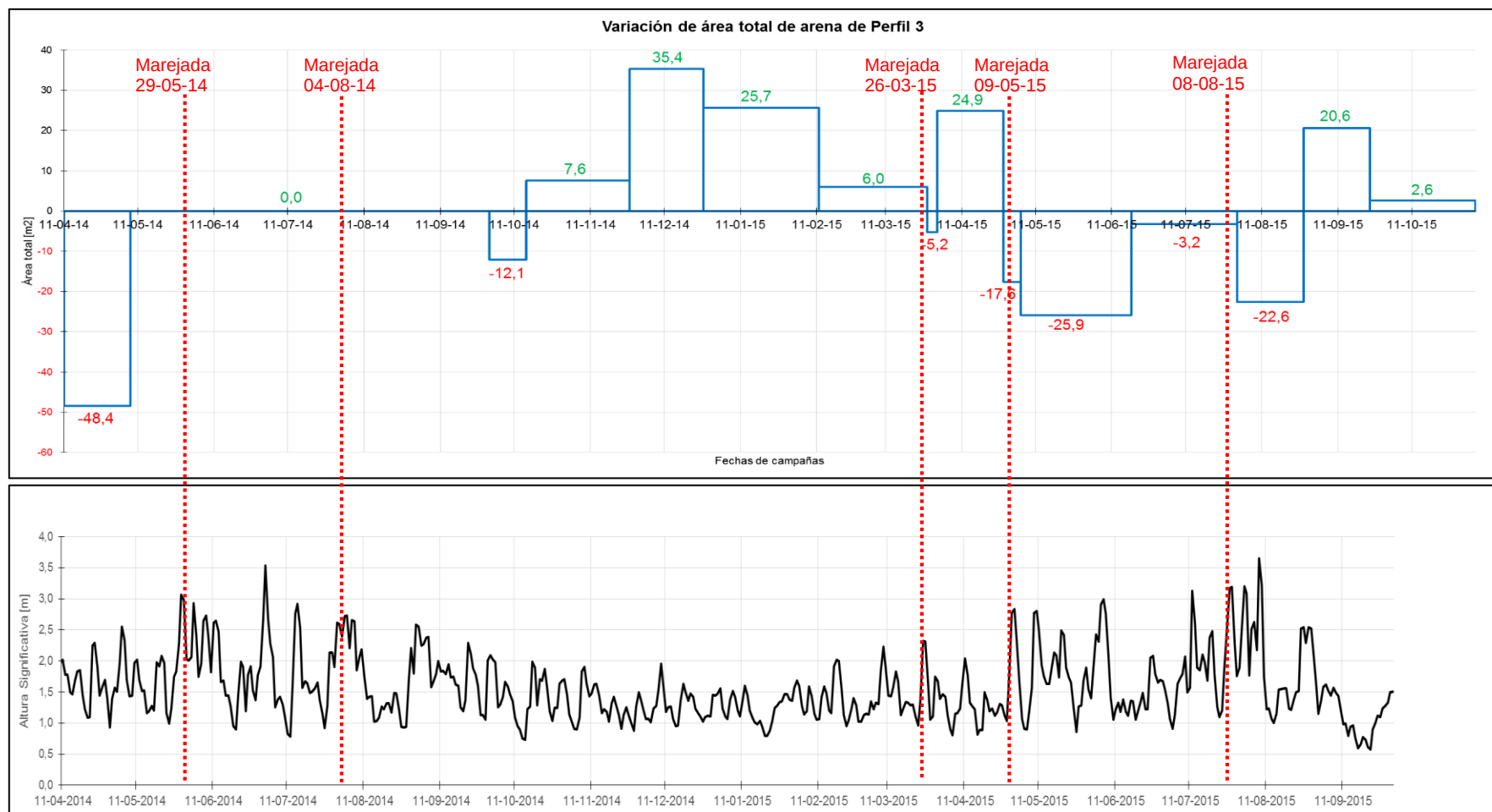


Gráfico 11: Variación total de arena Perfil 3.

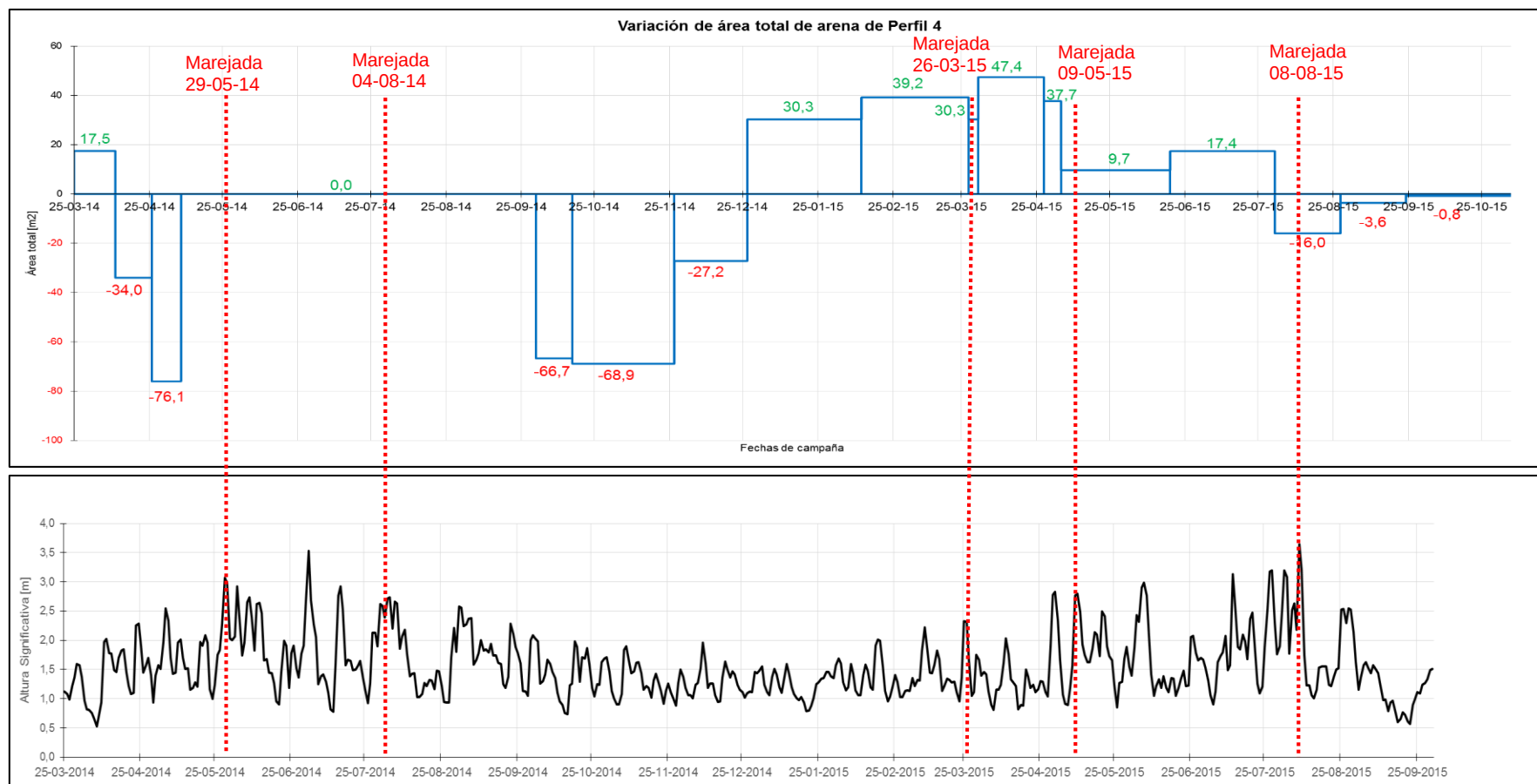


Gráfico 12: Variación total de arena Perfil 4.

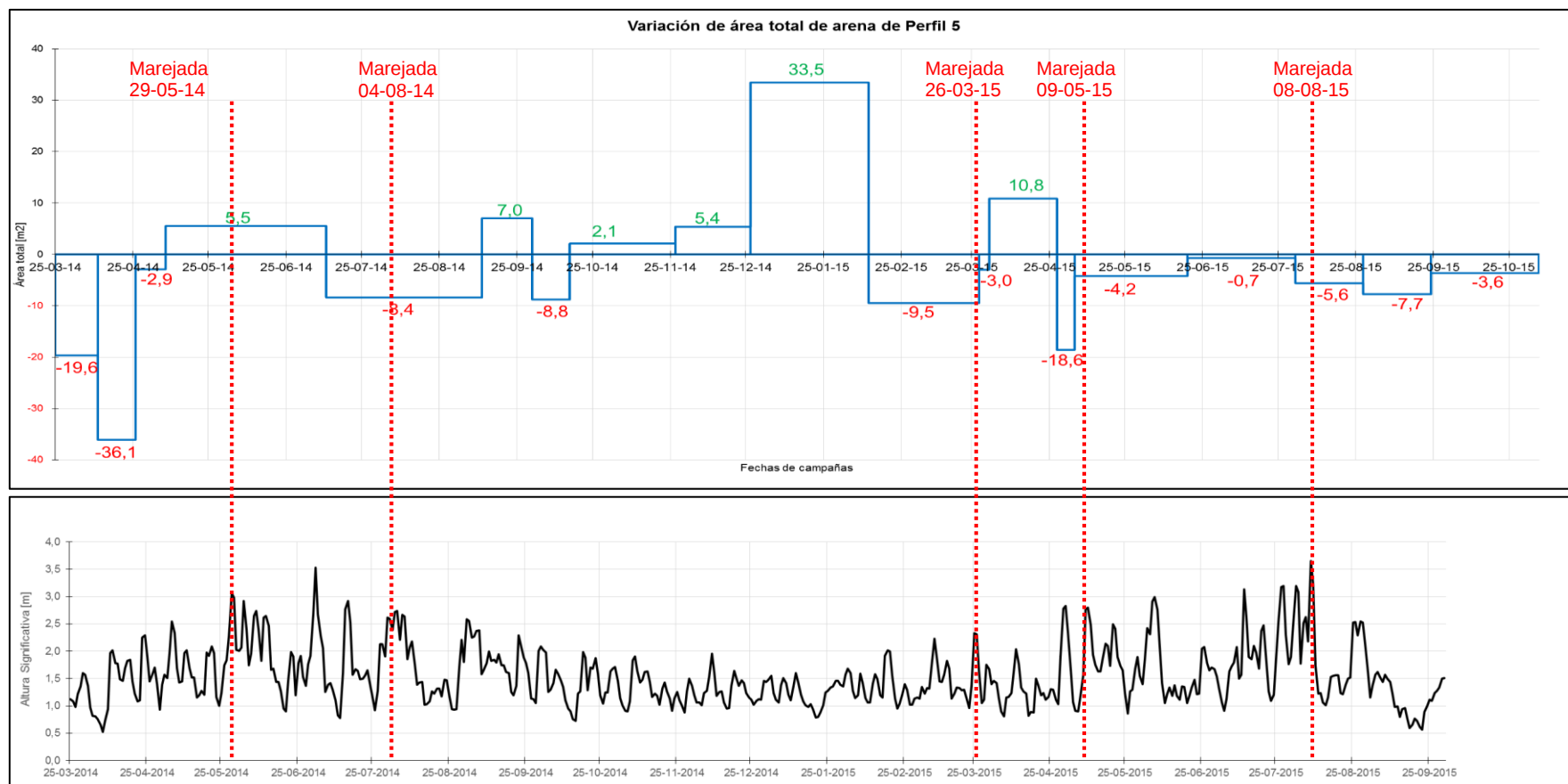


Gráfico 13: Variación total de arena Perfil 5.

8.3.1 ANÁLISIS DE LA SERIE DE TIEMPO

El registro de 21 campañas de medición de perfiles de playa, permite estimar de forma cuantitativa la cantidad de arena movilizada en el transcurso anual de la playa El Encanto, estimándose una cantidad de 293.845 [m³] de arena, al mismo tiempo se puede establecer las zonas con mayor variación de área total de arena corresponden a los perfiles 1 y 4, seguidos por los perfiles 2, 3 y 5. Un análisis más individualizado del comportamiento de cada perfil de playa se detalla a continuación:

Perfil 1:

A partir del Gráfico 9, se puede distinguir claramente el ciclo anual del perfil, donde el período de meses asociados a la fase erosiva de la playa corresponde de Marzo-Agosto. Mientras que su ciclo de acreción comprende los meses entre Octubre-Abril. Se destaca que el evento de marejadas el 26-03-15 erosiona la playa cuya pérdida de arena alcanza los 13,5 [m²] por metro línea de playa, sin embargo este perfil retoma su ciclo de acreción aumentando su relleno sedimentario.

Perfil 2:

Del Gráfico 10 se puede establecer que el ciclo de erosión de la playa se extiende de Marzo a Noviembre, mientras que el ciclo de acreción comprende los meses de Diciembre a Junio. La ocurrencia de la marejada del 26-03-15 erosiona esta porción de la playa, a pesar de este episodio de oleaje energético, la playa logra recuperar el área de su explanada. Sin embargo para la segunda marejada del 09-05-15 al área de arena erosionada no logra recuperarse.

Perfil 3:

El perfil central de la playa El Encanto, experimenta la fase erosiva entre los meses de Abril a Octubre, en cambio su proceso de acreción se da lugar entre los meses de Noviembre a Marzo (Gráfico 11). Ante la ocurrencia de la marejada del 26-03-15, el perfil se ve erosionado perdiendo una superficie cercana a los 5,2 [m²] por metro lineal, a pesar de aquello el perfil recupera el sedimento arrastrado, a diferencia de las marejadas del 09-05-15 donde el perfil no logra recuperar su relleno, ya que se encuentra experimentando su ciclo erosivo.

Perfil 4:

El perfil orientado a la zona norte la playa experimenta su ciclo erosivo entre los meses de Abril a Noviembre, mientras que el ciclo de acreción se da lugar entre Diciembre a Julio. La respuesta del perfil frente a los eventos de marejadas del 26-03-15 y del 09-05-15 es el mismo, ya que se ve erosionado pero logra recuperar su área de arena movilizada. No obstante, tras la ocurrencia de la marejada del 08-08-15 el nivel erosivo alcanzado es tal que no logra volver a su condición de relleno antes del evento, como se ilustra en el Gráfico 12.

Perfil 5:

El perfil perteneciente al extremo norte de la playa presenta su ciclo de erosión entre los meses de Abril a Agosto, mientras que su ciclo de acreción se experimenta entre Septiembre a Marzo (Gráfico 13). Para las marejadas del 04-08-14 y 26-03-15, el perfil se ve erosionado en 8,4 [m²] y 9,5 [m²] de área de arena por metro lineal de playa respectivamente. A pesar de aquello esta pérdida es revertida en los meses posteriores.

A modo de resumen se ilustran en la Gráfico 14 las variaciones del área total de arena obtenidas de las campañas de medición para los cinco perfiles de la playa.

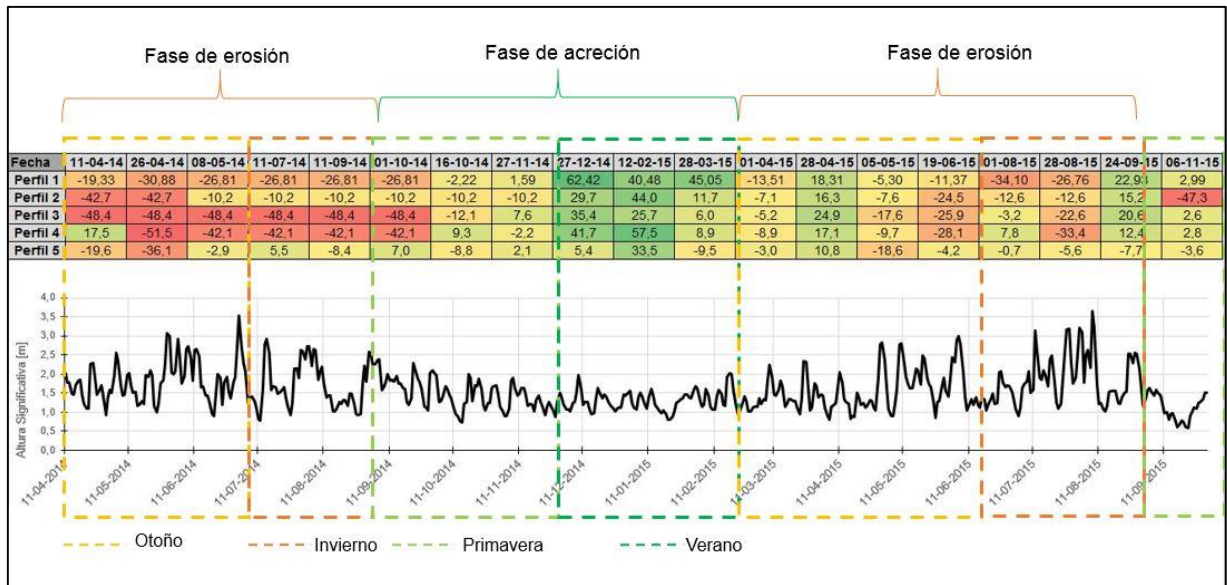


Gráfico 14: Análisis espacial y temporal de la variación del área total de arena.

Mediante la identificación de colores, se puede establecer claramente los períodos de máxima erosión para los cinco perfiles medidos cuyos meses corresponden de Abril a Octubre, mientras que los períodos de máxima acreción se centran en los meses de Diciembre a Marzo. Al mismo tiempo se pueden observar eventos aislados que provocan disminución del área de arena en épocas que corresponden a la etapa de acreción de la playa.

El fenómeno de pivoteo del relleno sedimentario de la playa propuesto en la página 62 puede corroborarse con las mediciones del área total de arena realizadas entre las fechas 08-05-14 al 01-10-14, donde los perfiles 1, 2, 3 y 4 correspondientes a los sectores sur y centro de la playa registran pérdidas en su nivel de arena, mientras que el perfil 5 ubicado al norte de la playa registra ganancias en su área total, lo que se traduce en una migración del sedimento desde el sector centro-sur hacia el extremo norte de la playa.

En función del oleaje, es posible distinguir los efectos de la altura de ola significativa en el incremento o disminución del área total de arena que conforma la playa, donde claramente se identifica la ocurrencia de oleaje de tormenta con alturas de ola superiores a 3[m] y su efecto traducido en las mayores pérdidas de área de arena, y en contraposición se puede establecer la época del año en donde los mayores incrementos en área de arena están asociados a alturas de olas que no superan los 2[m].

8.4 SEDIMENTOLOGÍA DE LA PLAYA

Los resultados del análisis sedimentológico realizado a la arena de la playa El Encanto, se dividen en un estudio granulométrico, estadístico y mineralógico, de esta forma se obtuvo una correcta clasificación e identificación del tipo de grano que conforma la zona en estudio.

8.4.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Para la primera parte del análisis, y que corresponde al estudio granulométrico de la arena recolectada en tres perfiles representativos, se obtienen los histogramas de frecuencias de sedimentos que evidencian el tipo de partícula preponderante en la muestra. A continuación se ilustran las clasificaciones de sedimento para cada uno de los perfiles analizados.

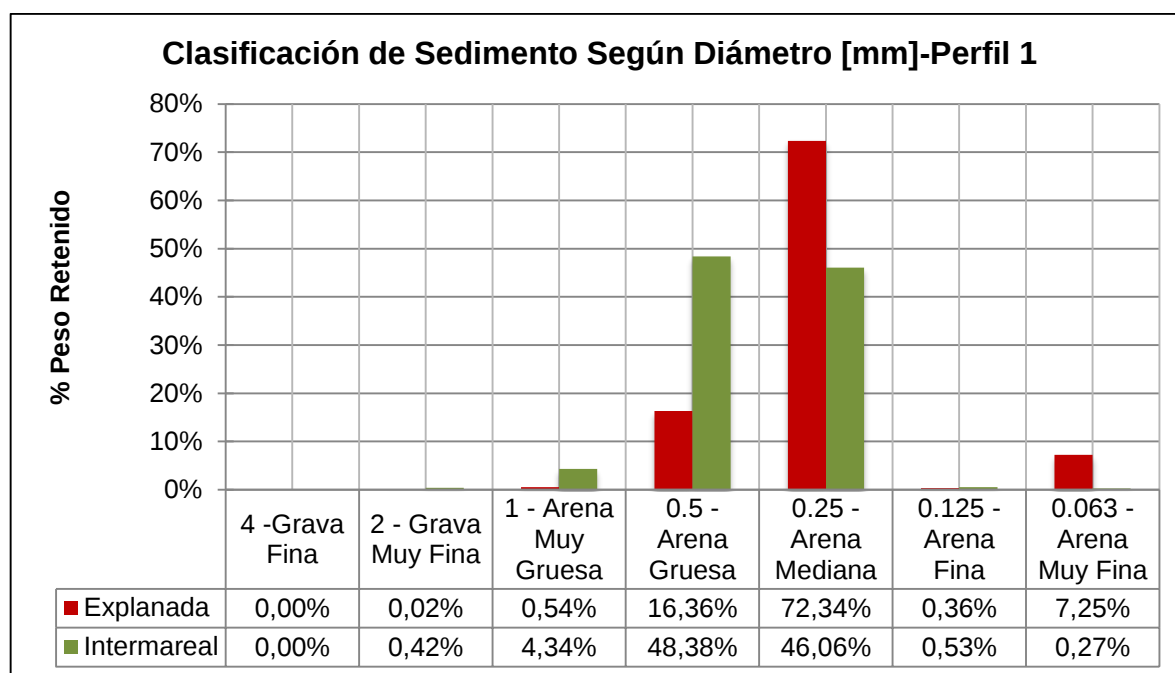


Gráfico 15: Clasificación de sedimento Perfil 1.

En el perfil 1 de la playa se observa una marcada presencia de *arena mediana* (72,34%) en la zona de explanada, mientras que en el tramo intermareal la clasificación se divide entre *arena gruesa* y *mediana* (48,38% y 46,06%), como se ilustra en el Gráfico 15.

En relación el grado de distribución del tamaño de los granos, el coeficiente de uniformidad clasifica la zona de explanada como *suelo uniforme*, mientras que la zona intermareal se presenta un *suelo muy uniforme*. Respecto al equilibrio entre los diversos tamaños de granos, el coeficiente de curvatura, ambas zonas analizadas del perfil 1 evidencian un *suelo bien graduado*.

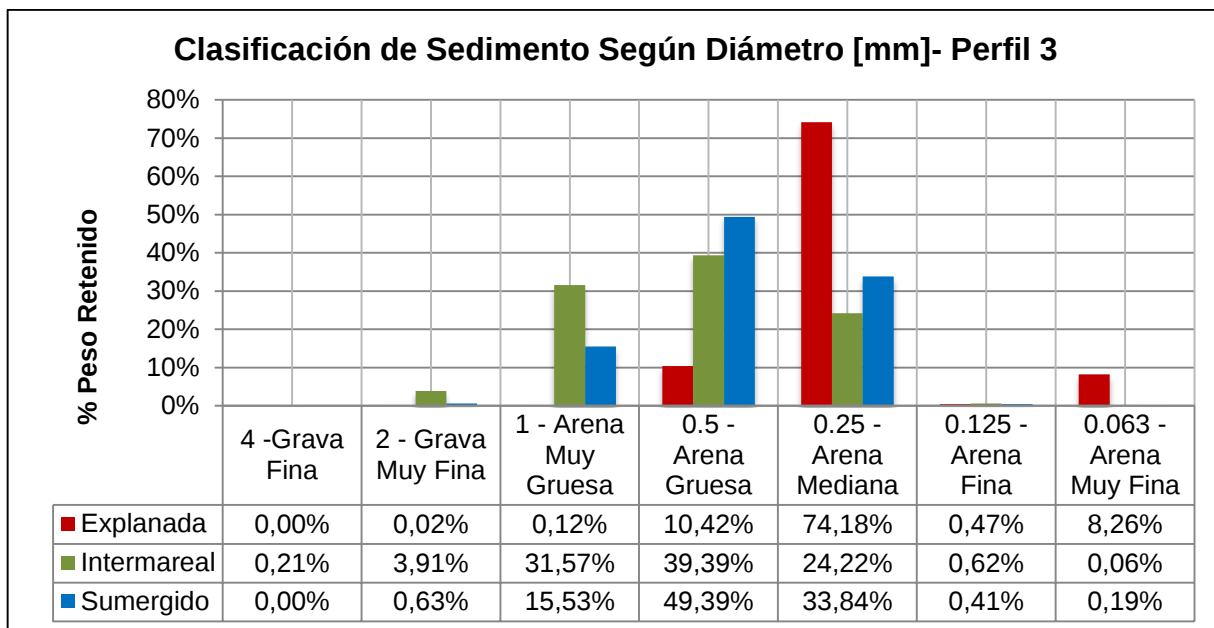


Gráfico 16: Clasificación de sedimento Perfil 3.

El perfil 3 de la playa en estudio está compuesto por *arena mediana* en la explanada (74,18%), presenta un suelo *uniforme y muy bien graduado*, mientras que el tramo intermareal predomina la *arena gruesa* (39,39%), conformando un suelo *muy uniforme y muy bien graduado*. Finalmente la zona sumergida también está compuesta por *arena gruesa* (49,39%), presentando un suelo *muy uniforme y muy bien graduado* en términos de diversidad en tamaños de granos (Gráfico 16).

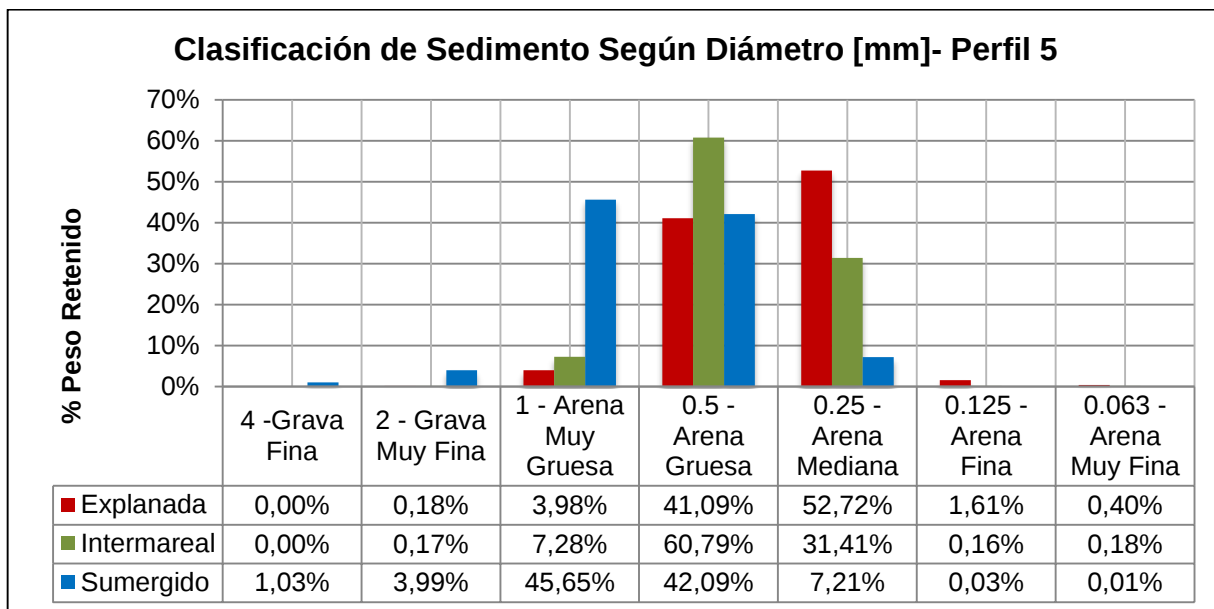


Gráfico 17: Clasificación de sedimento Perfil 5.

El quinto perfil representativo de la playa, está compuesto en su explanada por *arena mediana* (52,72%), suelo *muy uniforme* y *muy bien graduado*. Para el tramo intermareal del perfil, éste se compone de *arena gruesa* (60,79%) y se clasifica como un suelo *muy uniforme* y *bien graduado*. Finalmente la zona sumergida del perfil 5 predomina la *arena muy gruesa* (45,65%) y conforma un suelo *muy uniforme* y *muy bien graduado* en términos de diversidad de tamaños de grano (Gráfico 17).

Resumen de resultados

Tras analizar la granulometría de los tres perfiles representativos de la playa El Encanto, se puede establecer que existe una gradación normal de los granos de arena, que se evidencia una disminución gradual del tamaño de las partículas desde la zona sumergida hacia la explanada de la playa. Ya que de los tres perfiles analizados, en las tres zonas de explanada predominan las arenas medianas, en el tramo intermareal la arena mediana y en la zona sumergida predomina la arena gruesa o muy gruesa (Figura 50-A).

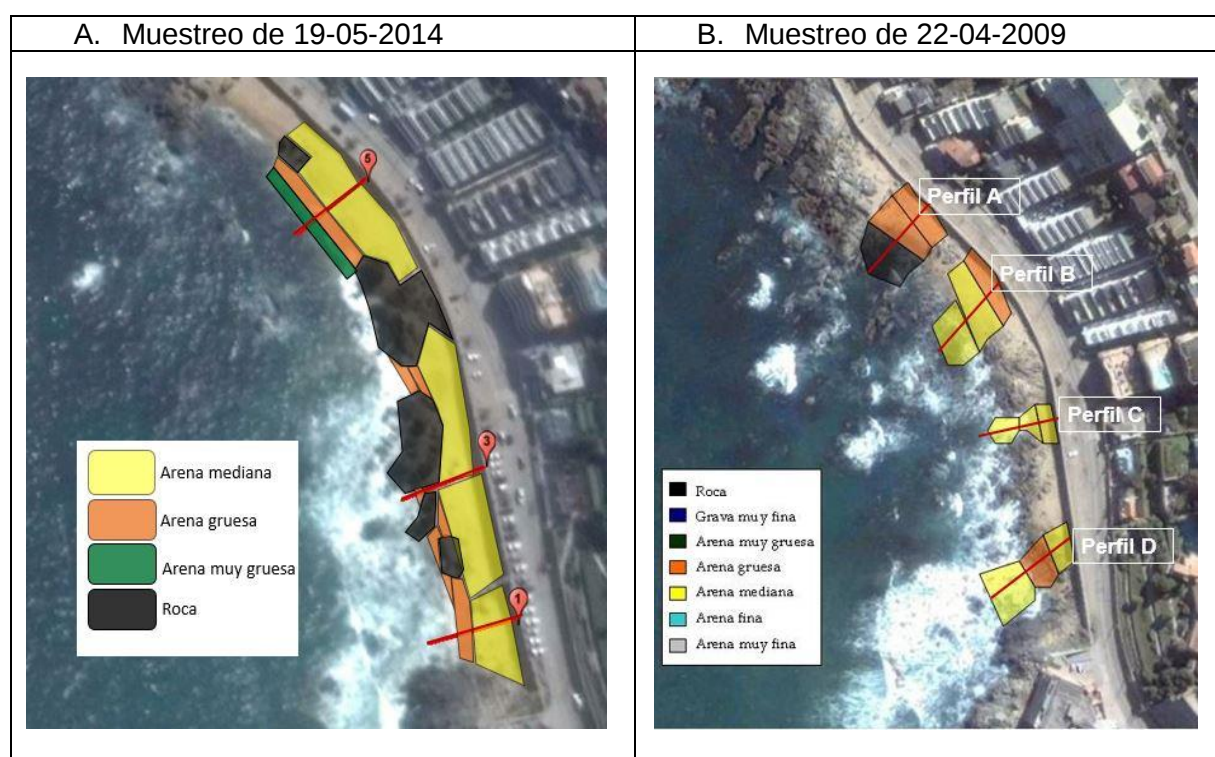


Figura 50: Comparación de resultados en campañas de muestreo de sedimentos.

Si se realiza una comparación con los sedimentos analizados por el académico Mauricio Molina (2009) en la Figura 50-B, se observa una presencia mayoritaria de *arena mediana* en tres de los cuatros perfiles analizados. Sin embargo no se evidencia la gradación normal de granos de arena, ya que en las zonas de explanada de los perfiles A, B y en el tramo intermareal del perfil D, se encuentra *arena gruesa*, y en el sector sumergido *arena mediana*.

La diferencia en los resultados obtenidos puede explicarse debido a que la variación temporal de la distribución granulométrica de arena de una playa posee variaciones cíclicas estacionales y además afecta de manera diferente a los diversos tamaños de granos

existentes (Medina *et al*, 1995). Donde principalmente la variabilidad de los granos gruesos se manifiesta en intercambios entre barra y berma de la playa. Es decir, el invierno aumenta el porcentaje de presencia de gruesos en la barra (tramo sumergido), mientras que disminuye en la berma (explanada de la playa). Dicho comportamiento se invierte en verano. En cuanto a la variabilidad estacional de los granos finos, ésta se relaciona con el transporte a lo largo de todo el perfil. Cuyo comportamiento se traduce en un arrastre de dicho material hacia la zona sumergida en período invernal, y su depositación en berma de la playa en período estival.

Este proceso deja en evidencia que la variabilidad estacional de la distribución granulométrica del sedimento está fuertemente ligada a los cambios morfológicos experimentados por el perfil de playa. Esto se debe a que los tamaños de sedimentos responden de distinta forma ante una misma sollicitación hidrodinámica.

Bajo el supuesto anteriormente descrito, se puede explicar la diferencia de resultados entre las dos campañas de muestreo de sedimentos realizados, donde a pesar que ambas mediciones corresponden a perfiles en época invernal, el porcentaje de presencia de *arena mediana* y *arena gruesa* difiere entre ellos. Con esto se corrobora que la distribución granulométrica está gobernada por las condiciones hidrodinámicas de la playa, en donde la campaña del 19 de mayo de 2014, a pesar de corresponder a período invernal, aún evidencia un perfil con características de época estival, esto posiblemente debido a la tardía ocurrencia de oleaje energético para esa época del año.

- **Granulometría de esteros**

El análisis granulométrico realizado a los diversos tramos de los esteros seleccionados tanto a interior como en desembocadura, arroja como resultado las curvas granulométricas ilustradas en el Gráfico 18.

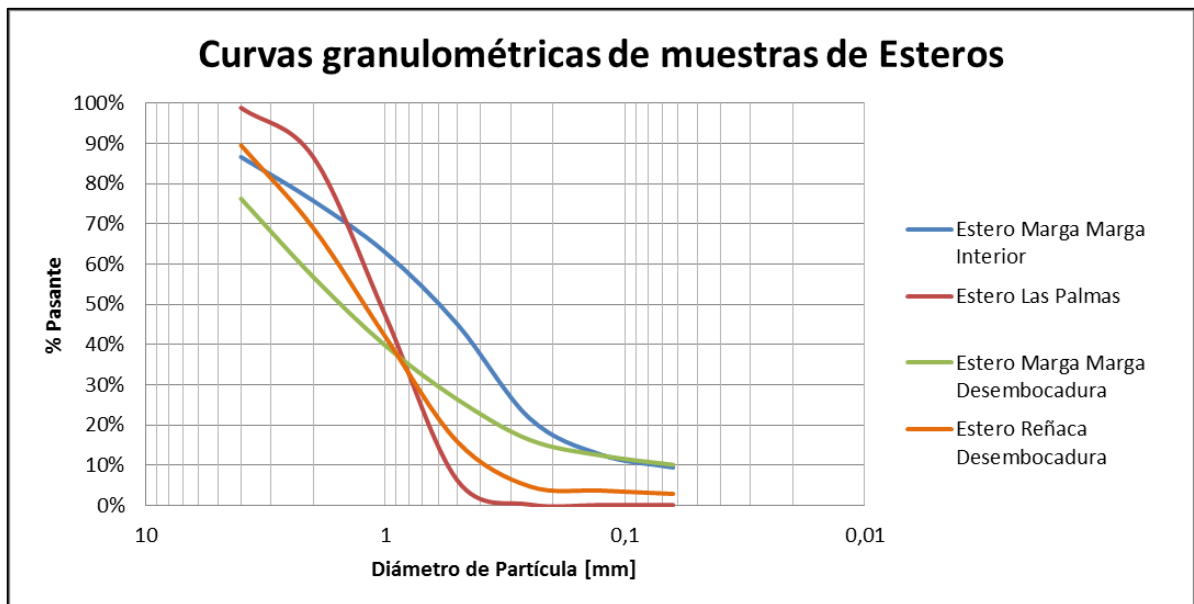


Gráfico 18: Curvas granulométricas de muestras de esteros.

Donde se pueden distinguir las siguientes características:

- Estero Marga Marga Interior: Presenta una granulometría continua de un suelo uniforme y bien graduado.
- Estero Las Palmas: De granulometría continua, de suelo uniforme medianamente graduado.
- Estero Marga Marga Desembocadura: Presenta una granulometría continua no uniforme, y un suelo bien graduado.
- Estero Reñaca: De granulometría continua y un suelo uniforme y bien graduado.

En cuanto al tamaño de los granos contenidos en las muestras, se pueden establecer los siguientes resultados:

- Estero Marga Marga Interior: Predominancia de arena mediana (23,38%)
- Estero Las Palmas: Predominancia de arena gruesa (41,07%) y arena muy gruesa (39,41%).
- Estero Marga Marga Desembocadura: Leve predominancia de grava fina (23,70%).
- Estero Reñaca: Leve predominancia de arena muy gruesa (27,06%).

Todos los resultados del proceso de tamizaje realizado a las muestras de esteros se ilustran a continuación con mayor detalle.

Tabla 9: Resultados de granulometría en esteros.

Estero Marga Marga Interior	Estero Las Palmas	Estero Marga Marga Desembocadura	Estero Reñaca Desembocadura	Tipo de Sedimento
13,33%	1,12%	23,70%	10,39%	4 -Grava Fina
10,88%	12,22%	19,47%	20,54%	2 - Grava Muy Fina
12,87%	39,41%	17,07%	27,06%	1 - Arena Muy Gruesa
17,89%	41,07%	13,42%	26,17%	0,5 - Arena Gruesa
23,38%	5,95%	10,05%	11,05%	0,25 - Arena Mediana
9,08%	0,10%	3,91%	1,06%	0,125 - Arena Fina
3,12%	0,02%	2,28%	0,81%	0,063 - Arena Muy Fina
9,44%	0,10%	10,11%	2,88%	0,031- Limo Grueso

8.4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico realizado a las muestras de los perfiles de playa, se obtuvo a partir del cálculo de los diámetros característicos con los porcentajes pasantes derivados del proceso de tamizaje. Con dichos datos se pueden establecer las siguientes clasificaciones para las muestras de playa (Tabla 10).

Tabla 10: Resultados de análisis estadístico.

	Zona	Curtosis (K)	Asimetría (SK)	Desv.Estándar (σ1)
PERFIL 1	Explanada	Muy Leptocúrtico	Asimétrico hacia finos	Muy bien clasificada
	Intermareal	Platicúrtico	Asimétrico hacia finos	Muy bien clasificada
PERFIL 3	Explanada	Muy Leptocúrtico	Asimétrico hacia finos	Muy bien clasificada
	Intermareal	Platicúrtico	Muy asimétrico hacia finos	Moderadamente bien clasificada
	Sumergido	Leptocúrtico	Muy asimétrico hacia finos	Bien clasificada
PERFIL 5	Explanada	Platicúrtico	Muy asimétrico hacia finos	Muy bien clasificada
	Intermareal	Mesocúrtico	Asimétrico hacia finos	Muy bien clasificada
	Sumergido	Platicúrtico	Asimétrico hacia finos	Moderadamente bien clasificada

Tras analizar el grado de concentración que presentan los valores alrededor de los valores centrales de las muestras, se obtuvieron las siguientes clasificaciones de curtosis: dos muestras muy leptocúrticas, cuatro muestras platicúrticas, una leptocúrtica y una mesocúrtica.

En referencia a la distribución de los datos respecto a la media aritmética, la asimetría obtenida para las muestras de perfiles de playa evidencia una neta preponderancia a la asimetría hacia finos. Esta característica puede interpretarse como un indicador de la lejanía de las partículas a su fuente de origen, ya que debido a la gran distancia de transporte, éstas se van desgastando, erosionando y disminuyendo su tamaño.

Finalmente, tras analizar el grado de dispersión de los datos respecto a la media, las desviaciones estándar obtenidas arrojan cinco de las muestras muy bien clasificadas, una bien clasificada, y sólo dos muestras moderadamente clasificadas.

Para conocer en detalle las clasificaciones granulométricas y estadísticas de las muestras de la playa El Encanto así como de los esteros analizados, se adjunta en el **Anexo 1** las características sedimentológicas de las muestras.

8.4.3 ANÁLISIS MINERALÓGICO

La tercera etapa del análisis sedimentológico realizado a la arena de la playa El Encanto, incluye además un estudio a las muestras recolectadas en los esteros ubicados al sur de la zona en estudio, esto incluye: Estero Marga Marga en desembocadura y al interior, estero Las Palmas que es una variante del estero Marga Marga al interior y Estero Reñaca en desembocadura. Se decide descartar el Río Aconcagua y su desembocadura en Concón basándonos en la premisa que la deriva litoral tiene una dirección de Sur a Norte, de modo que se procede a analizar los esteros cuya dirección de sedimento se dirigen al norte, donde se ubica la playa en estudio. Cabe mencionar que se elige dos muestras representativas de la playa El Encanto, seleccionando las muestras de explanada e intermareal del perfil 3 de la playa (zona centro).

En esta última fase se analizan la composición mineralógica de las muestras analizadas, el porcentaje de presencia mineral, y la morfología de los granos.

- **Composición mineralógica**

Tras analizar las 6 muestras descritas anteriormente, se destaca la presencia de 5 minerales principales (Figura 51). Sin embargo también se observa la presencia de otros minerales pero en cantidades muy menores, de modo que se hace un análisis exhaustivo de los siguientes minerales identificados:

- Feldespato potásico: del tipo monoclinico denominado ortosa (estado intermedio). Es uno de los minerales más abundantes en la corteza terrestre. El color característico de la ortosa es rosa carne, también se presenta en blanca, amarilla, y parda. Su dureza en escala de Mohs es 6.
- Cuarzo: Segundo mineral más común en la tierra. Es con frecuencia el mineral primario. Se presenta en tonalidad descolorida y gris. Su dureza en escala de Mohs es 7.
- Mica: las variedades de micas se dividen en blancas (Moscovita) y negras (Biotita). Su estructura es de capas que pueden rajarse o delimitarse en las hojas delgadas, cuyas caras planas reflejan fácilmente la luz. Su dureza en escala de Mohs es 2-4.
- Magnetita: Es un mineral de hierro, forma parte de un grupo de minerales llamados óxidos; usualmente la magnetita puede ser identificada a causa de su gran magnetismo, y por su color oscuro y opaco. Su dureza en escala de Mohs es 5.5-6.5.
- Pirita: es un mineral de la clase de los sulfuros. De tonalidad opaca, de color amarillo y brillo metálico. Su dureza en la escala de Mohs es 6-6.5.



Figura 51: Principales minerales encontrados.

El motivo por el cual la aparición de los mismos minerales se repite en las seis muestras analizadas, se debe a que el origen de las partículas de los esteros en estudio se encuentra sobre el mismo basamento cristalino rocoso (Valenzuela *et al*, 1979)

El batolito costero conforma el basamento principal del sector occidental donde sobre el cual sobreyace la cuenca costera donde se ubica la zona en estudio. La composición principal de esta unidad geológica está constituida por ortoclase, microclina, plagioclase, cuarzo, biotita y algunas anfíbolos (DGA, 2005) y se extiende desde Quintero al extremo sur de la V región.

A continuación se ilustra a modo de ejemplo una muestra del estero Reñaca analizado bajo una lupa binocular, identificando los principales minerales que componen el sedimento (Figura 52).



Figura 52: Identificación de minerales en la muestra.
Fuente: Colección personal del autor.

- **Porcentaje de presencia mineral y textura**

El porcentaje de presencia de cada mineral fue estimado de forma semicuantitativa, mediante el método de Terry & Chilingar (1955). De este modo, para cada mineral identificado, se calculó su porcentaje de presencia en la muestra contenida en el portaobjeto de la lupa binocular. Obteniéndose como resultado, que en la totalidad de las muestras analizadas, los minerales presentan una neta preponderancia corresponden a feldespato y cuarzo, sin embargo la cantidad de feldespato presente en las muestras recolectadas al interior de los esteros es superior a las muestras recolectadas en las desembocaduras, situación que no ocurre con el mineral cuarzo. Se sugiere que dicha disminución del feldespato puede explicarse debido a la menor dureza (6 en escala de Mohs) que presenta frente a la erosión durante el proceso de transporte que experimenta, en comparación con los 7 Mohs que ostenta el cuarzo.

Para el caso particular del estero Marga Marga la presencia del mineral feldespato al interior del estero disminuye un 24% en su recorrido hacia la desembocadura. Dicho porcentaje se ve erosionado en los casi 11,5 kilómetros de distancia que debe recorrer el sedimento desde el interior del estero hasta la desembocadura. Sin embargo, la misma distancia recorrida parece no afectar la resistencia del mineral cuarzo, cuyo porcentaje de presencia se ve levemente incrementado en su recorrido. El comportamiento de dichos minerales preponderantes se repite para el estero Las Palmas, donde el porcentaje de disminución del feldespato alcanza un 19% en los casi 12,5 kms de recorrido.

En el estudio realizado al estero Reñaca que es el más cercano a la playa El Encanto, los minerales que presentan una neta preponderancia también corresponden a feldespato y cuarzo, situación que se repite para las muestras del perfil 3 de la playa. Donde el porcentaje de presencia de ortosa desde la desembocadura del estero hasta la zona centro de la playa en estudio sufre una disminución de un 9% en los casi 2,2 kilómetros de recorrido. Sin embargo, cabe destacar una gran diferencia en el comportamiento del cuarzo, cuyo porcentaje también se ve disminuido en un 7%, situación que no ocurre en el estero Marga Marga. Dicho

fenómeno podría explicarse, ya que a diferencia del recorrido realizado por el sedimento en el estero Marga Marga (que experimenta una sola dirección de transporte hasta llegar a la desembocadura), para el caso del sedimento del estero de Reñaca, éste en su recorrido se ve sometido a la hidrodinámica de la costa, de modo que la erosión experimentada por las partículas es en más de una dirección y ahí el desgaste de ambos minerales dominantes.

Para analizar la textura como propiedad física de los granos, se cuantifica la esfericidad que presentan las partículas de sedimento (Figura 36). De esta forma, se entiende que el grado de esfericidad explica el tipo de transporte de las partículas, considerando como base que el agua líquida actúa como agente de transporte e interactúa con los granos, ya sea erosionando y suavizando sus bordes. Bajo esta hipótesis, se deduce que las partículas más redondeadas indican mayor distancia recorrida desde su fuente de origen. Y en el caso de partículas con mayor angulosidad indican un menor trayecto recorrido desde su origen hasta el punto de depositación, es decir, menor extensión de desgaste de cordillera a mar.

De esta forma se obtiene que la muestra del estero Marga Marga al interior, es la única que presenta partículas de textura *angular a subredondeada*, mientras que de los esteros correspondientes a desembocadura y perfil 3 de playa El Encanto presentan textura *subredondeada a redondeada*, cumpliéndose así la hipótesis del transporte antes descrita.

Otra forma de explicar la forma *subredondeada a redondeada* que presentan las partículas de las muestras extraídas en las desembocaduras de los esteros y del perfil central de la playa El Encanto, es que éstas además del mayor trayecto recorrido desde su fuente de origen, también se ven sometidas a los efectos del oleaje de forma que experimentan mayores direcciones en su transporte, lo que provoca una abrasión intensa en términos de desgaste.

Para mayor detalle de los resultados obtenidos en el análisis sedimentológico, se ilustra a continuación un resumen para cada una de las muestras de esteros y playa analizadas (Figura 53).

Resumen de resultados análisis sedimentológico

El tipo de sedimento predominante en todas las muestras analizadas, tanto de perfiles de playa como de esteros, es una arena mediana del tipo cuarzo-feldespática, bien clasificada. Donde las partículas que constituyen el sedimento de la playa El Encanto se originan a partir de una sola fuente generadora, de características homogéneas y lejanas al lugar de depositación. Finalmente la composición mineralógica de los granos indica que la fuente generadora de los sedimentos es el basamento metamórfico. Sin embargo no es posible precisar qué estero es el que aporta el sedimento presente en la playa, ya que ambos se originan en el mismo batolito costero, de modo que las características de sus granos son muy similares. Se sugiere que para distinguir con mayor exactitud el origen de la arena que componen El Encanto, existen técnicas como los trazadores radiactivos que permiten detectar el transporte de sedimento que se produce de manera natural mediante detectores portátiles, sin embargo para su empleo se requiere de permisos ambientales y se incurre en un mayor costo en su implementación.

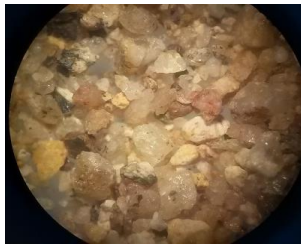
Muestra	Estero Marga Marga Interior		
Feldespato	●	47%	
Cuarzo	●	40%	
Mica	○	7%	
Magnetita	○	3%	
Pirita	○	3%	
Otros	○	0%	
Textura	Angular a Subredondeada		
Muestra	Estero Marga Marga Desembocadura		
Feldespato	◐	23%	
Cuarzo	●	47%	
Mica	◐	17%	
Magnetita	○	0%	
Pirita	○	0%	
Otros	◐	13%	
Textura	Subredondeado a Redondeado		
Muestra	Estero Las Palmas		
Feldespato	●	42%	
Cuarzo	◐	30%	
Mica	◐	25%	
Magnetita	○	0%	
Pirita	○	0%	
Otros	○	3%	
Textura	Subredondeado a Redondeado		
Muestra	Estero Reñaca		
Feldespato	◐	32%	
Cuarzo	●	45%	
Mica	◐	18%	
Magnetita	○	5%	
Pirita	○	0%	
Otros	○	0%	
Textura	Subredondeado y Redondeado		
Muestra	Playa El Encanto Perfil 3 Intermareal		
Feldespato	◐	23%	
Cuarzo	●	43%	
Mica	◐	18%	
Magnetita	○	5%	
Pirita	○	0%	
Otros	◐	11%	
Textura	Subredondeado y Redondeado		
Muestra	Playa El Encanto Perfil 3 Sumergido		
Feldespato	◐	25%	
Cuarzo	●	38%	
Mica	◐	15%	
Magnetita	○	5%	
Pirita	○	0%	
Otros	◐	17%	
Textura	Subredondeado y Redondeado		

Figura 53: Resultados del análisis mineralógico.

8.5 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS NOTABLES Y SU RELACIÓN CON LOS PERFILES DE PLAYA MEDIDOS

Con el objetivo de realizar una correcta caracterización de la playa, se seleccionan diversos puntos notables que se encuentren cercanos a los perfiles de playa medidos y que además sean identificables en todas las etapas de erosión y acreción que experimenta la playa en su transcurso anual. La Figura 54 ilustra la selección de los 14 puntos notables y su ubicación en planta.



Figura 54: Vista en planta de la ubicación de puntos notables.

Como se ilustra en la figura anterior, se pretende que cada perfil de playa posea al menos un punto notable representativo junto con la elevación de sus muros, para ello se ilustra en la Tabla 11 los elementos asociados a cada perfil. Es necesario mencionar que algunos puntos no están ubicados cercanos al trazado del perfil, pero sí en las proximidades, de manera que las fotografías ilustrativas a continuación sólo enseñan aquellos elementos aledaños al perfil.

Tabla 11: Ubicación de puntos notables representativos.

Perfil	Puntos Notables
	• Muro P1 • Roca P1 • Descanso E1 • Descanso E2 • Descanso E3

	• Muro P2 • Roca P2* • Roca P3 Sumergida
	• Muro P3 • Roca P3 Sumergida • Roca P3(2°)
	• Muro P4 • Roca P4
	• Muro P5 • Roca P5 Sur • Roca P5 Centro • Roca P5 Norte

Habiendo asignado a cada perfil sus elementos representativos, se requiere conocer la ubicación exacta de dichos puntos y su elevación, para ello se realiza un levantamiento topográfico cuyo objetivo es conocer las cotas de los puntos notables, es decir, determinar la elevación de los elementos respecto a un plano horizontal de referencia que en este caso corresponde al Nivel de Reducción de Sonda (NRS). La Figura 55 ilustra a modo de ejemplo cómo se estima la altitud de un punto respecto al plano de referencia.

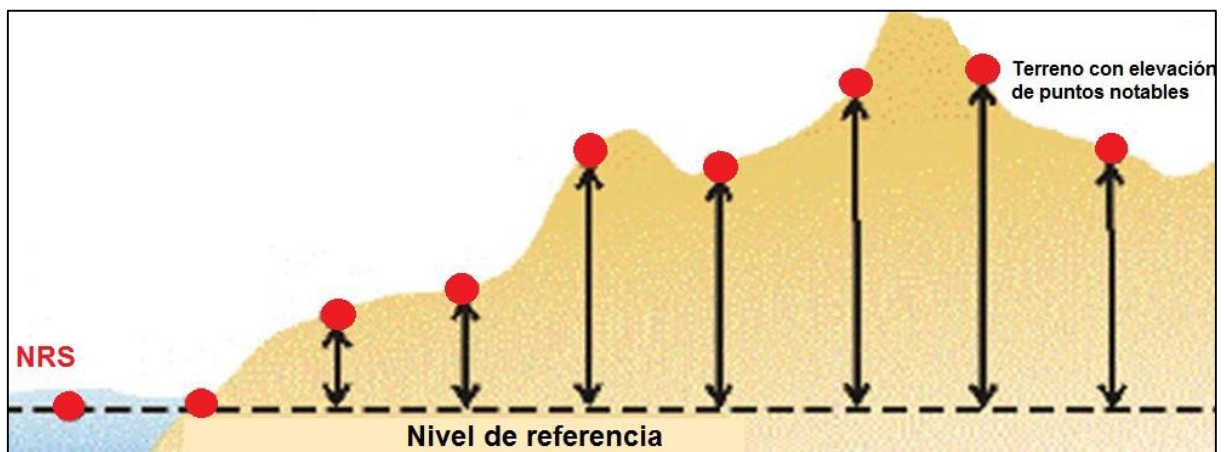


Figura 55: Esquema de estimación de cotas de puntos notables.

Del levantamiento topográfico se establecen las diversas elevaciones registradas para los 14 elementos representativos, y que se serán utilizados para la reconstrucción de los perfiles de playa (Gráfico 19).

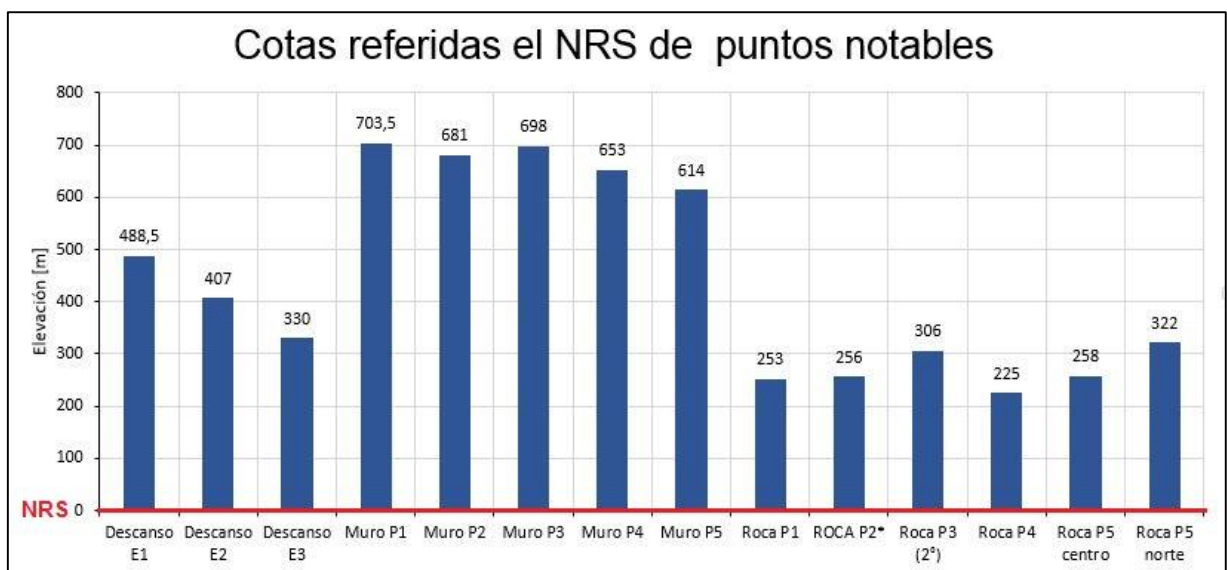


Gráfico 19: Cotas de elevación de puntos notables.

8.6 CORRELACIÓN DE MEDICIONES INDIRECTAS Y DIRECTAS

Una vez establecidos los puntos notables seleccionados en las fotografías y medidos in situ, es necesario establecer la asociación que existe entre ambas variables, es decir, si el cambio registrado a partir de las fotografías concuerda con la variación real medida. Para ello, sólo se consideraron las fechas en que simultáneamente existían mediciones en fotografías y en terreno, con el objetivo de establecer una correlación entre ambas variables, para posteriormente a través de la regresión lineal plantear un modelo que permita predecir el valor del nivel de arena de los puntos en años anteriores.

En la Tabla 12, se puede observar un extracto de lo que constituye la matriz con mediciones en [cm] tanto en fotografías como también in situ, para cada uno de los 14 puntos notables.

Tabla 12: Matriz de mediciones en foto e in-situ de puntos notables

Fecha	Muro P1 foto	Muro P1 in situ	Roca P1 foto	Roca P1 in situ	Descanso E1 foto	Descanso E1 in situ	Descanso E2 foto	Descanso E2 in situ	Descanso E3 foto	Descanso E3 in situ
11-07-2014	4,14	470	0,71		1,35		1,53		1,22	
11-08-2014	3,48		1		1,45		1,4		1,3	
20-08-2014	3,7		0,97		1,21		1,25		0,96	
08-09-2014	3,76		0,96		1,29		1,22		0,99	
01-10-2014	4,09	470	1		1,44		1,4		1,17	
16-10-2014	4,3	470	1,06	157	1,46	210	1,55	215	1,09	180
02-11-2014	3,28		0,9		1,32		1,3		0,95	
24-11-2014	4,08		0,9		1,26		1,27		1	
27-11-2014	4,26	470	0,98	142	1,36	210	1,46	223	1,1	176
27-12-2014	3,61	414	0,1	18	1,31	207	0,96	150	0,7	99
12-02-2015	3,26	394			1,29	195	0,86	131	0,23	40
28-03-2015	3,25	357			0,81	136	0,48	69		
01-04-2015	3,22	353			0,85		0,44			
28-04-2015	2,5	332			0,74	131	0,29	58		
05-05-2015	2,82	300			0,31	60	0,1	27		
15-05-2015	2,01				0,27		0,15			
19-06-2015	2,75	280			0,19	17	0	2		
01-08-2015	2,73	270			0,19	40	0,72	64	0,44	102
11-08-2015	3,39		1,01		1,42		1,11		0,86	
28-08-2015	3,97	440	0,7	91	1,29	196	1,32	203	0,98	162
24-09-2015	3,79	410	0,25		1,42	210	1,32	193	0,84	118
06-11-2015	3,89	410	0,13	32	1,3	201	1,19	175	0,74	113

Para establecer el grado de relación entre ambas variables, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson (Ecuación 5), que a través de un valor cuantitativo describe entre -1 y 1 la existencia de proporcionalidad y su dirección. Al mismo tiempo se aplica un modelo de regresión lineal (Ecuación 6) basado en el criterio de mínimos cuadrados para predecir el valor de una variable a partir del comportamiento de la otra.

Ecuación 5: Coeficiente de correlación de Pearson. $r = \frac{S_{xy}}{S_x \times S_y}$	Ecuación 6: Modelo de regresión lineal. $y = a + bx$
--	--

El Gráfico 20 ilustra a modo de ejemplo la correlación entre mediciones para los puntos notables ubicados en muro de contención del perfil 1 y perfil 4.

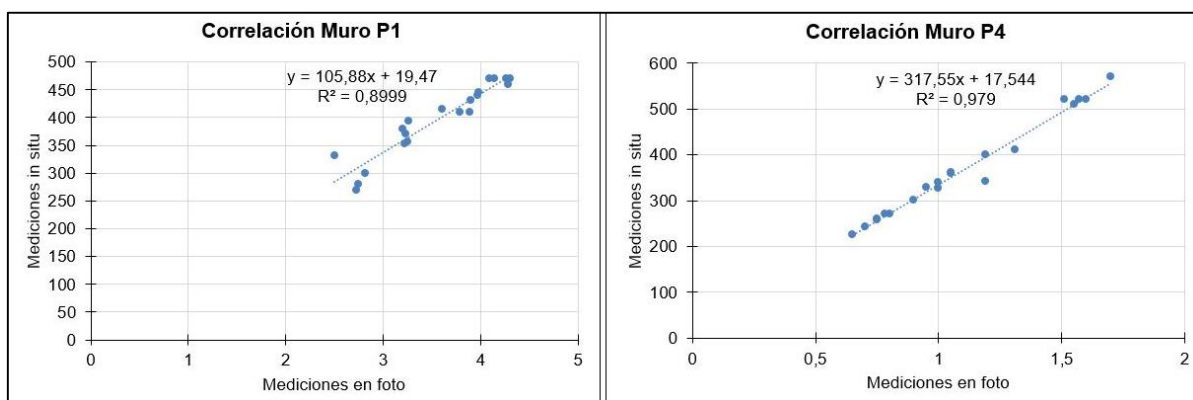


Gráfico 20: Correlación entre mediciones para puntos notables en muro P1 y P4.

Como puede observarse en los gráficos anteriores y debido al tipo de datos que se analiza, todos los gráficos de dispersión obtenidos muestran una dependencia estocástica de los valores, es decir, no se ajustan a la recta, sino que presentan una tendencia, que cabe destacar en todos los casos es positiva pero de diversas magnitud. Junto con conocer el comportamiento de los datos, también es posible conocer la ecuación de la recta, cuya información trascendental es conocer la pendiente que en definitiva es el coeficiente de la regresión lineal, y además el coeficiente de determinación R^2 , que informa acerca de la cantidad de puntos que son ajustados al modelo. Para el ejemplo anterior, el punto “Muro P1” un 89,99% de los datos fue ajustado al modelo, y en un porcentaje mayor (97,90%) el punto “Muro P4”. Este porcentaje de determinación también indica el grado en que la regresión lineal aplica o no al conjunto de datos para su predicción. En la Tabla 13 se ilustran los resultados de obtenidos para todos los puntos notables.

Tabla 13: Resultados de correlación y ajuste del modelo de regresión lineal.

Punto Notable	N° de datos	Pendiente	Constante	Coeficiente de Correlación	Tipo de correlación	Coeficiente de Determinación	Modelo regresión lineal
Muro P1	20	105,88	19,47	0,95	Fuerte Positiva	0,90	Aplica altamente
Roca P1	5	136,10	7,15	0,99	Perfecta Positiva	0,99	Aplica altamente
Desc E1	12	145,43	9,65	0,99	Perfecta Positiva	0,98	Aplica altamente
Desc E2	12	143,03	3,66	0,98	Fuerte Positiva	0,96	Aplica altamente
Desc E3	8	146,05	12,02	0,95	Fuerte Positiva	0,91	Aplica altamente
Roca P2*	1	-	-	Sin datos	No clasifica	-	No aplica
Muro P3	16	179,34	123,22	0,66	Media Positiva	0,43	Aplica débilmente
Roca P3 Sumergida	1	-	-	Sin datos	No clasifica	-	No aplica
Roca P3(2*)	5	181,45	42,64	0,94	Fuerte Positiva	0,87	Aplica altamente
Muro P4	20	317,55	17,54	0,99	Perfecta Positiva	0,98	Aplica altamente
Roca P4	1	-	-	Sin datos	No clasifica	-	No aplica
Muro P5	20	223,13	169,77	0,81	Fuerte Positiva	0,65	Aplica medianamente
Roca P5 Centro	4	47,50	201,17	0,09	Débil Positiva	0,01	No aplica
Roca P5 Norte	11	502,75	12,63	0,88	Fuerte Positiva	0,77	Aplica medianamente

Como se puede observar, tanto el coeficiente de correlación (r), como el de determinación (R^2) presentan buenos indicadores para 11 de los 14 puntos notables, una de las excepciones que se presentan, corresponden al punto “Roca P5 Centro”, donde se calcula una correlación débil positiva, y donde además el modelo de regresión lineal no es aplicable. Estos factores de medición se ven alterados debido a la poca cantidad de datos utilizados (4) y a la gran diferencia entre ellos, que puede explicarse por la lejanía del elemento al punto de captura fotográfica y a la dificultad en el acceso para mediciones in situ especialmente en período

invernal debido a las condiciones de mar y erosión de la playa. Además, los puntos “Roca P2*”, “Roca P3 Sumergida” y “Roca P4”, no son cuantificables mediante correlación, ya que presentan una sola medición.

Los gráficos de correlación para los catorce puntos notables seleccionados pueden encontrarse en el **Anexo 2** del presente documento. Cabe mencionar que sólo en los puntos notables “Descanso E2” y “Roca P5 Norte” es posible visualizar valores que escapan de la tendencia. Por regla general, estos datos discordantes suelen obviarse para el análisis, sin embargo, para este estudio tienen una gran importancia, ya que podrán evidenciar cambios bruscos y/o anormales en el nivel de arena que pueden ser provocados por diversos fenómenos como por ejemplo, marejadas, cambios bruscos del nivel del mar, etc.

8.6.1 ERRORES TÍPICOS DE LA SIMULACIÓN

Una vez obtenidos los coeficientes de correlación de todos los puntos, y posteriormente realizado un ajuste de modelo de regresión lineal, se obtienen los coeficientes a y b (Tabla 13) que permiten el cálculo del valor real de nivel de arena a partir de un valor x obtenido de fotografías anteriores al período de estudio de esta memoria.

Mediante el ajuste descrito es posible conocer la altura en terreno a partir de la distancia registrada en la fotografía y ajustado con la regresión lineal. Para validar el método descrito y poder calcular la precisión de la simulación realizada, se utiliza el cálculo de cuatro errores estadísticos (Tabla 14):

- Error Cuadrático Medio (RMSE): Mide las diferencias en promedio entre los valores simulados y observados.
- Error Absoluto Medio (MAE): Cuantifica con el mismo peso los errores negativos y positivos,
- Error Absoluto Medio Normalizado (NMAE): Se entiende como el peso del error respecto al valor de la variable media.
- Sesgo (BIAS): Permite conocer la tendencia a tener en cuenta o no de una variable cuantificando su error sistemático producido por el modelo de ajuste utilizado.

Tabla 14: Tipos de errores utilizados para validar precisión del modelo de ajuste.

$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\phi_i - \phi_{iobs})^2}{N}}$	$MAE = \sum_{i=1}^N \frac{ \phi_i - \phi_{iobs} }{N}$	$NMAE = \sum_{i=1}^N \frac{\frac{ \phi_i - \phi_{iobs} }{\phi_{iobs}}}{N}$	$BIAS = \sum_{i=1}^N \frac{(\phi_i - \phi_{iobs})}{N}$
---	---	--	--

Con:

ϕ_i = Valor simulado para la celda i .

ϕ_{iobs} = Valor observado para la celda i .

N = N° de valores analizados.

El cálculo de errores estadísticos para los 11 puntos notables simulados mediante la regresión lineal, entrega los siguientes resultados:

Tabla 15: Errores estadísticos de los puntos notables.

Punto Notable	RMSE	MAE	NMAE	BIAS
Muro P1	19,904	15,367	0,044	0,006
Roca P1	6,672	5,678	0,116	0,002
Descanso E1	8,920	6,991	0,088	0,005
Descanso E2	14,463	9,663	0,162	-0,001
Descanso E3	13,182	11,168	0,111	0,003
Muro P3	43,418	33,017	0,079	-0,006
Roca P3(2*)	15,988	14,422	0,064	-0,001
Muro P4	15,433	9,515	0,024	-2,480
Muro P5	23,286	13,805	0,062	2,770
Roca P5 Centro	22,763	19,700	0,090	0,005
Roca P5 Norte	16,689	12,793	0,250	0,000

La precisión se entiende como el promedio del grado de correspondencia entre los pares individuales de los valores simulados y los valores observados, es decir, los registrados en terreno.

De todos los indicadores estadísticos analizados, los que entregan mayor información corresponden a RMSE y BIAS. Como se observa, la mayor imprecisión que arroja la simulación ocurre en el punto “Muro P3”, sin embargo, el indicador RMSE tiene como desventaja que otorga más peso a los errores más grandes, es decir, termina enfatizando los datos atípicos de manera inconsistente al utilizar la mediana de los datos analizados. En cambio, el sesgo deducido por el indicador BIAS indica la tendencia del modelo a sobreestimar o subestimar la variable analizada, dicho esto, se puede observar que en los puntos “Descanso E2”, “Roca P3 (2*)” el modelo de regresión tienen a subestimar el valor estimado. Mientras que en los puntos restantes sobreestima levemente el registro.

8.6.2 SIMULACIÓN DE PUNTOS NOTABLES PARA FECHAS ANTERIORES

Finalmente, habiendo correlacionado las mediciones directas con las indirectas para fechas en que simultáneamente se tenían registro de distancias in situ como también distancia en la fotografía, es posible calcular (mediante la ecuación de la recta obtenida de la regresión lineal) el valor de cada punto notable seleccionado para aquellas fechas en que sólo se contaba con fotografías. De esta forma, se crea una nueva matriz con las distancias de los puntos notables en las fotografías, y consecutivamente su corrección mediante la regresión que estaría convirtiendo dichos centímetros medidos en la fotografía a centímetros in situ (Figura 56).

Fecha de captura	Muro P1	Corrección	Roca P1	Corrección	Desc E1	Corrección	Desc E2	Corrección	Desc E3	Corrección	Muro P3	Corrección	Roca P3(2°)	Corrección	Muro P4	Corrección	Muro P5	Corrección	Roca P5 Centro	Corrección	Roca P5 Norte	Corrección
27-04-2008	2,8	311,7	0,0	7,2	1,1	171,1	0,6	83,8	0,1	19,3	1,4	377,9	0,5	140,6	0,8	274,8	0,4	261,3	0,0	203,1	0,0	-12,6
08-05-2008	2,7	306,4	0,0	7,2	1,1	166,7	0,6	83,8	0,1	19,3	1,5	388,6	0,4	118,8	0,9	293,8	0,4	256,8	0,1	206,9	0,0	-12,6
15-05-2008	2,8	310,6	0,0	7,2	1,1	168,2	0,5	80,9	0,0	17,9	1,4	377,9	0,4	117,0	0,8	268,4	0,4	259,0	0,1	206,9	0,0	-12,6
19-05-2008	2,6	290,5	0,0	7,2	1,1	166,7	0,6	88,1	0,0	13,5	1,4	365,3	0,3	97,1	0,8	284,3	0,4	254,6	0,1	206,4	0,0	-12,6
23-05-2008	3,2	356,2	0,2	39,8	1,3	198,7	1,3	195,3	0,9	142,0	1,3	358,2	1,1	247,7	0,7	239,8	0,3	243,4	0,3	213,5	0,1	17,5
26-05-2008	2,8	311,7	0,1	26,2	1,3	203,1	1,0	145,3	0,6	102,6	1,1	313,3	1,2	253,1	0,8	255,7	0,4	247,9	0,3	214,5	0,1	17,5
02-06-2008	3,3	366,8	0,1	22,1	1,3	201,6	1,0	149,6	0,6	95,3	1,2	338,4	0,9	204,1	0,8	281,1	0,3	245,6	0,2	212,1	0,1	27,6
05-06-2008	2,4	270,4	0,0	7,2	0,7	104,2	0,7	103,8	0,4	76,3	1,0	299,0	1,1	244,0	0,7	252,5	0,4	267,9	0,4	221,1	0,2	67,8
12-06-2008	3,7	405,9	0,7	97,0	1,3	197,3	1,4	201,0	0,9	144,9	1,6	415,5	1,5	305,7	1,1	363,7	0,4	247,9	0,4	220,2	0,1	37,6
16-06-2008	3,5	384,8	0,7	102,4	1,4	211,8	1,4	201,0	0,9	149,3	1,7	431,7	1,4	303,9	1,0	325,6	0,4	250,1	0,4	219,2	0,1	52,7
20-06-2008	3,4	377,3	0,5	80,6	1,4	210,3	1,3	191,0	0,9	147,8	1,8	440,7	1,5	305,7	1,0	331,9	0,4	250,1	0,6	227,3	0,2	62,8
27-06-2008	-	-	0,4	54,8	1,5	227,8	1,4	199,6	0,9	142,0	1,8	440,7	1,3	274,9	1,0	344,6	0,4	254,6	0,5	224,9	0,2	72,8
30-06-2008	3,2	359,3	0,2	39,8	1,2	190,0	1,1	163,9	0,7	108,4	1,6	417,3	1,3	273,1	0,9	306,5	0,4	247,9	0,4	218,7	0,2	62,8
04-07-2008	3,4	382,6	0,3	42,5	1,4	211,8	1,2	169,6	0,8	123,0	1,8	447,8	1,3	269,4	1,0	325,6	0,4	252,3	0,4	221,6	0,1	57,8
07-07-2008	3,5	387,9	0,3	41,2	1,3	200,2	1,2	176,7	0,8	131,8	1,7	429,9	1,5	322,1	1,0	328,7	0,4	263,5	0,4	220,2	0,1	57,8
10-07-2008	3,5	384,8	0,2	31,7	1,3	204,5	1,2	169,6	0,7	115,7	1,7	422,7	1,4	291,2	1,0	341,4	0,4	256,8	0,3	216,8	0,1	57,8
21-07-2008	3,7	407,0	0,8	117,4	1,3	195,8	1,2	181,0	0,9	147,8	1,3	363,5	1,6	338,4	0,9	287,5	0,4	250,1	0,4	218,3	0,1	27,6
18-08-2008	3,2	354,1	0,6	91,5	1,4	206,0	1,4	201,0	0,9	144,9	1,7	419,1	1,4	289,4	1,1	366,8	0,5	281,3	0,4	220,2	0,1	22,6
04-09-2008	3,7	411,2	0,9	133,7	1,3	203,1	1,3	182,5	0,9	139,1	1,6	413,8	1,5	305,7	1,1	360,5	0,5	279,1	0,4	220,2	0,1	52,7
11-09-2008	4,1	453,6	0,7	107,9	1,4	207,4	1,4	196,8	1,0	159,5	1,5	395,8	1,5	322,1	1,1	379,6	0,6	294,7	0,3	216,8	0,2	67,8
25-09-2008	3,4	380,5	0,3	52,1	1,4	219,1	1,3	191,0	0,9	142,0	1,7	429,9	1,6	340,2	1,3	436,7	0,5	285,8	0,4	221,6	0,1	37,6
02-10-2008	3,4	378,4	0,3	46,6	1,4	214,7	1,3	191,0	0,9	136,2	1,7	428,1	1,6	323,9	1,3	420,8	0,5	285,8	0,4	220,2	0,2	67,8
23-10-2008	3,1	342,4	0,3	43,9	1,3	200,2	1,3	182,5	0,8	128,9	1,7	428,1	1,4	303,9	1,3	424,0	0,5	281,3	0,4	218,7	0,2	87,9
06-11-2008	3,4	379,5	0,4	63,0	1,3	203,1	1,3	191,0	0,9	140,5	1,7	426,3	1,5	313,0	1,3	427,2	0,6	301,4	0,4	220,2	0,2	72,8
27-11-2008	3,5	384,8	0,5	77,9	1,3	198,7	1,3	191,0	0,7	120,1	1,6	404,8	1,6	340,2	1,2	405,0	0,5	283,6	0,4	221,1	0,2	72,8
04-12-2008	3,6	400,6	0,4	65,7	1,3	200,2	1,4	199,6	0,9	146,4	1,8	446,0	1,5	309,4	1,3	433,5	0,6	292,5	0,4	218,7	0,2	87,9
07-05-2009	2,9	322,3	0,2	35,7	0,8	131,8	1,2	168,1	0,9	142,0	1,4	368,9	0,8	182,4	1,2	395,4	0,4	265,7	0,2	210,7	0,1	32,6
08-06-2009	2,7	308,5	0,2	30,3	0,9	137,6	1,0	143,8	0,6	98,2	1,3	356,4	1,1	236,8	1,0	338,3	0,5	283,6	0,3	214,5	0,2	82,9
26-06-2009	2,6	293,7	0,3	42,5	0,9	137,6	1,0	149,6	0,7	107,0	1,4	381,5	1,1	240,4	1,1	376,4	0,4	256,8	0,5	222,5	0,2	103,0
04-07-2011	1,4	170,9	0,0	7,2	0,2	40,2	0,2	33,7	0,0	12,0	1,4	372,5	0,9	198,7	0,9	300,2	0,3	227,8	0,3	214,0	0,1	32,6
05-08-2011	3,3	365,7	0,1	24,8	1,1	174,0	1,0	148,1	0,7	117,2	1,5	394,0	1,2	256,7	1,0	344,6	0,4	254,6	0,3	216,4	0,1	32,6
03-10-2011	3,4	375,2	0,6	87,5	1,3	197,3	1,2	169,6	0,9	149,3	1,4	379,7	1,3	282,1	1,1	366,8	0,4	263,5	0,5	225,9	0,1	57,8
23-12-2011	-	-	0,3	53,4	1,3	198,7	1,3	185,3	0,9	140,5	1,6	406,6	1,3	278,5	1,1	357,3	0,4	259,0	0,4	221,1	0,2	62,8
09-01-2012	3,1	348,8	0,2	37,1	1,1	171,1	0,9	129,5	0,5	88,0	1,5	397,6	1,1	236,8	1,0	347,8	0,4	263,5	0,4	221,1	0,1	32,6
08-07-2012	3,7	414,4	0,8	114,7	1,3	201,6	1,3	193,9	0,9	149,3	1,6	417,3	1,4	293,0	1,0	319,2	0,4	252,3	0,4	218,3	0,1	52,7
17-08-2012	3,5	394,3	0,9	125,6	1,3	200,2	1,3	192,5	1,0	156,6	1,7	419,1	0,9	202,3	1,3	427,2	0,3	232,2	0,3	214,0	0,2	92,9
12-09-2012	4,1	451,5	0,8	118,8	1,2	188,5	1,2	176,7	1,0	156,6	1,8	451,4	1,4	293,0	1,4	449,4	0,6	294,7	0,4	217,8	0,1	32,6
25-12-2012	3,4	380,5	0,7	107,9	1,4	206,0	1,3	188,2	0,8	134,7	1,8	449,6	1,2	260,4	1,3	439,9	0,4	259,0	0,3	214,9	0,2	87,9
18-01-2013	3,8	422,9	0,9	122,8	1,2	185,6	1,2	178,2	0,9	142,0	1,7	431,7	1,2	258,6	1,2	401,8	0,4	247,9	0,4	220,2	0,3	123,1
28-01-2013	3,8	420,8	0,3	45,3	1,3	204,5	1,2	178,2	0,8	127,4	1,7	429,9	1,3	278,5	1,2	405,0	0,4	247,9	0,2	212,6	0,1	47,7
22-03-2013	3,1	342,4	0,0	7,2	1,3	191,4	0,9	132,4	0,5	86,5	1,5	388,6	1,1	240,4	0,9	306,5	0,4	252,3	0,2	211,6	0,1	27,6
12-07-2013	3,3	367,8	0,8	110,6	1,7	249,6	1,6	229,7	1,0	161,0	1,6	413,8	1,2	254,9	1,2	392,3	0,5	270,2	0,4	219,2	0,1	37,6
06-09-2013	3,9	432,4	0,9	131,0	1,4	207,4	1,4	198,2	1,1	178,5	1,7	420,9	1,2	251,3	1,3	433,5	0,6	297,0	0,3	217,3	0,0	-12,6
03-12-2013	4,1	448,3	0,7	105,1	1,1	171,1	1,3	192,5	1,0	155,1	1,7	426,3	1,4	287,6	1,0	344,6	0,5	272,4	0,4	219,2	0,2	72,8
19-03-2014	2,6	289,5	0,0	7,2	0,9	136,2	0,4	65,2	0,1	22,2	1,2	336,6	0,6	155,1	0,8	258,9	0,4	267,9	0,0	201,2	0,1	32,6

Figura 56: Matriz con puntos notables transformados de fotografía a in-situ.

Mediante la regresión lineal, se transforman los centímetros medidos en las fotografías a centímetros reales, logrando de esta forma conocer los niveles de arena presentes en cada fecha de captura fotográfica. Estos indicadores obtenidos permitirán recrear los cinco perfiles de playa para cada fecha y poder distinguir las variaciones del área total de arena de la playa El Encanto.

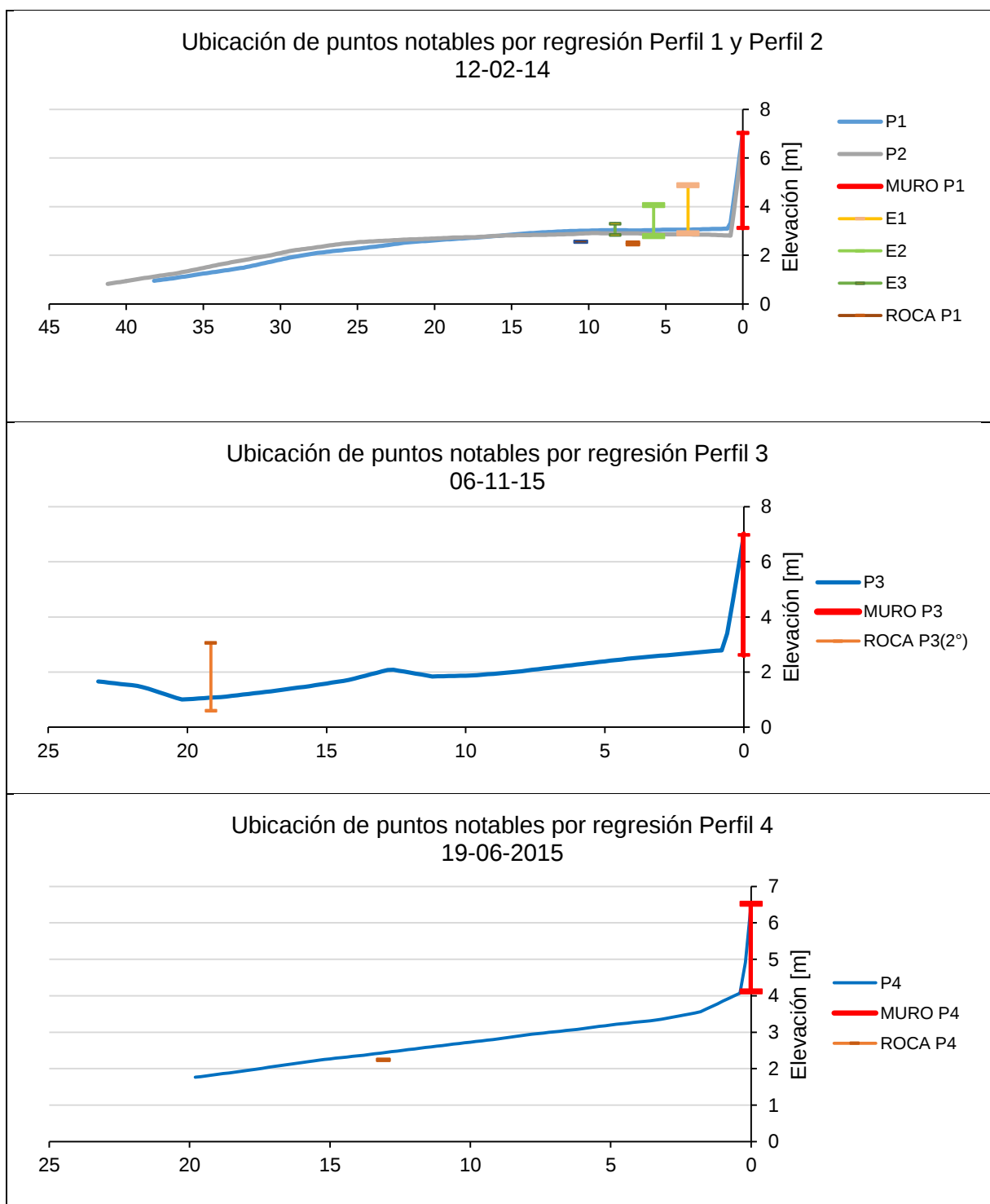
8.7 CÁLCULO DE NIVEL DE ARENA A PARTIR DE CORRELACIÓN DE MEDICIONES INDIRECTAS

Como se menciona en el punto 7.10 (página 49) donde se describe la metodología propuesta para la estimación de perfiles de playa a partir de mediciones indirectas, se considera como una primera etapa la *corroboración* del método a utilizar, cuyo objetivo es de asegurar una eficaz estimación de perfiles. Para asegurar el funcionamiento del método, se contrastan los perfiles de las 21 campañas de medición in situ, con la recreación de las mismas 21 campañas pero cuyos perfiles son generados a partir del nivel de arena registrado por los puntos notables obtenidos de la regresión lineal.

8.7.1 CORROBORACIÓN DEL MÉTODO

El objetivo de esta primera etapa es establecer la coincidencia o no de la ubicación de los puntos notables a lo largo del perfil respectivo, y el nivel de arena calculado mediante

regresión. La Figura 57 ilustra la superposición del perfil de playa medido in situ, con la ubicación y nivel de arena entregado por los puntos notables obtenidos de forma indirecta.



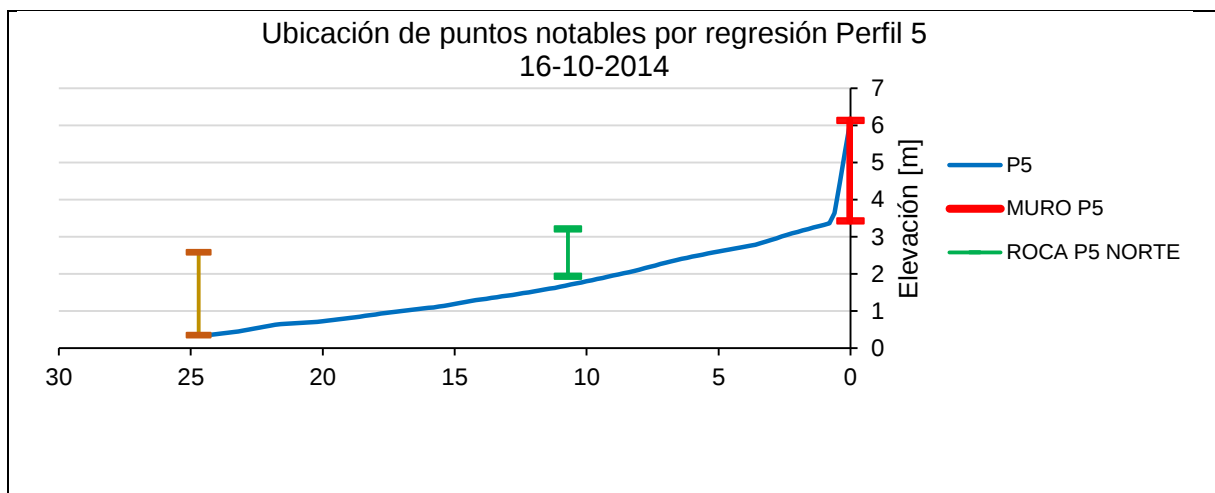


Figura 57: Superposición de perfiles de playa in situ con punto notables a partir de regresión.

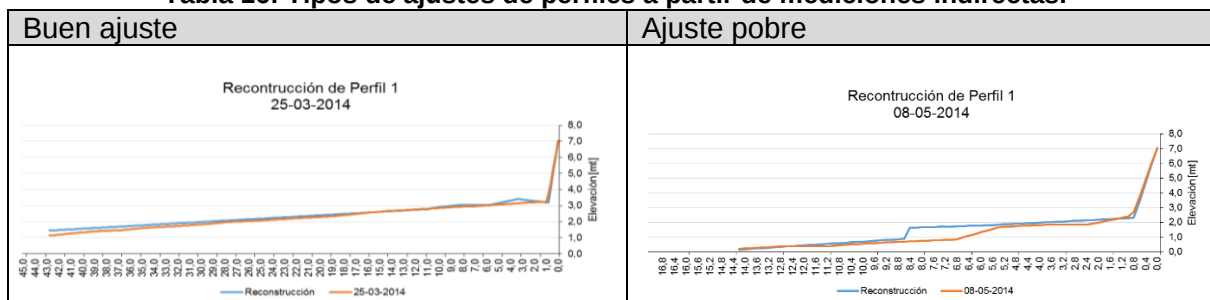
Como se observa de la figura anterior, los valores obtenidos a partir de la regresión lineal se ajustan de muy buena manera en los perfiles 1 y 2 en todas las campañas realizadas. A medida que el perfil de playa se aleja del punto de captura el nivel de arena indicado por los puntos notables comienza a registrar diferencias que se incrementan a medida que se aleja del punto de captura, lo que indica la necesidad de realizar correcciones a los puntos notables de modo que representen eficazmente el perfil de playa.

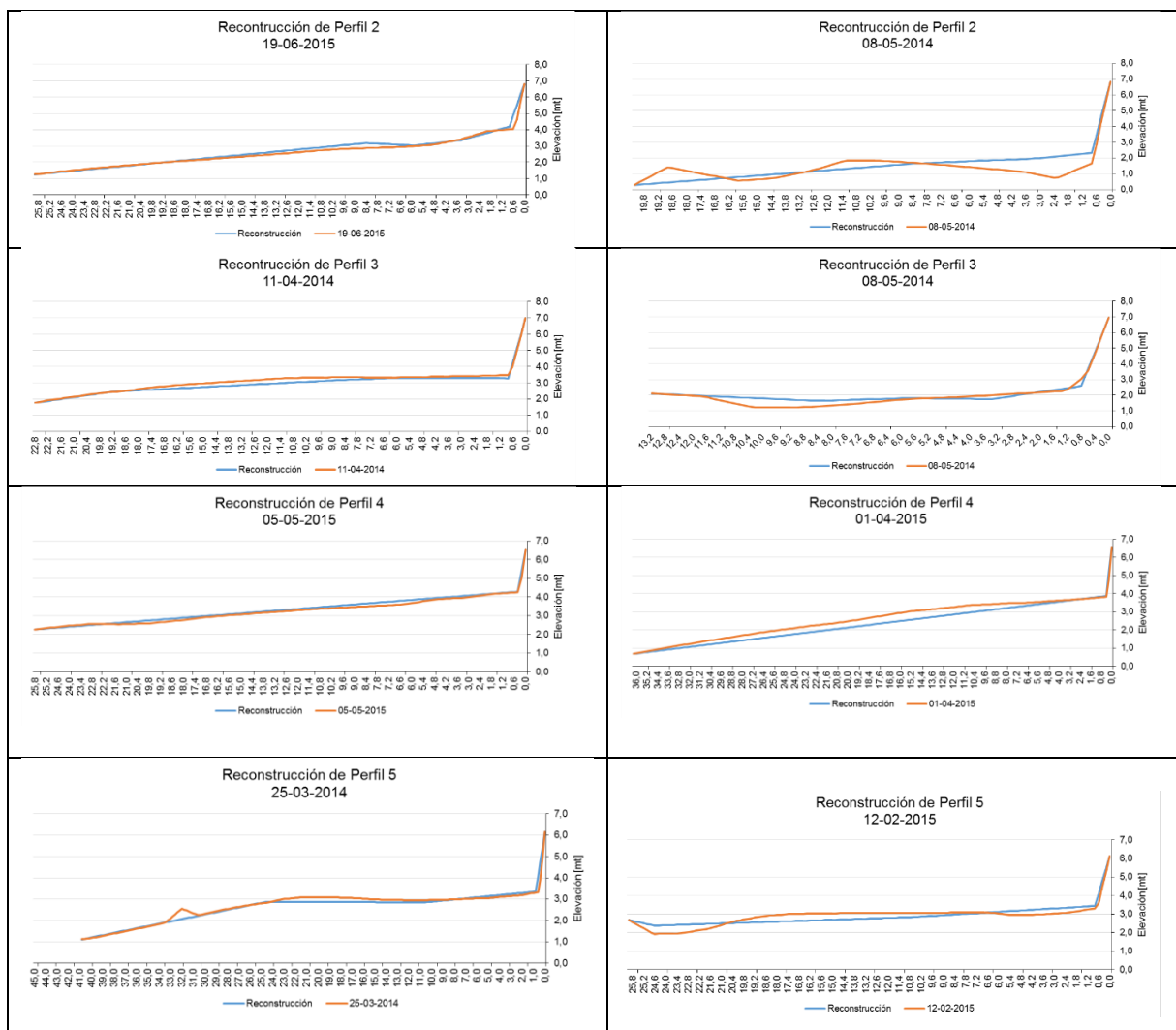
8.7.2 RECONSTRUCCIÓN DE PERFILES EN CAMPAÑAS REALIZADAS IN SITU

Esta segunda etapa consiste en reconstruir completamente los perfiles de playa anteriormente medidos in situ, teniendo solamente como información los niveles de arena obtenidos de forma indirecta (regresión lineal). La importancia de esta etapa, radica en que las modificaciones que se realizarán a los diversos puntos notables servirán para la posterior construcción de perfiles de playa de fechas anteriores en que sólo se poseen fotografías. En otras palabras, este procedimiento permite distinguir aquellos puntos notables que se ajustan al perfil de playa, y cuales requieren correcciones para un correcto ajuste.

A modo de ejemplo se ilustran a continuación los diversos casos obtenidos, en donde se observa los diversos ajustes obtenidos para los cinco perfiles de playa.

Tabla 16: Tipos de ajustes de perfiles a partir de mediciones indirectas.





El ejercicio anterior, permite establecer las correcciones que deben realizarse a aquellos puntos notables que no se ajustan debidamente a los perfiles de playas, ya sea sobredimensionando o subdimensionando el nivel de arena calculado.

A esta importante información adquirida, se suma un análisis cualitativo del comportamiento de los perfiles de playa registrados en las campañas de medición. Logrando establecer relaciones o similitudes en la evolución anual de los perfiles, ya sea presentando pendientes similares para una determinada época del año, ancho de la berma, altura de arranque de los perfiles, etc.

Este último análisis realizado al comportamiento de los perfiles corrobora la información obtenida del análisis de las pendientes de los perfiles de playa (Gráfico 1- página 56), en donde se establece una clara similitud de los perfiles según su etapa del ciclo anual. Para ello se clasifica la condición de la playa en tres etapas: *acreción*, *medio* y *erosión*; destacando las siguientes características para cada una de ellas:

- **Acreción:** etapa en la cual la playa presenta su máximo acumulación de sedimento. Los perfiles 1, 3 y 5 presentan similitudes en el nivel de arranque del perfil. En cuanto a la pendiente de la playa, los perfiles 1, 2 y 4 presentan semejanzas.
- **Medio:** etapa en la cual la playa aún no alcanza su máxima condición de erosión o acreción, es decir, son los estados intermedios de acumulación de sedimento. En esta condición nuevamente los perfiles 2 y 4 muestran el mismo nivel de arranque del perfil, mientras que los perfiles 1, 3 y 5 tienen un mismo arranque. En el análisis de la pendiente los perfiles 2 y 4 son similares.
- **Erosión:** etapa extrema de la playa, en que ha alcanzado su máxima pérdida de sedimento. Tras analizar el arranque de los perfiles de playa, se distingue el siguiente par de similitudes, perfiles 1-3 y 2-4. En relación a la pendiente del perfil, 1 y 4 son semejantes en su forma.

A partir de la reconstrucción de perfiles es posible observar el grado de ajuste entre el perfil medido y el perfil generado por mediciones indirectas. Tras la reconstrucción de las 21 campañas realizadas in situ y su comprobación con los perfiles simulados, es posible establecer aquellos puntos notables que requieren modificaciones para una correcta recreación de perfiles. En esta etapa se obtuvo que 6 de los 14 puntos notables seleccionados requirieron correcciones. Para estandarizar dichas modificaciones, se realiza una clasificación general de la fotografía etiquetándola como: Erosión, Medio, o Acreción. De esta manera, dependiendo de la foto que se desee reconstruir, se deberá aplicar la corrección dependiendo del tipo de condición de playa etiquetada. A continuación se explica en detalle los cambios que deben realizarse a los siguientes puntos notables:

- **Punto Descanso E1:** El punto notable que corresponde al primer descanso de la escala cercano al perfil 1 y 2, requiere dos tipos de correcciones: en condición de erosión al número entregado por la regresión se debe restar -0,3 [m]. Mientras que en condición de acreción se debe adicionar +0,6 [m]. Para las condiciones medias de playa, la correlación se ajusta adecuadamente sin precisar de modificaciones.
- **Punto Descanso E2 y Descanso E3:** En ambos puntos notables se debe corregir para la condición de erosión sumando +0,3 [m], mientras que para las condiciones medias y de acreción se debe adicionar +0,6 [m].
- **Punto Roca P3(2°):** El punto notable utilizado en la reconstrucción del perfil 3, es el que requiere de las mayores modificaciones, posiblemente debido a la dificultad de su medición en fotografías. Para ello, en la condición de erosión se debe adicionar +1 [m], en condición media +1,5 [m] y para acreción +1.8 [m]. De esta forma se logra un correcto ajuste para todas las fases evolutivas del perfil.
- **Punto Roca P5 Norte:** El punto central del perfil 5 requiere restar -0,5 [m] en condición de erosión y -0,3 [m] en condición media. Sin embargo para condición de acreción la regresión se ajusta correctamente.
- **Punto Roca P5 Centro:** Para el punto final del perfil 5, requiere adicionar +0,5 [m] en condición de erosión, +1 [m] en condiciones media, y +1.8 [m] en acreción.

Teniendo en cuenta dichas modificaciones, es posible la reconstrucción de perfiles antiguos a partir de fotografías.

8.7.3 RECREACIÓN DE PERFILES ANTIGUOS A PARTIR DE MEDICIONES INDIRECTAS

Con toda la información recopilada, y la posterior comprobación del método de reconstrucción de perfiles relacionando mediciones de perfiles directas con niveles de arena a partir de mediciones indirectas, se reúnen las condiciones para poder recrear perfiles de playa a partir de fotografías, solamente registrando los centímetros medibles en la foto de los elementos notables seleccionados y aplicando las correcciones a los 6 puntos notables descritos en la sección anterior.

Debido a a gran cantidad de fotografías recopiladas y reconstruidas, se ilustran a continuación a modo de ejemplo las principales condiciones de la playa y casos especiales.

- **Caso 1: Proceso erosivo**

En las fotografías recopiladas con fechas 15-05-2008 y 23-05-2008, se observa un marcado proceso erosivo de la playa. El primer registro corresponde a la condición de acreción, mientras que el segundo registro retrata una condición media. Para corroborar dicho fenómeno de erosión, se reconstruyen los perfiles a partir de las mediciones indirectas obteniendo los siguientes resultados (Figura 58)

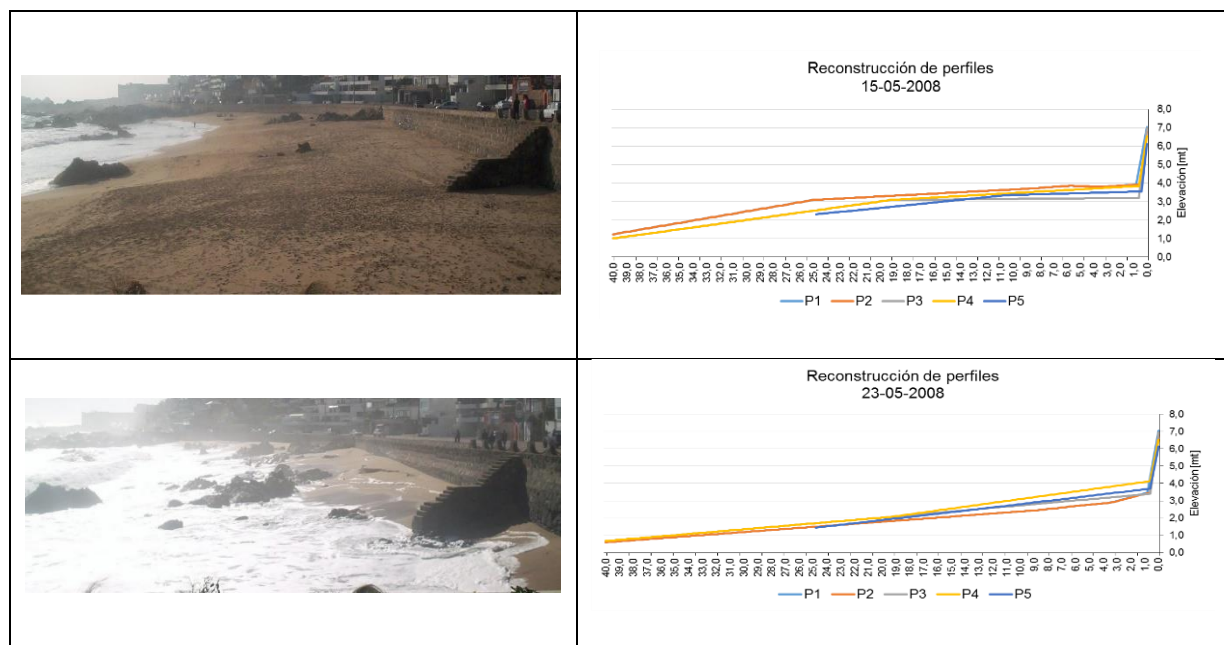


Figura 58: Reconstrucción de proceso erosivo.

- **Caso 2: Perfiles de playa asimétricos**

Del registro fotográfico analizado, destacan dos capturas con fechas 07-05-2009 y 04-07-2011 que presentan marcadas diferencias entre los perfiles de playa, pudiendo deberse a la ocurrencia de oleaje energético en un corto período de tiempo. Con el fin de corroborar que el método de reconstrucción de perfiles se ajusta a todos los cambios experimentados por los perfiles, se ilustran en la Figura 59 los resultados de la recreación para ambas fechas.

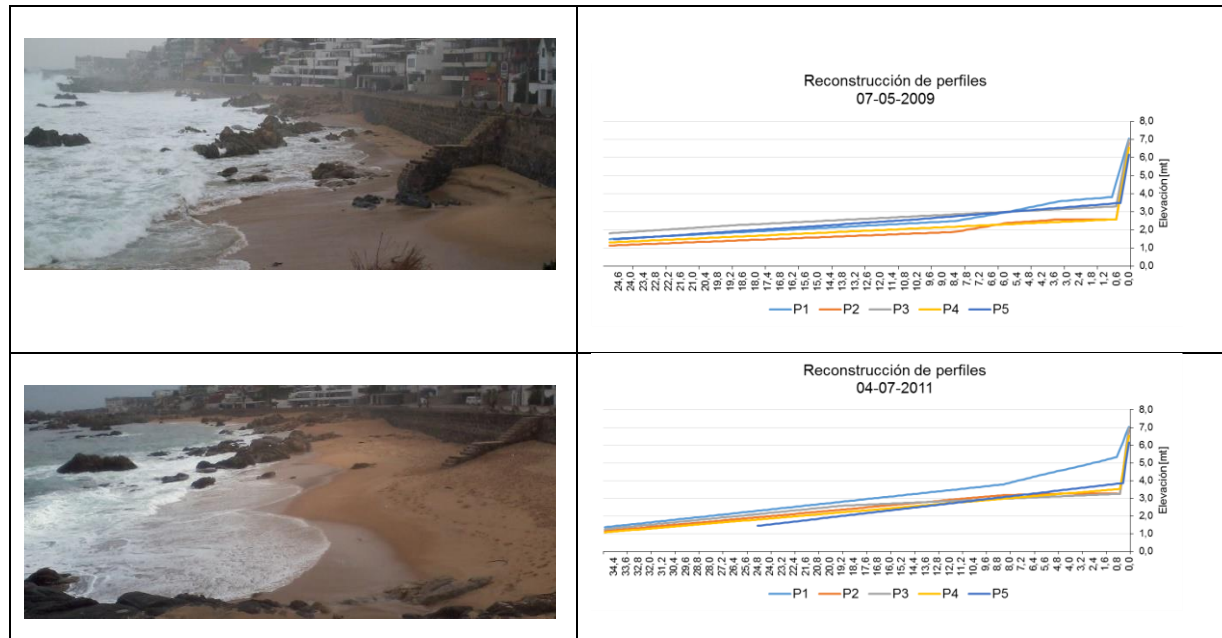
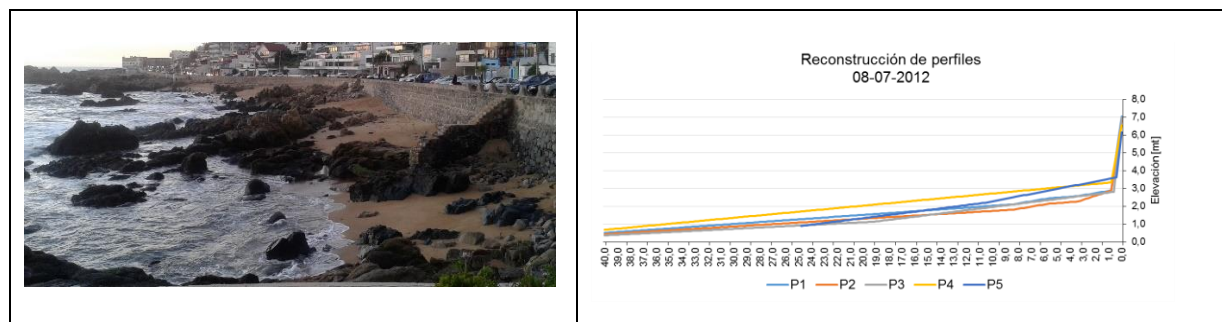


Figura 59: Reconstrucción de perfiles asimétricos.

- **Caso 3: Condición de máxima erosión**

Una de las mayores dificultades que se presentan en la reconstrucción de perfiles de playa, es recrear la condición de erosión de la playa, debido que ésta posee un fondo rocoso cuya morfología es difícil de representar. Es por ello que se ilustra en la Figura 60 la recreación de perfiles para las fechas 08-07-2012 y 06-09-2013.



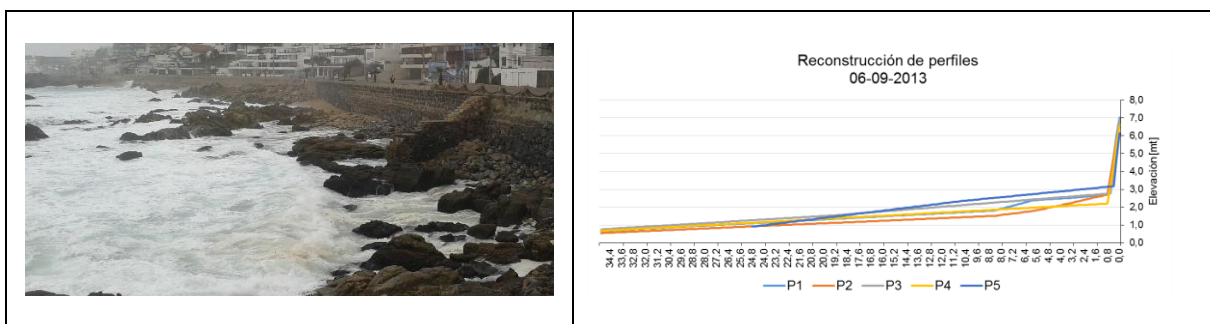


Figura 60: Reconstrucción de máxima erosión.

Con la aplicación del método de reconstrucción de perfiles a las diversas secciones de la playa, es posible comprobar que mientras más cercano al punto de captura se encuentre el punto notable, representa de mejor manera la elevación del perfil, y por consiguiente, a medida que los elementos representativos se ubican más lejanos al punto de captura mayores correcciones deben realizarse, ya que un incremento o disminución de la distancia en la fotografía no representa la verdadera variación in situ. Dicha complejidad se presentó en los puntos “Roca P5 Centro” y “Roca P5 Norte” correspondientes al perfil 5, en donde las grandes variaciones en el nivel de arena de la playa no se veían registradas en la fotografía debido a la lejanía del los puntos.

Otras de los puntos que requiere modificaciones en su reconstrucción es “Roca P3(2°)” perteneciente al perfil 3, debido a que el nivel de arena medible en las fotografías se ve distorsionado por la perspectiva de la foto, ya que es posible medir un costado de la roca que siempre se encuentra más erosionado a diferencia de su parte frontal que se encuentra protegida del oleaje. Adicionando además la dificultad que se presenta en distinguir la base de la roca en fotografías con etapas erosivas de la playa.

Tras la reconstrucción de perfiles de playas a partir de mediciones indirectas es posible establecer con cierta certeza como hubiera sido la geomorfología de la playa para fechas pasadas, y al mismo tiempo establecer la evolución anual de la playa sólo a partir de fotografías. A pesar de contar con un registro de 79 capturas fotográficas desde el año 2008, el seguimiento no fue constante, de manera que no se posee una observación mensual de todos los años. Sin embargo el año 2008 es el que cuenta con mayor cantidad de capturas fotográficas, pudiendo reconstruir los perfiles de playa con una variación mensual, lo que permite realizar un mismo cálculo y análisis del área total de arena movilizada en la playa, de la misma forma que se realizó en el punto 8.3 (página 63), los resultados asociados a cada perfil se ilustran en los Gráficos 21-22-23-24-25.

Nuevamente, con el registro de oleaje obtenido del proyecto “Un Atlas de Oleaje para Chile”, se pueden establecer los eventos de oleaje energético ocurridos el año 2008 y mediante la reconstrucción de perfiles a partir de mediciones indirectas es posible establecer la variación de la morfología de la playa.

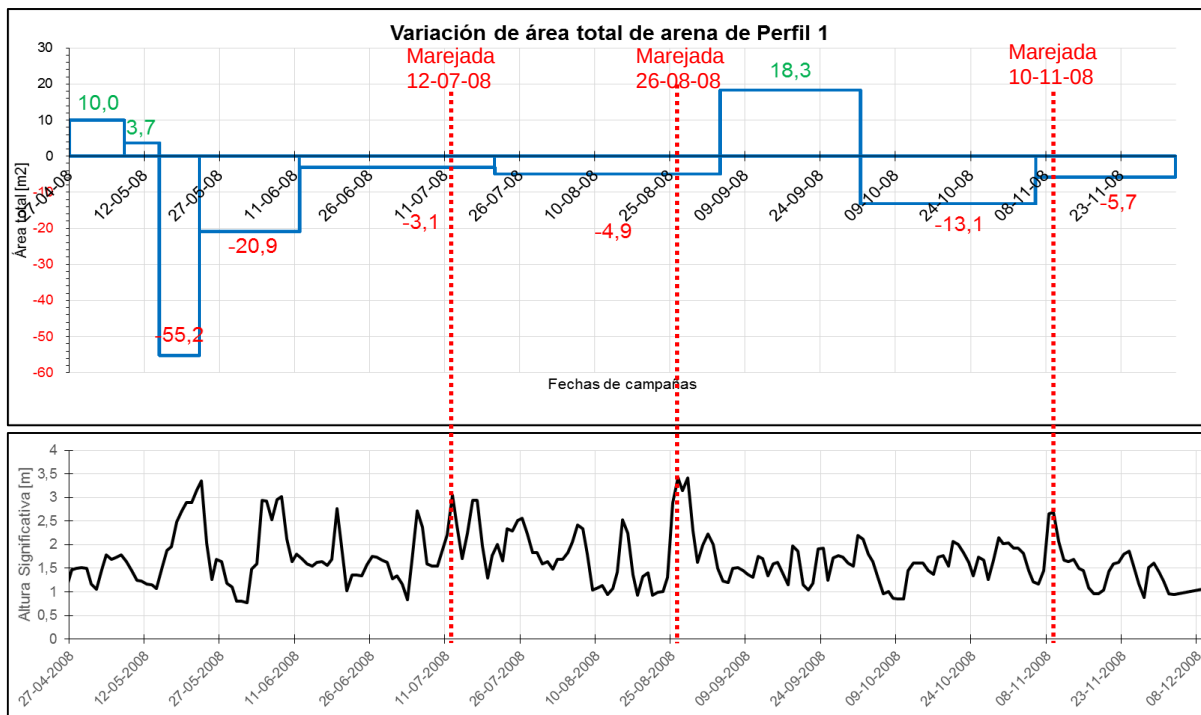


Gráfico 21: Variación de arena total año 2008 - Perfil 1.

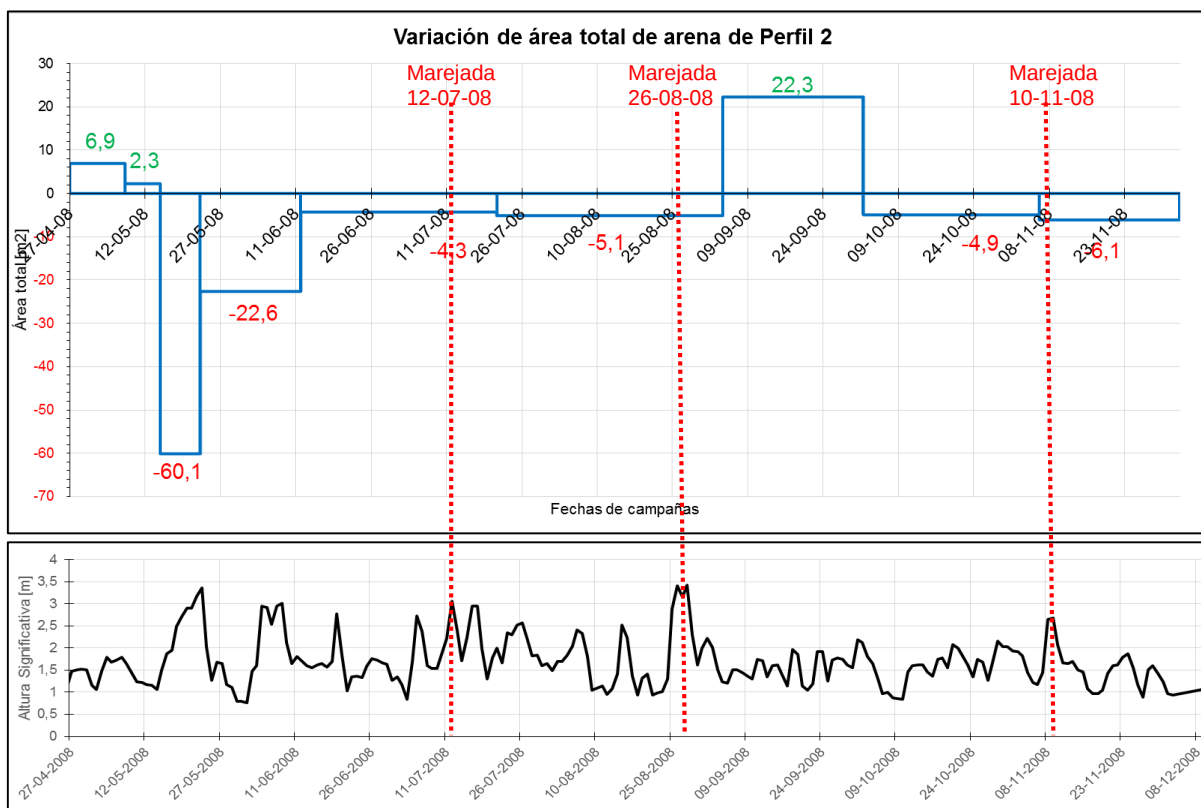


Gráfico 22: Variación de arena total año 2008 - Perfil 2.

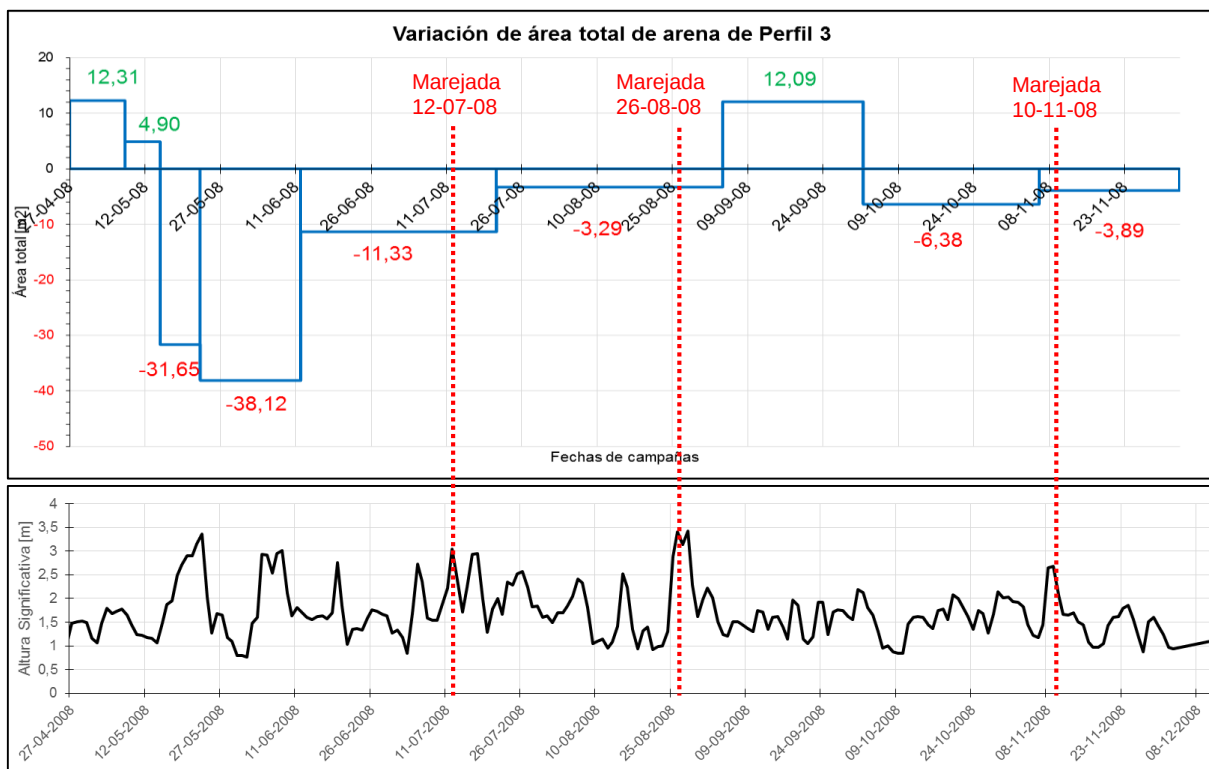


Gráfico 23: Variación de arena total año 2008 - Perfil 3.

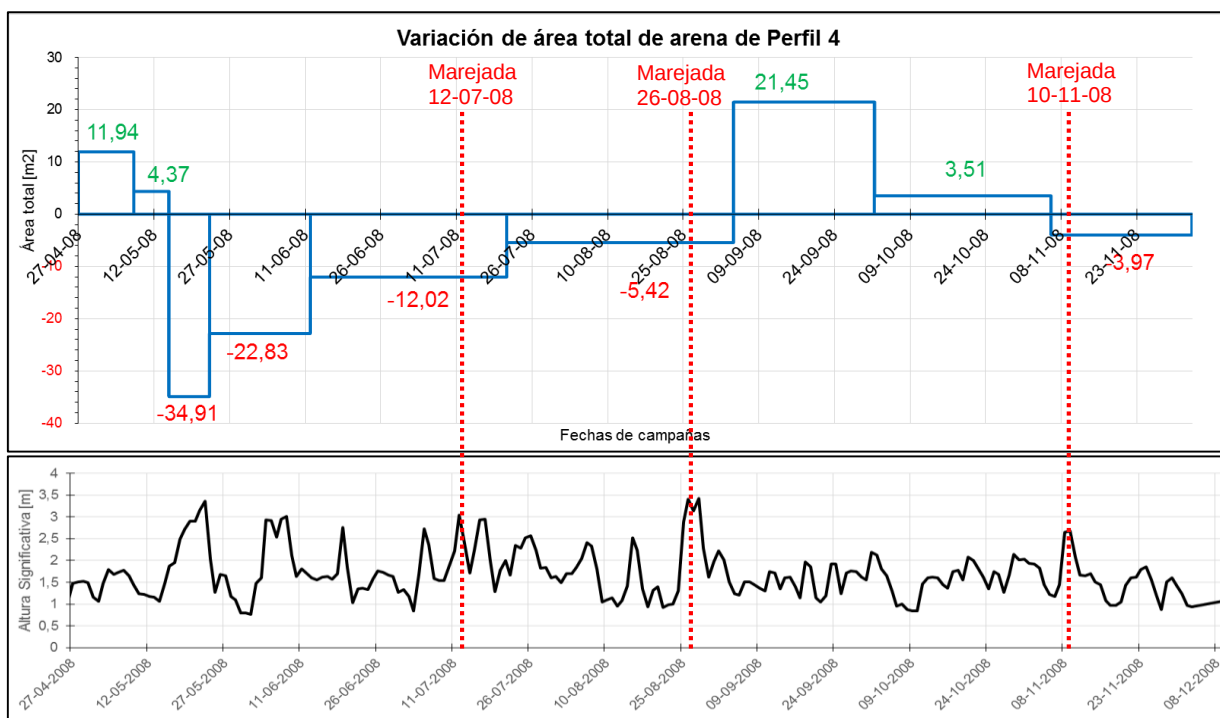


Gráfico 24: Variación de arena total año 2008 - Perfil 4.

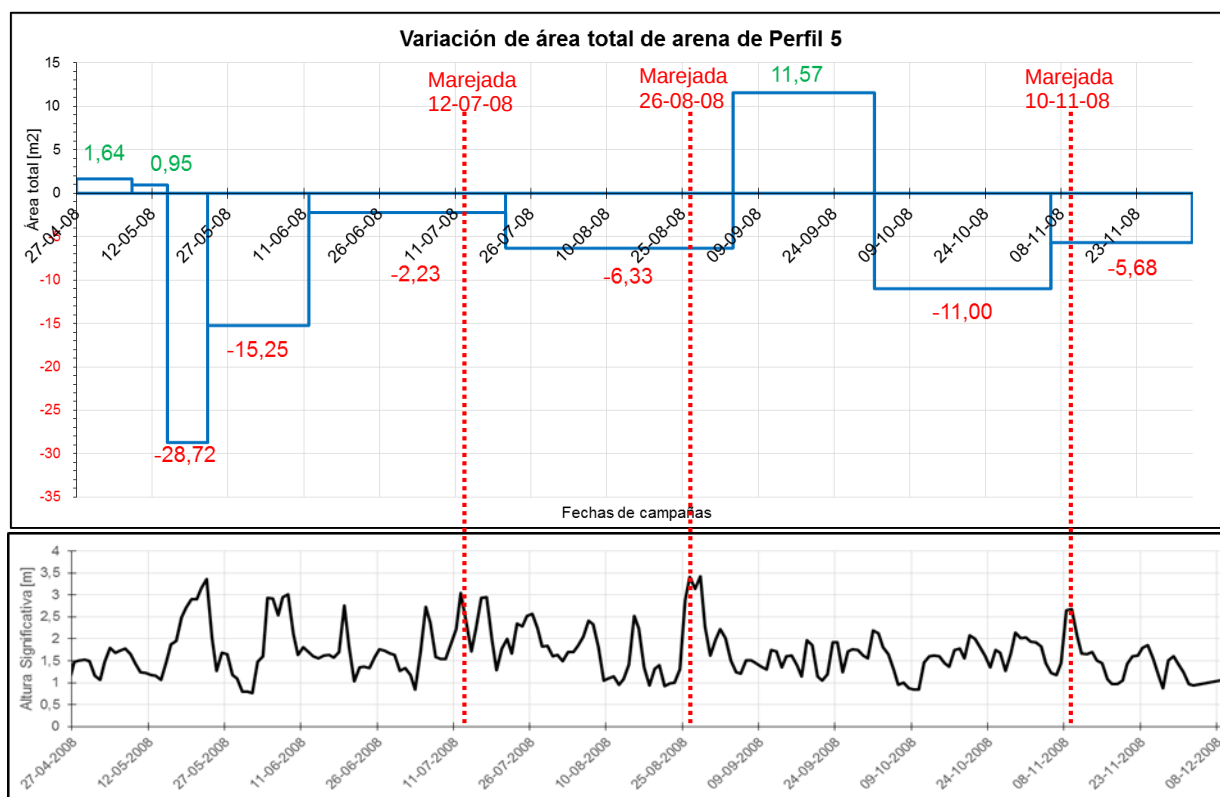


Gráfico 25: Variación de arena total año 2008 - Perfil 5.

Del cálculo anterior es posible conocer la variación mensual de arena por metro lineal de playa, donde se destaca que los perfiles con mayor ganancia y pérdida de arena total corresponden a los perfiles 1 y 2, y en el caso contrario el perfil 5 registra las menores variaciones en su superficie.

Mediante la realización del análisis de condiciones de playa para años anteriores es posible aseverar que no se puede establecer con exactitud los meses en donde la playa alcanza su máxima condición de erosión o de acreción, ya que para mismos períodos del año se registraron diversos escenarios que se ilustra en la Figura 61. Sin embargo se puede estimar un rango de meses en que la playa se encuentra expuesta a oleaje energético de modo que comienza a experimentar pérdida de su arena total, siendo el período comprendido entre de Mayo y Septiembre donde la playa alcanza su máxima erosión. Para el mes de Octubre y Noviembre comienza el período de recuperación de la playa, alcanzando su máxima condición de acreción entre los meses de Enero a Abril. Sin embargo, cabe mencionar la ocurrencia de fenómenos atípicos de tormenta que modifican el perfil de playa alterando su evolución anual.

19-06-2014 	19-06-2015 
27-04-2008 	26-04-2014 
07-05-2009 	05-05-2015 
10-07-2008 	12-07-2013 

Figura 61: Diferencias en condiciones de playa.

8.8 INSTRUCCIONES DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Posteriormente a la aplicación de la metodología propuesta, es posible distinguir las diversas etapas para asegurar un correcto funcionamiento del método propuesto para la estimación de perfiles de playa a través de la correlación de mediciones directas e indirectas:

- **Paso 1:** Identificación del punto de captura fotográfica para el seguimiento sistemático de la evolución de la playa en estudio. Éste debe procurar sea lo más nítido posible en función de los elementos representativos a utilizar, que a mayor distorsión en la perspectiva del punto de captura, mayores serán las correcciones que deban realizar en los valores pronosticados de los puntos notables.
- **Paso 2:** Selección de la ubicación del trazado de perfiles de playa para su estudio mediante campañas de medición. Se debe procurar que cada sector de la playa que presente variabilidad en su morfología anual, sea representado mediante el trazado de un perfil. Es decir, si existe alguna porción de la playa que evoluciona de manera diferente al resto del área, se debe obligatoriamente trazar un perfil de medición. En otras palabras cada perfil trazado debe representar las unidades morfológicas de la playa que posean características similares.
- **Paso 3:** Desde el punto de captura, identificar los elementos representativos de la playa que serán utilizados como puntos de control para la variación del nivel de arena. Es necesario asegurar que dichos elementos sean identificables y medibles en todas las fases evolutivas de la playa (condiciones de acreción y erosión). Posteriormente, para la etapa de reconstrucción de perfiles, es necesario que cada perfil contenga más de un elemento representativo y su ubicación se encuentre en el mismo perfil o en sus proximidades.
- **Paso 4:** Para cada campaña de medición de perfiles se debe procurar que cumplan las siguientes condiciones:
 1. Registrar la captura fotográfica de la playa desde el punto seleccionado en el Paso 1.
 2. Medición en terreno de cada elemento representativo seleccionado en el Paso 3.
- **Paso 5:** Para asegurar una correcta correlación de mediciones directas e indirectas, se recomienda asegurar al menos un año de medición en terreno y captura fotográfica. De esta forma se asegura un buen ajuste de los datos para todas las condiciones morfológicas de la playa.
- **Paso 6:** Se debe realizar un levantamiento topográfico para conocer la elevación de los puntos notables referidos a un plano horizontal conocido. Al tratarse de un estudio de playa, dicho plano de referencia puede ser el Nivel de Reducción de Sonda, pudiéndose aplicar la metodología de cálculo propuesta en la memoria. Este procedimiento permite posicionar los elementos representativos en el perfil de playa al que está asociado.
- **Paso 7:** Para realizar la correlación de mediciones, se debe obtener de las fotografías el nivel de arena en centímetros de los puntos notables. Sin embargo primero se debe

verificar que el encuadre fotográfico sea el mismo y para lograr esto, basta con hacer coincidir puntos de referencias en la fotografía seleccionados arbitrariamente.

Una vez obtenidas las distancias medidas en la foto, se correlacionan mediante una regresión lineal con las mediciones obtenidas en terreno para la misma fecha de captura. De esta modelación matemática se obtiene entre otras cosas el coeficiente de correlación que indicará el grado de ajuste de los datos y además la ecuación de la recta que permitirá pronosticar valores a partir de una variable. El número de correlaciones debe ser igual al número de puntos notables seleccionados. Este ajuste matemático permitirá transformar los centímetros medidos en la fotografía, en centímetros reales del nivel de arena.

Paso 8: Para comprobar el funcionamiento de la regresión lineal y el valor de los datos obtenidos se deben corroborar las mediciones. Para ello se grafican los perfiles de playa medido en terreno simultáneamente con los valores de los puntos notables obtenidos de la regresión. Este proceso es fundamental ya que permitirá comprobar el buen o mal funcionamiento de las correlaciones, ya que en el mejor de los casos el perfil de playa medido in situ se ajustará perfectamente a los niveles de arena obtenidos de la regresión de las mediciones indirectas. En caso contrario, las diferencias que se puedan producir entre ambas mediciones, permitirán identificar las correcciones que deben realizarse a los puntos notables para una correcta recreación de los perfiles.

Paso 9: Una vez establecida la funcionalidad de las correlaciones, y las posibles correcciones que deban realizarse a los puntos, es posible recrear perfiles de playa sólo a partir de una fotografía realizada desde el punto de captura, ya que la ecuación de la recta obtenida de la regresión transformará la distancia del nivel de arena registrada en la foto a la distancia real del perfil de playa.

Paso 10: Con la reconstrucción de perfiles es posible estudiar la evolución de perfiles de playa, distinguir las condiciones máximas alcanzadas tanto de erosión y de acreción y calcular el área de arena perdida o ganada en su transcurso anual.

9 CONCLUSIÓN

Las playas son superficies costeras en constante evolución, por lo que constituyen un ambiente dinámico en donde las características físicas varían en tiempo y en espacio, siendo afectados por las condiciones climáticas del lugar, el oleaje y las corrientes litorales presentes en la zona, que provocan en ella procesos erosivos o de acreción en la zona litoral.

Como se menciona en el estudio de Vergara (1981), las playas del litoral se encuentran en un estado de equilibrio inestable, con fases depositacionales y erosivas estacionales controladas por los períodos de tormenta y calma que caracterizan la región, donde el transporte de sedimentos es uno de los procesos más importantes en el control de la morfología de las playas y determina para el caso particular de la playa El Encanto si la playa posee la superficie suficiente para recreación (Condición de acreción) o si se encuentra erosionada.

El ciclo estacional de la variación de volumen de arena de la playa El Encanto, está controlado por la estacionalidad de las características del oleaje incidente, debido a que en el transcurso anual, varía tanto la morfología de la playa (cambiando su pendiente), el tamaño de arena presente (intercambio barra sumergida-explanada), y el ángulo de oleaje rompiente.

De los procesos de acreción y erosión de la playa, se puede inferir a partir de los resultados, que el inicio de la etapa erosiva de la playa es entre los meses de Abril y Mayo, alcanzando su punto máximo entre los meses de Agosto y Noviembre. Para la etapa de acreción se establece su inicio en los meses de Octubre y Noviembre, alcanzando su máxima intensidad entre los meses de Marzo y Abril, donde nuevamente comienza el ciclo erosivo de la playa. El comportamiento de la variación anual en el volumen de sedimento de la playa indica que está controlada por el transporte perpendicular de arena, de modo que varía según el arribo de oleaje más energético en invierno y menos en verano, es decir, oleaje estacional.

Respecto a los cambios morfológicos de la playa, se observa que en período de verano, la berma posee una pendiente mayor que en invierno, referente a la forma de la playa, los perfiles 1 y 5 presentan pendientes de perfil similares, lo mismo ocurre con los perfiles 2 y 4. En cuanto al tamaño del grano de sedimento que conforma la explanada de la playa, se clasifica como arena mediana, mientras que en su tramo intermareal y sumergido se clasifica como arena gruesa en todos sus perfiles. En relación al tipo de sedimento predominante de la playa, imperan arenas de grano mediano del tipo cuarzo-feldespática, bien clasificada. La composición mineralógica de los granos indica que la fuente generadora de los sedimentos es el basamento metamórfico (Vergara & Valenzuela, 1981). Sin embargo no es posible precisar cuál estero es el que aporta el sedimento presente en la playa, ya que tanto el estero Marga Marga como el de Reñaca se originan en el mismo batolito costero provocando que las características de sus granos sean similares.

En la etapa de referenciación de los puntos notables seleccionados en la playa es necesario mencionar que el cálculo de su elevación respecto del NRS es una estimación aproximada, ya que la principal fuente que puede inducir error en su cálculo es la ubicación del nivel de pelo de agua, debido a las diversas posiciones que presenta a lo largo de la playa hace necesario que se seleccione un punto medio representativo para estimar su ubicación.

Los resultados del método de correlación de mediciones directas e indirectas para la reconstrucción de perfiles indican que los valores obtenidos a partir de la regresión lineal se ajustan de muy buena manera en los perfiles 1 y 2. A medida que el perfil de playa se aleja del punto de captura, el nivel de arena indicado por los puntos notables comienza a registrar diferencias que se incrementan a medida que se aleja del punto de captura, lo que indica la necesidad de realizar correcciones a los puntos notables a modo de representar eficazmente el perfil de playa. Dichas modificaciones son obtenidas con el proceso de “Corroboración del método”, en el que se identifican las diferencias existentes entre el perfil de playa medido in situ y el perfil de playa generado a partir de los puntos notables obtenidos de la regresión lineal. En este proceso sólo 6 de los 14 puntos seleccionados, requieren de modificaciones para representar correctamente el perfil de playa deseado.

Con la comprobación y aplicación de la metodología propuesta a las 79 fotografías recolectadas, incluyendo las 21 campañas de medición de perfiles, es posible aseverar que el método propuesto funciona correctamente y se ajusta de manera muy aproximada a la realidad, teniendo siempre presente las consideraciones y correcciones mencionadas. No obstante, se debe mencionar que no todos los perfiles fueron fácilmente representados, ya que a medida que el perfil se aleja del punto de captura mayores correcciones requieren los elementos representativos. Otra de las conclusiones que se obtienen de la implementación del método propuesto es la necesidad de contar con una cantidad mayor de puntos notables, y asegurar que cada perfil que se desee reconstruir contenga al menos dos puntos de control. Al mismo tiempo se pudo comprobar que el período de tiempo en que se registraron las “mediciones directas” es suficiente para representar correctamente todas las fases evolutivas de la playa.

Como se menciona al principio de esta memoria, la mayor complejidad que se presenta al intentar aplicar un modelo empírico a la morfología de la playa, es la presencia de formaciones rocosas, ya que alteran el transporte normal de sedimento a lo largo de la playa, ya sea generando sombras que protegen de la pérdida de sedimento, o amplificando el fenómeno erosivo.

El asociar de forma simultánea un registro de oleaje a las variaciones del área total de arena es posible visualizar claramente la vulnerabilidad de los perfiles ante la acción de las olas. Es decir, un evento de marejadas puede fácilmente erosionar un volumen de sedimento que demoró meses en acumularse. Si bien, este fenómeno ocurre en todas las playas, en el caso particular de El Encanto sus efectos son notorios y bruscos debido a la composición y morfología de sus perfiles.

Finalmente, en respuesta a la pregunta inicial de esta memoria: ¿Qué sucede con la arena de esta playa?, sólo basta repasar el ciclo anual recreado en esta memoria y conocer la respuesta de sus perfiles ante la acción de las olas, para poder distinguir en qué fase evolutiva se encuentra (acreción o erosión) y poder asegurar que dicho volumen de arena erosionado se encuentra momentáneamente transportado, esperando que las condiciones de oleaje decaigan en energía para prontamente volver a rellenar este particular y sin duda llamativo sector costero del litoral central, como lo es la playa El Encanto.

10 RECOMENDACIONES

Tras el desarrollo de la memoria descrita se pueden generar recomendaciones para un mejor ajuste del método propuesto, tendiendo consideraciones en las diversas etapas del proceso.

Para una adecuada selección del trazado de perfiles, se recomienda identificar diversos tramos en la playa que posean características geomorfológicas similares, con el objetivo de no repetir perfiles que presenten comportamientos semejantes. De esta forma el proceso sistemático de mediciones se torna más ágil y eficiente para el monitoreo de la playa.

Con respecto a la selección de los puntos notables de la playa, se propone contar con una fotografía a partir del punto de captura con las condiciones de máxima acreción y erosión de la playa. De esta manera se asegura que el elemento seleccionado esté presente para ambos estados. Para la selección de estos puntos a partir de ambas fotografías es imperativo que sea tabulado y cotejado en terreno (desde el punto de captura). Ya que en base a este estudio, se comprobó que la selección de los puntos notables realizado sobre las fotografías con ambas condiciones extremas en gabinete, difirieron a la hora de cotejarlos en terreno y fue el motivo por el cual existieron diversos niveles de calidad y cantidad de puntos notables representativos de cada perfil de playa.

Teniendo presente estas consideraciones a la hora de la selección de los puntos, se asegura una recolección de datos de buena calidad y cantidad suficiente para una correcta representación del volumen de sedimento en cada perfil de playa trazado.

11 REFERENCIAS

11.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Campos-Caba, R. (2016). *Análisis de marejadas históricas y recientes en las costas de Chile*. Memoria de título, Universidad de Valparaíso, Valparaíso.
- CNR. (2003). *Diagnóstico del Riego y Drenaje de la V Región*. Comisión Nacional de Riego, Comisión Nacional de Riego.
- DGA. (2005). *Evaluación de los recursos subterráneos de las cuentas costeras de la V región*. Dirección de Obras Públicas, Departamento de Administración de Recursos Hídricos. Santiago: Dirección General de Aguas.
- Emery, K. (1961). *A Simple Method of Measuring Beach Profile: Limnology and Oceanography*.
- EPV. (2012). *Plan Maestro Puerto Valparaíso*. Empresa Portuaria de Valparaíso, Valparaíso.
- Fariña, J., & Camaño, A. (2012). *Humedales Costeros de Chile: Aportes científicos a su gestión sustentable*. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Folk, R., & Ward, W. (March de 1957). Brazos River Bar: A Study In The Significance Of Grain Size Parameters. *Journal Of Sedimentary Petrology*, 27(1), págs. 3-26.
- G.I.O.C. (2000). *Documento de Referencia Vol I-Dinámicas*. Universidad de Cantabria. 31-33: Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas.
- G.I.O.C. (2000). *Documento Temático: Regeneración de Playas*. Universidad de Cantabria, Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas.
- G.I.O.C. (2000). *Procesos litorales*. Universidad de Cantabria. Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas.
- Kamphuis, J. W. (2000). *Introduction to coastal engineering and management* (Advanced Series on Ocean Engineering ed., Vol. 16). Canada: Queen's University.
- Magrama. (Septiembre de 2007). *Manual de restauración de sistemas dunares*. 2. (D. G. Ministerio de Medio Ambiente, Ed.) España.
- Medina, R., Losada, I., Losada, M., & Vidal, C. (1995). Variabilidad de los perfiles de playa: forma y distribución granulométrica. En U. d. Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas, *Proyectos y construcción de playas artificiales y regeneración de playas*. (Vol. 2, págs. 138-139). Santander.
- Mercado, J. (Marzo de 2010). *Caracterización de oleaje e hidrodinámica para la operatividad en la playa Caleta Abarca, V Región Chile*. Tesis, Universidad de Valparaíso, Valparaíso.
- Molina, M. (2009). *Análisis Sedimentológico: Playa El Encanto Viña del Mar*. Informe de Ingeniería de Costas, Universidad de Valparaíso.
- Negro, V. (2004). *Metodología para el estudio de costas. Teoría y práctica*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Ojeda, C. (2013). Diagnóstico inicial Cuenca Estero Reñaca, Chile. Geomorfología, expansión urbana, paisajes y riesgos naturales. *Revista Electrónica de Geografía Austral*(1), 1-21.
- Pardo, D. (2013). Incremento del Turismo Interno SERNATUR. *Universia*.
- Power, M. C. (1953). A new roundness scale for sedimentar particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, 23, pág. 118.

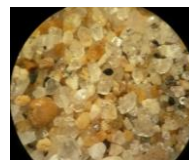
- Quezada, J. (2010). Estero Marga-Marga,, V Región Lavadero Aurífero. (D. d. UMCE, Ed.) *Boletín de Geografía*, 72.
- Quezada, M. (2013). Diapositiva de Ingeniería de Costas: Inicio del Movimiento y Zonificación.
- SHOA. (2015). *Pub. 3009: Tabla de Mareas de las Costas de Chile*. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.
- Silva Casarín, R. (2005). Análisis y Descripción Estadística del Oleaje. En I. d. UNAM. México, DF.
- Terry, R., & Chilingar, G. (1955). Summary of "Concerning some additional aids in studying sedimentary formations". *Journal of Sedimentary Petrology*, 25, 229-234.
- Valenzuela, E., Reyes, E., & Vergara, H. (1979). Petrología sedimentaria del litoral y plataforma continental de Valparaíso, V Región. *2° Congreso Geológico Chileno*, (págs. 101-121). Arica.
- Vergara, H. (1991). *Manual de Laboratorio para Sedimentología*. Valparaíso.
- Vergara, H., & Valenzuela, E. (1981). Sedimentación Reciente en Playas de Valparaíso, V Región. *Revista de Biología Marina*, 267-283.

11.2 REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- Aula Fácil, S. (2015). *Aula Fácil*. Recuperado el 24 de Marzo de 2015, de www.aulafacil.com: http://www.aulafacil.com/CursoEstadistica/Lecc-9-est.htm
- www.cienciasnaturales.es
- www.concesionesmaritimas.cl
- www.vinadelmar.travel. (2015).

12 ANEXO 1: ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO

PERFIL 1 PLAYA EL ENCANTO



MUESTRA	Explanada
Fecha	19-05-2014
Peso Inicial [gr]	100

Análisis Granulométrico

Tamiz	Apertura Malla [mm]	Peso retenido [grs]	% Peso retenido	% Peso pasante	Diámetros Característicos [mm]	
5	4	0,00	0,00%	100,00%	D95	0,83
10	2	0,02	0,02%	99,98%	D90	0,67
18	1	0,54	0,54%	99,44%	D84	0,52
35	0,5	16,36	16,36%	83,07%	D75	0,46
60	0,25	72,33	72,34%	10,73%	D60	0,40
120	0,125	0,36	0,36%	10,37%	D50	0,36
230	0,063	7,25	7,25%	3,12%	D30	0,30
-	Residuo	3,12	3,12%		D25	0,29
	Peso Final	99,98	100,00%		D16	0,26
	% Pérdida	0,02%			D10	0,12
Coeficiente Uniformidad		Cu	3,32		D5	0,08
Coeficiente Curvatura		Cc	1,87			

Análisis Estadístico

Indicador	Símbolo	Valor	Clasificación
Curtosis	K	1,75	Muy Leptocúrtico
Asimetría	SK	0,22	Asimétrico Hacia Finos
Desv. Estándar	$\sigma 1$	0,18	Muy Bien Clasificada
Tamaño Promedio	M	0,38	Arena Mediana

PERFIL 1 PLAYA EL ENCANTO



MUESTRA	Intermareal
Fecha	19-05-2014
Peso Inicial [gr]	100

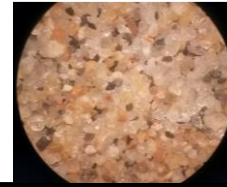
Análisis Granulométrico

Tamiz	Apertura Malla [mm]	Peso retenido [grs]	% Peso retenido	% Peso pasante	Diámetros Característicos [mm]	
5	4	0,00	0,00%	100,00%	D95	1,00
10	2	0,42	0,42%	99,58%	D90	0,93
18	1	4,33	4,34%	95,25%	D84	0,85
35	0,5	48,34	48,38%	46,86%	D75	0,75
60	0,25	46,02	46,06%	0,80%	D60	0,60
120	0,125	0,53	0,53%	0,27%	D50	0,52
230	0,063	0,27	0,27%	0,00%	D30	0,39
-	Residuo	0,00	0,00%		D25	0,36
	Peso Final	99,91	100,00%		D16	0,31
	% Pérdida	0,09%			D10	0,29
Coeficiente Uniformidad		Cu	2,10		D5	0,27
Coeficiente Curvatura		Cc	0,87			

Análisis Estadístico

Indicador	Símbolo	Valor	Clasificación
Curtosis	K	0,77	Platicúrtico
Asimetría	SK	0,26	Asimétrico Hacia Finos
Desv. Estándar	$\sigma 1$	0,24	Muy Bien Clasificada
Tamaño Promedio	M	0,56	Arena Gruesa

PERFIL 3 PLAYA EL ENCANTO



MUESTRA	Explanada
Fecha	19-05-2014
Peso Inicial [gr]	100

Análisis Granulométrico

Tamiz	Apertura Malla [mm]	Peso retenido [grs]	% Peso retenido	% Peso pasante	Diámetros Característicos [mm]	
5	4	0,00	0,00%	100,00%	D95	0,72
10	2	0,02	0,02%	99,98%	D90	0,52
18	1	0,12	0,12%	99,87%	D84	0,48
35	0,5	10,42	10,42%	89,44%	D75	0,44
60	0,25	74,15	74,18%	15,27%	D60	0,38
120	0,125	0,47	0,47%	14,80%	D50	0,35
230	0,063	8,25	8,26%	6,55%	D30	0,29
-	Residuo	6,54	6,55%		D25	0,27
	Peso Final	99,96	100,00%		D16	0,25
	% Pérdida	0,04%			D10	0,08
Coeficiente Uniformidad		Cu	4,53		D5	0,02
Coeficiente Curvatura		Cc	2,58			

Análisis Estadístico

Indicador	Símbolo	Valor	Clasificación
Curtosis	K	1,76	Muy Leptocúrtico
Asimetría	SK	0,12	Asimétrico Hacia Finos
Desv.Estándar	$\sigma 1$	0,16	Muy Bien Clasificada
Tamaño Promedio	M	0,36	Arena Mediana

PERFIL 3 PLAYA EL ENCANTO



MUESTRA	Intermareal
Fecha	19-05-2014
Peso Inicial [gr]	100

Análisis Granulométrico

Tamiz	Apertura Malla [mm]	Peso retenido [grs]	% Peso retenido	% Peso pasante	Diámetros Característicos [mm]	
5	4	0,21	0,21%	99,79%	D95	1,96
10	2	3,90	3,91%	95,88%	D90	1,76
18	1	31,49	31,57%	64,31%	D84	1,54
35	0,5	39,29	39,39%	24,92%	D75	1,26
60	0,25	24,15	24,22%	0,70%	D60	0,93
120	0,125	0,62	0,62%	0,09%	D50	0,78
230	0,063	0,06	0,06%	0,02%	D30	0,55
-	Residuo	0,02	0,02%		D25	0,50
	Peso Final	99,74	100,00%		D16	0,39
	% Pérdida	0,26%			D10	0,33
Coeficiente Uniformidad		Cu	2,84		D5	0,28
Coeficiente Curvatura		Cc	0,99			

Análisis Estadístico

Indicador	Símbolo	Valor	Clasificación
Curtosis	K	0,90	Platicúrtico
Asimetría	SK	0,37	Muy Asimétrico Hacia Finos
Desv.Estándar	$\sigma 1$	0,54	Moderadamente Bien Clasificada
Tamaño Promedio	M	0,90	Arena Gruesa

PERFIL 3 PLAYA EL ENCANTO


MUESTRA	Sumergido
Fecha	19-05-2014
Peso Inicial [gr]	100

Análisis Granulométrico

Tamiz	Apertura Malla [mm]	Peso retenido [grs]	% Peso retenido	% Peso pasante	Diámetros Característicos [mm]	
5	4	0,00	0,00%	100,00%	D95	1,65
10	2	0,63	0,63%	99,37%	D90	1,32
18	1	15,49	15,53%	83,84%	D84	1,01
35	0,5	49,28	49,39%	34,45%	D75	0,88
60	0,25	33,76	33,84%	0,62%	D60	0,72
120	0,125	0,41	0,41%	0,21%	D50	0,62
230	0,063	0,19	0,19%	0,02%	D30	0,46
-	Residuo	0,02	0,02%		D25	0,41
	Peso Final	99,78	100,00%		D16	0,34
	% Pérdida	0,22%			D10	0,30
Coeficiente Uniformidad		Cu	2,36		D5	0,27
Coeficiente Curvatura		Cc	0,96			

Análisis Estadístico

Indicador	Símbolo	Valor	Clasificación
Curtosis	K	1,19	Leptocúrtico
Asimetría	SK	0,33	Muy Asimétrico Hacia Finos
Desv.Estándar	$\sigma 1$	0,37	Bien Clasificada
Tamaño Promedio	M	0,66	Arena Gruesa

PERFIL 5 PLAYA EL ENCANTO


MUESTRA	Explanada
Fecha	19-05-2014
Peso Inicial [gr]	100

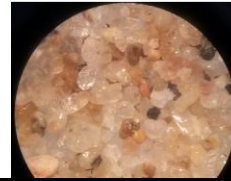
Análisis Granulométrico

Tamiz	Apertura Malla [mm]	Peso retenido [grs]	% Peso retenido	% Peso pasante	Diámetros Característicos [mm]	
5	4	0,00	0,00%	100,00%	D95	0,99
10	2	0,18	0,18%	99,82%	D90	0,91
18	1	3,97	3,98%	95,85%	D84	0,82
35	0,5	40,98	41,09%	54,76%	D75	0,70
60	0,25	52,58	52,72%	2,04%	D60	0,55
120	0,125	1,61	1,61%	0,42%	D50	0,47
230	0,063	0,40	0,40%	0,02%	D30	0,36
-	Residuo	0,02	0,02%		D25	0,34
	Peso Final	99,73	100,00%		D16	0,30
	% Pérdida	0,27%			D10	0,28
Coeficiente Uniformidad		Cu	1,97		D5	0,26
Coeficiente Curvatura		Cc	0,86			

Análisis Estadístico

Indicador	Símbolo	Valor	Clasificación
Curtosis	K	0,81	Platicúrtico
Asimetría	SK	0,38	Muy Asimétrico Hacia Finos
Desv.Estándar	$\sigma 1$	0,24	Muy Bien Clasificada
Tamaño Promedio	M	0,53	Arena Gruesa

PERFIL 5 PLAYA EL ENCANTO



MUESTRA	Intermareal
Fecha	19-05-2014
Peso Inicial [gr]	100

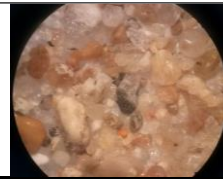
Análisis Granulométrico

Tamiz	Apertura Malla [mm]	Peso retenido [grs]	% Peso retenido	% Peso pasante	Diámetros Característicos [mm]	
5	4	0,00	0,00%	100,00%	D95	1,26
10	2	0,17	0,17%	99,83%	D90	0,97
18	1	7,28	7,28%	92,55%	D84	0,91
35	0,5	60,74	60,79%	31,76%	D75	0,82
60	0,25	31,39	31,41%	0,35%	D60	0,69
120	0,125	0,16	0,16%	0,19%	D50	0,62
230	0,063	0,18	0,18%	0,01%	D30	0,48
-	Residuo	0,01	0,01%		D25	0,43
	Peso Final	99,92	100,00%		D16	0,35
	% Pérdida	0,08%			D10	0,31
Coeficiente Uniformidad		Cu	2,23		D5	0,28
Coeficiente Curvatura		Cc	1,08			

Análisis Estadístico

Indicador	Símbolo	Valor	Clasificación
Curtosis	K	1,04	Mesocúrtico
Asimetría	SK	0,18	Asimétrico Hacia Finos
Desv.Estándar	$\sigma 1$	0,29	Muy Bien Clasificada
Tamaño Promedio	M	0,63	Arena Gruesa

PERFIL 5 PLAYA EL ENCANTO



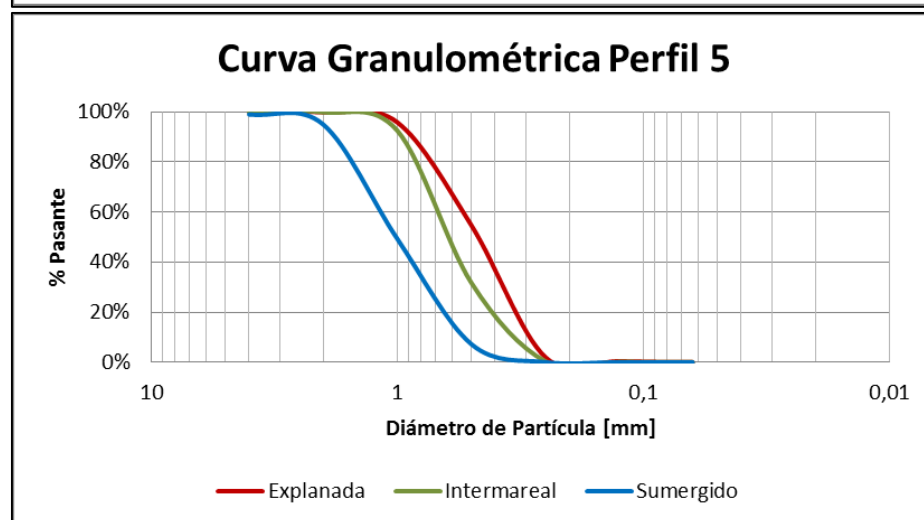
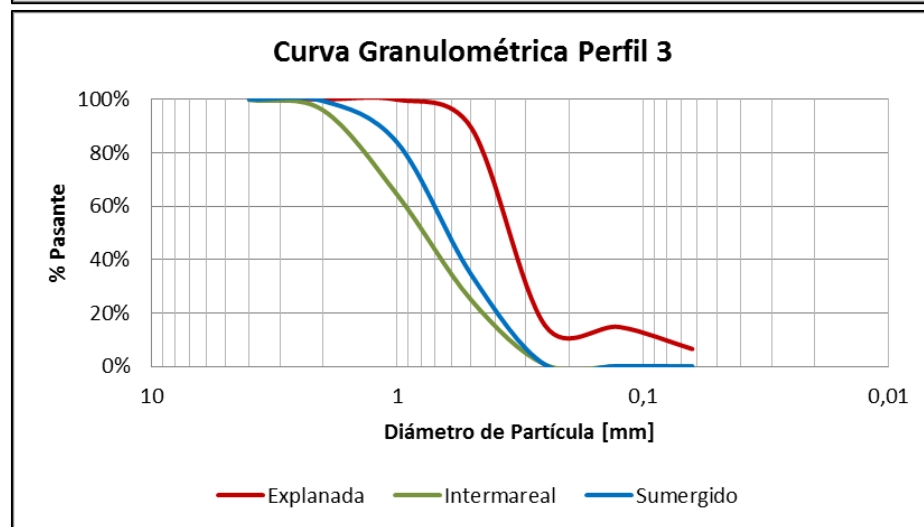
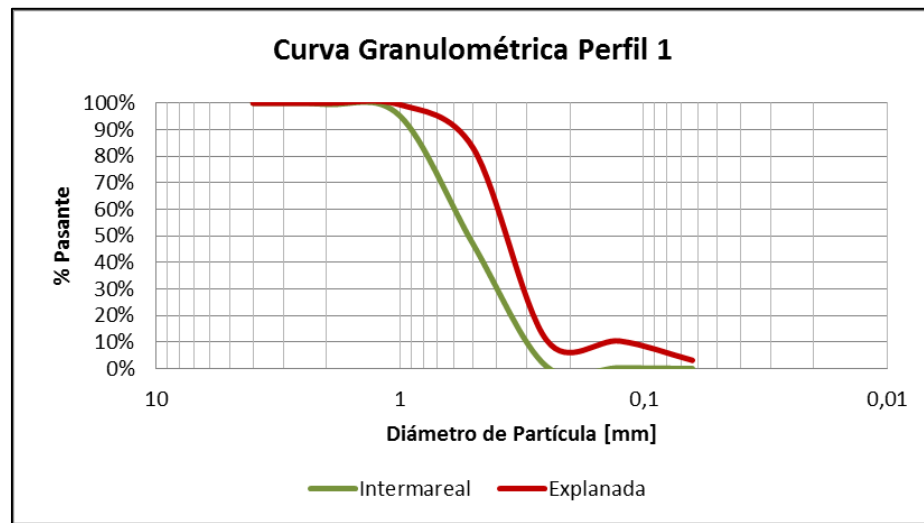
MUESTRA	Sumergido
Fecha	19-05-2014
Peso Inicial [gr]	100

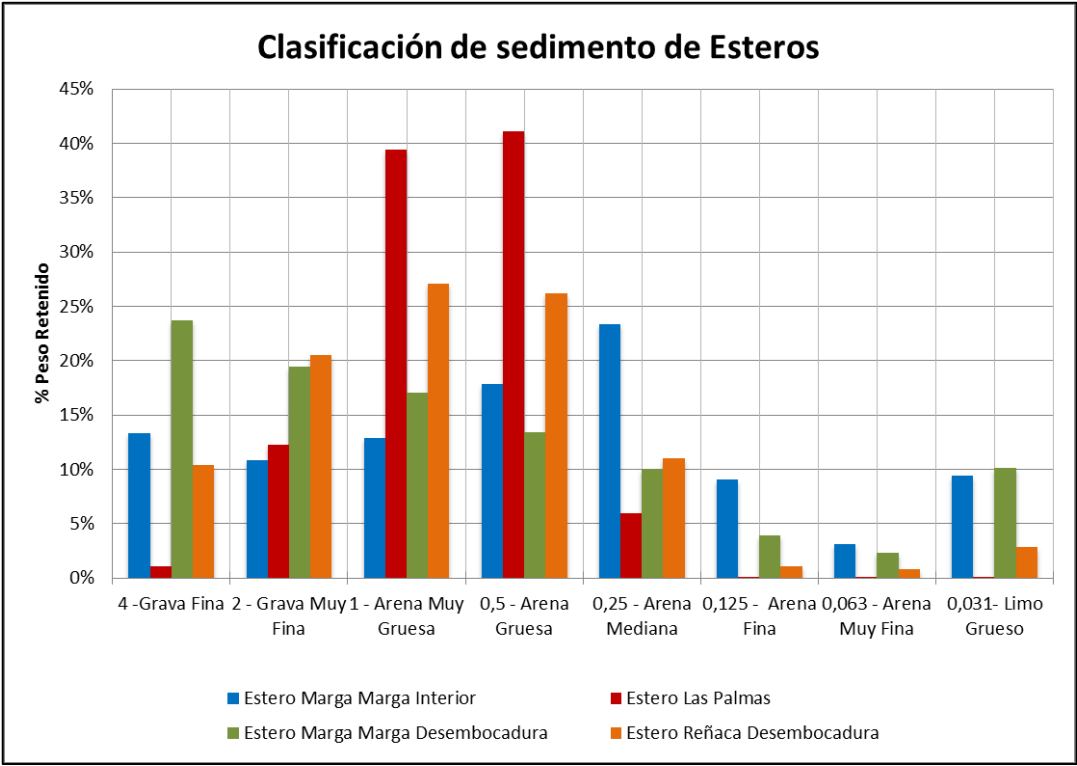
Análisis Granulométrico

Tamiz	Apertura Malla [mm]	Peso retenido [grs]	% Peso retenido	% Peso pasante	Diámetros Característicos [mm]	
5	4	1,03	1,03%	98,97%	D95	2,00
10	2	3,99	3,99%	94,99%	D90	1,85
18	1	45,65	45,65%	49,34%	D84	1,69
35	0,5	42,09	42,09%	7,25%	D75	1,48
60	0,25	7,21	7,21%	0,04%	D60	1,18
120	0,125	0,03	0,03%	0,01%	D50	1,01
230	0,063	0,01	0,01%	0,00%	D30	0,73
-	Residuo	0,00	0,00%		D25	0,67
	Peso Final	100,00	100,00%		D16	0,58
	% Pérdida	0,00%			D10	0,52
Coeficiente Uniformidad		Cu	2,25		D5	0,40
Coeficiente Curvatura		Cc	0,86			

Análisis Estadístico

Indicador	Símbolo	Valor	Clasificación
Curtosis	K	0,81	Platicúrtico
Asimetría	SK	0,23	Asimétrico Hacia Finos
Desv.Estándar	$\sigma 1$	0,52	Moderadamente Bien Clasificada
Tamaño Promedio	M	1,09	Arena Muy Gruesa





13 ANEXO 2: ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE MEDICIONES

