

UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO

Facultad de Ingeniería Carrera de Geología

EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL RECIENTE DE LA MORFOESTRATIGRAFÍA EN UNA PLANICIE DE CORDONES LITORALES AFECTADA POR SUBSIDENCIA COSISMICA DURANTE EL TERREMOTO DE 1960 Mw 9.5, CHILE.

Tesis de pregrado para optar al título de Geólogo

Gino Jovannie Figueroa Barra

Profesores guía:

Cristian Rodrigo Ramírez

Profesores co-guía:

Marco Cisternas Vega

Viña del Mar, Chile. 2018

Resumen

Los cordones litorales son morfologías típicas de bermas y dunas de playas con elevaciones mayores en la topografía, se han propuesto como indicadores de la historia pasada del nivel del mar, eventos catastróficos y cambios climáticos. Como resultado de ~1,5 m de subsidencia cosismica asociada al terremoto de Valdivia de 1960, Chile Mw 9,5, la línea de costa de Pangal, Región de los Lagos, una planicie de cordones litorales localizada a la mitad del largo del área que se hundió en 1960, retrocedió ~330 m producto de un proceso erosivo que perduró hasta el año 1980. A partir de este año, la costa comienza a progradar hacia el océano construyendo un conjunto de cordones litorales y una amplia playa. Hasta el año 2016, la línea de costa no ha recuperado su posición inicial previa a 1960, encontrándose actualmente en un proceso de recuperación.

La evolución geomorfológica de la playa de Pangal fue inferida usando un conjunto de fotografías aéreas pre y post-1960, con imágenes satelitales más recientes. Mientras que los perfiles topográficos se crearon usando un nivel topográfico y un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS), la superficie topográfica creada por fotogrametría usando un dron. Se relacionaron todos los datos de elevación con el nivel del mar local estimado, midiendo el nivel del mar continuamente por una semana con un mareógrafo acústico portátil. La estratigrafía del área que fue erosionada y recuperada después de 1980 fue realizada desde perforaciones con barrenos y excavación con palas. Adicionalmente, se realizaron perfiles con radar de penetración terrestre (GPR) usando una antena con una frecuencia de 250 MHz.

Los resultados permiten caracterizar los efectos geomorfológicos y estratigráficos en la línea de costa generados por el hundimiento cosísmico en 1960. La formación de un nuevo cordón litoral en la zona intermareal a supramareal producto de la progradación de la costa, preservando suelos enterrados y una capa de tsunami en el máximo retroceso ocurrido en el año 1980, son evidencias de un proceso de subsidencia cosísmica. Estas características junto a escarpes erosivos están ahora enterradas bajo el cordón litoral más atrás de la costa construido y abandonado después de 1980. Cabe mencionar que toda esta evolución ha ocurrió sin un cambio vertical evidente en el nivel de la costa posterior a 1960. Debido a que los rastros dejados son claros, los escarpes y suelos enterrados bajo los cordones litorales proveen un análogo moderno para características similares encontradas tierra adentro.

Agradecimientos

Agradecer el apoyo constante de toda mi familia, en particular a mi Viviana Barra (madre), Hugo Figueroa (padre), Paul Figueroa (hermano), Isis Figueroa (sobrina) y Santino Figueroa (sobrino) que en el camino del aprendizaje universitario trajeron alegría y aliento para continuar estudiando, en todos los momentos de logros y dificultades. Gran parte de la energía y motivación por aprender viene de la enseñanza en casa, de los consejos de superación y esfuerzo. Desde pequeño me acompañaron y alentaron mis ganas de aprender de la naturaleza y el planeta tierra, desde un simple regalo como rocas y árboles, hasta un microscopio de juguete.

En el camino de la educación superior, que comenzó en la Universidad de Atacama en la misma carrera universitaria que hoy culminó con esta investigación, conocí y aprendí de muchas personas. Agradecer los momentos compartidos a Verónica Valdés, Camila Muñoz, Rodolfo Molina, Cesar Hernández, Rodrigo Flores, Camila Pinto, entre otras personas. A aquello(a)s profesore(a)s que me entregaron todo su conocimiento en ciencias de la ingeniería y bases de la Geología, Dr. Wolfgang Griem, Leticia Campos, Juan Chamorro, Julio Vera, y un sin fin de académicos de la Universidad de Atacama.

Por otra parte, en mi segunda etapa de la carrera, a todos los que conocí y me acogieron en mi traslado a la Universidad Andrés Bello, casa de estudio desde la que hoy salgo como Geólogo. A mis amigo(a)s, Verónica Valdés, Gabriela Ramírez, Fabiola Romero, Felipe Valenzuela, Camilo Guzmán, Byron Villagrán, entre otros. A lo(a)s profesore(a)s, Ximena Contardo, Sergio Calderón, Francisco Fernandoy, Cristian Rodrigo, Iván Vargas que me transmitieron su conocimiento y experiencia de vida, para ser un profesional competente y con ética. Además, a todas las personas que conocí en mi formación profesional, al equipo de dendrocronología PUCV, en especial Isabella Aguilera, Ariel Muñoz e Isadora Toledo y al laboratorio de Geología de Tsunamis PUCV, Cyntia Mizobe, Monica Paez y el profesor Marco Cisternas.

Esta investigación ha sido financiada por el Núcleo Científico Milenio "CYCLO: The Seismic Cycle along subduction Zones" (NC160025), y el proyecto FONDECYT N° 1150321: "Recurrencia de grandes terremotos y tsunamis en Chile Metropolitano".

Tabla de contenidos

Resumen	11
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 Hipótesis de trabajo	4
1.4 Ubicación y accesos	4
1.5 Trabajos previos	5
II. MARCO TEÓRICO	8
2.1 El ciclo sísmico y la paleosismología	8
2.2 Geomorfología costera y cordones litorales1	0
2.3 Contexto Sismotectónico1	3
2.3 Antecedentes Geológicos1	6
2.3.1 Holoceno 1	7
2.3.2 Pleistoceno Superior-Holoceno1	8
2.3.3 Pleistoceno 1	8
2.3.4 Oligoceno-Plioceno1	9
III METODOLOGÍAS 2	20
3.1 Caracterización y descripciones estratigráficas 2	20
3.1.1 Granulometría de sedimentos 2	22
3.2 Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS) 2	24
3.2.1 Nivel medio del mar local 2	27
3.3 Sistema de información y teledetección (SIG) 2	27
3.3.1 Fotografías aéreas e imágenes satelitales 2	28
3.3.2 Modelo de elevación digital 3	31
3.3.3 Sistema digital de análisis de línea de costa	32
3.3.4 Herramienta Topographic Swath o Swath Profile	34
3.4 Radar de penetración terrestre (GPR) 3	35
IV RESULTADOS	38

4.1 Cordo	4.1 Cordones litorales en la planicie de Pangal					
4.1.1 Ca	ambios horizontales de la línea de costa desde 1944 hasta el 2	2016				
4.1.2 Co	ordones litorales formados posterior al año 1980	43				
4.1.3 Morfología de cordones litorales recientes						
4.2 Ambie	entes depositacionales recientes y granulometría	49				
4.2.1 Intermareal inferior						
4.2.2 Intermareal superior						
4.2.3 Dunas de trascosta						
4.2.4 Lla	4.2.4 Llanura de marea					
2.5 Aná	2.5 Análisis bivariado de sedimentos					
4.3 Descri	4.3 Descripción litológica del Cordón litoral A6					
4.4 Estruc	4.4 Estructuras sedimentarias internas					
V DISCUSIÓ	ÓN	74				
5.1 Evolue	ción temporal de la línea de costa	74				
5.2 Evento	os catastróficos y construcción de cordones litorales	77				
5.2.1 Ca	ambios relativos del nivel del mar	77				
5.2.2 Er	rosión y depositación por tsunami	79				
5.3 Factor	5.3 Factores de formación y modificación de cordones litorales					
VI CONCLU	SIONES	83				
VII REFERE	NCIAS	85				
VIII ANEXO	S	89				
ANEXO 1	Guía de Protocolo Instalación GPS	89				
ANEXO 2 Center v.2	Guía protocolo procesamiento de datos en Trimble Busine 91	ess				
ANEXO 3 aéreas e i	ANEXO 3 RMS en la georreferenciación y rectificación de fotografías aéreas e imágenes satelitales					

Índice de Figuras

- Figura 1. Planicie de cordones litorales en la desembocadura del Río Maullín. 2

Figura 5. Sub-ambientes según la dinámica dentro de un ambiente litoral..... 11

Figura 11. Mapa geológico Maullín, modificado de Antinao et al. (2000)...... 16

- Figura 14. Ubicación de las muestras de sedimentos para una caracterización y descripción general de los distintos ambientes sedimentarios actuales.... 21

- Figura 22. Imágenes satelitales de Google Earth año 2016 y 2011 con una alta resolución, obtenidas desde empresas como DigitalGlobe y CNES/Airbus.

- Figura 24. Modelos de elevación digital. a) Obtenido desde datos de elevación 2016 del SHOA. b) Obtenido desde datos de elevación 2015 de un dron en terreno.
 32
- Figura 26. Ubicación del sitio Dadi con el transecto del GPR para la calibración del equipo. Afloramiento de depósitos arenosos y capa superficial de suelo, donde se ha calibrado el GPR (P94) con una referencia de materiales de acero enterrados a 1 m de profundidad desde la superficie, en sector Dadi.

- Figura 29. Franja topográfica en el área norte de la planicie de Pangal. 39
- Figura 31. Evolución de la línea de costa desde el año 1944 hasta el 2016, con dos tendencias lineales marcando dos periodos de avance y retroceso... 40

- Figura 41. Perfil de playa de Pangal indicándose los sub-ambientes que lo componen. a) Fotografía tomada desde el área sur hacia el área norte del frente de playa. b) Perfil topográfico realizado en el área central del frente de playa. 49
- Figura 43. Zona intermareal inferior donde se observa el nivel de la marea baja.

- Figura 46. a) Muestra de sedimentos M019 de la zona intermareal superior. b)
 Minerales de cuarzo. c) Minerales de cuarzo, anfíbol y fragmentos líticos. d)
 Minerales de magnetita y hematita. e) Minerales de feldespato. f) Minerales
 de magnetita y hematita en gran proporción, además de cuarzo y
 feldespatos.

- Figura 49. Río del Rey durante un periodo de marea alta y otro de marea baja.

Figura 51. Distribución de los valores de asimetría (color azul), selección (color rojo), agudeza (color verde), y media (color negro) para todas las muestras de sedimentos.
Figura 52. Distribución de los datos de media versus selección para los distintos ambientes y sub-ambientes
Figura 53. Distribución de los datos de media versus asimetría para los distintos ambientes y sub-ambientes
Figura 54. Distribución de los datos de media versus agudeza para los distintos ambientes y sub-ambientes
Figura 55. Distribución de los datos de selección versus asimetría para los distintos ambientes y sub-ambientes
Figura 56. Distribución de los datos de selección versus agudeza para los distintos ambientes y sub-ambientes
Figura 57. Distribución de los datos de agudeza versus asimetría para los distintos ambientes y sub-ambientes
Figura 58. Morfoestratigrafía del primer cordón litoral formado posterior al terremoto de 1960. a) Ubicación de la planicie de cordones litorales de Pangal. b) Línea de perfil topográfico. c) Topografía realizada con dGPS. d) Fotografía del frente de playa de Pangal. e) Estratigrafía del cordón litoral A. f) Marea determinada a partir del modelo 8 Atlas TPXO. g y h) Detalle de la estratigrafía en subsuelo a partir de fosas realizadas a pala
Figura 59. Fosa realizada con pala de mano se observa la estratigrafía bajo el
cordón litoral A, y las muestras de sedimento obtenidas
Figura 60. Distribución granulométrica de los distintos ambientes con la muestra M011, similar a un depósito de la zona intermareal superior

- Figura 64. Distribución granulométrica de los distintos ambientes con la muestra M013, no se asemeja a ningún depósito de los ambientes actuales....... 66
- **Figura 65.** Distribución granulométrica de los distintos ambientes con la muestra M014, no se asemeja a ningún depósito de los ambientes actuales....... 66

- **Figura 70.** Interpretación de radargrama P72, identificando capas paralelas y discordantes, superficie erosiva y nivel freático a 3 m de profundidad...... 71

Figura 72. Interpretación de radargrama P73, se identifica una capa superficial						
continua y capas intermedias truncadas, con un fuerte reflector en						
profundidad marcando el nivel freático73						
Figura 73. Modelo conceptual de la condición previa y efectos durante el						
terremoto en la planicie de cordones litorales de Pangal						
Figura 74. Modelo conceptual de la progradación en la planicie de Pangal						
durante los últimos años76						
Figura 75. Extracto de la carta náutica del SHOA, con datos actualizados al año						
1954						
Figura 76. Extracto de la carta náutica del SHOA, con datos actualizados al año						

Índice de Tablas

Tabla 1. Muestras de sedimentos de la planicie de cordones litorales de Pangal. 22
Tabla 2. Datos de estaciones GPS, utilizadas para el procesamiento y corrección de los perfiles continuos y puntos estáticos. 26
Tabla 3. Resumen de las fotografías aéreas e imágenes satelitales utilizadas. Sedetalla la cantidad de puntos de control utilizados para la georreferenciacióny el error RMS
Tabla 4. Promedio de las diferencias entre los valores de los modelos de elevación digital Dron y SHOA, con respecto a puntos medidos de DGPS.
Tabla 5. Fecha y longitud de las líneas de costa delineadas. 34
Tabla 6. Resultados del análisis de cambio en la línea de costa utilizando el DSAS. 42
Tabla 7. Correlaciones de Pearson entre las variables: media, selección,asimetría y agudeza. Valores de p<0.05 son correlaciones significativas. 57

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Los *beach ridges* (cordones litorales) son relieves terrestre desarrollados en ambientes de playa arenosa o de grava, que describen morfologías típicas de bermas o crestas de mayor altura a las adyacentes (Dabrio, 2010). Sin embargo, el término no hace referencia a su origen de formación, proponiéndose dos procesos principales para su génesis: la acción de las mareas y el viento (Otvos, 2000). Estudios recientes, proponen a los cordones litorales como indicadores de la historia pasada del nivel del mar, eventos catastróficos y cambios climáticos (Tamura, 2012). Por lo tanto, cada una de las series tiene un registro único de los procesos y factores particulares que condicionan su formación.

En el área del terremoto de Valdivia de 1960, Chile, magnitud 9.5 Mw (Kanamori, 1977), se han realizado diversos estudios paleosísmicos, siendo una de las principales finalidades determinar la recurrencia de grandes terremotos. Este evento fue el resultado de una ruptura de *thrust fault* con aproximadamente 1.000 km de largo y 60 km de ancho (Plafker & Savage, 1970), y se ha posicionado como el evento telúrico más grande registrado en la historia humana. Las investigaciones en el segmento sísmico de este terremoto (que abarca desde la península de Arauco hasta la península de Taitao), han reconstruido la historia sísmica a partir de: el registro histórico (Lomnitz, 1970; Lomnitz 2004; Cisternas *et al.*, 2005), suelos enterrados en marismas costeras (Garrett *et al.*, 2015; Nentwig *et al.*, 2015; Cisternas *et al.*, 2017), diatomeas (Garrett *et al.*, 2015), sismoturbiditas (St-Onge *et al.*, 2012; Moernaut *et al.*, 2013). Estos estudios han demostrado la ciclicidad y recurrencia de eventos sísmicos de gran magnitud en el área.

Cisternas *et al.* (2017) han propuesto que una serie de cordones litorales, junto a suelos enterrados desarrollados en la planicie costera de Maullín, Región de los Lagos, Chile (Figura 1), son el resultado de una secuencia de eventos de subsidencia co-sísmica y un posible alzamiento inter-sísmico en el último milenio. El principal razonamiento, para este tipo de interpretaciones proviene del uniformismo, planteado y desarrollado por James Hutton y Charles Lyell: "El presente es la clave del pasado". Sin embargo, la formación de estos cordones litorales es producto de una diversa variedad de procesos que dependen de cada ambiente tectónico, sedimentario, climático y geomorfológico.



Figura 1. Planicie de cordones litorales en la desembocadura del Río Maullín.

En esta investigación se reconstruye la evolución espacio-temporal de una serie de cordones litorales creados posterior al terremoto de 1960 Chile, proponiendo un análogo moderno para la serie de cordones más antiguos, encontrados tierra adentro de la planicie. Se dará una respuesta a la pregunta, ¿Cuáles son los efectos de la subsidencia cosismica durante el terremoto de 1960 causados en

la morfoestratigrafía de la línea de costa de la planicie de cordones litorales de Pangal?, teniendo presente que son un conjunto de procesos litorales los que actúan en su formación. Finalmente, se propone como una nueva evidencia paleosísmica en la reconstrucción de la historia y recurrencia de grandes eventos, para el segmento de ruptura del terremoto de 1960.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Reconstruir la evolución espacio-temporal desde el año 1944 hasta el 2016 en la línea de costa de la planicie de cordones litorales de Pangal afectada por subsidencia cosismica en el terremoto de 1960, generando un análogo moderno para estudios paleosísmicos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Detectar las series de cordones litorales formados en la planicie costera de Pangal.
- Establecer las distribuciones espacio-temporales de los relieves terrestres generados en la línea de costa posterior al terremoto de 1960.
- Reconocer estructuras internas de erosión a pequeña y gran escala de los cordones litorales, asociados a procesos erosivos producto de subsidencia y eventos de tsunamis.
- Establecer los factores de formación y modificación de los cordones litorales.

1.3 Hipótesis de trabajo

Los cordones litorales desarrollados en la planicie costera arenosa de Pangal preservan suelos enterrados y escarpes de erosión, evidenciando un proceso de subsidencia cosísmica en eventos cíclicos de grandes terremotos y tsunamis asociados.

1.4 Ubicación y accesos

La Planicie de Pangal es la parte sur de la serie de cordones litorales desarrollados en la desembocadura del Río Maullín, ubicándose a ~3 km del poblado homónimo del río (Figura 2). Maullín es un pueblo de la Región de los Lagos, Chile, que se encuentra a ~60 km de la ciudad de Puerto Montt, localizado dentro del área de ruptura del terremoto de Valdivia de 1960. Se puede acceder desde Puerto Montt hacia Maullín por la Panamerica Sur/Ruta 5, y continuar hacia V-90 en dirección a Gaspar del Rio en Maullín. Otra alternativa es ir desde Puerto Montt por la ruta V-60, hacia V-46 en dirección a La Pasada y realizar un transbordo en barcazas hacia Maullín. Alrededor de la planicie costera de Maullín, se localizan otros pueblos entre los que es importante mencionar: Carrizo, La Pasada, Chuyaquen y Dadi.



Figura 2. Ubicación del área de estudio, se destacan los pueblos principales cercanos a la planicie de Pangal: Maullín, La Pasada, Carrizo, Chuyaquen y Dadi.

1.5 Trabajos previos

Las principales investigaciones realizadas en el área de estudio y sobre la temática general son las siguientes:

• Investigaciones en el área de estudio:

Atwater *et al.* (1992) reporta a lo largo de la costa del Pacifico cercana a Maullín y Carelmapu, una emergencia neta en el Holoceno tardío evidenciada por depósitos intermareales. A pesar de la emergencia neta, para cuatro sitios: Chocoi, Dadi, Puente Cariquilda, y Río Ballenar, identifica un hundimiento de 1-2 m de subsidencia tectónica durante el terremoto de Valdivia de 1960. Concluyendo que, la emergencia neta, se debe probablemente a un alzamiento cíclico desde la acumulación de esfuerzo elástico entre terremotos y alzamiento desde la carga postglacial del piso oceánico.

Cisternas *et al.* (2005) reconstruyeron la historia sísmica para los últimos 2.000 años de subsidencia repetitiva y tsunamis en el estuario del Río Maullín. Proveyendo evidencia estratigráfica y paleoecológica para siete terremotos pre-1960. Interpretaron dos edades por radiocarbono para los eventos: 1020-1180 A.D. y 1280-1390 A.D., además de correlacionar el registro paleosísmico con los predecesores históricos de 1575, 1737 y 1837.

Atwater *et al.* (2013) identificaron el tsunami de 1960 mediante capas de arenas preservada bajo abanicos, los cuales fueron construidos por *breaches* en la planicie de cordones litorales cerca de Maullín. Los depósitos del abanico son trazables 120 m tierra adentro desde los *breaches* y con un espesor suficiente para preservar capas de tsunamis por más tiempo que una capa ordinaria.

Cisternas *et al.* (2017) evidencian en la planicie costera cercana a Maullín una rápida subsidencia en 1960, con una fuerte retrogradación de la cara frontal. Interpretando la formación de escarpes, suelos enterrados y cordones litorales como una serie de eventos de subsidencia cosísmica y un posible alzamiento intersísmico, durante el último milenio.

• Investigaciones sobre la temática general en el mundo:

Meyers *et al.* (1996) proponen un método para determinar la edad y frecuencia de subsidencia cosísmica asociada a terremotos de subducción en Willapa barrier, Washington durante el holoceno tardío. Utilizando datos de radar de penetración terrestre interpretan la formación de escarpes enterrados y la asociación de capas de minerales pesados como resultado de eventos erosionales, hipotetizando la subsidencia del continente por terremotos y el conjunto de la acción del oleaje como la causa de estos.

Kelsey *et al.* (2015) identifico evidencia de terremotos de subducción predecesores del terremoto de 1964, Alaska, en dos sitios costeros de la parte este del segmento de Kenai. Concluyendo que cordones litorales en Verdant Cove, y suelos enterrados en humedales costeros de Quicksand Cove son los indicadores primarios de eventos sísmicos de subsidencia por subducción.

Monecke *et al.* (2015) por medio de imágenes satelitales y un levantamiento topográfico, reconstruyo la formación de un nuevo cordón litoral a lo largo de 10 km de extensión al oeste de la costa Acehnese, Indonesia. Playa que durante el gran terremoto de Sumatra-Andaman y el sucesivo tsunami en diciembre del 2004, fue totalmente destruida.

Simms *et al.* (2017) realizan una estimación cuantitativa de erosión costera desde subsidencia cosísmica y erosión por tsunami prehistórica en la costa de Crescent City (zona de subducción de Cascadia). Mediante el estudio de radar de penetración terrestre y datación por luminiscencia estimulada ópticamente, construyen un modelo de subsidencia cosísmica y el impacto de tsunamis registrado en secciones estratigráficas.

Dougherty (2018) utiliza radar de penetración terrestre para ilustrar las facies de estructuras en un sistema de barrera compuesto en la Bahia Bream, Nueva Zelanda. Utilizando la comprensión de la dinámica costera documentada sobre décadas para determinar el impacto de tormentas sobre siglos y el cambio del nivel del mar en los últimos milenios.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 El ciclo sísmico y la paleosismología

Los dos modelos teóricos importantes de comprender para el presente estudio (y para toda zona sismogénica), son la segmentación de las fallas y el ciclo de deformación por terremotos (ciclo sísmico). La segmentación de las fallas se basa en la delimitación de la zona de ruptura del terremoto, basado en características físicas y geológicas. Esta zona, corresponde al área donde se produce el evento sísmico y por donde se propaga la falla. Mientras que, el ciclo sísmico se caracteriza por estar compuesto de dos etapas principales (Figura 3), una de ellas durante el desarrollo de un terremoto, liberándose la deformación previamente acumulada (etapa cosísmica), y la que ocurre entre dos eventos sísmicos grandes, en donde se acumula deformación (etapa intersísmica).



Figura 3. Ilustración del ciclo sísmico representado por la etapa cosísmica e intersísmica, basado en el ciclo idealizado de Reid (1910) y una interpretación aleatoria de la máxima deformación.

La paleosismología es el estudio de terremotos pasados por medio de evidencias geológicas: primarias, producidas por el movimiento de la falla durante el terremoto; y secundarias, producidas por el sacudimiento durante el terremoto o por erosión y/o depositación en respuesta a la sacudida y cambios cosísmicos de elevación (McCalpin & Nelson, 2009). Se centra en la caracterización de la deformación instantánea del relieve terrestre y los sedimentos durante los terremotos, además de precisar la localización, el tiempo y el tamaño del evento. Estos estudios permiten la reconstrucción hacia el pasado de terremotos no registrados por la historia e instrumentos modernos, pero que han sido preservados como evidencias paleosísmicas, ya sea en el registro del relieve terrestre (geomorfológicos) o depósitos y estructuras sedimentarias (estratigráficos).

El relieve terrestre y los depósitos formados durante un evento sísmico son descritos como cosísmicos y se pueden diferenciar de otras características formadas por erosión, depositación y deformación no relacionada a terremotos. Sin embargo, desde evidencias primarias es menos compleja su diferenciación que desde evidencias secundarias. En algunos lugares, la respuesta de los sistemas geomorfológicos al evento sísmico comienza posteriormente, variando su duración desde minutos, horas, años o décadas (Kelsey et al., 2015; K. Monecke et al., 2017). Ejemplos de estas variaciones temporales son el desarrollo de escarpes de fallas, de depósitos de tsunami, de terrazas marinas, de cordones litorales, entro otros.

Por medio de metodologías de ciencias como la geomorfología, estratigrafía y geofísica es posible buscar evidencias de terremotos pasados en lugares de gran complejidad geológica. Por una parte, cuando no existe el acceso a información del subsuelo, mediante la geofísica podemos interpretar estructuras y características de evidencias paleosísmicas que no afloran en superficie. Un lugar paleosísmico favorable es aquel en el cual se preservan tanto registros geomorfológicos, como estratigráficos. Siendo clave la utilización del conjunto de

estas metodologías, para la obtención de una buena reconstrucción e interpretación de eventos sísmicos pasados.

2.2 Geomorfología costera y cordones litorales

El ambiente costero de la zona de estudio corresponde a una interacción entre un ambiente de playa arenosa junto a un ambiente estuarino, debido a la desembocadura del río Maullín hacia el Océano Pacífico. Existe una relación entre la morfología costera y la amplitud de las mareas (Figura 4), clasificándose tres tipos: las micromareales, mesomareales y macromareales (Dabrio, 2010). Los factores que condicionan la dinámica y los procesos costeros son principalmente el oleaje y las mareas, además de la disponibilidad de sedimento, el contexto tectónico, cambios relativos del nivel del mar y la acción antrópica.



Figura 4. Relación entre amplitud de las mareas y morfología costera, extraído de Dabrio (2010).

Dentro del ambiente litoral se observan sub-ambientes con distintas dinámicas (Figura 5), en los cuales es importante resaltar: el offshore o shoreface (zona

submareal o sublitoral), el foreshore (la zona intermareal e infralitoral: de batida o playa baja), y el backshore (zona supramareal o supralitoral: la berma y la trascosta o playa alta).



Figura 5. Sub-ambientes según la dinámica dentro de un ambiente litoral.

Los cambios en la evolución geomorfológica de zonas litorales tienen una variación en la escala espacial y temporal. Uno de los relieves terrestres más particulares del sector de estudio, son una serie de cordones litorales. Los cordones litorales, se definen como múltiples cordones, semiparalelos, relictos, originados por el oleaje (berma) o viento (múltiples dunas en la trascosta), usualmente formando planicies (Otvos, 2000). Tanner (1995) propone una hipótesis para la formación de cordones litorales, el cual se basa en la oscilación del nivel del mar asociado a cambios del nivel de la zona de batida (swash) a lo largo de costas de arena de baja energía. Sugiriendo que oscilaciones del nivel del mar a escala de décadas causa altos y bajos en el relieve. Mientras que, Tamura (2012) propone diversos procesos, con una interacción del oleaje y el viento (Figura 6). Para este trabajo se consideraran las bermas y/o dunas activas como cordones litorales debido a la rápida progradación y preservación de las morfologías tierra adentro.



Figura 6. Ilustraciones esquemáticas mostrando los procesos de formación de cordones litorales, extraído de (Tamura, 2012).

Dentro de la variación temporal tenemos procesos que actúan a distintas escalas. Por ejemplo, las olas y mareas ejercen una influencia a una escala temporal de segundos a meses. Mientras que otros fenómenos, como la oscilación del sur – El Niño (ENSO) o cambios del nivel del mar ejercen una influencia a escala de años, hasta miles o millones de años, respectivamente. En la variación espacial los procesos costeros también tienen diversas escalas, afectando áreas acotadas y otras más amplias (Figura 7).



Figura 7. Representación de las escalas espaciales y temporales que actúan en la evolución de zonas litorales, extraído de (Elorza, 2008).

2.3 Contexto Sismotectónico

Chile se caracteriza por situarse dentro de una zona de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, con una tasa de convergencia promedio de 6,6 cm/año basado en datos geodésicos (Angermann *et al.*, 1999), o de 7,4 cm/año basado en el análisis de datos paleomagnéticos del piso oceánico (DeMets *et al.*, 2010). También, se ha calculado una expansión de la dorsal del Pacífico entre las latitudes 48°-27°S, con una velocidad promedio de 4,7-6,0 cm/año (Heirtzler *et al.*, 1968; Pitman *et al.*, 1968). Este proceso conlleva a zonas sismogénicas, en las cuales se han producido eventos sísmicos de gran magnitud. Destacando el terremoto de Valdivia de 1960, un sismo de magnitud 9.5 Mw, con una ruptura de *thrust fault* con aproximadamente 1.000 km de largo y 60 km de ancho. El área de ruptura de este terremoto se extendió desde la península de Arauco (37,5°S) hasta la península de Taitao (47°S). Produciéndose hundimiento en gran parte de las zonas costeras (Figura 8).

El ciclo sísmico correspondiente a la zona de ruptura del terremoto de Valdivia tiene un intervalo de retorno promedio de 200 años aproximadamente (Figura 9

y 10), en base a datos registrados instrumentalmente, históricamente y geológicamente (Lomnitz, 1970; Lomnitz, 2004; Cisternas *et al.*, 2005; St-Onge *et al.*, 2012; Atwater *et al.*, 2013; Moernaut *et al.*, 2014; Garrett *et al.*, 2015; Nentwig *et al.*, 2015).



Figura 8. Distribución espacial de epicentros y zonas de cambios de elevación asociados al terremoto de 1960 Chile (destacan las zonas achuradas de subsidencia y alzamiento), extraído de (Plafker & Savage, 1970).



Figura 9. Comparación entre datación por depósitos de tsunami y registros históricos y prehistóricos de sacudidas, subsidencia cosísmica y depositación de tsunamis, extraído de (Kempf et al., 2017).



Figura 10. Comparación cronológica, desde el norte a sur, de evidencia de terremotos y tsunamis a lo largo de la región de ruptura del terremoto de 1960, extraído de (Cisternas *et al.*, 2017).

2.3 Antecedentes Geológicos

La cuenca del Río Maullín está conformada por unidades sedimentarias del Pleistoceno-Holoceno caracterizadas por depósitos morrénicos, fluvioglaciales y glaciolacustres (Diagnóstico, 2004). Estos depósitos se asocian a las glaciaciones del Pleistoceno, principalmente a las glaciaciones Llanquihue y Sta María. Aparte de la influencia en el relieve ejercida por las glaciaciones del Pleistoceno, destacan los volcanes Osorno y Calbuco con una gran influencia dentro de la cuenca del Río Maullín.



Figura 11. Mapa geológico Maullín, modificado de Antinao et al. (2000).

La planicie de Pangal está constituida por depósitos sedimentarios no consolidados del holoceno. Correspondientes a depósitos litorales de arenas bien seleccionadas y redondeadas, además de depósitos eólicos de arena de grano medio a fino, bien seleccionadas. Se han reportado edades de radiocarbono de 2.120 - 3.000 años de antigüedad en materia orgánica de suelos enterrados bajo estos depósitos, en el sitio Dadi (Atwater *et al.*, 1992). Los depósitos litorales sobreyacen a depósitos fluvioglaciares de la glaciación Llanquihue, sometidos a un levantamiento a largo plazo asociado a la desglaciación y/o tectónica (Antinao *et al.*, 2000).

2.3.1 Holoceno

Depósitos Estuarinos (He), descritas por Antinao *et al.* (2000) como depósitos no consolidados de arenas finas, limos y arcillas macizas, conforman terrazas bajas de interacción con mareas, que ocupan cauces labrados por ríos de desague glacial y postglacial. Se reconoce una capa de tsunami correspondiente al tsunami de 1960 (Cisternas *et al.*, 2000). Además, Cisternas *et al.* (2005) reporta suelos enterrados bajo estos depósitos, y capas de tsunamis originadas por una secuencia de siete terremotos predecesores al de 1960.

Depósitos Eólicos (Heo), descritas por Antinao *et al.* (2000) como depósitos no consolidados de arenas de grano medio a fino, bien seleccionadas, ubicadas detrás de la zona de playa actual, cerca de la desembocadura del Río Maullín y San Pedro Nolasco. Los sedimentos muestran estratificación planar horizontal y, en algunos lugares, estratos inclinados, separados por superficies de erosión.

Depósitos Litorales (Hp), descritas por Antinao *et al.* (2000) como depósitos no consolidados de arenas y gravas, bien seleccionadas, con clastos redondeados, que poseen formas esféricas y discoidales. Estos depósitos presentan estratificación maciza, planar horizontal, con imbricación buzante al mar. Los clastos están conformados principalmente por cuarzo y rocas volcánicas y, en

menor proporción, por rocas metamórficas e intrusivas. Formados por agradación originada por el continuo oleaje.

2.3.2 Pleistoceno Superior-Holoceno

Depósitos Fluviales (PIHf), descritos por Antinao *et al.* (2000) como depósitos no consolidados de gravas con buena a moderada selección, bien redondeadas y, en parte, imbricadas con matriz de arena gruesa. Presentan estratificación planar horizontal, cruzada y granodecreciente hasta limos laminados. Estos sedimentos cubren depósitos glaciales y glaciofluviales de la Glaciación Llanquihue y rellenan, en parte, los canales de desagüe glacial que provienen de los cordones morrénicos.

2.3.3 Pleistoceno

Depósitos Glaciofluviales (Plgf1), descritos por Antinao *et al.* (2000), estos depósitos alcanzan espesores expuestos de hasta 20 m, presentan estratificación planar horizontal, granodecreciente y cruzada y, en parte, incluyen lentes de arena. Esta unidad cubre parcialmente la antigua morfología de las morrenas de la Glaciación Santa María y conforman planicies de desagüe glacial ("outwash"), asociados a la Glaciación Llanquihue del Pleistoceno Superior (Mercer, 1976).

Depósitos morrénicos (PIm2), descritos por Antinao *et al.* (2000) como depósitos no consolidados, till, sedimentos glaciofluviales y litorales con espesores variables desde decimetros a metros. Esta unidad forma cordones morrénicos discontinuos al oeste de las morrenas asignadas a la Glaciación Llanquihue, especialmente al norte del Río Maullín. Estos depósitos pueden asignarse a la Glaciación Santa María del Pleistoceno Medio (Porter, 1981).

Depósitos Glaciofluviales (Plgf2), descritos por Antinao *et al.* (2000), estos depósitos corresponden a gravas gruesas, con moderada a buena selección, con clastos redondeados a bien redondeados, con intercalaciones de arenas de grano medio y de color amarillo anaranjado. Cerca de Maullín, los depósitos de esta unidad son arenosos, presentan estratificación cruzada y están cortados por canales originados, probablemente durante la Glaciación Llanquihue. Se le asigna una edad Pleistoceno Medio asociado a la Glaciación Santa María, aunque no se descarta que puedan ser parte de depósitos glaciofluviales distales asociados con un avance temprano de la Glaciación Llanquihue, durante la etapa de isotopo de oxigeno marino 4 (MIS4), aproximadamente hace 71.000 años.

2.3.4 Oligoceno-Plioceno

Formación Caleta Godoy (Plicg), descrita por (Ayala, 1982), corresponde a rocas estratificadas, secuencias de conglomerados, tobas arenosas y areniscas, de origen continental-parálica-marina. En el sector norte del morro Amortajado, afloran areniscas ricas en fauna marina fósil, relativamente bien conservada (bivalvos, gastrópodos y escafópodos). Las rocas presentan una compleja asociación de facies continentales que contienen delgados mantos de carbón, facies marinas con fauna fósil y facies parálicas, que sugieren un sistema depositacional de tipo fluvio-estuarino progradante.

III METODOLOGÍAS

3.1 Caracterización y descripciones estratigráficas

En terreno para reconocer la estratigrafía bajo el subsuelo se han utilizado palas para la excavación de fosas, además de perforaciones con barrenos. Estos últimos se han utilizado en transectos perpendiculares a la línea de costa, y sobre el cordón litoral formado en los últimos años (Figura 12). Paralelamente se ha realizado un levantamiento topográfico a través de un nivel, mira y trípode. Con esto se han realizado esquemas estratigráficos referenciado al nivel medio del mar local.



Figura 12. Sitio Lagunas con los puntos de perforaciones con barrenos y excavaciones de fosas para el reconocimiento de la estratigrafía en subsuperficie, a lo largo del perfil de GPR P72 (ver más adelante en capítulo GPR).

El "logeo" del testigo consistió en la descripción del espesor de la capa, la granulometría, color y características generales junto al reconocimiento de materia orgánica, además de estructuras y tipos de contacto entre cada capa (Figura 13). La profundidad de cada perforación dependió del nivel de saturación de la capa freática, la cual se encontraba en promedio a 2-3 m de profundidad.



Figura 13. Testigo desde un barreno utilizado para la descripción del subsuelo. B) Excavación realizada con palas, observándose el suelo superficial y depósitos de arena con una profundidad aproximada de 1 m.

Por otra parte, se realizó un muestreo de sedimentos superficiales en los ambientes sedimentarios recientes (Figura 14), caracterizando en forma general el tipo de depósito sedimentario y, posteriormente, comparando con sedimentos descritos en la estratigrafía de un cordón litoral en subsuperficie (Tabla 1). En laboratorio se procedió a realizar un análisis granulométrico y descripciones a lupa binocular.



Figura 14. Ubicación de las muestras de sedimentos para una caracterización y descripción general de los distintos ambientes sedimentarios actuales.

Código muestra	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)	Peso muestra húmeda (g)	Ambiente depositacional - profundidad
M001	5.389.131	610.887	321	Intermareal superior - superficial
M001B	5.389.110	610.855	299	Intermareal inferior - superficial
M002	5.388.711	611.379	365	Llanura de marea - superficial
M003	5.388.858	611.744	365	Llanura de marea - superficial
M004	5.388.858	611.744	346	Llanura de marea - 10 cm
M005	5.388.949	611.884	284	Llanura de marea - 10 cm
M008	5.391.886	612.341	342	Dunas - superficial
M009	5.391.908	612.245	262	Dunas - superficial
M010	5.391.686	612.250	251	Dunas - superficial
M011	5.391.690	612.317	266	Subsuelo cordón litoral A - 12 a 32 cm
M012	5.391.690	612.317	247	Subsuelo cordón litoral A - 32 a 40 cm
M013	5.391.690	612.317	284	Subsuelo cordón litoral A - 45 a 53 cm
M014	5.391.690	612.317	300	Subsuelo cordón litoral A - >53 cm
M015	5.391.393	611.674	330	Intermareal inferior - superficial
M016	5.391.451	611.694	382	Intermareal superior - superficial
M017	5.391.384	611.898	320	Dunas
M018	5.391.414	611.839	354	Intermareal superior - superficial
M019	5.391.340	611.795	302	Intermareal superior - superficial
M020	5.391.306	611.851	292	Dunas

Tabla 1. Muestras de sedimentos de la planicie de cordones litorales de Pangal.

3.1.1 Granulometría de sedimentos

Los sedimentos muestreados se procesaron en el laboratorio de Bentos de la Escuela Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV), y en el laboratorio de Sedimentología de la Universidad Andrés Bello (UNAB), Viña del Mar. Se pesaron las muestras húmedas con una balanza analítica marca RADWAG modelo AS220-C2, y se dejaron secar las muestras durante 24 horas a 60°C, en una estufa de secado marca TEMPRA modelo ZRD-5055 (Figura 15), posteriormente se volvió a pesar, se homogenizó y dividió cada muestra para duplicar los datos.


Figura 15. Pesaje, secado, homogenización y división de muestras en el laboratorio de Bentos (PUCV).

Se realizo el tamizaje de las muestras cada ¼ de Ø (phi) entre los tamaños 1 a 4 Ø (Figura 16), con tamices estructura y malla GILSON de 8 pulgadas (N° 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 100, 120, 140, 170, 200 y 230), ya que corresponden mayoritariamente a un tamaño entre arena media a fina. Se peso aproximadamente 50 gramos de cada muestra y fueron agitadas durante 10 minutos en un remecedor de tamices mecánico de movimiento circular marca W.S TYLER modelo RO-TAP (Figura 17). Luego, se pesó cada fracción separada en una balanza semi-micro analítica marco BOECO modelo BXX 31.



Figura 16. Tamizado de las muestras en el Laboratorio de Sedimentología UNAB.



Figura 17. Agitador de tamices modelo RO-TAP, con 6 tamices desde N° 35 a N° 80 (la otra columna por separado desde N°80 a N°230).

A través del software GRADISTAT v.8 se obtuvieron los parámetros de media, la que indica la clasificación dentro de una escala de tamaños y señala la energía cinética promedio del ambiente, la selección, que muestra el ancho del rango de tamaños y refleja las oscilaciones de la energía cinética, la asimetría, la cual analiza la posición de la media respecto a la mediana, y la agudeza, que analiza la forma achatada o puntiaguda de la curva respecto a una curva normal. Utilizándose los valores obtenidos por el método gráfico de Folk & Ward (1957), se compararon con un análisis de correlación de Pearson para determinar el grado de semejanza y discriminar los distintos tipos de ambientes. El método gráfico es necesario para la obtención de los parámetros granulométricos y la interpretación de ambientes sedimentarios a partir de estos, debido a que la asimetría es una variable fundamental y mejor representada que el método de momento (Alcántara-Carrió et al., 2001).

3.2 Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS)

Mediante un sistema de posicionamiento global diferencial con un equipo Trimble R4 GNSS se realizaron perfiles topográficos continuos, junto a la obtención de puntos específicos en la planicie de Pangal, reconstruyéndose perfiles de la superficie terrestre con una alta calidad en la precisión de los datos de posicionamiento y altura (coordenadas x, y, z). Se han creado dos transectos de aproximadamente 4 y 6 km desde océano a tierra adentro, en el área norte y sur en una campaña de terreno del año 2015, mientras que una campaña en septiembre del presente año, se han creado transectos en la zona central de la playa actual (Figura 18). Todos estos datos referenciados al nivel medio del mar local, dato obtenido mediante el uso de un mareógrafo acústico en terreno (mayor detalle en el siguiente subcapítulo).



Figura 18. Perfiles topográficos realizados con DGPS en toda la extensión de la planicie costera y en la actual playa de Pangal.

Además, en una campaña de terreno realizada en enero del presente año, se ha instalado una estación base en un punto ya conocido denominado informalmente "Capitania", ubicado en las cercanías del pueblo de Maullín (Figura 19). El punto fue trasladado al interior de la planicie de Pangal, para facilitar las labores de trabajo durante el día. De esta forma, se crearon nuevos puntos de estaciones base, destacando la estación informal "Dadi" y "Enoc" (Tabla 2).

Estación base	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)	Altura (m.s.n.m.)
Capitania	5.391.939,668	617.018,018	2.733
Enoc	5.391.180,476	615.583,470	3.919
Dadi	5.386.333,552	611.280,031	3.252

Tabla 2. Datos de estaciones GPS, utilizadas para el procesamiento y corrección de los perfiles continuos y puntos estáticos.

La instalación en terreno de la estación base y móvil, se realizó según los pasos de la "Guía de Protocolo Instalación GPS" del laboratorio de Geología de Tsunamis (LGT), de la Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (ECM, PUCV). El procesamiento de los datos fue realizado mediante el software Trimble Business Center v.2.97, siguiendo la Guía de "Protocolo Procesamiento de datos en Trimble Business Center" del laboratorio de Geología de Tsunamis ECM, PUCV.



Figura 19. Estaciones dGPS a) Estación Capitania b) Estación Enoc c) Estación Dadi.

3.2.1 Nivel medio del mar local

En la localidad de Maullín no existe un mareógrafo permanente para poder determinar el nivel medio del mar. Por tal motivo, el año 2015 se instaló en una estructura de metal con base de hormigón un mareógrafo acústico creado por Rob Wesson (Mark II®) frente al punto base Capitania en el pueblo de Maullín. Durante siete días se registró las variaciones de la marea, datos que fueron comparados posteriormente con el Modelo 8 Atlas TPXO (Figura 20). Obteniéndose el nivel medio del mar local para la estación base Capitania, valor que corresponde a 2.733 m.s.n.m.



Figura 20. Comparación del registro de marea en Maullín durante septiembre del año 2015, ajustado al Modelo 8 Atlas TPXO.

3.3 Sistema de información y teledetección (SIG)

Mediante el procesamiento y análisis de datos en un sistema de información y teledetección utilizando el programa ArcGIS, se dará cumplimiento a dos de los objetivos específicos que son detectar las series de cordones litorales identificando cambios topográficos en la planicie de Pangal. Además de establecer las distribuciones espacio-temporales de los relieves terrestres generados posterior al terremoto de 1960 en la línea de costa, delimitando las

superficies terrestres creadas hasta la actualidad, con imágenes satelitales y fotografías aéreas disponibles.

3.3.1 Fotografías aéreas e imágenes satelitales

Cinco fotografías aéreas del frente de la playa de Pangal (aproximadamente 41° 37' 18.16"S y 73° 39' 23.14"W) fueron analizadas mediante la digitalización, georreferenciación y rectificación. Una de las fotografías fue obtenida del vuelo Trimetrogon en 1944, resguardado por el Instituto Geográfico Militar del Ejército de Chile (IGM). Otra obtenida en un vuelo con la ayuda técnica de la Organización de Estados Americanos (OEA) en 1961, también resguardada en el IGM (Figura 21). Además de otras tres de 1979, 1980 y 1994 obtenidas por el Servicio Aereofotogramétrico (SAF), de la Fuerza Aérea de Chile. La digitalización de todas las fotografías ha sido realizada con una resolución de 1.200 DPI, para obtener una representatividad de pixel óptima en el posterior trazado de líneas de costa. Siguiendo la metodología de Araujo *et al.* (2009) las fotografías aéreas fueron georreferenciadas y rectificadas con una imagen satelital base del programa ArcGIS, existiendo variaciones en parámetros que se detallan más adelante.



Figura 21. A) Fotografía aérea tomada en el vuelo Trimetrogon desde el oeste a la planicie de Pangal en el año 1944. B) Fotografía aérea tomada en el vuelo OEA perpendicularmente a la planicie de Pangal en el año 1961.

Las fotografías fueron georreferenciadas y rectificadas con más de 20 puntos de control, los cuales fueron ubicados dentro de la planicie uniformemente, aplicándose un ajuste automático y una transformación polinomial de tercer orden. La fotografía aérea del año 1944 fue tomada en ángulo desde un vuelo al oeste de la planicie, por lo cual se obtuvo un error de 28.5 m, mientras que las demás fotografías aéreas fueron tomadas perpendicular a la planicie con una mayor precisión, obteniéndose un error menor a 1 m. Por otro lado, desde Google Earth Pro se ha podido acceder a imágenes satelitales de los años 2005, 2011, 2012, 2014 y 2016, con una alta resolución ofrecidas por las compañías CNES/Airbus y DigitalGlobe (Figura 22). De acuerdo a la metodología de Araujo *et al.* (2009), se han guardado las imágenes satelitales a una resolución máxima de 4.800x2.718px, y con la herramienta de medición (regla) en Google Earth Pro, se ha medido la misma cantidad de pixeles en metros tanto para la escala vertical, como la horizontal (obteniendo una representatividad de 1 m para cada pixel).



Figura 22. Imágenes satelitales de Google Earth año 2016 y 2011 con una alta resolución, obtenidas desde empresas como DigitalGlobe y CNES/Airbus.

Se resume el error total calculado mediante la suma cuadrática media (RMS) de todos los errores residuales (Tabla 3). Este valor describe el grado de coherencia de la transformación entre los distintos puntos de control.

Año Fotografía	Identificador	Código Identificación N° Puntos control		Total RMS Error
aérea	Vuelo/Fuente	Propio	N Tuntos control	(m)
1944	Trimetrogon (IGM)	552 R13	26	28,5068
1961	OEA (IGM)	503-334	21	0,9289
1979	SAF	CH3024-14064	24	0,8073
1980	SAF	CH30S24-18900 29		0,8444
1004	SAF	S22-L12-13959	27	0,9901
1994		S22-L12-13960	29	0,7091
2005	Google Earth	12_25_2005_P01	20	0,8748
2005		12_25_2005_P02	20	0,9677
2011	Google Earth	12_28_2011_P01	24	0,8518
2011		12_28_2011_P02	24	0,8844
2012	Google Earth	01_04_2012_P01	21	0,9287
2012		01_04_2012_P02	20	0,8857
2014	Coogle Forth	01_15_2014_P01	27	0,9091
2014	Google Earth	01_15_2014_P02	25	0,7859
2016	16 Google Earth	01_29_2016_P01	20	0,9755
2010		01_29_2016_P02	20	0,9186
2016	Google Earth	10_18_2016_P01	21	0,8230
2010		10_18_2016_P02	20	0,8779
2016	Google Earth	11_20_2016_P01	20	0,8484
2016		11 20 2016 PO2	21	0,8189

Tabla 3. Resumen de las fotografías aéreas e imágenes satelitales utilizadas. Se detalla la cantidad de puntos de control utilizados para la georreferenciación y el error RMS.

En cada una de estas fotografías aéreas e imágenes satelitales se realizó una interpretación visual de la línea de costa, obteniendo finalmente los datos para un posterior análisis (Figura 23). Creando un archivo de polilínea en formato "shape" para cada año, en un sistema de coordenadas WGS 1984 (UTM zona 18S). Se procedió a delinear manualmente la línea de costa utilizando la vegetación como parámetro de referencia para el cambio entre tierra y océano (Thieler *et al.*, 2009), debido a que en la playa de Pangal la variación horizontal de la marea baja y alta es de decenas a centenas de metros (la playa tiene un perfil topográfico de baja pendiente).



Figura 23. Etapas del proceso de obtención, georreferenciación, rectificación, interpretación y delineación de las líneas de costa.

3.3.2 Modelo de elevación digital

Para la obtención de perfiles topográfico se utilizaron dos modelos de elevación digital con distintas resoluciones espaciales (Figura 24). A partir de datos de elevación del año 2016 entregados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) en formato "xls", se ha creado una Red de Triángulos Irregulares (TIN). Posteriormente se ha convertido el TIN a un Modelo de Elevación Digital (DEM), con un Datum WGS84 y una resolución espacial de 37 m. Además, se ha utilizado un DEM proporcionado por un vuelo de dron con una resolución espacial de 50 cm, obtenido en terreno y facilitado por el LGT, PUCV.

A estos modelos de elevación digital se ha aplicado una corrección respecto a puntos medidos con DGPS y referenciados al nivel medio del mar local. Para poder corregir, se han calculado diferencias entre los valores de elevación de cada DEM y valores de terreno referenciados al nivel del mar. Esta diferencia es utilizada para corregir los DEM con un error cuantificable (Tabla 4).

Tabla 4. Promedio de las diferencias entre los valores de los modelos de elevación digital Dron y SHOA, con respecto a puntos medidos de DGPS.

Promedio datos elevación DRON	13,1642 (m)
Promedio datos elevación SHOA	-1,4604 (m)
Error datos DRON	-0,1396 (m)
Error datos SHOA	-3,4364 (m)



Figura 24. Modelos de elevación digital. a) Obtenido desde datos de elevación 2016 del SHOA. b) Obtenido desde datos de elevación 2015 de un dron en terreno.

3.3.3 Sistema digital de análisis de línea de costa

Con las líneas de costa obtenidas desde fotografías aéreas e imágenes satelitales (Tabla 5), se ha utilizado el Add-In gratuito para ArcGIS ofrecido por la USGS, denominado "Digital Shoreline Analysis System", el cual cuantifica tasas de cambio en la línea de costa (Thieler *et al.*, 2009). Se ha utilizado la guía oficial del software, creándose una línea base en el frente de playa de Pangal, con una longitud aproximada de 4 km, paralelo a las líneas de costa y hacia el océano (*offshore*) a aproximadamente 250 m de la última línea del año 2016. Desde la línea base se han creado transectos cada 50 m de distancia entre ellos, con una longitud de 800 m, y de forma perpendicular a las líneas de costa (Figura 25). Por último, se ha procedido a calcular las estadísticas ofrecidas por el software, siendo las de mayor relevancia para este estudio: el *net shoreline movement* (NSM) y el *end point rate* (EPR). El EPR divide la distancia del movimiento de la línea de costa por el tiempo entre la más antigua y la más actual, mientras que el NSM mide la distancia entre la línea de costa más antigua y la más actual para cada transecta.



Figura 25. Análisis de cambio de las líneas de costa desde el año 1944-2016. Todas las líneas de costa fueron interceptadas por un conjunto de transecto perpendiculares a la línea base, usando el Sistema de Análisis Digital de Línea de Costa (DSAS) desarrollado por la USGS. Imagen satelital de fondo correspondiente al 11/20/2016.

El cálculo de las estadísticas ha sido creado en periodos de años continuos. Permitiendo la separación posterior de dos periodos con signos inversos (negativo y positivo), para los años 1944-1980 y 1980-2016. Además, para una comparación con mayor precisión se ha analizado en detalle las diferencias entre los años 1944 y 1961 con la línea de costa más reciente.

Fecha de línea de costa	Longitud (m)
7/1/1944	8.023,44
1/24/1961	8.187,13
7/1/1979	7.004,07
7/1/1980	8.262,18
7/1/1994	5.961,21
12/25/2005	4.105,65
12/28/2011	7.155,54
1/4/2012	7.275,18
1/15/2014	7.238,11
1/29/2016	7.633,63
10/18/2016	7.586,79
11/20/2016	7.022,23

Tabla 5. Fecha y longitud de las líneas de costa delineadas.

3.3.4 Herramienta Topographic Swath o Swath Profile

Otra herramienta Add-In utilizada es la denominada "SwathProfiler", la cual extrae un franja topográfica, los que concentran datos de elevación en un solo perfil, desde un archivo DEM (Pérez-Peña *et al.*, 2017). Se ha comparado los datos corregidos del DEM Shoa con dos perfiles (Norte y Sur) realizados en una campaña previa con el DGPS. Estas franjas se han utilizado en distintas zonas de la planicie de Pangal para caracterizar las morfologías de los cordones litorales.

3.4 Radar de penetración terrestre (GPR)

Se ha utilizado un equipo MALA con una antena de 250 MHz, la cual se ha calibrado en un afloramiento del sitio Dadi (Figura 26). Para su calibración en terreno, se ha puesto a 1 m de profundidad desde la superficie, materiales de acero, con la finalidad de calcular la velocidad promedio de las ondas electromagnéticas a través del material considerado homogéneo (sin grandes cambios de propiedades dieléctricas). Como resultado, se ha obtenido una velocidad promedio de 70 m/µS y una profundidad ~3 m de la señal del georadar. Por medio de la estratigrafía reconocida en terreno se interpretó el radargrama para extrapolar esta información y técnica hacia los radargramas obtenido en el frente de playa.



Figura 26. Ubicación del sitio Dadi con el transecto del GPR para la calibración del equipo. Afloramiento de depósitos arenosos y capa superficial de suelo, donde se ha calibrado el GPR (P94) con una referencia de materiales de acero enterrados a 1 m de profundidad desde la superficie, en sector Dadi.

El GPR ha sido utilizado en conjunto al sistema de posicionamiento global diferencial para obtener una correcta corrección topográfica. Los datos de coordenadas geográficas son almacenados simultáneamente con los datos del radargrama, como un archivo ".rd3" y ".cor" respectivamente. Para procesar los datos y obtener una imagen del radargrama corregida, utilizamos el software Radexplorer. Este programa tiene la herramienta de aplicar una autoganancia, y posee filtros necesarios para una correcta visualización de las señales electromagnéticas, como el filtro *background* y, *bandpass*. Además las señales de radar fueron migradas para corregir los efectos por la geometría de las estructuras del subsuelo.

Para la corrección topográfica se utilizó el formato .cor con una nueva configuración de datos en celdas de trazos y elevación. El cambio de formato de las coordenadas geográficas se ha realizado por medio de una rutina en el software Matlab creada por Matias Carvajal para el laboratorio de Geología de Tsunamis ECM, PUCV. Esta rutina permite la conversión desde las coordenadas geográficas a números de trazos realizados por el GPR junto a la elevación del punto, datos que se sincronizan respecto a la misma hora cuando se tomaron ambos datos. Se ha seguido una rutina para la transformación de formatos previo al ingreso en Matlab, disponible en Guía Protocolo de datos GPS-GPR para Matlab laboratorio de Geología de Tsunamis ECM, PUCV.

Los principales perfiles de radar de penetración terrestre para este estudio fueron realizados en una campaña de enero del año 2017 (Figura 27). En estos perfiles de GPR del sector Lagunas, al no existir una topografía tomada simultáneamente con DGPS, se ha procedido a usar la topografía ofrecida por SHOA. Mediante un SIG se han trazado las líneas de los perfiles de GPR, y se han creado puntos espaciados a una misma distancia para obtener la cantidad de trazos necesarios para la topografía a usar en el Software Radexplorer.



Figura 27. Sitio Lagunas con los perfiles de GPR (P69, P70, P72 y P73) obtenidos en la campaña de terreno del año 2017.

IV RESULTADOS

4.1 Cordones litorales en la planicie de Pangal

La planicie de Pangal está formada por una serie de cordones litorales con distintas alturas y una distribución discontinua paralelos a la línea de costa (Figura 28). A lo largo de 5 km desde el océano hacia el interior de la planicie, se distinguen tres conjuntos de cordones litorales separados por dos bajos de aproximadamente 800 m de largo. Cabe destacar, la serie más reciente (hacia la actual línea de costa) representada por tres cordones litorales que serán descritos en los siguientes subcapítulos. En promedio, se han calculado en la planicie arenosa más de 26 cordones litorales, discontinuos desde norte a sur. Dos franjas topográficas realizadas una en el área norte con 7.000 m de longitud, y otra en el sur con 5.000 m de longitud, muestran las crestas de mayor altura a las adyacentes, con las máximas alturas a aproximadamente 7 m.s.n.m.



Figura 28. Localización de los perfiles topográficos realizados en la planicie de cordones litorales de Pangal.

En el área norte los cordones litorales tienen una marcada tendencia de ascenso y descenso, los dos bajos con una extensión promedio de aproximadamente 1.000 m. Desde océano a continente tienen una elevación de 4 y 3 m.s.n.m., existiendo entre ellos una diferencia de 1 m (Figura 29).



Figura 29. Franja topográfica en el área norte de la planicie de Pangal.

En el área sur los bajos son menos reconocibles ya que los cordones litorales predominan con una mayor extensión. Los dos bajos tienen una elevación de 3 y 2,2 m.s.n.m., con una diferencia de 0,8 m (Figura 30).



Figura 30. Franja topográfica en el área sur de la planicie de Pangal.

Los datos corregidos del DEM obtenido desde el SHOA se asemejan a dos perfiles (Norte y Sur) realizados en una campaña de terreno previa con el DGPS. Se observó una similitud en los datos de elevación, pero respecto al nivel medio del mar difieren en aproximadamente 1 m producto de las distintas referenciaciones entre el DEM y el DGPS, sin embargo, esto permite un óptimo análisis de morfologías.

4.1.1 Cambios horizontales de la línea de costa desde 1944 hasta el 2016

La línea de costa de la planicie de Pangal en las últimas décadas ha tenido diversos cambios, observándose un período de retroceso de la línea de costa hacia el continente y otro de avance hacia el océano (Figura 31, 32 y 33). Desde el software DSAS se han obtenido datos entre el año 1944 hasta el año 1980 que demuestran un retroceso de la línea de costa con una tasa de cambio promedio de 9,19 m/año. Para luego, hasta el año 2016 recuperarse a una tasa de cambio promedio promedio de 8,29 m/año.



Figura 31. Evolución de la línea de costa desde el año 1944 hasta el 2016, con dos tendencias lineales marcando dos periodos de avance y retroceso.



Figura 32. Líneas de costa delimitadas entre los años 1944-1980, fotografía aérea del año 1980 de fondo. Se observa un retroceso continuo con un máximo en el año 1980.



Figura 33. Líneas de costa delimitadas entre los años 1980-2016, imagen satelital del año 2016 de fondo. Se observa una recuperación continua hasta la actualidad.

Para periodos generales y específicos se determina el cambio y tasa de cambio promedio entre cada línea de costa (Tabla 6). El periodo de retroceso ocurre durante los años 1944-1980 con un total promedio de 330,83 m. Mientras que la recuperación de la línea de costa ocurre durante los años 1980-2016 con un total promedio de 301,68 m, sin aún volver en la actualidad al estado previo, es decir, al del año 1944.

Periodo	Cambio promedio de línea de costa (m)	Tasa de cambio promedio de línea de costa (m/año)	Transectas usadas
07/01/1944 - 01/24/1961	-172,2318	-10,3972	1 - 82
01/24/1961 - 07/01/1979	-131,7413	-7,1474	1 - 82
07/01/1979 - 07/01/1980	-27,9605	-27,8835	1 - 82
07/01/1980 - 07/01/1994	149,5796	10,6867	1 - 82
07/01/1994 - 12/25/2005	60,4770	5,2667	1 - 64
12/25/2005 - 12/28/2011	74,0852	12,3303	1 - 64
12/28/2011 - 01/04/2012	4,4083	2,2232	1 - 82
01/04/2012 - 01/15/2014	8,5718	4,2223	1 - 82
01/15/2014 - 01/29/2016	18,0250	8,8434	1 - 82
01/29/2016 - 10/18/2016	-0,4959	-0,6884	1 - 82
10/18/2016 - 11/20/2016	-0,2057	-2,2776	1 - 82

Tabla 6. Resultados del análisis de cambio en la línea de costa utilizando el DSAS.

Para los periodos específicos, desde el año 1944 hasta el año 1961 (meses después del terremoto gigante de 1960) la línea de costa tuvo un retroceso promedio de 172,23 m, con una tasa de cambio promedio de 10,39 m/año, suponiendo que durante estos casi 17 años esta tasa fue constante. Sin embargo, con un evento de subsidencia, en el cual la planicie se hundió 1,5 m esperaríamos que la tasa de cambio en 1960 haya sido más alta que los años previos. Evidencias en terreno demuestran erosión de la playa, donde la perdida de sedimento dejo expuesto en superficie raíces de árboles, que además fueron

afectados por la subsidencia quedando expuestos al oleaje (Figura 34). Otros importantes cambios son entre los años 1980 a 1994, donde la costa prograda a una tasa de cambio promedio de 10,69 m/año y avanza en promedio 149,58 m. Además, entre los años 2005 a 2011 continua progradando a una tasa promedio de 12,33 m/año, avanzando una longitud de 74,09 m. En terreno el avance y construcción de nuevos cordones litorales es evidenciado y marcado por una señalización marítima antigua dejada y abandonada aproximadamente 200 m tierra adentro de la actual línea de costa, en un valle de aproximadamente 2 m.s.n.m. y no visible desde océano debido a la altura de los cordones litorales (altura de aproximadamente 7 m.s.n.m.).



Figura 34. Detalle de evidencias de erosión y progradación en la costa de la planicie. a) Fotografía actual tomada en este trabajo donde se observa señalización marítima, dejada tierra adentro por la progradación. b) Fotografía tomada por George Plafker el año 1968, en la parte norte de la planicie de Pangal, raíces de árboles muertos por la subsidencia cosismica han quedado expuestos producto de erosión.

4.1.2 Cordones litorales formados posterior al año 1980

A través de los sistemas de información y teledetección, se distinguen la formación de tres cordones litorales en el frente de la planicie posterior al

terremoto de 1960 (Figura 35). Estos cordones litorales comenzaron a formarse cuando la costa comenzó a progradar y recuperarse a partir del año 1980.



Figura 35. Mapa identificando los cordones litorales formados y preservados posterior al año 1980.

En una evolución temporal de la topografía en un mismo perfil, datos obtenidos en terreno en el año 1987 (Atwater *et al.*, 2013), datos del SHOA obtenido en el año 2016, y un perfil con menor extensión realizado en una campaña de

septiembre de este año, se visualiza la construcción de los cordones litorales actuales y el avance de la costa hacia el océano (Figura 36).



Figura 36. Contexto de la planicie de cordones litorales de Pangal, se observa una imagen satelital del año

2016 y perfiles topográficos realizados en el año 1989 (color azul), 2016 (color negro) y 2018 (color rojo). Los datos se encuentran referenciados al nivel del mar local, mientras que los datos de 1989 a la marea más alta medida en el verano austral de ese año.

Comparando las fotografías aéreas de 1944 y 1961, se observa un retroceso de la línea de costa que se extendió hasta mínimo el año 1980. El retroceso, causo la erosión de la superficie costera, además de sepultar la vegetación bajo las nuevas playas de arena formadas tierra adentro (considerando la formación de una berma y duna). Entre los años 1979 y 1980 la línea de costa retrocede en promedio 27,96 m, construyéndose y reforzándose la berma y duna activa.

La formación del primer cordón litoral (cordón litoral A), se inició en 1980, cuando la línea de costa alcanza su máximo retroceso y comienza a recuperarse, dejando abandonada (más tierra adentro) la berma y duna de su playa. El segundo cordón litoral (cordón litoral B), se construye posterior a 1994, dando lugar a la depositación de sedimento que genera una cresta de mayor altura a la anterior. Por último, aproximadamente en el 2005 la línea de costa continua progradando hasta la actualidad, generando una berma y duna activa, considerada para este trabajo como el cordón litoral más reciente (cordón litoral C).

4.1.3 Morfología de cordones litorales recientes

A lo largo de la planicie de Pangal la morfología de los cordones litorales es diversa, existiendo un patrón distinto para la parte norte, centro y sur (Figura 37). Estas morfologías se relacionan a la forma y distribución de la línea de costa, la cual es diferente en las tres zonas durante un mismo año. El promedio general de altura para los cordones litorales son 1,25 m.s.n.m. para el A, 1,36 m.s.n.m. para el B, y 2,55 m.s.n.m. para el C. Existiendo una diferencia en la altura de aproximadamente 1,3 m entre el más tierra adentro y el más hacia océano.



Figura 37. Mapa de ubicación de las líneas Swath Profile para las tres zonas. a) Detalles de la imagen principal. b) Detalle de la zona sur. c) Detalle de la zona centro. d) Detalle de la zona norte.

En el perfil norte se identifican los tres cordones litorales (Figura 38), donde el Cordón litoral A se caracteriza por tener en promedio una altura de 2,24 m y un ancho de 146,21 m. El Cordón litoral B tiene también en promedio una altura de 1 m, con un ancho promedio 72,97 m. Y por último el Cordón litoral C, en promedio posee una altura de 1,94 m y un ancho promedio de 226,16 m.



Figura 38. Franja topográfica de la zona norte con datos obtenidos desde el SHOA. En color negro se destaca el promedio de los datos para los tres cordones litorales A, B y C.

En el perfil de la zona central se identifican tres cordones litorales (Figura 39), donde el Cordón litoral A se caracteriza por tener en promedio una altura de 0,21 m y un ancho promedio de 73,12 m. El Cordón litoral B tiene también en promedio una altura de 1,86 m, con un ancho de 101,87 m. Y, por último, el Cordón litoral C posee en promedio una altura de 4,38 m y un ancho promedio 323,97 m.



Figura 39. Franja topográfica de la zona centro con datos obtenidos desde el SHOA. En color negro se destaca el promedio de los datos para los dos cordones litorales.

En el perfil sur se identifican dos cordones litorales de gran tamaño y uno actual de menor proporción (Figura 40). El cordón litoral A tiene en promedio una altura de 1,31 m y un ancho de 200,52 m. Por otra parte, el cordón litoral B en promedio posee una altura de 1,23 m y un ancho de 152 m. Además del Cordón litoral C, en promedio tiene una altura de 1,32 m y un ancho de 222,18 m.



Figura 40. Franja topográfica de la zona sur con datos obtenidos desde el SHOA. En color negro se destaca el promedio de los datos para los dos cordones litorales.

4.2 Ambientes depositacionales recientes y granulometría

En el frente de la playa de Pangal se reconocen tres subambientes: el intermareal inferior, el intermareal superior, y el supramareal donde se identifica una berma y duna de trascosta (Figura 41). Los ambientes depositacionales aquí descritos, se caracterizan por los rasgos geomorfológicos, composición mineralógica del depósito, estructuras sedimentarias y parámetros granulométricos del sedimento.



Figura 41. Perfil de playa de Pangal indicándose los sub-ambientes que lo componen. a) Fotografía tomada desde el área sur hacia el área norte del frente de playa. b) Perfil topográfico realizado en el área central del frente de playa.

Por otra parte, se reconoce un ambiente de llanura de marea en la parte interior del norte y sur de la planicie de cordones litorales. Alejado de la acción del oleaje, la llanura de marea es principalmente un área protegida donde la acción de las mareas son el factor de modelación de formas predominante. Entre los cuatro ambientes y subambientes sedimentarios, existe una clara diferenciación de en el tamaño de granos, los cuales son indicativos de los niveles energéticos del medio de transporte. El tamaño de granos aumenta desde depósitos ubicados más hacia el océano y disminuye hacia el continente (Figura 42).



Figura 42. Granulometría de los sedimentos de los cuatro ambientes y subambientes en la planicie de Pangal.

4.2.1 Intermareal inferior

El subambiente intermareal inferior corresponde a la parte más hacia el océano de la playa, donde los depósitos de sedimentos están controlados principalmente por la energía del oleaje (Figura 43). Se observan ondulitas y laminación cruzada, además de una gran cantidad de humedad en el depósito. Esta zona tiene una pendiente de aproximadamente 1,6°, y se caracteriza por tener una extensión de 40 m horizontales desde océano a continente. Marcada por el nivel medio del mar y la marea baja.



Figura 43. Zona intermareal inferior donde se observa el nivel de la marea baja.

El sedimento depositado en este subambiente corresponde a arena media, bien seleccionada, con clastos de tamaño promedio a 0,28 mm. El grado de redondez es subredondeado a redondeado, con una alta esfericidad. Los minerales principales que se reconocen son mayoritariamente cuarzo, feldespatos, magnetita, fragmentos líticos y conchas calcáreas, en menor proporción epidota, anfíboles y piroxeno (Figura 44).



Figura 44. a) Muestra de sedimentos M016 de la zona intermareal inferior. b) Minerales de cuarzo. c) Minerales de magnetita. d) Minerales de feldespato. e) Fragmentos líticos. f) Fragmentos de conchas calcáreas.

4.2.2 Intermareal superior

En la zona intermareal superior se observan distintos restos de raíces y ramas de árboles junto a un depósito de arena fina, además de laminación cruzada y paralela (Figura 45). Al igual que el intermareal inferior, tiene una pendiente aproximada de 1,6°, y una extensión horizontal de 80 m desde océano a continente. Marcada por el nivel medio del mar y la marea alta.



Figura 45. Zona intermareal superior, se observan restos de raíces y ramas de árboles.

El sedimento depositado corresponde a arena fina, bien seleccionada, con clastos de tamaño promedio a 0,2 mm. El grado de redondez es subredondeado a redondeado. Se observan en mayor proporción clastos de cuarzo, feldespato, y fragmentos líticos, además de identificarse hematita/magnetita y anfíbol (Figura 46).



Figura 46. a) Muestra de sedimentos M019 de la zona intermareal superior. b) Minerales de cuarzo. c) Minerales de cuarzo, anfíbol y fragmentos líticos. d) Minerales de magnetita y hematita. e) Minerales de feldespato. f) Minerales de magnetita y hematita en gran proporción, además de cuarzo y feldespatos.

4.2.3 Dunas de trascosta

En la zona supramareal destaca una superficie más plana aproximadamente 0,6° correspondiente a la berma y en la parte más alta, se observan dunas de trascosta, donde la vegetación actúa como estabilizadora del sedimento traído por los vientos (Figura 47). Las dunas tienen alturas que van desde 4 a 7 m, y se extienden hasta más de 500 m hacia dentro de la planicie.



Figura 47. Zona de duna de trascosta, estabilizado por vegetación y donde el aporte de sedimento proviene del viento.

El sedimento depositado corresponde a arena fina, bien seleccionada, con clastos de tamaño promedio a 0,2 mm. El grado de redondez es de subredondeado a redondeado. Se reconocen mayoritariamente minerales de cuarzo, feldespato y magnetita, además de en menor cantidad anfíbol, epidota y fragmentos líticos (Figura 48).



Figura 48. a) Muestra de sedimentos M017 de la zona supramareal. b) Minerales de cuarzo. c) Minerales de magnetita. d) Minerales de feldespato.

4.2.4 Llanura de marea

La llanura de marea corresponde al área norte, sur e interiores de la planicie de cordones litorales, los cuales no tienen contacto directo con el océano. En esta zona las mareas son el principal factor de depositación y erosión (Figura 49). Caracterizados principalmente por canales de ríos de agua salobre.



Figura 49. Río del Rey durante un periodo de marea alta y otro de marea baja.

El sedimento depositado corresponde a arena fina, muy bien seleccionada, con clastos de tamaño promedio a 0,1 mm. El grado de redondez es de subderedondeado a subanguloso. Se reconocen mayoritariamente minerales de cuarzo, feldespato y fragmentos líticos, además de magnetita, micas y anfíboles (Figura 50).



Figura 50. a) Muestra de sedimentos M005 de la zona de llanura de marea. b) Minerales de anfíbol. c) Minerales de cuarzo. d) Minerales de feldespato. e) Minerales de magnetita.

2.5 Análisis bivariado de sedimentos

Las variables calculadas (media, selección, asimetría y agudeza) se distribuyen en valores cercanos, observándose una mayor dispersión en los valores de la media (Figura 51). Entre ellas existen correlaciones de Pearson significativas (Tabla 7). Algunas relaciones son negativas, indicando proporcionalidad inversa entre las variables, es decir, mientras una variable aumenta la otra lo hace disminuyendo. Por el contrario, las relaciones positivas, indican una proporcionalidad directa, al aumentar una variable la otra también lo hace. Estas variables correlacionadas tienen un valor p<0,05 lo cual es un valor significativo, lo que implica que tienen una tendencia lineal.



Figura 51. Distribución de los valores de asimetría (color azul), selección (color rojo), agudeza (color verde), y media (color negro) para todas las muestras de sedimentos.

Tabla 7. Correlaciones de Pearson entre las variables: media, selección, asimetría y agudeza. Valores de p<0.05 son correlaciones significativas.

	MEDIA	SELECCIÓN	ASIMETRÍA
SELECCIÓN	-0,670		
	0,000		
ASIMETRÍA	-0,625	0,644	
	0,000	0,000	
AGUDEZA	0,696	-0,667	-0,380
	0,000	0,000	0,015

Contenido de la celda Correlación de Pearson Valor p

Al comparar las variables y graficarlas se observan conjuntos bien definidos entre cada ambiente y sub-ambiente (Figuras 52, 53, 54, 55, 56 y 57). Es posible distinguir datos separados desde la zona intermareal inferior, intermareal protegido y llanura de marea. En cambio, se hace complejo discriminar con exactitud los datos entre la zona intermareal superior y supramareal, debido a que algunos datos se traslapan. La mejor diferenciación entre todos los datos se observa entre la media versus la selección, y en la media versus la asimetría.

Al aumentar el tamaño medio de los clastos, es decir, volverse cada vez más fino, las variables de selección y asimetría disminuyen, esto implica que el depósito es mejor seleccionado y sesgado hacia lo fino, mientras que la agudeza aumenta, haciéndose la curva leptocúrtica (más apuntada hacia el centro). Por otra parte, cuando el depósito es mejor seleccionado (valor disminuye), la asimetría también disminuye, sesgándose hacia los sedimentos más finos, por el contrario, la agudeza aumenta haciéndose la curva más leptocúrtica. Y, por último, cuando la asimetría disminuye (los clastos son cada vez más finos), la agudeza aumenta.



Figura 52. Distribución de los datos de media versus selección para los distintos ambientes y subambientes.



Figura 53. Distribución de los datos de media versus asimetría para los distintos ambientes y subambientes.


Figura 54. Distribución de los datos de media versus agudeza para los distintos ambientes y subambientes.



Figura 55. Distribución de los datos de selección versus asimetría para los distintos ambientes y subambientes.



Figura 56. Distribución de los datos de selección versus agudeza para los distintos ambientes y subambientes.



Figura 57. Distribución de los datos de agudeza versus asimetría para los distintos ambientes y subambientes.

4.3 Descripción litológica del Cordón litoral A

En los primeros años del comienzo de la progradación (a partir del año 1980), se construye el primer cordón litoral (cordón litoral A). Acá se preserva un suelo orgánico pobremente desarrollado que cubre una capa de arena y el suelo del año 1960, el proceso de progradación continúa hasta el presente con la construcción de cordones litorales y una extensa playa de baja pendiente afectada por la acción de las mareas y el oleaje (Figura 58).



Figura 58. Morfoestratigrafía del primer cordón litoral formado posterior al terremoto de 1960. a) Ubicación de la planicie de cordones litorales de Pangal. b) Línea de perfil topográfico. c) Topografía realizada con dGPS. d) Fotografía del frente de playa de Pangal. e) Estratigrafía del cordón litoral A. f) Marea determinada a partir del modelo 8 Atlas TPXO. g y h) Detalle de la estratigrafía en subsuelo a partir de fosas realizadas a pala.

El cordón litoral A, desde superficie a profundidad está compuesto por una fina capa de suelo actual de 12 cm de espesor, seguido de una capa de arena de 38 cm. Subyaciendo la última capa se identifica un suelo poco desarrollado de 5 cm de espesor, mientras que debajo de este se describe una capa de arena de 8 cm de espesor. Subyaciendo a la capa de tsunami se encuentra el suelo de 1960 con 3 cm de espesor, y más abajo un depósito de arena (Figura 59).



Figura 59. Fosa realizada con pala de mano se observa la estratigrafía bajo el cordón litoral A, y las muestras de sedimento obtenidas.

La capa de arena más superficial de color marrón grisáceo tiene una parte superior no oxidada (M011) y otra inferior oxidada (M012), en una descripción general la muestra M011 corresponde a arena fina bien seleccionada, con clastos de tamaño promedio a 0,21 mm, e interpretada como un ambiente supramareal (Figura 60 y 62). La muestra M012 corresponde a arena fina bien seleccionada, con clastos de tamaño promedio a 0,19 mm, e interpretado como un ambiente supramareal (Figura 61 y 63). La capa de arena intermedia entre los dos suelos orgánicos está compuesta de arena fina moderadamente bien seleccionada, con clastos de tamaño promedio a 0,17 mm, subredondeados a angulosos, e interpretado como un depósito de tsunami (Figura 64 y 66). Se observa la presencia de minerales de cuarzo, fragmentos líticos y en menor cantidad feldespatos, además se identifican micas, anfíbol y epidota. Por último, la capa

de arena bajo el suelo de 1960 corresponde a arena fina bien seleccionada, con clastos de tamaño promedio a 0,14 mm, e interpretado como un ambiente intermareal superior a supramareal (Figura 65 y 67).



Figura 60. Distribución granulométrica de los distintos ambientes con la muestra M011, similar a un depósito de la zona intermareal superior.



Figura 61. Distribución granulométrica de los distintos ambientes con la muestra M012, similar a un depósito de la zona supramareal.



Figura 62. Gráficos de relación de parámetros granulométricos para la interpretación del ambiente depositacional de la muestra M011. Ambiente intermareal inferior (circulo celeste), intermareal superior (rombo azul), supramareal (triángulo amarillo), llanura de marea (cuadrado naranjo), intermareal protegido (cruces rojas) y valores de la muestra (asterisco negro).



Figura 63. Gráficos de relación de parámetros granulométricos para la interpretación del ambiente depositacional de la muestra M012. Ambiente intermareal inferior (circulo celeste), intermareal superior (rombo azul), supramareal (triángulo amarillo), llanura de marea (cuadrado naranjo), intermareal protegido (cruces rojas) y valores de la muestra (asterisco negro).



Figura 64. Distribución granulométrica de los distintos ambientes con la muestra M013, no se asemeja a ningún depósito de los ambientes actuales.



Figura 65. Distribución granulométrica de los distintos ambientes con la muestra M014, no se asemeja a ningún depósito de los ambientes actuales.



Figura 66. Gráficos de relación de parámetros granulométricos para la interpretación del ambiente depositacional de la muestra M013. Ambiente intermareal inferior (circulo celeste), intermareal superior (rombo azul), supramareal (triángulo amarillo), llanura de marea (cuadrado naranjo), intermareal protegido (cruces rojas) y valores de la muestra (asterisco negro).



Figura 67. Gráficos de relación de parámetros granulométricos para la interpretación del ambiente depositacional de la muestra M014. Ambiente intermareal inferior (circulo celeste), intermareal superior (rombo azul), supramareal (triángulo amarillo), llanura de marea (cuadrado naranjo), intermareal protegido (cruces rojas) y valores de la muestra (asterisco negro).

4.4 Estructuras sedimentarias internas

En el radargrama del sitio Dadi se reconoce y correlaciona la estratigrafía, desde las distintas informaciones litológicas obtenidas en terreno (Figura 68). Existe una continuidad en los reflectores que se relaciona con la continuidad de las capas sedimentarias. El suelo orgánico tiene un reflector continuo que no se diferencia a simple vista del depósito de arena, solo la correlación con información estratigráfica permite delinear la capa a través de todo el radargrama.



Figura 68. Interpretación de radargrama P94 por medio de testigos de sedimento.

El reflector más profundo, a aproximadamente 3 m, es interpretado como el nivel freático, corroborado en terreno con la aparición de agua en las perforaciones con barreno. Las capas de arena tienen facies de reflectores paralelos y cruzados y cubren la mayor parte del radargrama.

A través de un perfil realizado desde la línea de costa del año 2017 hacia el interior de la planicie en dirección este, se reconocen los tres cordones litorales principales creados posterior a 1980. Las principales estructuras internas son escarpes erosivos, marcando antiguas playas (Figura 69). Los reflectores de estos escarpes son líneas intensas, representadas por minerales pesados (alta concentración de magnetita/hematita). Además, se observan discordancias entre capas manteando hacia el océano y otras hacia el continente, representando el borde de la laguna reconocida en terreno.



Figura 69. Interpretación de radargrama P69 realizado a lo largo de los cordones litorales construidos posterior a 1980. Se identifican escarpes erosivos representando antiguas playas.

Se distinguen evidencias de erosión dejadas por el retroceso de la línea de costa, con capas depositadas posteriormente en el avance de la costa hacia el océano (Figura 70). En el NE las capas mantean hacia el continente, separadas por una discordancia angular con las capas suprayacentes. Hacia el lado SW se reconocen capas horizontales y un reflector más intenso en profundidad posiblemente marcando el nivel freático. El avance en la construcción de los cordones litorales queda demostrado por el mateo de las capas hacia el océano.



Figura 70. Interpretación de radargrama P72, identificando capas paralelas y discordantes, superficie erosiva y nivel freático a 3 m de profundidad.

La superficie de erosión marcada por un reflector más intenso, debido a los minerales pesados, se encuentra sobreyacida por capas que mantean hacia el océano en la parte W y hacia el continente en la parte E (Figura 71). Forman pequeños montículos y están cubiertos por capas continuas de reflectores paralelos. La capa más superficial tiene una continuidad desde W a E, con reflectores paralelos y cruzados de tamaños similares.



Figura 71. Interpretación de radargrama P70, identificándose reflectores más intensos marcados por minerales pesados y capas discordantes formando montículos sobre la superficie de erosión.

Dos fuertes reflectores son identificados en el radargrama P73 hacia la parte E, con capas de espesores aproximados de 20 cm (Figura 72). Se observa una discordancia entre capas manteado hacia el océano y otras horizontales. A una profundidad de 3 m se interpreta un reflector de gran intensidad asociado al nivel freático en el área.



Figura 72. Interpretación de radargrama P73, se identifica una capa superficial continua y capas intermedias truncadas, con un fuerte reflector en profundidad marcando el nivel freático.

V DISCUSIÓN 5.1 Evolución temporal de la línea de costa

Si bien, no existe un registro en detalle de la morfología de playa previa al terremoto de 1960, contamos con una descripción optima de la evolución postevento. Una subsidencia de 1-2 m en la mayor parte de las zonas costeras a lo largo del área de ruptura (Atwater *et al.*, 1992) debe haber ocasionado la erosión y retroceso de varias líneas de costa (Figura 73). Además de la deformación y sus efectos en el continente, el tsunami asociado erosionó y destruyo varias zonas costeras (Plafker & Savage, 1970), dejando en su retiro un depósito de arena de gran extensión y reconocible en Maullín (Atwater *et al.*, 2013).



Figura 73. Modelo conceptual de la condición previa y efectos durante el terremoto en la planicie de cordones litorales de Pangal.

En la planicie costera de Pangal, el retroceso de la costa se prolongó hasta el año 1980, siendo un proceso relativamente lento de 20 años. Esto favoreció, el

desarrollo de un nuevo suelo orgánico después del depósito de arena dejado por el tsunami. Durante el retroceso de la línea de costa, se crearon superficies de erosión que borraron la topografía previa, y generaron un nuevo equilibrio de playa debido al previo hundimiento de toda la planicie. El máximo retroceso de la línea de costa hasta el año 1980, causo el corte y caída del suelo orgánico superficial en el frente de la playa, dejando una evidencia de erosión del último evento de tormenta ocurrido en la costa. Eventos de tormentas en las costas pueden causar erosión, incluyendo cambios en el transporte de sedimentos, y formación de barras de arena cercanas, afectando pequeñas áreas y profundidades someras (Monecke *et al.*, 2015).

Desde 1980 la planicie comenzó a progradar con una tendencia lineal, posiblemente asociado a una tendencia general de progradación evidenciado por la construcción hacia el océano de la planicie durante el holoceno (Figura 74). El suelo previamente erosionado, fue sepultado por un depósito de arena de la zona intermareal superior y supralitoral, construyéndose la primera topografía de gran altura, denominado como cordón litoral A. Esta construcción de nueva topografía, continúo originando un conjunto de nuevos cordones litorales, específicamente tres nuevos cordones litorales (dunas activas con una base de berma de playa). El espaciamiento un poco variable y el desarrollo casi continuo entre ellos, desde el año 1980 hasta el año 2016, son el resultado de un proceso de acreción costera predominante en toda la planicie de Pangal durante el Holoceno. La progradación dominante en el frente de la planicie se ha desarrollado durante los últimos años, y puede deberse a un bajo gradiente del perfil de playa con un aporte de sedimento abundante favorables para la progradación de planicies de cordones litorales (Taylor & Stone, 1996). Proceso que ha construido la planicie de cordones litorales de aproximadamente 34 km², con evidencias de suelos enterrados con edades máximas de 2.120 - 3.000 años de antigüedad.



Figura 74. Modelo conceptual de la progradación en la planicie de Pangal durante los últimos años.

Un modelo conceptual para este proceso, a partir de las evidencias recientes, son la subsidencia de la planicie producto de eventos sísmicos de gran magnitud. Eventos cíclicos que causan cambios relativos del nivel del mar, cambiando la profundidad base del fondo marino. El oleaje no afecta el fondo debido a la mayor profundidad, causándose la erosión de la costa. La subsecuente recuperación de la profundidad debido a un mayor aporte de sedimentos y/o acomodación de espacio permite que el oleaje afecte nuevamente el fondo y aporte sedimentos hacia la playa. La acreción de playas puede estar atribuida a procesos costeros regulares, cuando en condiciones de baja a moderada energía se produce el retrabajo de barras de arenas, transportando sedimento hacia el continente y causando acreción de la playa (Monecke *et al.*, 2015).

5.2 Eventos catastróficos y construcción de cordones litorales

Los cordones litorales son originados por procesos con una gran capacidad para transportar sedimentos y depositarlos en breves periodos de tiempo. Eventos como las tormentas y tsunamis tienen potencial para erosionar las costas, y destruir cualquier relieve costero previo, dejando evidencias como escarpes de erosión y minerales pesados depositados en capas distintivas (Meyers *et al.*, 1996; Kelsey *et al.*, 2015). En periodos de calma y con una alta carga de sedimentos debido a la previa erosión, estos pueden redistribuirse y construir morfologías, recuperándose la posición de la línea de costa (Taylor & Stone, 1996; Monecke *et al.*, 2017).

5.2.1 Cambios relativos del nivel del mar

Los cambios relativos del nivel del mar producen un cambio de nivel base para la construcción de nuevas morfologías costeras. La profundidad del suelo marino y del canal del río Maullín, cercano a la planicie de Pangal debe haber variado con la subsidencia producida por el terremoto de 1960. En las cartas náuticas previa con datos de los años 1931-1937-1944 y 1954 (Figura 75), y posterior modificadas en 1987 (Figura 76) la profundidad se observa similar (profundidad referenciada a la reducción de sonda). Es decir, ya en el año 1984 se encontraba recuperada (en las mismas condiciones previas) la profundidad del fondo marino y del río. Lo que se interpreta como una recuperación producto de la sedimentación y/o cambios en la hidrodinámica, produciéndose un relleno del fondo marino por sedimentos aportados por el cauce del río Maullín, corrientes y deriva litoral.



Figura 75. Extracto de la carta náutica del SHOA, con datos actualizados al año 1954.



Figura 76. Extracto de la carta náutica del SHOA, con datos actualizados al año 1987.

Lo que resalta en ambas cartas náuticas, son la presencia del denominado Banco del Pangal, un banco de arena frente a la planicie de cordones litorales. También, la poca profundidad de toda el área, alcanzando máximos de 9 m en la parte más externa de la bahía. Este banco puede ser el principal aporte de sedimentos hacia la playa de Pangal durante periodos de calma y sin tormentas. Uno de los mecanismos propuestos para el origen de los cordones litorales requiere su crecimiento de una barra de arena sumergida (Tanner, 1995).

Por otra parte, en los últimos años no ha existido un cambio en unidad de metros del nivel del mar a nivel mundial. Se hace necesario, estimar los cambios relativos que podrían existir en la planicie de Pangal producto de variables climáticas como de la componente tectónica.

5.2.2 Erosión y depositación por tsunami

Hacia el interior de la planicie se ha identificado una capa de arena interpretada como la capa de tsunami dejada en 1960. Los efectos minutos más tarde del terremoto fueron la apertura de canales (*breaches*) a través de los cordones litorales (Atwater *et al.*, 2013), surcos por donde ingresaron las olas hacia el interior de la planicie (Figura 77). Estas olas provocaron la erosión del suelo, y posterior depositación de un material con granulometría variable, es decir, desde sedimentos finos a gruesos, mal seleccionados y con clastos angulosos. La subsidencia de la costa, la hace también más vulnerable a los efectos del oleaje y la erosión (Kelsey *et al.*, 2015).



Figura 77. Modelo conceptual en 3D de los efectos del terremoto y tsunami en la planicie de Pangal.

5.3 Factores de formación y modificación de cordones litorales

En la dinámica costera de la planicie de Pangal, existen fuentes de ingreso y salida de sedimentos que están en equilibrio para un estado estacionario del sistema (Figura 78). Cuando las entradas superan a las salidas, existe suficiente sedimento para que la planicie de cordones litorales de Pangal comience a progradar y construir nuevas morfologías en dirección hacia el océano. Mientras que cuando las salidas superan a las entradas, la falta de sedimento frente a procesos erosivos como tormentas, hacen retroceder la costa destruyendo las morfologías existentes (Dabrio, 2010).



Figura 78. Modelo conceptual de la dinámica de la planicie costera de Pangal en la parte Norte, junto a la desembocadura del río Maullín.

Los cordones litorales son generados por la acción de las mareas y vientos, es decir, son bermas y dunas construidas por los depósitos dejados por la fuerza del oleaje y viento (Otvos, 2000). Cuando la planicie comienza a progradar, la línea de costa avanza hacia el océano, desplazando todo el ambiente de playa hacia el oeste y dejando la duna y berma anterior inactiva y más hacia el continente. También la vegetación cumple un rol fundamental en la preservación de las morfologías, siendo una trampa para los sedimentos, la cual no permite la migración hacia otros sectores.

La energía del medio de transporte tiene gran influencia en los parámetros granulométricos del sedimento depositado (Tanner, 1995). A medida que se ingresa en el continente desde el océano, la energía disminuye, por tanto, los sedimentos son más finos y mejor seleccionados. Lo que también se refleja, en mayor cantidad y sesgo de la curva granulométrica hacia lo más fino, y una curva más centrada en sedimentos de menor tamaño.

En la construcción del cordón litoral A, a través del análisis bivariado y la distribución granulométrica es posible interpretar que, desde techo a base, la arena de la muestra M011 correspondería a un ambiente supramareal, dominado por el viento, al igual que la arena subyacente y más oxidada de la muestra M012. Además, la muestra M013 depositada entre ambos suelos orgánicos, tiene parámetros granulométricos distintos a los ambientes actuales descritos, distribuyéndose en todos los tamaños, y teniendo características de todos los ambientes. La interpretación para esta muestra correspondería a un depósito de tsunami, flujo que tiene la energía y capacidad necesaria para tener características de todos los ambientes. Por último, bajo el suelo orgánico de 1960, se interpreta un ambiente intermareal superior a supramareal.

VI CONCLUSIONES

Los cordones litorales en la planicie costera de Pangal preservan suelos enterrados, capas de tsunami y superficies erosivas asociadas a un proceso de subsidencia cosísmica, al menos para el caso del terremoto de 1960, sin embargo, es probable que esto se haya repetido en el pasado. Estos resultados, prometen ser una nueva aproximación de indicadores paleosísmicos en planicies de cordones litorales asociados a zonas de subducción. Se identificaron aproximadamente 26 cordones litorales a lo largo de la planicie discontinuos desde norte a sur, con alturas máximas en promedio de 7 m.s.n.m, y bajos promedio de 3 a 4 m.s.n.m. desde continente a océano, evidenciando .

La evolución espacio-temporal de las morfologías en la planicie, con un retroceso de la línea de costa hacia el continente desde 1944 hasta 1980 con un total promedio de 330,83 m, y posterior avance hasta el año 2016 con total promedio de 301,68 m, se ve reflejada en la estratigrafía. Durante el retroceso, se produce la erosión de las morfologías con una tasa promedio de 9,19 m/año, generándose discordancias erosivas y suelos cortados justo en el máximo retroceso de la línea de costa. Mientras que, en el proceso de avance, se produce la progradación y construcción de nuevos cordones litorales a una tasa de 8,29 m/año, con superficies erosivas en subsuperficie posiblemente asociados a eventos de tormentas.

Los ambientes depositacionales recientes, poseen parámetros granulométricos característicos y particulares, que permiten establecer diferencias entre cada uno de ellos. A medida que los ambientes cambian desde más oceánicos a más continentales, el tamaño de clastos se hace más fino, el depósito es mejor seleccionado y la curva granulométrica sesgada hacia lo más fino, mientras que la agudeza aumenta (la curva se vuelve leptocúrtica). El depósito de tsunami se diferencia de todos los otros ambientes, conteniendo una granulometría variable desde clastos gruesos a finos. Siendo la selección versus la asimetría, las

variables más determinantes con valores iguales a 0,52 a 0,54 y -0,01 a 0,01, respectivamente para el depósito de tsunami.

La construcción de cordones litorales deja marcadores de superficies erosivas reconocibles a través de GPR, con una concentración de minerales pesados producto de eventos de alta energía. Asociado a estas superficies erosivas, la tasa de cambio de la línea de costa aumenta su valor, permitiendo el abandono y preservación de los cordones litorales junto al crecimiento de vegetación.

La subsidencia de 1,5 m en la planicie perturba el equilibrio sedimentario de la dinámica costera, produciendo el retroceso de la costa relacionado al abrupto cambio relativo del nivel del mar. Probablemente, la posterior recuperación de la fuente sedimentaria, es decir, el banco del Pangal, genera la recuperación y progradación predominante de la planicie de cordones litorales.

VII REFERENCIAS

- Alcántara-Carrió, J., Cabrera, L., Alonso, I., Alejo, I., Rey, S., & Gago, L. (2001). Parámetros granulométricos: comparación entre el método gráfico y el método de los momentos.
- Angermann, D., Klotz, J., & Reigber, C. (1999). Space-geodetic estimation of the Nazca-South America Euler vector. *Earth and Planetary Science Letters*, 171(3), 329–334. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00173-9
- Antinao, J. L., Duhart, P., Clayton, J., Elgueta, S., & McDonough, M. (2000). Área de Ancud-Maullín, Región de Los Lagos. Escala 1: 100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile. *Mapas Geológicos*, (17).
- Araujo, R. S., Silva, G. V. da, Freitas, D., & Klein, A. H. F. (2009). Georreferenciamento de fotografias aéreas e análise da variação da linha de costa. Métodos En Teledetección Aplicada a La Prevención de Riesgos Naturales En El Litoral, 123–138.
- Atwater, B. F., Cisternas, M., Yulianto, E., Prendergast, A. L., Jankaew, K., Eipert, A. A., ... Sawai, Y. (2013). The 1960 tsunami on beach-ridge plains near maullín, chile: Landward descent, renewed breaches, aggraded fans, multiple predecessors . *Andean Geology*, 40(3), 393–418. https://doi.org/10.5027/andgeoV40n3-a01
- Atwater, B. F., Núñez, H. J., & Vita-Finzi, C. (1992). Net Late Holocene emergence despite earthquake-induced submergence, south-central Chile. *Quaternary International*, 15–16(C), 77–85. https://doi.org/10.1016/1040-6182(92)90037-3
- Ayala, E. V. (1982). Estratigrafía de la boca occidental del canal de Chacao, X Región, Chile. In *Proceedings III Congreso Geológico Chileno* (pp. A343– A376).
- Cisternas, M. (2005). Suelos enterrados revelan la prehistoria sísmica del centrosur de Chile durante los últimos dos milenios. *Revista de Geografia Norte Grande*.
- Cisternas, M., Atwater, B. F., Torrejón, F., Sawai, Y., Machuca, G., Lagos, M., ... Husni, M. (2005). Predecessors of the giant 1960 Chile earthquake. *Nature*, *437*(7057), 404–407. https://doi.org/10.1038/nature03943
- Cisternas, M., Contreras, I., & Araneda, A. (2000). Reconocimiento y caracterización de la facies sedimentaria depositada por el tsunami de 1960 en el estuario Maullín, Chile. *Revista Geólogica de Chile*, *27*, 3–11. Retrieved from http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-02082000000100001&nrm=iso
- Cisternas, M., Garrett, E., Wesson, R., Dura, T., & Ely, L. L. (2017). Unusual geologic evidence of coeval seismic shaking and tsunamis shows variability

in earthquake size and recurrence in the area of the giant 1960 Chile earthquake. *Marine Geology*, 385, 101–113. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2016.12.007

- Cisternas, M., Mizobe, C., Wesson, R. L., Ely, L. L., Muñoz, A., Dura, T., ... Melnick, D. (2017). Beach ridges, buried erosional scarps and overhanging soils evidence recurring past co-seismic subsidence midway along the area of the giant 1960 Chile earthquake. https://doi.org/10.1130/abs/2017AM-302380
- Dabrio, C. J. (2010). Capítulo XI: Playas. In A. Arche (Ed.), Sedimentología: Del proceso físico a la cuenca sedimentaria (pp. 441–502).
- DeMets, C., Gordon, R. G., & Argus, D. F. (2010). Geologically current plate motions. *Geophysical Journal International*, 181(1), 1–80. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04491.x
- Diagnóstico, D. G. A. (2004). Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. *Cuenca Río Maullín*.
- Dougherty, A. J. (2018). Prograded coastal barriers provide paleoenvironmental records of storms and sea level during late Quaternary highstands. *Journal of Quaternary Science*. https://doi.org/10.1002/jqs.3029
- Elorza, M. G. (2008). *Geomorfología*. Pearson Educación. Retrieved from https://books.google.cl/books?id=NHohQwAACAAJ
- Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957). B razos river bar: A study in the significance of grain size parameters, (1).
- Garrett, E., Shennan, I., Woodroffe, S. A., Cisternas, M., Hocking, E. P., & Gulliver, P. (2015). Reconstructing paleoseismic deformation, 2: 1000 years of great earthquakes at Chucalén, south central Chile. *Quaternary Science Reviews*, 113, 112–122. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.10.010
- Heirtzler, J. R., Dickson, G. O., Herron, E. M., Pitman, W. C., & Le Pichon, X. (1968). Marine magnetic anomalies, geomagnetic field reversals, and motions of the ocean floor and continents. *Journal of Geophysical Research*, *73*(6), 2119–2136. https://doi.org/10.1029/JB073i006p02119
- Kanamori, H. (1977). The energy release in great earthquakes. *Journal of Geophysical Research*. https://doi.org/10.1029/JB082i020p02981
- Kelsey, H. M., Witter, R. C., Engelhart, S. E., Briggs, R., Nelson, A., Haeussler, P., & Corbett, D. R. (2015). Beach ridges as paleoseismic indicators of abrupt coastal subsidence during subduction zone earthquakes, and implications for Alaska-Aleutian subduction zone paleoseismology, southeast coast of the Kenai Peninsula, Alaska. *Quaternary Science Reviews*, *113*, 147–158. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.01.006
- Kempf, P., Moernaut, J., Van Daele, M., Vandoorne, W., Pino, M., Urrutia, R., & De Batist, M. (2017). Coastal lake sediments reveal 5500 years of tsunami

history in south central Chile. *Quaternary Science Reviews*, *161*, 99–116. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.02.018

- Lomnitz, C. (1970). Major earthquakes and tsunamis in Chile during the period 1535 to 1955. *Geologische Rundschau*, *59*(3), 938–960. https://doi.org/10.1007/BF02042278
- Lomnitz, C. (2004). Major Earthquakes of Chile: A Historical Survey, 1535-1960. Seismological Research Letters, 75(3), 368–378. https://doi.org/10.1785/gssrl.75.3.368
- McCalpin, J. P., & Nelson, A. R. (2009). Chapter 1 Introduction to Paleoseismology. In *Paleoseismology* (Vol. 95, pp. 1–27). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0074-6142(09)95001-X
- Mercer, J. H. (1976). Glacial history of southernmost South America. *Quaternary Research*. https://doi.org/10.1016/0033-5894(76)90047-8
- Meyers, R. A., Smith, D. G., Jol, H. M., & Peterson, C. D. (1996). Evidence for eight great earthquake-subsidence events detected with ground-penetrating radar, Willapa barrier, Washington. *Geology*, 24(2), 99–102. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1996)024<0099:EFEGES>2.3.CO;2
- Moernaut, J., Van Daele, M., Heirman, K., Fontijn, K., Strasser, M., Pino, M., ... De Batist, M. (2014). Lacustrine turbidites as a tool for quantitative earthquake reconstruction: New evidence for a variable rupture mode in south central Chile. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119(3), 1607–1633. https://doi.org/10.1002/2013JB010738
- Monecke, K., Meilianda, E., Walstra, D.-J., Hill, E. M., McAdoo, B. G., Qiu, Q., ... Templeton, C. K. (2017). Postseismic coastal development in Aceh, Indonesia - Field observations and numerical modeling. *Marine Geology*. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2017.07.012
- Monecke, K., Templeton, C. K., Finger, W., Houston, B., Luthi, S., McAdoo, B. G., ... Sudrajat, S. U. (2015). Beach ridge patterns in West Aceh, Indonesia, and their response to large earthquakes along the northern Sunda trench. *Quaternary* https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.10.014
- Nentwig, V., Tsukamoto, S., Frechen, M., & Bahlburg, H. (2015). Reconstructing the tsunami record in Tirúa, Central Chile beyond the historical record with quartz-based SAR-OSL. *Quaternary Geochronology*, 30, 299–305. https://doi.org/10.1016/j.quageo.2015.05.020
- Otvos, E. G. (2000). Beach ridges definitions and significance. *Geomorphology*, 32(1–2), 83–108. https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00075-6
- Pérez-Peña, J. V., Al-Awabdeh, M., Azañón, J. M., Galve, J. P., Booth-Rea, G., & Notti, D. (2017). SwathProfiler and NProfiler: Two new ArcGIS Add-ins for the automatic extraction of swath and normalized river profiles. *Computers*

and Geosciences, 104, https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.08.008

- Pitman, C., Herron, E. M., & Heirtzler, J. R. (1968). Magnetic anomalies in the Pacific and sea floor spreading. *Journal of Geophysical Research*, 73(6), 2069–2085. https://doi.org/10.1029/JB073i006p02069
- Plafker, G., & Savage, J. C. (1970). Mechanism of the Chilean earthquakes of May 21 and 22, 1960. Bulletin of the Geological Society of America, 81(4), 1001–1030. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1970)81[1001:MOTCEO]2.0.CO;2
- Porter, S. C. (1981). Pleistocene glaciation in the southern Lake District of Chile. *Quaternary Research*. https://doi.org/10.1016/0033-5894(81)90013-2
- Reid, H. F. (1910). *The Mechanics of the Earthquake*. Carnegie Institution. Retrieved from https://books.google.cl/books?id=mRAPtAEACAAJ
- Simms, A. R., DeWitt, R., Zurbuchen, J., & Vaughan, P. (2017). Coastal erosion and recovery from a Cascadia subduction zone earthquake and tsunami. *Marine Geology*, 392, 30–40. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2017.08.009
- St-Onge, G., Chapron, E., Mulsow, S., Salas, M., Viel, M., Debret, M., ... Locat, J. (2012). Comparison of earthquake-triggered turbidites from the Saguenay (Eastern Canada) and Reloncavi (Chilean margin) Fjords: Implications for paleoseismicity and sedimentology. *Sedimentary Geology*. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2011.11.003
- Tamura, T. (2012). Beach ridges and prograded beach deposits as palaeoenvironment records. *Earth-Science Reviews*. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.06.004
- Tanner, W. F. (1995). Origin of beach ridges and swales. *Marine Geology*. https://doi.org/10.1016/0025-3227(95)00109-3
- Taylor, M., & Stone, G. W. (1996). of Coastal Beach-Ridges : A Review Florida Summer 1996.
- Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., & Ergul, A. (2009). The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change. Open-File Report. Reston. Retrieved from http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20081278

135–150.

VIII ANEXOS

ANEXO 1 Guía de Protocolo Instalación GPS

INSTALACIÓN ESTACIÓN BASE

- Una vez encendida la antena de la estación base, revisar la conexión en la tableta (controlador)
 - a. Configuración
 - b. Conectar
 - c. Bluetooth
 - d. Coincidir Receptor base (cód. base Termina 37)
 - e. Aceptar
 - f. Configurar la altura de la base
- 2. Configuración de la base
 - a. Configuración
 - b. Estilos de levantamiento
 - c. Levantamiento estático
 - d. Opciones de base
 - e. Tipo de levantamiento: faststatic
 - f. Receptor
 - g. 10°
 - h. Altura al centro del tope protector
 - i. Aceptar y almacenar
 - j. Salir a la pantalla principal
- 3. Abrir un nuevo trabajo
 - a. Topografía general
 - b. Trabajo
 - c. Trabajo nuevo
 - d. Colocar un nombre al trabajo
 - e. Huso correspondiente
 - f. Aceptar
- 4. Para iniciar registro de la base
 - a. Topografía
 - b. Instrumento
 - c. Funciones GNSS
 - Seleccionar Modo Base (se debe colocar amarilla esta opción)
 - e. Iniciar levantamiento
 - f. Estático
 - g. Colocar nombre (ejm. Base)
 - h. Ingresar la altura y unidades de medida
 - i. Iniciar
 - j. Anotar la hora de inicio (hh:mm:ss) en una libreta de campo
- 5. Para finalizar este registro (al término del trabajo del día)
 - a. Menú principal

- b. Topografía general
- c. Instrumento
- d. Funciones GNSS
- e. Seleccionar Modo de base
- f. Finalizar levantamiento
- 6. Para traspasar los datos desde la estación a la tableta (controlador)
 - a. Menú principal
 - b. Topografía general
 - c. Instrumento
 - d. Funciones GNSS
 - e. Importar
 - f. Seleccionar archivos
 - g. Iniciar
 - h. Verificar que los datos se traspasaron al controlador
 - i. Eliminar los datos de la estación

INSTALACIÓN ESTACIÓN MÓVIL

- 1. Revisar la conexión de la antena a la tableta
 - a. General
 - b. Configuración
 - c. Conectar
 - d. Bluetooth
 - e. Coincidir Receptor móvil (cód. móvil Termina 85)
- 2. Configuración del receptor
 - a. Configuración
 - b. Estilo de levantamiento
 - c. Cinemático
 - d. Opción del móvil
 - e. Cinemático PP
 - f. Receptor
 - g. 10°
 - h. Ingresar la altura de la antena
 - y unidades de medida
 - i. Aceptar
 - j. Almacenar
- 3. Para iniciar registro
 - a. Topografía General
 - b. Instrumento
 - c. Funciones GNSS
 - d. Modo móvil
 - e. Revisar conexión (todos los íconos activados)
 - f. Iniciar levantamiento y esperar sin mover el rover (cinemático)

- g. Revisar el estado de la inicialización en "Estado del Receptor"
- h. Una vez inicializado, caminar para realizar el registro del perfil
- Anotar la hora de inicio (hh:mm:ss) en una libreta de campo
- 4. Para finalizar este registro
 - a. Menú principal
 - b. Topografía general
 - c. Instrumento
 - d. Funciones GNSS
 - e. Seleccionar Modo de movil
 - f. Finalizar levantamiento
- 5. Para traspasar los datos desde la estación a la tableta (controlador)
 - a. Menú principal
 - b. Topografía general
 - c. Instrumento
 - d. Funciones GNSS
 - e. Importar
 - f. Seleccionar archivos
 - g. Iniciar

a.

- h. Verificar que los datos se traspasaron al controlador
- i. Eliminar los datos de la estación
- 6. Para registrar un Punto de control
 - Primero revisar la
 - configuración
 - i. Configuración
 - ii. Estilos de
 - levantamiento
 - iii. Cinemático
 - iv. Cinemático PP
 - b. Topografía general
 - c. Trabajo
 - d. Abrir trabajo
 - e. Instrumento
 - f. Funciones GNSS
 - g. Modo móvil
 - h. Iniciar levantamiento
 - i. Medir
 - j. Cinematico
 - k. Medir puntos
 - I. Colocar un nombre al punto

- m. Medir (esperar 8 minutos)
- n. Para medir otro punto, volver a Medir y esperar 8 minutos
- Finalizar levantamiento (al término del trabajo)

<u>CREAR/TRASLADAR UNA NUEVA</u> <u>ESTACIÓN BASE</u>

- p. Configurar ambas estaciones como base
- q. Primero configurar la base original
- r. Configuración base (original)
 - i. Configuración
 - ii. Conectar
 - iii. Bluetooth
 - iv. Coincidir receptor base (cod. Termina 37)
 - v. En receptor móvil colocar Ninguno
 - vi. Aceptar
 - vii. Configuración de base*
 - viii. Seguir el mismo protocolo de instalación base.
- s. Configuración móvil como base (rover)
 - i. Configuración
 - ii. Conectar
 - iii. Bluetooth
 - iv. Coincidir receptor base (cód. Termina 85)
 - v. En receptor móvil colocar Ninguno
 - vi. Aceptar
 - vii. Configuración de base*
 - viii. Seguir el mismo protocolo de instalación base.

ANEXO 2 Guía protocolo procesamiento de datos en Trimble Business Center v.2

- 1. Transferir los datos de las antenas (base y rover) a la tableta, vía bluetoth
- 2. Transferir los datos desde la tableta al PC, vía cable USB
- 3. Abrir el programa Trimble Business Center
- 4. Iniciar nuevo proyecto (metric)
- 5. Aceptar
- 6. Hacer clic derecho sobre "sin nombre"
- 7. Configuración de proyecto
 - a. Sistema de Coordenadas
 - i. Cambiar
 - ii. UTM
 - iii. Elegir el Huso 18 o 19
 - iv. WGS84
 - v. Modelo del geoide: EGM96 (Global)
 - vi. Finalizar
 - b. Cálculos
 - i. Vector GNSS
 - ii. Cambiar el horizontal a 0,020
 - iii. Cambiar el vertical a 0,050
 - c. Procesamiento de línea base
 - i. General
 - 1. Vectores continuos: SI cuando es un estático y NO cuando es un perfil continuo
 - ii. Calidad (esta configuración es muy restrictiva, para hacer menos restrictiva hay que aumentar los valores.

		Indicador	Fallida		
	Horizontal	0,020 + 2,0	0,050 + 2,0		
res	Vertical	0,050 + 2,0	0,100 + 2,0		

- 1. Ingresar estos valo iii. Satélite
 - 1. Verificar que esté en 10 grados
- d. Errores estándares por defecto
 - i. GNSS
 - 1. Horizontal = 0,02 + 2,0
 - 2. Vertical = 0,05 + 2,0
- 8. Para guardar esta configuración hacer lo siguiente
 - a. en la misma ventana de "Configuración de proyecto"
 - b. Procesamiento de línea base
 - i. Nuevo
 - ii. Colocar nombre

- iii. Guardar
- iv. Cargar
- c. Aceptar

9. Importar los archivos

- a. Clic en Inicio (arriba en la barra de menú)
- b. Importar y se abrirá una ventana al lado derecho
- c. Seleccionar la carpeta de importación
- d. Aceptar
 - i. Deberán aparecer en esta ventana los archivos que contiene la carpeta seleccionada
- e. Seleccionar los archivos a procesar
 - i. Al menos uno de la base y uno del rover
- f. Importar
- g. Aceptar
- h. En el mapa, hacer clic derecho sobre base, esta deberá colocarse de color morado
- i. Clic en Añadir coordenadas
- j. Tipo de coordenadas = cuadrícula
- k. En elevación
 - i. Colocar el valor real
 - ii. A un lado en los íconos 2, en ambos casos seleccionar calidad de control
- I. Aceptar

10. Hacer un doble check

- a. Clic derecho en la base
- b. Propiedades
- c. Verificar la elevación que corresponda al valor real
- d. Cerrar

11. Para procesar los datos

- a. Menú
- b. Levantamiento
- c. Procesar línea de base
- d. Siguiente hasta finalizar esta operación
- e. Esperar que se procesen los datos
- f. Deberán aparecer los perfiles en la pantalla unidos a la base
 - i. Estos valores ya están corregidos respecto a la elevación real

12. Para exportar los datos en excel

- a. Seleccionar todos los puntos, hacer un barrido con el cursor sobre el mapa hasta marcar todos los puntos, incluida la base.
- b. Menú
- c. Informes

- d. Lista de puntos
- e. Se abrirá una pestaña con la lista de puntos
- f. Esperar a que se carguen todos los puntos
- g. Para guardar en excel, hacer clic en el símbolo 🛅 como un diskette, que está junto al % del zoom
- h. Seleccionar excel
- i. Seleccionar la carpeta a guardar

13. Para exportar los datos a un kmz

- a. Seleccionar todos los puntos, hacer un barrido con el cursor sobre el mapa hasta marcar todos los puntos, incluida la base.
- b. Menú
- c. Levantamiento
- d. Exportar
- e. Se abrirá una ventana al lado derecho
- f. Hacer clic en SIG
- g. Seleccionar exportar kmz
- h. Colocar nombre al archivo
- i. Seleccionar la carpeta a guardar
- j. Exportar
- k. Deberá aparecer un archivo .kmz en la carpeta seleccionada

ANEXO 3 RMS en la georreferenciación y rectificación de fotografías aéreas e imágenes satelitales

Link 🗆 🗆 🗸									
🔗 日	+0, +8	*	Total	RMS Error:	Forward:28.5068	3			
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual	
	1	5341.298597	-4655.541639	610414.121761	5393711.616110	29.1147	24.2741	37.9065	
\checkmark	2	4616.338814	-4338.041004	612170.958608	5395600.744888	-30.8409	17.9491	35.6837	
\checkmark	3	7179.696707	-5113.052753	608642.071342	5389939.311690	3.326	18.8495	19.1407	
\checkmark	4	8890.788087	-4726.563666	610700.427959	5386251.986316	12.8901	20.4396	24.1647	
\checkmark	5	8108.269199	-4648.928099	610918.360394	5387760.749333	-37.0096	-31.2283	48.4243	
\checkmark	6	5648.593236	-3827.687861	616521.865601	5393372.128556	-2.42052	-16.7438	16.9179	
\checkmark	7	4875.173813	-4416.969920	611695.855949	5394864.381540	-11.1161	-27.8069	29.9464	
\checkmark	8	6699.529320	-4295.471316	612779.988326	5390662.128344	-33.8705	18.4879	38.5877	
\checkmark	9	5049.291395	-3151.603647	625050.726409	5396450.561796	3.26642	3.68944	4.92763	
\checkmark	10	7869.922883	-3943.155742	615906.708121	5387243.043381	42.8716	-22.4456	48.392	
\square	11	7524.033966	-3386.210266	621850.584592	5387356.814442	-11.9694	-0.0228233	11.9694	
\checkmark	12	4643.201015	-5055.338039	608413.693135	5394693.063489	-15.9677	-4.14796	16.4976	
\square	13	6124.757034	-4022.341988	614808.685092	5392004.891446	5.44822	-1.75895	5.72512	
\checkmark	14	9079.418030	-4569.923908	611601.928678	5385572.857749	2.1956	-15.9364	16.0869	
\checkmark	15	7881.756962	-4190.115093	613824.433123	5387668.361940	-15.1343	8.51029	17.3629	
\checkmark	16	7141.931400	-4134.331841	614079.095091	5389465.547826	-11.4464	39.6436	41.263	
\checkmark	17	6159.058100	-4128.745420	613963.339651	5391912.948554	23.8942	-10.9482	26.283	
\checkmark	18	4123.855774	-4623.142946	610415.931515	5396248.816601	24.609	0.639093	24.6173	
\checkmark	19	7563.475686	-4553.367186	611405.263493	5388858.830571	30.1614	-13.2216	32.932	
\checkmark	20	8758.920986	-4309.307547	613188.316632	5385810.681600	-10.6042	15.5925	18.8567	
\square	21	6683.041393	-4940.543325	609271.886768	5390873.663142	2.60219	-23.8146	23.9564	
Auto	Auto Adjust		Transform	ation: 3r	d Order Polynomial		~		
Degrees Minutes Seconds		Forward Re	esidual Unit : Unkno	own					

RMS en la fotografía aérea del año 1944, basado en 21 puntos de control.

RMS en la fotografía aérea del año 1961, basado en 20 puntos de control.

Link									
🖆 🖥	+ª, +×,		Total	RMS Error:	Forward:0.92888	7			
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual	
	1	7363.343993	-5608.095699	616607.195752	5391921.720878	0.382881	0.16688	0.417668	
	2	3827.607811	-8195.497115	612670.717046	5389132.742384	0.283394	-0.889623	0.933671	
	3	4893.107607	-7922.094551	613857.640253	5389420.080458	-1.20053	-0.0282117	1.20086	
	4	8585.490843	-9284.414202	617844.522185	5387897.003454	-0.258704	-0.526952	0.587032	
	5	7117.037783	-8939.059827	616280.831557	5388287.793819	0.328952	1.93925	1.96695	
	6	4472.368164	-10428.293365	613347.196246	5386682.596598	-0.0224848	0.512522	0.513015	
	7	6592.371674	-5651.883987	615765.991049	5391891.066456	0.336444	-1.78572	1.81714	
	8	6113.268524	-9608.537933	615174.513824	5387566.241479	0.287641	-1.39628	1.4256	
	9	6962.956932	-2198.284454	616246.012834	5395711.672292	-0.100653	0.194196	0.218731	
\checkmark	10	1184.513863	-8182.127975	609719.903698	5389208.804203	-0.0714467	0.0607316	0.0937708	
	11	6267.050591	-525.437458	615527.122604	5397598.670289	0.0643404	-0.0454202	0.0787571	
	12	1222.049278	-2425.818871	609784.065285	5395676.627278	-0.0276669	-0.0539276	0.0606106	
	13	5048.632343	-5748.298910	614059.370086	5391822.857487	-0.303636	1.04225	1.08557	
	14	3991.616806	-7032.225458	612868.213537	5390418.975513	0.864057	0.148892	0.876792	
	15	7821.717144	-6964.152592	617077.098275	5390422.712707	0.432642	0.284677	0.5179	
	16	6184.950195	-7564.470570	615288.531830	5389795.072962	-0.541667	-0.0893763	0.548991	
	17	5912.163837	-6054.966225	615011.788134	5391462.122173	0.0292228	-0.763592	0.764151	
	18	4982.988956	-6574.927994	613976.372261	5390907.314618	-0.0313147	0.890235	0.890786	
	19	7564.879929	-5598.830074	616824.336421	5391926.504058	-0.869498	0.233597	0.90033	
	20	7180.254616	-6127.149208	616399.246616	5391354.944349	0.418028	0.105882	0.431229	
Auto Adjust Transformation: 3rd		d Order Polynomial		\sim					
Degrees Minutes Seconds For		Forward Re	esidual Unit : Unkno	own					
RMS en la fotografía aérea del año 1979, basado en 20 puntos de control.

Link									
<u>e</u> 1	- +a + +a +	.	Total	RMS Error:	Forward:0.807282	2			
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual	
\checkmark	1	8311.448311	-8242.373413	612476.932245	5391208.929020	0.078923	-0.480789	0.487224	
\checkmark	2	4446.641454	-10718.957054	609893.112078	5389439.392147	0.028809	-0.0286919	0.0406594	
\checkmark	3	9391.784913	-10813.075417	613270.736750	5389485.112239	-1.1612	0.606764	1.31017	
\checkmark	4	9498.435888	-7972.676544	613277.588369	5391428.695683	0.0803047	0.390362	0.398537	
\checkmark	5	8638.560325	-11275.550960	612771.753082	5389145.118668	1.32405	-1.49863	1.99975	
\checkmark	6	7804.831027	-11131.835190	612197.076933	5389223.435491	-1.13481	0.97598	1.49677	
\checkmark	7	5992.332998	-2592.478688	610738.007175	5395030.786689	-0.058651	-0.0881546	0.105883	
\checkmark	8	4390.065228	-3597.813965	609662.050439	5394300.006061	-0.00326613	0.123874	0.123917	
\checkmark	9	2635.288457	-1392.213962	608417.977118	5395721.879738	-0.0302677	-0.0227236	0.0378483	
\checkmark	10	7891.322472	-10139.380041	612236.663089	5389900.346845	0.938669	0.0435054	0.939677	
\checkmark	11	9791.658018	-7450.556023	613462.579342	5391795.031885	-0.229966	-0.639172	0.679283	
\checkmark	12	9887.662462	-5390.090418	613479.195209	5393209.920548	0.0328742	-0.217867	0.220333	
\checkmark	13	8051.683177	-8421.719993	612302.656918	5391079.182606	-1.1055	-0.659459	1.28725	
\checkmark	14	8818.614822	-9469.515594	612853.301988	5390383.394144	0.531666	0.834334	0.989334	
\checkmark	15	9017.924049	-5756.709381	612896.884562	5392934.901441	-0.0933447	0.484384	0.493296	
\checkmark	16	8676.776184	-7107.701439	612697.676536	5391998.106134	0.0669822	0.171157	0.183797	
\checkmark	17	9651.428566	-8517.743149	613394.671370	5391059.849825	0.503923	-0.133164	0.521221	
\checkmark	18	5629.736206	-3789.880951	610517.190746	5394204.167211	0.214392	-0.0025679	0.214407	
\checkmark	19	10044.262466	-6077.710098	613600.450957	5392744.592488	0.012879	0.167154	0.16765	
\checkmark	20	4594.593552	-10776.365067	609994.663979	5389403.212695	0.0035434	-0.0263012	0.0265388	
Auto Adjust Transformation: 3rd Order Polynomial						\sim			
De	grees Minute	s Seconds	Forward Re	esidual Unit : Unkno	wn				

RMS en la fotografía aérea del año 1980, basado en 22 puntos de control.

Link	nk 🗆 🗆 🗸									
6	+a, +a,		Total	RMS Error:	Forward:0.84444	1				
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual		
\checkmark	1	8680.837868	-2462.114081	616644.158802	5392015.040484	-0.519297	0.593392	0.788533		
\checkmark	2	8937.713661	-2655.327716	616818.784151	5391867.534981	0.958817	0.193731	0.978193		
\checkmark	3	9110.798601	-3170.992579	616915.798234	5391495.177292	0.592975	-0.684959	0.905973		
\checkmark	4	9611.383893	-4826.234097	617191.626911	5390304.946786	0.0813855	0.433863	0.441431		
\checkmark	5	8050.889680	-7486.090271	615954.242600	5388501.675471	-1.58977	-0.000866348	1.58977		
\checkmark	6	8122.137257	-9861.697872	615889.110872	5386830.343309	0.56871	-0.0161623	0.56894		
\checkmark	7	4954.738684	-10216.027656	613642.198566	5386744.574040	-0.464569	-0.0790996	0.471255		
\checkmark	8	2502.273535	-10201.748538	611931.575700	5386872.632630	0.0687909	0.154024	0.168687		
\checkmark	9	4356.539583	-7977.269230	613336.780594	5388339.220980	0.445763	0.205517	0.490858		
\checkmark	10	4722.303395	-4042.984991	613774.975568	5391078.590000	-1.29106	0.800615	1.51915		
\checkmark	11	5056.569687	-2812.536103	614070.251158	5391924.464608	0.548827	-0.629831	0.835403		
\checkmark	12	3693.948044	-2800.592336	613119.336757	5391991.933493	0.280659	0.100076	0.297968		
\checkmark	13	3305.856087	-7141.783068	612643.614972	5388973.031622	0.453943	0.348663	0.57239		
\checkmark	14	6139.043755	-6325.904964	614664.058926	5389410.785623	1.67271	0.552734	1.76167		
\checkmark	15	8643.665909	-2594.610431	616610.672370	5391922.359944	-0.75623	-0.142254	0.769493		
\checkmark	16	4028.718750	-6461.150494	613177.854565	5389414.782031	-1.08263	-0.899694	1.40767		
\checkmark	17	6976.238678	-5720.355450	615280.053547	5389795.156043	0.339453	-0.391573	0.518226		
\checkmark	18	9454.459099	-4653.372169	617087.933931	5390433.324316	0.134746	-0.23395	0.26998		
\checkmark	19	9087.765862	-2983.548734	616907.730334	5391629.089096	-0.463419	-0.161645	0.490802		
\checkmark	20	8938.757278	-2571.846192	616822.841651	5391926.337446	0.00239567	0.0894418	0.0894739		
\checkmark	21	2679.487045	-8909.538280	612121.458039	5387765.662689	-0.013024	-0.244955	0.245301		
\checkmark	22	3817.169830	-6102.834232	613048.110112	5389676.245767	0.0308311	0.0129312	0.0334331		
🗹 A.	uto Adjust		Transform	ation: 3rd	d Order Polynomial		\sim			
De	egrees Minute	es Seconds	Forward Re	esidual Unit : Unkno	wn					

RMS en la fotografía aérea de 1994, dividida en dos segmentos con 21 puntos de control cada uno.

Link	ink 🗆 🗆 🗠									
1	- + [±] + [±]	.	Total	RMS Error:	Forward:0.9901	31				
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual		
\checkmark	1	9151.016337	-8577.405961	612493.998462	5391239.144953	0.449616	0.268117	0.523489		
\checkmark	2	1259.955478	-10250.839898	608990.461637	5390513.523710	-0.00537944	0.00209023	0.00577126		
\checkmark	3	4674.276951	-2135.197685	610544.561099	5394088.580860	0.098578	-1.0402	1.04486		
\checkmark	4	10126.250770	-4492.332274	612933.753378	5393037.058445	-0.655301	-0.461902	0.801731		
\checkmark	5	9270.833555	-6134.972207	612553.678659	5392320.697637	-1.05325	-0.317396	1.10003		
\checkmark	6	9046.286680	-7994.077706	612448.744699	5391497.841825	-0.467385	-0.516491	0.696571		
\checkmark	7	8757.729884	-9338.076621	612317.279593	5390903.851053	1.05759	0.878209	1.37468		
\checkmark	8	8529.178941	-10377.960318	612209.990837	5390443.607424	-1.04755	1.35985	1.71655		
\checkmark	9	7843.556078	-11041.468284	611903.602724	5390147.273498	-0.0352326	-0.244828	0.24735		
\checkmark	10	9405.069879	-10494.506481	612601.222175	5390387.251062	0.43783	-1.23263	1.30808		
\checkmark	11	8427.942349	-9324.210821	612169.553603	5390908.216687	-0.222613	-1.70788	1.72233		
\checkmark	12	2829.870450	-1528.283247	609738.601172	5394373.339242	-0.00440761	-0.147735	0.147801		
\checkmark	13	9790.607836	-7538.882800	612780.257255	5391694.692218	-0.129534	-0.103739	0.165954		
\checkmark	14	9259.563382	-6686.848211	612548.481791	5392076.486732	0.378894	-0.303064	0.485189		
\checkmark	15	9755.243385	-5128.907642	612771.922863	5392762.155812	1.4076	0.979399	1.71481		
\checkmark	16	4483.083332	-3374.462969	610458.084069	5393555.828024	0.148596	0.0211576	0.150095		
\checkmark	17	8042.082549	-10336.069802	611994.985580	5390460.726000	0.584902	-0.0414868	0.586371		
\checkmark	18	9215.278994	-9478.912886	612518.368289	5390840.073113	-0.707428	1.35371	1.52741		
\checkmark	19	4471.842163	-2262.021820	610455.305938	5394038.032113	-0.411633	1.08153	1.15721		
\checkmark	20	4056.844269	-1521.883484	610274.883998	5394357.662648	0.160348	0.130636	0.206826		
\checkmark	21	9357.198669	-4526.707703	612596.156496	5393029.528829	0.0157585	0.0426676	0.0454847		
A	Auto Adjust Transformation: 3rd Order Polynomial 🗸									

Degrees Minutes Seconds

Forward Residual Unit : Unknown

Link									□ ×
1	+ª, +×		Total	RMS Error:	Forward:0.70906	8			
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual	
	1	1553.207974	-8464.509235	609124.084538	5389482.339593	-0.192062	0.0794958	0.207864	
	2	2150.220748	-9255.643839	609379.804841	5389137.322237	1.72385	-0.295494	1.749	
	3	2248.078516	-9359.967121	609417.904917	5389090.755477	-1.66158	-0.0492304	1.66231	
\checkmark	4	3590.381666	-8707.100939	610009.514434	5389365.922694	0.222316	0.408138	0.464759	
	5	4311.381636	-10466.553649	610302.673353	5388560.529416	0.128776	0.0692064	0.146195	
	6	6211.809767	-7965.910925	611161.380279	5389661.793598	-0.266806	-0.825886	0.867913	
	7	9169.495010	-4352.017265	612494.618362	5391241.359257	-0.402517	0.255115	0.476554	
	8	8999.122393	-2011.049670	612433.102614	5392280.909253	0.114218	-0.0662644	0.132048	
	9	9468.562254	-2095.366191	612639.478027	5392245.190432	-0.03463	-0.0298734	0.0457347	
	10	9433.090013	-6273.694849	612601.047221	5390387.414841	0.338972	0.166798	0.377787	
	11	9654.276599	-6775.840874	612697.620331	5390163.841477	0.181901	-0.359579	0.402971	
	12	9338.126183	-7385.733168	612552.363790	5389893.965937	-0.503448	-0.875532	1.00996	
	13	9056.717882	-10298.235607	612418.616648	5388600.944601	0.236441	-0.691108	0.730435	
	14	8057.970398	-6671.067200	611987.146514	5390219.756867	0.252625	0.0761392	0.26385	
	15	4639.212524	-10582.641113	610443.995687	5388501.256159	-0.170832	-0.171536	0.242091	
	16	9482.759644	-9478.278992	612613.368225	5388969.910660	-0.330828	0.734447	0.805518	
	17	3675.017883	-10131.226746	610029.913494	5388725.076772	0.0575726	0.235372	0.242311	
	18	9089.449524	-6456.834045	612446.645100	5390307.991652	0.27695	0.353129	0.448778	
	19	8534.077209	-9281.599213	612182.817766	5389053.693898	0.144009	0.652376	0.668081	
	20	7161.524475	-7723.477905	611581.745669	5389760.109473	-0.110122	0.317775	0.336315	
	21	9798.526978	-3329.343651	612779.004510	5391694.266322	-0.00480953	0.0165125	0.0171987	
Auto	Adjust		Transform	ation: 3r	d Order Polynomial		~		
Degre	Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown								

RMS para la imagen satelital del año 2005, dividida en dos segmentos con 20 puntos de control cada uno.

Lin	ink									
1	#+ ⊕+ ₩		Total	RMS Error:	Forward:0.87476	8				
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual		
	1	1767.400000	-2459.642677	612958.105632	5391239.086756	-0.0775655	0.181618	0.197488		
\square	2	1817.704202	-2606.736786	613006.392187	5391096.872930	0.415029	0.836424	0.933731		
	3	1101.262675	-2634.511511	612301.276193	5391079.674978	-0.166408	-0.116904	0.203367		
\checkmark	4	1857.490413	-1776.488094	613048.857897	5391902.442596	0.130928	-1.15382	1.16123		
\square	5	2940.633397	-2410.116470	614112.485024	5391268.367370	0.386235	0.851045	0.934588		
\checkmark	6	2281.812300	-1937.681201	613469.943114	5391738.268310	0.29184	1.07493	1.11385		
\square	7	2025.424031	-2235.752876	613212.767600	5391449.871899	-0.750798	-1.24057	1.45007		
\checkmark	8	2248.893188	-2519.528132	613430.652410	5391172.720303	0.209082	0.154369	0.259894		
\square	9	1351.243392	-1598.041662	612543.723206	5392089.150609	-0.278178	-0.269618	0.387397		
\square	10	1255.023760	-1962.987048	612450.325102	5391730.639475	0.523075	0.932426	1.06912		
\checkmark	11	1750.256274	-2119.472032	612941.392751	5391569.772486	-0.335031	0.720657	0.794728		
\square	12	1627.392635	-2150.999415	612819.750320	5391539.543780	-0.512526	-0.894519	1.03094		
\checkmark	13	2755.049893	-2081.890287	613936.558804	5391589.285546	-0.395607	0.864485	0.950704		
\square	14	2540.113405	-2106.089574	613724.362546	5391567.060502	0.814784	-1.11533	1.38125		
\square	15	2672.417045	-2566.832696	613843.954452	5391118.855439	-0.571047	-1.04664	1.19229		
\square	16	2142.063838	-1576.995057	613336.879480	5392097.286562	0.296879	0.582991	0.654229		
\checkmark	17	2501.732075	-1771.576382	613691.421856	5391896.864286	-0.445429	-0.0143179	0.445659		
\square	18	3178.106822	-1805.859485	614367.301332	5391853.472533	-0.0289723	-0.391042	0.392114		
\checkmark	19	1206.583984	-2475.031128	612405.968930	5391232.065328	0.0202648	-0.474423	0.474855		
\square	20	1697.776855	-2316.925781	612890.580732	5391378.676538	0.473445	0.518235	0.701938		

 \sim

Auto Adjust
Degrees Minutes Seconds

3rd Order Polynomial Forward Residual Unit : Unknown

Transformation:

Link	nk 🗆 🗆 🗠										
1		-+ *	Total	RMS Error:	Forward:0.96765	1					
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual			
\square	1	2017.952669	-300.570734	612404.535367	5391232.721321	0.175124	0.990652	1.00601			
\checkmark	2	2877.563590	-252.173936	613295.234892	5391267.888926	-0.465466	-0.386763	0.605181			
\checkmark	3	2856.311192	-1435.401907	613239.980962	5390043.394811	-0.616131	-0.284536	0.678659			
\checkmark	4	847.738700	-2339.071601	611230.731110	5389189.384248	-0.482516	1.12777	1.22666			
\checkmark	5	812.410665	-2479.098583	611198.187295	5389054.975646	-0.569382	0.128464	0.583694			
\checkmark	6	569.701255	-2419.472350	610958.738899	5389114.507015	0.782326	-0.435952	0.895593			
\checkmark	7	990.489237	-2079.099917	611367.983988	5389437.299328	-0.668509	-0.628193	0.91735			
\checkmark	8	1191.289078	-1435.600587	611561.130208	5390073.623517	0.845222	-0.299764	0.896805			
\checkmark	9	1945.814801	-1273.786588	612324.719235	5390225.957676	-1.06511	1.03229	1.48327			
\checkmark	10	1750.029662	-548.180329	612125.434670	5390975.576675	0.11623	-0.991942	0.998729			
\checkmark	11	1256.248069	-1250.955421	611622.196164	5390260.671078	-1.25317	0.800011	1.48676			
\checkmark	12	1265.462607	-2076.368121	611643.362873	5389435.434011	0.756108	-0.455861	0.882898			
\checkmark	13	1674.923831	-2403.451102	612048.705350	5389110.525028	-0.00177917	-0.747965	0.747967			
\checkmark	14	3019.951625	-750.055609	613426.195084	5390744.264233	0.806592	0.457734	0.927421			
\checkmark	15	1656.101809	-1598.536030	612033.161048	5389902.887550	1.13856	0.800206	1.39164			
\checkmark	16	1890.274746	-1043.057995	612269.963605	5390460.894916	-0.545733	-1.35644	1.46211			
\checkmark	17	1791.587828	-951.416423	612170.480073	5390558.261778	0.822423	-0.076635	0.825986			
\checkmark	18	2314.701897	-1327.198194	612698.060294	5390162.973487	0.0984891	-0.00583301	0.0986616			
\checkmark	19	2759.887055	-2261.006452	613126.818444	5389232.432043	0.0856415	-0.113766	0.142398			
\checkmark	20	2165.709569	-2565.415624	612532.298505	5388949.856478	0.0410811	0.446519	0.448404			
✓ A	uto Adjust		Transform	ation: 3r	d Order Polynomial		\sim				
D	egrees Minut	es Seconds	Forward Re	esidual Unit : Unkno	own						

RMS para la imagen satelital del año 2011, dividida en dos segmentos con 24 puntos de control cada uno.

Link									□ ×
1	++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	-+ f	Total	RMS Error:	Forward:0.85179	99			
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual	
\square	1	2103.369909	-307.577272	613311.694289	5393405.153187	-0.174035	0.15688	0.234306	
\checkmark	2	1408.837270	-575.468433	612598.640780	5393129.985970	0.35035	-0.591538	0.687504	
\checkmark	3	3607.885351	-1286.386733	614819.528617	5392366.740901	0.0540391	-1.18302	1.18426	
	4	3337.692130	-1327.229025	614544.890568	5392332.609583	0.903101	1.21104	1.5107	
\checkmark	5	2323.788798	-1016.386057	613525.448946	5392665.456082	-0.460985	0.22777	0.514185	
	6	2377.547536	-1856.383396	613569.899035	5391818.787722	0.980658	-0.816763	1.27624	
\checkmark	7	2765.399920	-1953.715328	613953.281051	5391716.393767	0.355295	-0.685996	0.772545	
	8	1159.165127	-1380.202323	612345.140335	5392312.501210	-1.5979	0.341232	1.63393	
\square	9	1578.929023	-933.639151	612771.120354	5392760.706273	-0.0514558	0.52945	0.531945	
	10	937.629886	-2447.371034	612137.177419	5391261.838692	-0.0346493	-0.048159	0.0593284	
	11	1133.054915	-1764.536745	612325.296545	5391929.383777	1.11608	0.0340743	1.1166	
	12	1520.464484	-1160.861967	612712.647320	5392529.459977	0.834435	0.0028202	0.834439	
	13	3610.592054	-1665.087125	614806.299424	5391989.444314	-0.521479	0.322333	0.613057	
	14	3305.557740	-2599.915392	614466.970620	5391081.233747	0.243091	-0.734685	0.773858	
	15	3623.904456	-1911.009548	614809.871306	5391746.926745	-0.0815453	0.529524	0.535766	
	16	3096.003960	-2119.044729	614276.867115	5391550.473227	0.171947	0.623517	0.646791	
	17	2879.686616	-1630.778580	614073.137541	5392034.273639	-1.14426	-0.811474	1.40279	
	18	2575.471069	-2457.732539	613754.611644	5391228.748070	-0.340333	1.06789	1.12081	
\sim	19	1626.117462	-2153.062042	612819.572274	5391539.369524	-0.728209	-0.151267	0.743754	
	20	2986.869751	-2546.866974	614156.144903	5391136.135022	-0.0659937	-0.0699378	0.0961585	
\square	21	2051.010742	-2248.117172	613241.089198	5391440.192550	-0.0895237	0.431805	0.440987	
\checkmark	22	1302.610992	-2459.827087	612500.816447	5391244.596835	0.165986	-0.161055	0.231279	
\checkmark	23	1870.271240	-1707.730652	613063.985546	5391975.177311	0.115478	-0.283872	0.306462	
	24	2048.110352	-1241.173889	613244.906800	5392440.893287	-9.90821e-005	0.0594245	0.0594246	
	uto Adjust		Transform	ation: 3r	rd Order Polynomial		~		
Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown									

Link	c								□ ×
6	*** #*	*	Total	RMS Error:	Forward:0.8843	36			
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual	
	1	845.479767	-2344.557553	611231.221153	5389188.587189	-0.309166	1.09907	1.14173	
\square	2	718.350760	-2469.048094	611110.57091	5389069.524451	1.27431	0.540143	1.38406	
	3	567.272656	-2424.052636	610958.170606	5 5389113.974540	-1.17363	-1.11056	1.61578	
\sim	4	789.553163	-1804.998990	611166.398106	5 5389716.564287	0.988898	0.253104	1.02078	
\square	5	1231.835610	-1251.909317	611601.688170	5390260.995193	-1.00191	-0.748243	1.25048	
	6	1745.583740	-273.081832	612123.00106	5391269.274684	0.166248	0.0288438	0.168731	
\square	7	4364.195619	-1197.220794	614773.205320	5390266.766429	0.0749279	-0.32384	0.332395	
	8	4634.364210	-750.924750	615076.153842	2 5390719.998585	-0.209651	0.443289	0.490366	
\square	9	4150.051667	-334.646005	614608.475407	5391163.943848	0.309283	-0.456396	0.55132	
	10	2618.179478	-1033.690502	613012.637840	5390461.198085	0.832436	-0.904553	1.2293	
\square	11	1944. 169789	-1276.768638	612323.264587	5390226.776783	-0.286634	1.08705	1.12421	
	12	1678.178069	-2377.624848	612054.711966	5 5389140.924611	-0.573269	-0.607092	0.834984	
\square	13	2400.335406	-2363.181153	612771.469650	5389143.041282	1.44149	-0.609675	1.56512	
\square	14	2668.481022	-2308.972460	613034.995177	5389192.253880	-1.02773	0.238628	1.05507	
	15	3476.477705	-2325.122577	613833.773858	5389163.943407	-0.173805	0.776824	0.79603	
	16	4176.553858	-1989.861932	614538.88985	5389479.327371	0.173198	-0.533729	0.561128	
	17	3731.654097	-1191.310708	614136.193213	5390284.108798	0.0962358	0.518638	0.527491	
\square	18	2868.413559	-1422.758919	613255.234784	4 5390063.975025	-0.248882	-0.0837325	0.26259	
	19	1790.964325	-558.112488	612171.165050	5390967.053953	0.714762	-0.100372	0.721775	
\square	20	1919.306629	-450.016083	612302.642456	5 5391079.031359	-0.0336339	0.118719	0.123392	
	21	3566.792694	-512.648987	613998.943556	5 5390986.801814	-0.594559	0.313032	0.67193	
\square	22	2018.949951	-303.651184	612405.265778	5391232.664556	-0.547497	0.13608	0.564155	
\sim	23	3714.994385	-363.570892	614158.670370	5391141.264655	0.112784	-0.0288348	0.116412	
	24	3476.384583	-1942.557129	613847.11433	5 5389537.638814	-0.00419294	-0.0464	0.0465891	
	uto Adjust		Transform	ation:	Brd Order Polynomial		~		
D	Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown								

RMS para la imagen satelital del año 2012, dividida en dos segmentos con 21 puntos de control cada uno.

Link	ink 🗆 🗆										
1	H + A + X	# [#]	Total	RMS Error:	Forward:0.92866	5					
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual			
\square	1	3417.477243	-1915.573488	614601.865197	5391743.613349	0.383422	-0.291867	0.48187			
\checkmark	2	4716.857500	-1718.792781	615907.470803	5391917.577239	-0.039213	-0.0925319	0.100498			
	3	4449.396913	-1990.866045	615623.307734	5391653.357179	-0.898773	0.920775	1.28671			
\checkmark	4	4384.527652	-1961.728061	615562.188862	5391681.535360	0.931566	-0.864154	1.27066			
\square	5	2991.010464	-2544.112871	614158.042304	5391140.725945	-0.0199848	-1.07491	1.0751			
\square	6	3141.320427	-2338.869939	614313.220739	5391335.988836	0.28456	0.413243	0.501741			
\square	7	3057.646048	-2323.275249	614230.670574	5391352.657619	-0.417532	0.962647	1.0493			
\checkmark	8	1768.232288	-2468.295269	612957.889903	5391230.419875	-0.0968127	0.45577	0.465939			
\checkmark	9	1190.335315	-1997.364977	612382.420002	5391697.145808	0.733632	-0.318701	0.799867			
\checkmark	10	1299.582448	-2465.569839	612494.735852	5391239.944894	0.276358	-0.0409426	0.279375			
	11	924.772878	-2443.240599	612121.408022	5391268.387659	-0.347301	-0.0223782	0.348021			
\square	12	1186.442572	-1480.072814	612373.159567	5392211.099961	-0.910426	-0.0925606	0.915119			
\square	13	1438.661191	-1285.468194	612629.673622	5392403.452429	0.797151	0.848409	1.16415			
\checkmark	14	1437.862729	-564.925605	612627.821535	5393139.127859	-0.790434	0.610329	0.998643			
\square	15	1433.876627	-640.918067	612624.646529	5393059.752700	0.286086	-0.508554	0.5835			
\checkmark	16	1735.371344	-662.270074	612932.622145	5393035.146401	1.03484	-0.506721	1.15224			
\square	17	2105.293695	-306.539452	613310.447900	5393404.240889	-0.161641	-0.124523	0.204043			
\checkmark	18	2401.748291	-930.804932	613605.723491	5392754.687507	0.408885	1.63628	1.6866			
\square	19	2309.202026	-1081.154175	613509.150381	5392597.921568	-0.924174	-1.34581	1.63258			
\checkmark	20	2141.480103	-1579.061279	613335.530450	5392095.900147	-0.431169	-0.648731	0.778947			
	21	2310.460693	-1610.459595	613504.864122	5392062.827164	-0.0990371	0.0849335	0.130469			
	uto Adjust		Transform	ation: 2-	d Orden Delvereniel						

Forward Residual Unit : Unknown

Degrees Minutes Seconds

Link									□ ×
🖻 🖥	+ [±] + [±]	-# [#]	Total	RMS Error:	Forward:0.885693	3			
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual	
	1	2104.720225	-292.574187	612494.880737	5391241.002581	0.483779	0.793983	0.929759	
\checkmark	2	3571.970035	-511.517333	613999.039995	5390985.546862	-0.492404	-0.427654	0.652188	
	3	2870.552025	-1421.725349	613255.823926	5390062.546057	-0.287627	-0.565531	0.634471	
\checkmark	4	2494.026150	-2100.546489	612864.239809	5389398.175979	0.317788	1.37794	1.41411	
	5	2163.276710	-2567.374422	612532, 187062	5388949.706332	-0.162293	-0.671502	0.690836	
	6	1449.139471	-2268.561660	611825.880441	5389248.421513	-0.30886	-0.917388	0.967985	
	7	809.602132	-2481.305214	611197.493767	5389054.216957	-1.02136	0.449941	1.11607	
	8	766.780071	-2329.444498	611152.249927	5389200.267250	1.20852	-0.605989	1.35194	
	9	878.266653	-2314.266193	611261.258478	5389214.554778	0.169232	0.723301	0.742835	
	10	718.848912	-2467.992573	611108.858173	5389068.504486	0.376296	0.528908	0.649109	
\square	11	569.293451	-2421.317425	610958.574539	5389114.762565	-0.339764	-0.482712	0.590297	
\checkmark	12	1254.504425	-1252.253895	611618.711276	5390259.087770	-0.44151	0.0282583	0.442413	
\checkmark	13	4365.702547	-1197.327647	614772.524459	5390266.390285	0.543135	0.669059	0.861763	
\checkmark	14	4066.425246	-1861.979158	614436.899829	5389604.533753	0.487914	-1.19709	1.29271	
\checkmark	15	3972.861103	-1914.154780	614340.326720	5389556.908657	-0.340706	1.02409	1.07928	
\checkmark	16	4175.507584	-1987.795303	614537.441697	5389479.517877	-0.805564	-0.55404	0.977698	
\checkmark	17	3591.320826	-2567.192623	613935.116534	5388928.389692	0.595645	0.69348	0.914171	
\checkmark	18	3483.920226	-2593.481734	613827.960070	5388903.915685	-0.200908	-0.362732	0.414654	
\checkmark	19	2567.267761	-1141.288544	612956.438078	5390351.331448	0.413201	-0.0132068	0.413412	
\checkmark	20	1733.809875	-213.825928	612109.108258	5391329.497988	-0.194512	-0.491112	0.52823	
🗹 Aut	Auto Adjust Transformation:				d Order Polynomial		~		
Deg	rees Minute	s Seconds	Forward R	esidual Unit : Unkn	own				

RMS para la imagen satelital del año 2014, dividida en dos segmentos, el primero con 27 y el segundo con 25 puntos de control.

Link	Link 🗆 🗆 🗸										
1	+a, +*	ŧ	Total	RMS Error:	Forward:0.90913	3					
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual			
	1	1433.298661	-645.182769	612622.482711	5393061.510268	-0.681734	0.435542	0.808986			
\checkmark	2	3128.752052	-1280.184039	614334.869469	5392383.117245	0.482539	-1.56311	1.63589			
	3	3611.205927	-1666.670068	614806.291766	5391989.681041	-0.493937	0.409906	0.64187			
\checkmark	4	4280.913276	-2352.079322	615436.673843	5391308.509887	0.546821	-0.00346071	0.546832			
\square	5	4562.148165	-2004.622898	615734.992148	5391640.562635	-0.697707	-0.272538	0.749047			
\checkmark	6	4577.092981	-1614.639901	615777.325566	5392026.193614	0.902417	-0.132304	0.912064			
\square	7	4543.997738	-1663.456434	615739.622365	5391978.568519	-0.543058	0.458329	0.710617			
\checkmark	8	913.205111	-2382.800243	612109.531772	5391329.345866	-0.326748	-1.03368	1.08409			
\square	9	922.957161	-2446.320026	612120.512002	5391269.616060	0.359588	0.863319	0.935213			
\checkmark	10	1037.659765	-1844. 185278	612228.462218	5391855.404731	-0.134446	0.751667	0.763596			
\checkmark	11	1156.742442	-1382.185775	612344.879118	5392312.341062	0.272743	-0.266275	0.38117			
\checkmark	12	1579.484078	-933.037611	612770.065385	5392760.016957	-0.500638	-1.53721	1.61668			
\checkmark	13	2104.923484	-309.088615	613310.345632	5393405.072414	-1.33635	-0.262589	1.3619			
\checkmark	14	2002.895197	-261.757465	613208.216261	5393456.930851	0.329193	0.245983	0.410945			
\checkmark	15	1479.693944	-584. 196822	612671.243312	5393123.489038	0.659913	-0.397327	0.770294			
\checkmark	16	1408.832319	-580.530376	612598.482750	5393129.442175	-0.0615639	0.712205	0.714861			
\checkmark	17	2310.191402	-1620.361965	613504.023347	5392055.605702	0.862008	0.588113	1.04352			
\checkmark	18	2406.049564	-1746.706019	613596.958429	5391928.142426	-0.673604	0.119999	0.684209			
\checkmark	19	2180.827872	-1879.537299	613370.474642	5391800.613005	-0.353027	0.238988	0.426314			
\checkmark	20	2023.470873	-2240.817939	613211.900714	5391448.848759	0.887893	-0.908136	1.27007			
\square	21	2292.414429	-2630.903927	613471.854359	5391070.626128	-0.416348	0.225984	0.473724			
\checkmark	22	2307.249685	-2562.019965	613487.729391	5391136.110634	-0.211473	0.0869206	0.22864			
\square	23	2402.524478	-931.060829	613605.707335	5392753.247202	-0.0224734	1.65096	1.65111			
\checkmark	24	1892.977234	-363.386869	613095.093248	5393349.888128	1.14327	-0.343879	1.19386			
\checkmark	25	2987.366211	-2546.865789	614157.561595	5391140.984389	0.123961	0.0224222	0.125973			
\sim	26	1300.498962	-2468.593114	612494.235780	5391240.860908	0.094737	-0.0810324	0.124665			
	27	1336.043152	-2052.236450	612527.461343	5391644.794032	-0.211975	-0.00879806	0.212157			
Auto	Adjust		Transform	ation: 3rd	d Order Polynomial		~				
Degr	Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown										

Link	k								□ ×
6	₩+ ⊕+ ₩		Total	RMS Error:	Forward:0.78593	1			
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual	
	1	2105.266889	-294.965668	612495.098712	5391240.663803	-0.175336	0.261404	0.314761	
	2	3571.833191	-513.445792	613999.698943	5390985.803397	-0.561362	-0.29149	0.632529	
	3	2870.485468	-1422.674929	613255.424538	5390063.794782	-0.185513	-0.00890831	0.185727	
	4	845.857277	-2345.428047	611231.754866	5389188.948241	0.251427	1.15465	1.1817	
	5	719.606839	-2471.779779	611110.046289	5389068.298000	0.592929	-0.693509	0.912425	
\square	6	831.831129	-2143.930479	611212.969412	5389383.020504	-0.685817	-0.0966482	0.692594	
\checkmark	7	1434.966996	-1416.950076	611808.018518	5390092.502131	0.543793	0.360213	0.652276	
\square	8	765.350701	-1763.134859	611139.282806	5389757.803545	-0.18757	-0.574244	0.604102	
	9	2463.156906	-1313.621206	612847.171638	5390179.285638	0.596572	-0.646034	0.879351	
\square	10	2116.212039	-1193.195859	612496.862604	5390307.344228	0.103312	-0.152613	0.184293	
	11	4364.979331	-1199.931208	614772.812990	5390266.730605	0.519431	0.419957	0.667961	
\square	12	3973.088182	-1916.972829	614341.144418	5389556.058350	-0.139746	0.28086	0.313706	
\square	13	4321.145871	-1774.323738	614695.025334	5389690.996120	-0.031455	-0.289103	0.290809	
	14	4133.395771	-2055.756460	614492.618679	5389416.490363	-0.546561	-0.712157	0.897717	
\square	15	3591.657193	-2569.888526	613935.934233	5388928.950499	0.82764	0.765161	1.12715	
	16	3694.032938	-2670.017738	614030.655255	5388831.054470	-0.292674	-0.125855	0.318587	
\square	17	2899.239891	-2004.871865	613270.042797	5389485.767237	-0.0294088	0.648303	0.648969	
	18	2857.529954	-1913.880564	613230.884385	5389575.196583	0.133906	0.0980879	0.165988	
\square	19	1422.129796	-2356.907977	611800.852705	5389167.208267	-0.56869	1.0748	1.21597	
\checkmark	20	1678.901010	-2377.594457	612055.382381	5389141.279048	0.0522583	-0.558656	0.561095	
\checkmark	21	2155.076196	-2588.440376	612523.607623	5388931.375851	-0.24616	-0.792312	0.82967	
\square	22	2402.764627	-2364.207820	612770.728951	5389142.937107	-0.000948119	-0.288979	0.28898	
\square	23	2791.748259	-86.961053	613212.187125	5391449.050053	1.39671	-0.550261	1.5012	
	24	2697.274190	-239.760866	613107.015040	5391288.976816	-1.49542	0.264924	1.5187	
	25	3071.627433	-357.161619	613491.719976	5391158.801556	0.128679	0.452415	0.470359	
A	uto Adjust		Transform	ation: 3r	d Order Polynomial		~		
D	Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown								

RMS para la imagen satelital del 29 de enero del 2016, dividida en dos segmentos con 20 puntos de control cada uno.

Lin	Link 🗆 🗆 🗸										
e3			Total	RMS Error:	Forward:0.9754	Forward:0.975499					
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual			
	1	3622.520261	-1368.864958	614827.329081	5392280.634792	0.585492	0.223027	0.626531			
\square	2	3614.094255	-1658.523908	614806.162372	5391989.592543	-1.35445	-1.08249	1.73388			
\square	3	2844.809346	-2679.082905	614010.007481	5391009.088846	0.0779526	-0.197046	0.211905			
\checkmark	4	1301.860879	-2461.881138	612494.404970	5391241.018650	0.12529	0.927262	0.935688			
	5	924.612859	-2438.356282	612122.135476	5391268.535372	-0.0999454	-0.814711	0.820819			
\checkmark	6	1157.865639	-1376.860382	612344.915088	5392312.371626	0.63716	0.0623876	0.640207			
	7	2234.579189	-2102.256835	613420.316197	5391575.020499	0.172887	0.150479	0.229202			
\checkmark	8	2277.817251	-938.068185	613477.334019	5392740.380121	0.204201	0.446839	0.491287			
	9	2107.358052	-302.391414	613310.381602	5393405.014784	-0.391405	-1.38465	1.43891			
\checkmark	10	1894.836291	-360.162689	613092.364500	5393349.981340	0.612152	1.62814	1.73941			
	11	1481.642382	-257.818838	612667.707400	5393463.487817	0.0415795	0.19273	0.197165			
\checkmark	12	1652.198805	-795.825540	612840.745246	5392895.161681	-0.942349	-1.40362	1.69061			
	13	3127.998272	-1278.034928	614331.146144	5392380.810652	-0.155305	0.705124	0.722025			
\checkmark	14	4580.093647	-1605.747434	615776.170909	5392025.209941	-0.161028	-0.12436	0.203459			
	15	4259.206898	-1994.615293	615436.445229	5391648.177937	0.668752	0.337772	0.749212			
\checkmark	16	4154.670351	-2629.572643	615298.332453	5391036.989214	-0.162072	0.0741639	0.178235			
\square	17	1873.899617	-1700.268348	613063.061837	5391975.203591	-0.950992	-1.2178	1.54513			
\square	18	1064.134254	-1745.951383	612254.096677	5391945.801709	-0.12294	0.714663	0.725161			
\square	19	2052.148376	-1235.132324	613246.021578	5392440.573532	0.259508	0.34747	0.433681			
\square	20	2596.924316	-1503.441833	613792.387254	5392161.834433	0.955516	0.414628	1.0416			
	uto Adjust		Transform	ation: 3r	d Order Polynomial		\sim				
Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown											

Link									□ ×
🖻 🖬	+ª+ +*		Total	RMS Error:	Forward:0.91864	1			
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual	
	1	4178.876141	-1983.773504	614539.448383	5389480.216902	-0.883554	0.842674	1.22097	
\square	2	723.141582	-2461.535133	611109.118606	5389068.921288	0.0134007	-0.0276867	0.0307593	
	3	799.583020	-2156.768011	611180.027081	5389363.138543	0.0795433	-1.70557	1.70742	
\checkmark	4	479.355652	-2336.887049	610865.092909	5389194.413414	-0.145333	0.336706	0.366732	
	5	765.917477	-1760.077810	611138.408039	5389757.712457	0.10296	0.947362	0.95294	
	6	1254.170363	-1250.712227	611620.744421	5390259.628044	-0.950555	0.643068	1.14765	
\square	7	1567.227427	-561.508065	611934.805465	5390958.394025	0.488324	-0.83746	0.969433	
	8	2165.605759	-2563.435682	612531.706659	5388949.893828	-0.84086	0.861003	1.20348	
	9	1449.442233	-2266.067276	611827.340320	5389248.013695	0.589229	0.531554	0.793562	
\square	10	1793.122292	-2049.630492	612168.653503	5389452.933896	0.447995	-0.743384	0.86794	
	11	4365.883102	-1192.112400	614772.396835	5390265.126979	0.0676363	0.21046	0.221061	
	12	4635.696487	-743.198183	615075.874525	5390720.925599	-0.0902042	-0.358285	0.369466	
	13	3893.604636	-2443.885063	614236.438124	5389038.833693	0.6475	-0.763544	1.00113	
	14	2762.834266	-2257.567027	613127.831740	5389235.154919	0.214697	-0.169218	0.273367	
	15	2621.030496	-1395.765227	613004.006493	5390089.760795	-0.278576	-0.210979	0.349452	
	16	2607.999970	-838.524574	613001.889822	5390658.616099	0.204692	0.685644	0.715546	
	17	3734.528810	-1184.904554	614136.425424	5390284.163788	1.22648	0.283528	1.25883	
	18	3035.812536	-1194.964956	613426.987894	5390284.935491	-1.14354	-1.06956	1.56577	
\checkmark	19	2794.113694	-78.756565	613211.881214	5391449.898237	-0.210618	0.309742	0.374567	
	20	1920.365906	-1279.669739	612297.871771	5390219.165835	0.460784	0.23394	0.516769	
Auto	Adjust		Transform	ation: 3r	d Order Polynomial		\sim		
Degrees Minutes Seconds		Forward Re	esidual Unit : Unkno	own					

RMS para la imagen satelital del 18 de octubre del 2016, dividida en dos segmentos, el primero con 21 y el segundo con 20 puntos de control.

Link	Link 🗆 🗆 🗸									
📸 🔚 🚓 🕂 🕂 Total RMS Error:					Forward:0.82302	Forward:0.823027				
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual		
	1	2105.238135	-307.176645	613310.186075	5393403.937918	0.190614	0.271577	0.331795		
\checkmark	2	3127.854763	-1282.035887	614332.802704	5392380.659830	-0.633402	0.128088	0.646224		
\checkmark	3	2995.429485	-2049.729043	614177.144710	5391618.735476	0.214118	-0.947399	0.971294		
\checkmark	4	1210.976056	-2584.477944	612408.666173	5391128.196995	0.253738	0.141893	0.290717		
\checkmark	5	1159.455722	-1381.096908	612345.298338	5392313.135824	-0.160708	0.384307	0.416555		
\checkmark	6	1262.629312	-618.929633	612443.547146	5393090.516285	-0.603037	-0.344742	0.694622		
\checkmark	7	1746.001516	-715.322341	612940.435640	5392982.301485	1.0291	-0.00881763	1.02914		
\checkmark	8	4280.929787	-2347.989958	615435.196879	5391308.649804	-0.79851	-0.396529	0.891546		
\checkmark	9	4563.863686	-2001.590951	615735.499563	5391640.834844	-0.834749	-0.227567	0.865212		
\checkmark	10	4546.992984	-1661.816727	615742.378743	5391977.429614	0.965124	1.01248	1.39878		
\checkmark	11	4578.577580	-1611.260335	615776.245478	5392025.583877	-0.123194	-0.501346	0.51626		
\checkmark	12	3611.728413	-1664.856221	614806.042912	5391989.838597	0.970299	0.360846	1.03522		
\checkmark	13	3608.768493	-1286.829757	614818.346062	5392367.267477	-0.38603	-0.7503	0.843783		
\checkmark	14	2234.417440	-1575.937290	613427.379087	5392100.368506	0.224449	0.84088	0.87032		
\checkmark	15	2025.050389	-2238.861045	613210.684904	5391449.580399	-0.846602	-0.203746	0.870774		
\checkmark	16	2491.634071	-932.890107	613696.857751	5392745.644449	-0.884339	-0.226476	0.912879		
\checkmark	17	1871.136103	-1705.371159	613062.597316	5391976.327181	1.01026	-0.170787	1.02459		
\square	18	1589.216850	-2087.893275	612779.095708	5391603.528519	-0.251791	-0.482884	0.544587		
\checkmark	19	4015.146362	-2555.580872	615165.311417	5391113.585352	1.00077	0.121443	1.00812		
\square	20	3329.478943	-2082.945160	614507.423643	5391582.692540	0.0706436	0.605967	0.610071		
	21	3079.927734	-2447.610870	614249.092779	5391232.180658	-0.406753	0.393106	0.565668		
🖂 Au	Auto Adjust Transformation: 3rd Order Polynomial									

Degrees Minutes Seconds	
-------------------------	--

Forward Residual Unit : Unknown

Link									□ ×	
🖻 🖬	🖆 🔚 🕂 👬 🕂 Total RMS Error:				Forward:0.87793	Forward:0.877933				
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual		
	1	2018.432807	-300.410094	612405.232413	5391233.360534	1.24648	-0.299408	1.28193		
\checkmark	2	3721.057523	-362.642424	614158.128063	5391140.701061	-1.45248	-0.0402554	1.45304		
\checkmark	3	3593.745074	-2567.379094	613935.767375	5388928.537435	0.41496	0.0474497	0.417664		
\checkmark	4	846.838462	-2343.246734	611230.609048	5389188.411705	0.00923593	0.961024	0.961069		
\checkmark	5	811.464602	-2480.453382	611197.536066	5389055.458314	-0.648228	-0.388385	0.755673		
\checkmark	6	569.493515	-2423.353430	610958.087670	5389114.989683	0.920909	-0.24012	0.951699		
\checkmark	7	766.831581	-1763.168233	611138.974837	5389756.870133	-0.582386	-0.332286	0.670513		
\checkmark	8	1249.319870	-1256.737099	611619.194548	5390256.404466	0.222588	0.0899314	0.240069		
\checkmark	9	2011.039653	-799.266155	612394.306202	5390711.585723	0.991749	-0.133401	1.00068		
\checkmark	10	2924.466701	-1162.865497	613316.248671	5390325.293284	-0.196951	0.115351	0.228245		
\checkmark	11	4743.461021	-291.130982	615220.855605	5391197.957008	-0.125807	-0.390072	0.409858		
\checkmark	12	4079.739074	-382.176814	614530.027140	5391115.142260	1.16525	0.770417	1.3969		
\checkmark	13	4287.052695	-763.748189	614721.056689	5390712.908643	0.40289	0.138497	0.426031		
\checkmark	14	4177.435408	-1988.490128	614539.353721	5389479.947843	-0.368158	0.515662	0.633599		
\checkmark	15	3973.576729	-1913.905165	614340.518949	5389556.147996	-0.304929	-0.765138	0.823661		
\checkmark	16	2803.034937	-2081.759074	613171.852028	5389411.751353	0.707884	0.172089	0.728501		
\checkmark	17	2164.024098	-2568.738417	612531.648378	5388950.118659	-0.564676	-0.151406	0.584622		
\checkmark	18	2075.488375	-1472.394854	612453.860722	5390025.122892	0.152826	0.00341279	0.152864		
\checkmark	19	2999.269825	-597.845164	613407.950131	5390904.864235	-0.437543	-0.602692	0.74477		
\checkmark	20	1776.838852	-490.698004	612152.764287	5391037.949918	-1.5536	0.529329	1.6413		
Auto	o Adjust		Transform	ation: 3rd	d Order Polynomial		\sim			
Degrees Minutes Seconds			Forward Re	esidual Unit : Unkno	wn					

RMS para la imagen satelital del 20 de noviembre del 2016, dividida en dos segmentos, el primero con 20 y el segundo con 21 puntos de control.

Link									□ ×	
📸 🖬 🕂 👯 🕂				Forward:0.84842	Forward:0.848427					
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual		
	1	1897.097466	-359.166124	613092.373881	5393350.854038	-0.370546	-0.451058	0.583744		
\square	2	3608.148466	-1285.860876	614817.976993	5392367.273756	0.440192	0.432892	0.617386		
	3	1101.592429	-2636.089305	612300.593834	5391079.279513	0.0621662	0.000880568	0.0621724		
	4	1158.417785	-1377.432321	612344.911631	5392311.843436	-0.523773	0.384411	0.6497		
	5	1438.714551	-327.178091	612622.063227	5393394.388310	0.307018	0.184986	0.35844		
\checkmark	6	1964.775841	-2226.383688	613152.156995	5391459.486523	0.54486	-0.361505	0.653879		
	7	2410.304552	-1857.750771	613600.362058	5391815.395916	1.03634	0.285675	1.075		
	8	2490.910931	-932.605373	613696.273708	5392746.466528	-0.477633	0.766001	0.902713		
\checkmark	9	4566.847427	-2346.717800	615718.488169	5391306.468856	-0.305773	1.06894	1.11181		
\square	10	4279.995944	-2347.139656	615435.383437	5391308.453235	-0.447846	-0.681658	0.815612		
\square	11	4578.058754	-1611.765448	615776.035159	5392025.078627	0.0217522	0.394517	0.395117		
\square	12	4635.088500	-1852.551823	615817.826181	5391785.365647	0.0686199	-1.01853	1.02084		
\checkmark	13	3838.999177	-1717.597365	615030.292314	5391933.135735	-0.0865986	0.8846	0.888828		
\square	14	3050.834471	-1700.227293	614242.449766	5391961.446208	-0.599673	-0.497352	0.779081		
\checkmark	15	3126.893571	-1251.044125	614333.466615	5392409.254395	0.0972674	-1.35623	1.35971		
	16	1822.618332	-827.798233	613018.484818	5392865.926142	0.431317	0.811551	0.919049		
\checkmark	17	1526.194465	-1090.640269	612716.859215	5392598.034981	0.0454642	-1.12676	1.12768		
\checkmark	18	2603.293666	-2612.935220	613776.914460	5391078.926735	-0.655553	0.0982539	0.662875		
\checkmark	19	4015.297936	-2554.578694	615165.913592	5391112.661177	1.00726	-0.376896	1.07547		
\checkmark	20	2702.221661	-2155.709625	613883.012589	5391518.929698	-0.594869	0.557281	0.815127		

 \sim

🗹 Auto Adjust
Degrees Minutes Seconds

3rd Order Polynomial Forward Residual Unit : Unknown

Transformation:

Link									□ ×
📸 🔚 🖧 + 📩 + 📩 Total RMS Error:			Forward:0.8188	Forward:0.818889					
	Link	X Source	Y Source	Х Мар	Ү Мар	Residual_x	Residual_y	Residual	
	1	2017.320032	-298.563804	612403.939079	5391233.957575	0.232575	-0.0726371	0.243654	
	2	3718.594268	-361.137887	614157.865504	5391140.427179	0.683936	0.293635	0.744305	
	3	2976.086914	-1160.552384	613367.579965	5390324.450547	-0.772268	-0.0678289	0.775241	
	4	1231.211850	-1253.908236	611601.681120	5390260.421253	-0.368566	0.439269	0.573409	
\square	5	829.606095	-2140.840165	611211.916018	5389383.458040	-0.598967	-0.448798	0.748453	
	6	845.114450	-2340.800907	611230.966056	5389189.253485	-0.219034	1.23388	1.25317	
	7	568.039641	-2421.343476	610958.444678	5389115.170004	0.534489	-0.661526	0.850468	
	8	2759.754379	-2264.216136	613125.099879	5389230.197838	0.111407	-0.692282	0.701189	
	9	3592.235667	-2564.210996	613935.652542	5388928.638381	0.763931	-0.255807	0.805623	
\checkmark	10	3950.721789	-2567.564399	614285.961576	5388920.171697	-0.859547	0.159793	0.874274	
	11	4176.100039	-1987.213943	614539.962084	5389479.501983	0.953498	-0.139553	0.963657	
	12	3972.708714	-1913.584262	614339.936684	5389556.231303	-0.304034	0.627624	0.697387	
	13	4365.727233	-1195.228257	614772.663591	5390265.845222	-0.492658	-0.425981	0.651285	
	14	2889.477901	-1585.769366	613270.241767	5389898.435251	0.0709928	0.950952	0.953598	
	15	1656.589224	-1602.936981	612034.370545	5389899.467128	0.678277	-0.595832	0.902815	
	16	2217.562962	-1109.539979	612600.844594	5390387.624354	-0.400603	-0.774386	0.871869	
	17	2811.224493	-111.181449	613228.349322	5391419.413223	-0.728983	-0.273882	0.778734	
	18	2579.044095	-1813.684566	612954.901900	5389674.791331	-0.0522627	-0.74385	0.745684	
	19	2318.765468	-590.452971	612711.308357	5390922.568827	0.659633	0.528999	0.845551	
\checkmark	20	2246.055165	-2230.467692	612617.182648	5389271.697817	-0.691714	0.598823	0.914909	
	21	2008.738903	-1735.611947	612387.126979	5389762.104006	0.799895	0.31939	0.861303	
🗹 Auto	Auto Adjust Transformation: 3rd						\sim		
Degre	ees Minute	as Seconds	Forward Re	esidual Unit : Unkn	own				