



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“ANÁLISIS DE PROCESOS Y PELIGROS GEOLÓGICOS ALREDEDOR DE
LA ESTACIÓN CIENTÍFICA PEDRO VICENTE MALDONADO EN LA ISLA
GREENWICH-ANTÁRTIDA”**

PROYECTO DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN GEOLOGÍA

Presentado por:

CHRISTIAN DANIEL CHOEZ MERO

GUAYAQUIL-ECUADOR

2018

DEDICATORIA

A mis padres Daniel Choez y María Mero por el apoyo y la confianza brindada a lo largo de mi vida estudiantil. A mis hermanos Shirley, Alberto, Isaac y Benjamín. A amigos del teatro: Guadalupe, Biverly, Eduardo, Flavio, José y Christian. A mis mejores amigas y compañeras de toda mi carrera: Michelle, Andrea, Nancy y a todas las personas que hicieron esto posible.

Christian Daniel Choez Mero.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral, a mi familia, a mi tutor Ph.D. Carlos Martillo Bustamante por la confianza, paciencia y tiempo brindado a este proyecto, a M.Sc. Glenda Loayza por introducirme al proyecto de la Antártida, al personal del INAE por su apoyo y apertura al proyecto.

También agradezco a todas las personas que me brindaron su ayuda y apoyo a lo largo del mi proyecto como Ing. Mónica López, Ph.D. Christophe Fatras, Ing. Stalin Benítez entre otros.

A mis profesores, compañeros y a todas las personas que influyeron de una o de otra manera en mi carrera.

Christian Daniel Choez Mero

TRIBUNAL DEL PROYECTO

**Ph.D. Carlos Martillo Bustamante
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

**M.Sc. Daniel Garcés León
DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA**

**Ing. Galo Montenegro
MIEMBRO EVALUADOR**

**Ing. Stalin Benítez
MIEMBRO EVALUADOR**

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Proyecto de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la
ESPOL)

Christian Daniel Choez Mero

RESUMEN

El continente antártico guarda un registro histórico muy importante de la geología, biología, climatología, entre otros. A lo largo de los años distintos países han establecido bases científicas distribuidas a lo largo de toda la Antártida. Diversos países han establecido su base en las Islas Shetland del Sur. Estas conforman un arco volcánico de islas activo desde el Jurásico hasta el Cuaternario. La base científica ecuatoriana está ubicada en la Punta Fort Williams localizada en Isla Greenwich.

En el caso particular de la Punta Fort Williams, actualmente se cuenta con información cartográfica, imágenes satelitales y ortofotos en las cuales se observan estructuras y morfologías que no se han identificado o correlacionado en estudios anteriores.

Este trabajo se centra en analizar, identificar e inferir los procesos Cuaternarios que han modificado la Punta Fort Williams y así determinar posibles peligros a los que podría estar expuesta la Estación científica Pedro Vicente Maldonado.

Utilizando software de modelamiento se determinaron estructuras y morfologías presentes con el fin de elaborar mapas temáticos de la Punta Fort Williams. A partir de estos mapas se información bibliográfica se establecieron los peligros y el nivel de afectación que podría representar hacia la estación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
TRIBUNAL DEL PROYECTO	V
DECLARACIÓN EXPRESA	VI
RESUMEN	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS	XI
SIMBOLOGÍA	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
CAPÍTULO 1.....	15
INTRODUCCIÓN	15
1.1. Generalidades	16
1.2. Definición del Problema	17
1.3. Justificación del Problema	19

1.4.	Zona de estudio	19
1.5.	Objetivos.....	21
1.5.1.	Objetivo General	21
1.5.2.	Objetivos Específicos	21
CAPÍTULO 2.....	22	
MARCO TEÓRICO	22	
2.1.	Aspectos teóricos fundamentales	23
2.1.1.	Introducción a Glaciares	23
2.1.2.	Proceso Glaciar.....	25
2.1.3.	Movimiento de los Glaciares	26
2.2.	Geomorfología Glaciar.....	30
2.2.1.	Circos, Valles y Lagunas glaciares	30
2.2.2.	Rochês moutonnées	32
2.2.3.	Topografía Kame y Kettles.....	34
2.2.4.	Esker	37
2.3.	Antártida	37
2.3.1.	Geología del Este de la Antártida	38
2.3.2.	Geología del Oeste de la Antártida.....	40
2.4.	Marco Geológico Regional.....	43
2.4.1.	Islas Shetland del Sur	43
2.4.2.	Cuenca de Bransfield	45
2.5.	Marco Geológico Local	49
2.5.1.	Isla Greenwich.....	49
2.5.2.	Punta Fort Williams	50
CAPÍTULO 3.....	54	
DATOS Y METODOLOGÍA.....	54	
3.1.	Datos	55

3.2. Metodología	56
3.2.1. Etapa I: Colección y selección de información	56
3.2.2. Etapa II: Procesamiento de Información	56
3.2.3. Etapa III: Análisis o Discusión de Resultados.....	57
CAPÍTULO 4.....	59
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.1. Resultados.....	60
4.1.1. Mapa Geomorfológico.....	60
4.1.2. Mapa Geológico	67
4.2. Discusión	72
4.2.1. Mapa Geológico y Geomorfológico.....	72
4.2.2. Análisis de Peligros.....	74
4.2.2.1. Peligro sísmico.....	74
4.2.2.2. Peligro Volcánico.....	75
4.2.2.3. Peligro de deslizamiento de masas y erosión.....	77
4.2.2.4. Peligro a inundaciones.....	80
4.2.3. Muestreo.....	82
CAPÍTULO 5.....	84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	88
 ANEXOS	
 BIBLIOGRAFÍA	

ABREVIATURAS

PEVIMA	Pedro Vicente Maldonado
PFW	Punta Fort Williams
m. a.	Millones de años

SIMBOLOGÍA

m Metros

km Kilómetros

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de ubicación.....	20
Figura 2.1. Grafica de temperatura global.....	23
Figura 2.2. Distribución de Glaciares alrededor del mundo.	25
Figura 2.3. Sección vertical de un glaciar indicando el tipo de deformación que se lleva en el tiempo	27
Figura 2.4. Influencia de las irregularidades del lecho en el flujo de hielo.. .	29
Figura 2.5. Circos Glaciares.....	31
Figura 2.6. Laguna glaciar en el fondo de un valle.....	32
Figura 2.7. Distintos tipos de paisajes con rochè mounonnèe	33
Figura 2.8. Modelados fluvio-glaciares.....	35
Figura 2.9. Modelo conceptual que muestra la evolución de dos superficies de sedimento fluvio-glaciar	36
Figura 2.10. Corte Geologico general	39
Figura 2.11. Reconstruccion del Supercontinente Gondwana	40
Figura 2.12. Estructuras principales de la Antártida.....	41
Figura 2.13. Mapa tectonico y batimetrico regional.....	48

Figura 2.14. Mapa Geológico de los alrededores de la Estación científica PEVIMA	53
Figura 3.1. Diagrama de la metodología utilizada en el proyecto.....	58
Figura 4.1 Limite geomorfológico presente en la PFW.	61
Figura 4.2. Morfologías Glaciares y periglaciares en la PFW.....	62
Figura 4.3. Cordones Litorales en la zona periglacial.	63
Figura 4.4. Rochê mountonnée en PFW.....	65
Figura 4.5. Mapa Geomorfológico de la Punta Fort Williams	66
Figura 4.6. Mapa Geológico de la Punta Fort Williams	69
Figura 4.7. Fallas de cizalla	70
Figura 4.8. Corte I-II. Corregido a partir de Benitez y Rada (1992).....	71
Figura 4.9. Ubicación de los volcanes más representativos	76
Figura 4.10. Foto de la estación científica PEVIMA	78
Figura 4.11. Foto donde se muestra el glaciar	79
Figura 4.12. Continente antártico después de la subida de 65m	81
Figura 4.13. Mapa de las zonas de muestreo.	83

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

La geología del continente antártico contiene un registro importante de la geología de la Tierra. Su origen se asocia a la apertura del paso de Drake hace aproximadamente 20 m. a. siendo aislada del continente americano (Barker & Burrell, 1977). Al ubicarse en el polo sur, la Antártida está cubierta de hielo y nieve, almacenando un registro climatológico del último siglo y favoreciendo a estudios de cambio climático en el planeta.

En cuanto a la Isla Greenwich, se han realizado estudios de carácter biológico, tecnológico, cambio climático y geológico. Entre estos trabajos destacan el estudio de cambio climático realizado en el Glacial Quito por Bolívar Cáceres (2012), el proyecto cooperativo entre Ecuador y Venezuela en donde se determinó la variación espacial de un Albedo del Glacial Quito (Cáceres B., 2012; Olmedo, et al., 2012). Por otra parte, en geología, destacan los trabajos realizados por S. Benítez (1990) donde se realizó una caracterización geológica y morfológica de la PFW, así como, el de Dumont et al., (2006) quienes realizaron un estudio morfológico y estructural en la zona de la PFW e Isla Dee.

A su vez, en la PFW se han realizado diversos análisis y toma de datos. En particular, se desarrollaron estudios sedimentológicos, estratigráficos y análisis petrográficos. Estos estudios aportan de manera general a la comprensión geológica de la PFW.

1.2. Definición del Problema

Dumont et al. (2006) y Santana & Dumont (2006), han propuesto en su publicación mapas geológicos, donde se muestran los rasgos litológicos y estructurales principales, sin embargo, un análisis detallado de la estratigrafía y petrología permitiría comprender mejor los procesos que han formado el área de estudio. Así como un análisis detallado de los aspectos morfológicos, terrestres y marinos, conllevarán el análisis de los procesos erosivos que han modelado el paisaje, muchos de los cuales podrían estar relacionados a los cambios del nivel eustáticos generados por los ciclos de Milankovitch y relacionados con los estadios isotópicos marinos (Eggins et al., 2005; Raymo, Lisiecki, & Nisancioglu, 2006).

En la Punta Fort Williams se ha realizado algunos levantamientos de información topográfica (campo y ortofotos). Algunos de estos trabajos han sido integrados en un Sistema de Información Geográfica (SIG), a partir de cuya información se generaron un modelo de elevación digital (DEM) y algunos mapas temáticos tales como: mapa de pendientes, mapa hidrográfico de Cuencas y Subcuencas (Salazar, 2012). Adicionalmente se ha realizado el levantamiento de información batimétrica (Fauzi et al., 2008), que permitirían analizar los aspectos morfológicos del área de estudio, procurando realizar una relación de los

procesos de modelado entre las zonas terrestres y marinas en el área de estudio.

Puesto que se han observado en imágenes satelitales, ortofotos, topografía y batimetría estructuras y morfologías que aún no han sido evidenciadas o correlacionadas que pudiesen proporcionar información de los procesos geológicos recientes (Cuaternario), y de los peligros que estos pudieren causar a la estación científica PEVIMA. A continuación, se proponen unas preguntas de investigación que guiarán al desarrollo del siguiente proyecto: ¿cuáles son los procesos geológicos que han definido la morfología del área de estudio?, ¿cuáles de estos procesos geológicos podrían ser un peligro hacia la Estación científica Pedro Vicente Maldonado? ¿cuál debería ser el diseño de muestreo para mejorar el conocimiento de la información geológica sobre la Isla Greenwich?

El análisis realizado, a partir de información existente, permitirá proponer sugerencias, basado en criterio ingenieril, para atenuar los posibles peligros geológicos identificados alrededor de la estación científica ecuatoriana.

1.3. Justificación del Problema

El proyecto es pertinente dentro de un contexto geológico previo a la exploración en campo, a desarrollarse durante los meses de enero a marzo del 2018, como parte de la Expedición Científica ECUANTAR XXII. Para comprender mejor la geología de la PFW y de sus alrededores se debe definir las diferentes morfologías que se han formado a lo largo del tiempo debido a los procesos erosivos a la que ha sido sometida la Isla Greenwich.

El enfoque geológico y morfológico que se da a este proyecto está limitado por: la resolución de los datos y el nivel de detalle que tienen los análisis anteriores realizados en la zona. Con la realización de este proyecto será posible ampliar los estudios dentro de la PFW de manera ordenada y manteniendo una relación otros estudios realizados dentro de las Islas Shetland del Sur.

1.4. Zona de estudio

El trabajo se centrará a la Punta Fort Williams en la Isla Greenwich la cual pertenece al archipiélago Shetland del Sur ubicado en la Antártida (Figura 1.1).

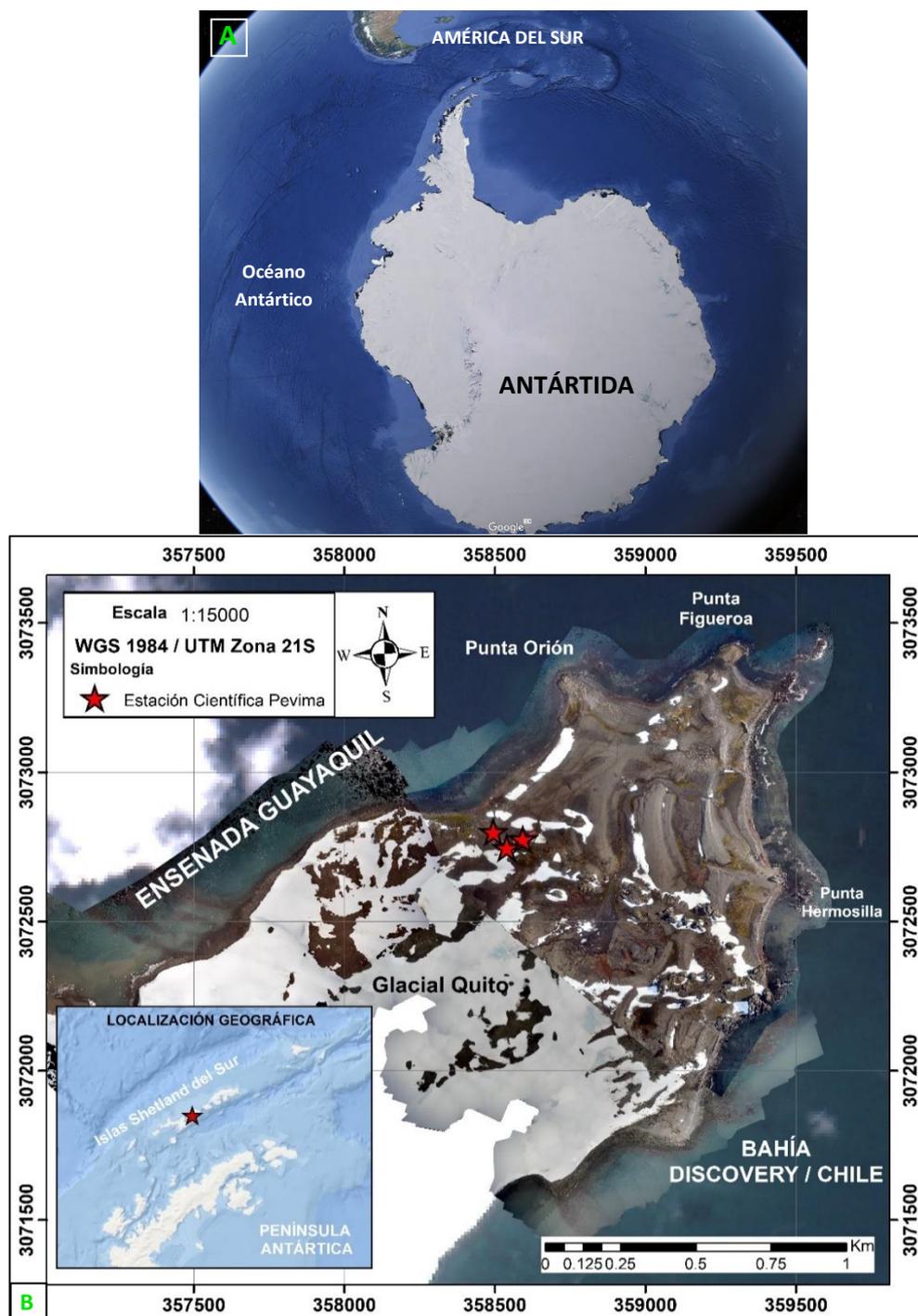


Figura 1.1 Mapa de ubicación. (A) Ubicación General. (B) Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Fuente: Choez C., 2018.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Inferir los procesos Cuaternarios que han modelado la PFW de la Isla Greenwich, para determinar los posibles peligros a los que podría estar sometida la Estación científica Pedro Vicente Maldonado, a través de información geológica disponible.

1.5.2. Objetivos Específicos

Generar un mapa geológico y geomorfológico de la Punta Fort Williams- isla Greenwich, a través de información geológica y cartográfica disponible.

Identificar peligros geológicos y proponer medidas de manejo o atenuación alrededor de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado.

Proponer una campaña de muestreo que permita mejorar la comprensión de la evolución geológica de la Isla Greenwich.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Aspectos teóricos fundamentales

2.1.1. Introducción a Glaciares

En nuestro planeta a lo largo de su historia se vienen dando periodos de calentamiento y enfriamiento, de las cuales se reconocen varias épocas glaciares desde tiempos precámbricos. Estas han quedado impresas en el registro geológico de la Tierra por medio de los rasgos erosivos y deposicionales en una parte importante del planeta (Gutiérrez Elorza, 2008) (Hansen & Sato, 2011) (Figura 2.1).

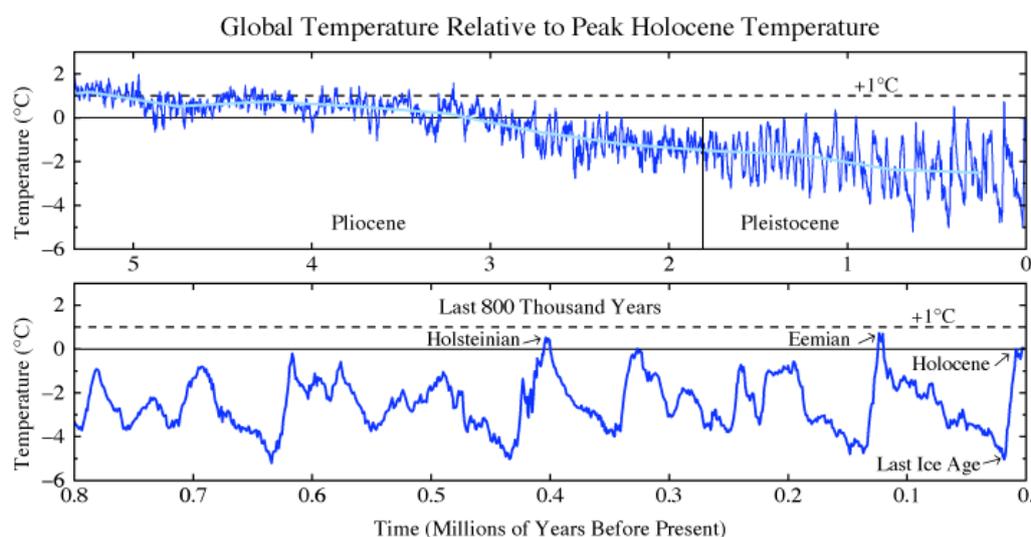


Figura 2.1. Grafica de temperatura global en relación con la temperatura máxima del Holoceno, basada en núcleos oceánicos.

Fuente: Hansen & Sato, 2011.

La Geología Glaciar se centra en el estudio de los glaciares antiguos y actuales, las actividades de estos se dirigen hacia distintas direcciones según los estudiosos del Cuaternario los llevan a cabo estas investigaciones. Por otra parte, la Glaciología estudia el comportamiento físico y el trabajo que realizan los glaciares a lo largo del tiempo siendo esta una actividad importante, dado que los glaciares son un medio de rápida actividad cambiando la morfología en días o meses. Al mismo tiempo la geomorfología glaciar es idónea para el entendimiento de los procesos que dieron paso a la morfología actual (Gutiérrez Elorza, 2008).

En la actualidad el hielo cubre aproximadamente el 10% de la superficie terrestre emergida, cabe señalar que solo el 3% de esta se encuentra fuera de los casquetes polares; siendo esta la fuente de agua dulce más grande del planeta (Figura 2.2). Cabe señalar que el equivalente en agua de esto es aproximadamente 30 millones de km^3 , si se fundiera por completo el nivel del mar se elevaría por encima de los 50 metros; quedando sumergidas ciudades de gran importancia a nivel mundial y perdiendo ciudades enteras, sistemas agrícolas e innumerables vidas humanas (Gutiérrez Elorza, 2008).

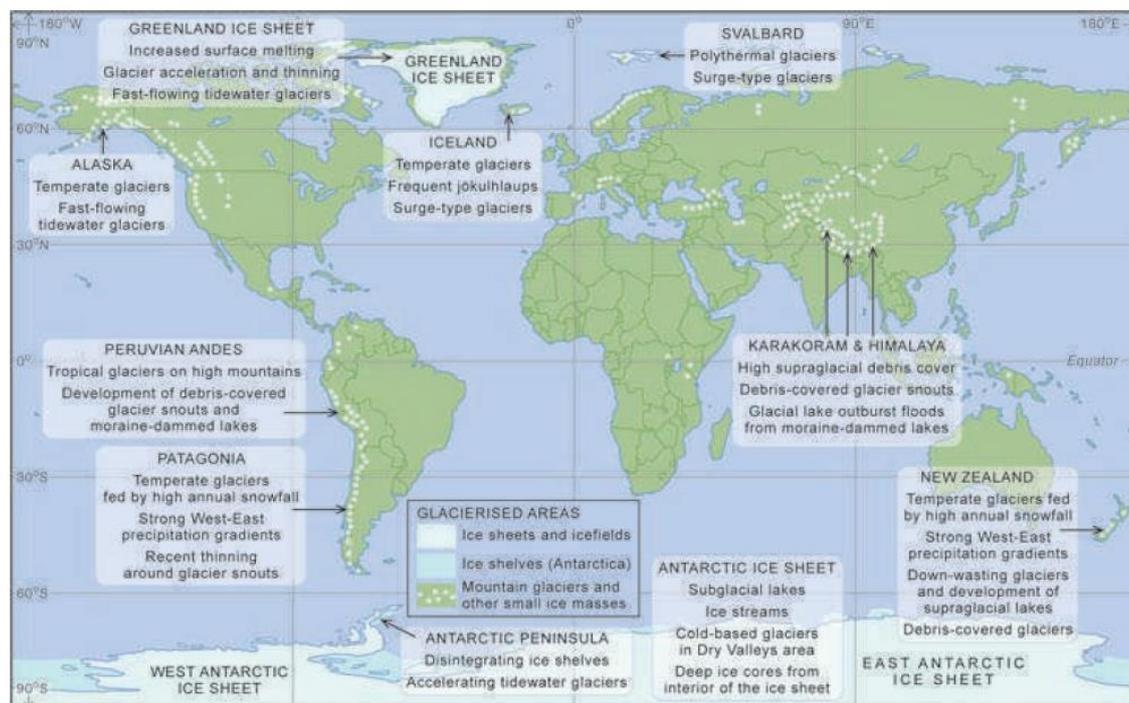


Figura 2.2. Distribución de Glaciares alrededor del mundo.

Fuente: BENNETT & GLASSER, 2009.

2.1.2. Proceso Glaciar

La formación de un glaciar se desarrolla en condiciones de acumulación de nieve donde se excede la temperatura de fusión de esta. Esto requiere condiciones climáticas adecuadas, estas condiciones se dan en latitudes altas o en el campo polar (Gutiérrez Elorza, 2008). En zonas alejadas de los polos por lo general se forman por encima de 5000 msnm.

La nieve que cae sobre la zona de acumulación pasa por una serie de cambios hasta llegar a ser hielo glaciar, estos cristales

de hielo varían desde tamaños milimétricos, centimétricos a decimétricos. Así mismo la densidad varía, desde cuando la nieve recién cae con una densidad de 0.05 kg/m^3 y una porosidad que alcanza aproximadamente el 95%; al poco tiempo esta aumenta su densidad a 0.3 kg/m^3 formando nieve granular hasta llegar a una densidad de 0.4 kg/m^3 en el estado de neviza con una permeabilidad de 50%. Al momento de alcanzar la neviza una densidad de $0.8-0.85 \text{ kg/m}^3$ esta se vuelve impermeable, donde el aire existente se encuentra en forma de burbujas; en este estado el aumento de densidad se debe a la compresión de estas. Esto va acompañado de deslizamientos, cambios de tamaño y deformación entre cristales (Gutiérrez Elorza, 2008).

2.1.3. Movimiento de los Glaciares

En el movimiento del glaciar se distinguen dos tipos de procesos: Deformación interna y deslizamiento basal (Figura 2.3).

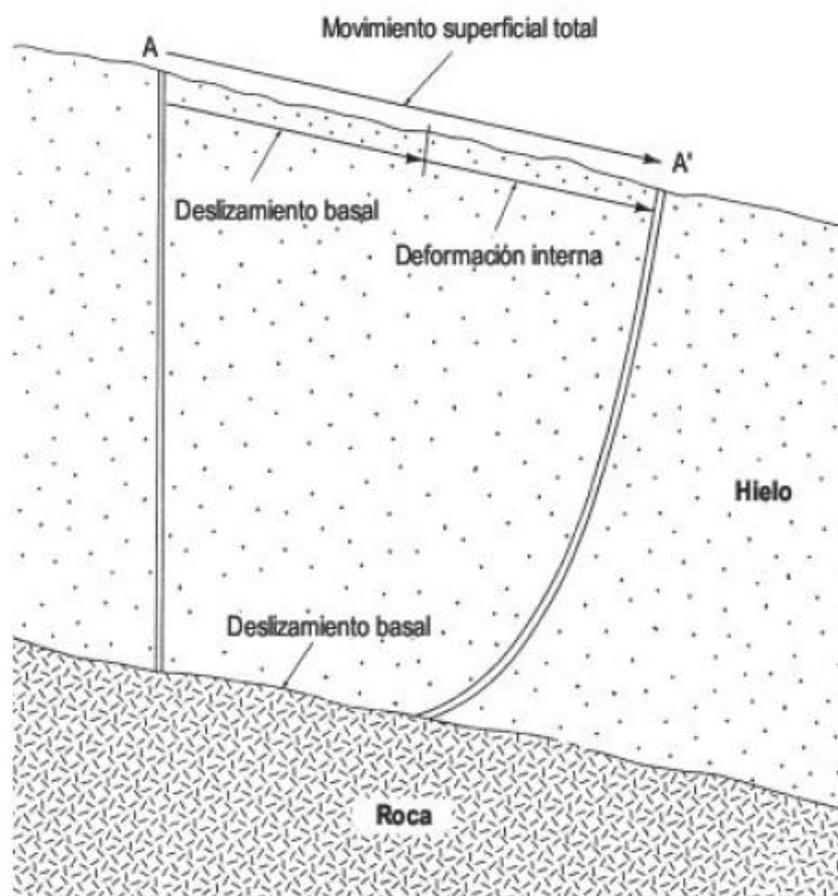


Figura 2.3. Sección vertical de un glaciar indicando el tipo de deformación que se lleva en el tiempo. El movimiento AA' es medido en la superficie es la suma de la deformación interna y del deslizamiento basal.

Fuente: Gutiérrez M., 2008.

La deformación interna es un flujo por reptación el cual resulta de la aplicación de un esfuerzo durante un largo tiempo; dentro de los mecanismos de este flujo se da el deslizamiento intergranular, la recristalización y se produce un deslizamiento a favor de las redes de los cristales de hielo (Gutiérrez Elorza, 2008).

El deslizamiento basal indica un desplazamiento de la masa de hielo sobre su lecho; este movimiento sobre el fondo implica un proceso de flujo plástico basal el cual consiste en que el hielo rodea los obstáculos mayores para poder avanzar (Figura 2.4 (a)). Otro proceso que se da es el deslizamiento por recongelamiento (Figura 2.4(b)), en el cual en el fondo del glaciar presenta una superficie con rugosidades que van de escalas centimétricas a métricas. Dentro de estos procesos influye si el glaciar es frío o templado dado que si el glaciar es de tipo templado puede ocurrirse el deshielo por un aumento de presión en la parte del umbral de aguas arriba y una recongelación al reducir la presión, aguas abajo (BENNETT & GLASSER, 2009; Gutiérrez Elorza, 2008).

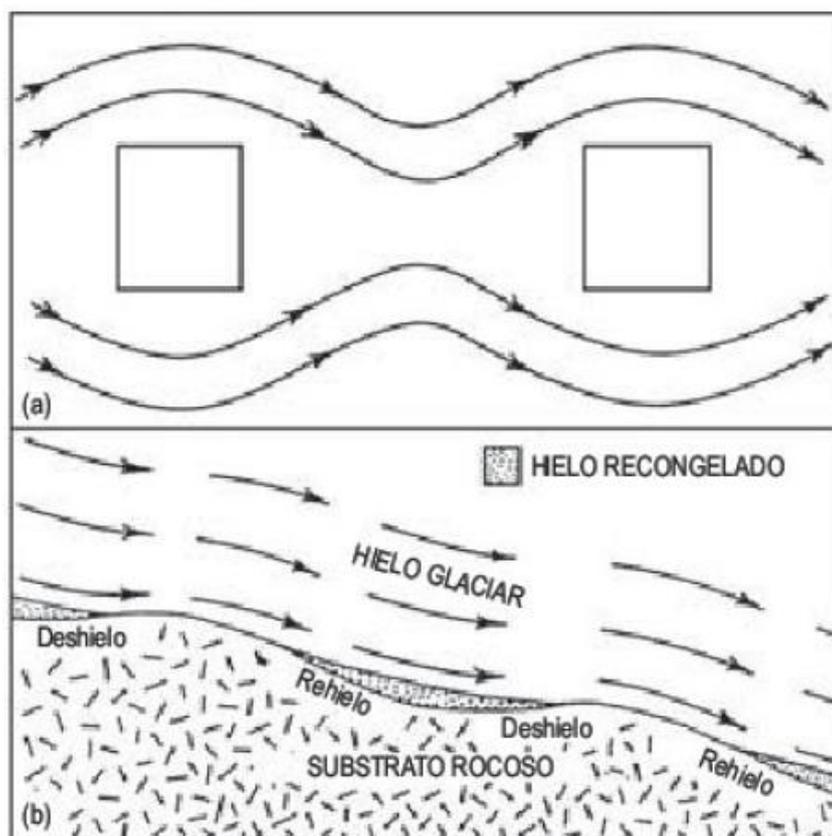


Figura 2.4. Influencia de las irregularidades del lecho en el flujo de hielo. (a) Proceso del flujo plástico basal. (b) Mecanismo de deslizamiento por recongelación.

Fuente: Gutiérrez M., 2008.

En la superficie de un glaciar las velocidades de movimiento varían parcial y temporalmente, a lo largo de un año pueden fluctuar entre 3 y 300 m/año, pudiendo alcanzar valores de 1-2 km/año en áreas con paredes abruptas (BENNETT & GLASSER, 2009; Gutiérrez Elorza, 2008).

2.2. Geomorfología Glaciar

De acuerdo con Gutiérrez Elorza (2008) la deformación que experimentan las masas de hielo como consecuencia da origen a distintos tipos de estructuras. En este capítulo se explicarán determinadas morfologías dentro de un contexto general.

2.2.1. Circos, Valles y Lagunas glaciares

Los circos son depresiones semicirculares o semielípticas la cual presenta laderas abruptas las cuales han estado o están ocupadas por el hielo. Se presenta como una cuenca rocosa a la que se encuentra asociada la existencia de un umbral a la salida del circo, esta suele ser rocosa o puede estar constituida por el till glaciar (Figura 2.5(A y B)).

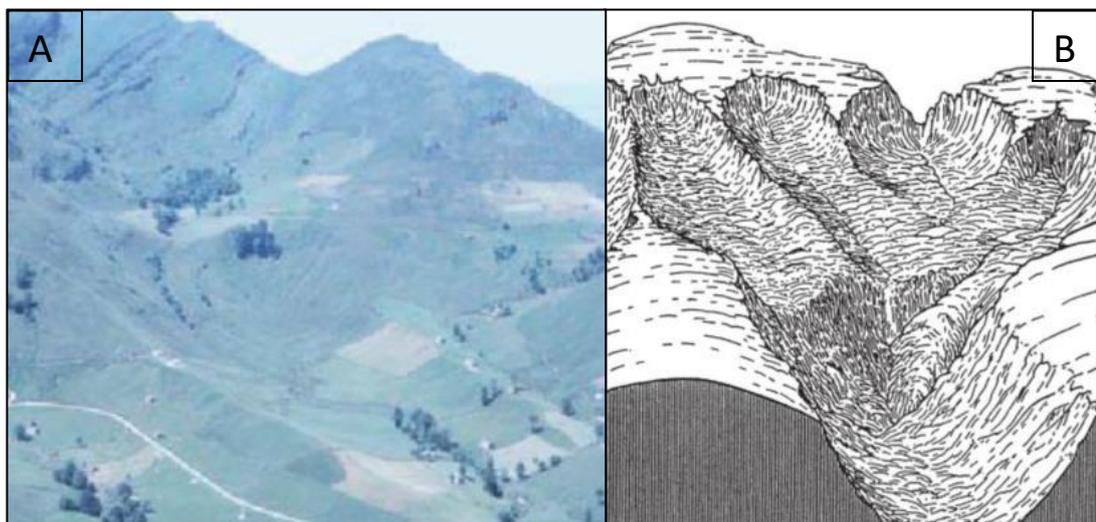


Figura 2.5. Circos Glaciares. (A) Circo y cordón morenico elaborado sobre materiales del Cretácico en la cabecera del Valle del Miera-Cantabria (B) Circo Coalescentes, aristas y valle glaciar.

Fuente: Gutiérrez M., 2008.

Los valles glaciares son características típicas de la geomorfología glaciar donde se evidencia la actividad erosiva de los glaciares (Figura 2.5(B)). Se diferencian de los valles fluviales debido a el área del perfil transversal que ocupa el valle (Gutiérrez Elorza, 2008).

Las lagunas glaciares generalmente se localizan en la parte baja de un valle o de un circo glaciar (Figura 2.6).



Figura 2.6. Laguna glaciar en el fondo de un valle. Glaciar Tasman en Nueva Zelanda.

Fuente: BENNETT & GLASSER, 2009.

2.2.2. Rochês moutonnées

Según Gutiérrez Elorza (2008), estas se presentan como colinas alineadas, en donde suelen estar asimétricas, agrupadas y a veces escarpada (Figura 2.7(A)). Esta disposición se mantiene constante e indica el sentido del movimiento que ha tenido el hielo, es decir, dirigiéndose hacia el lado de menor pendiente al de mayor inclinación. Poseen un tamaño muy variable desde

pocos metros hasta centenas de metros, siendo el caso de los flyggbergs los cuales llegan a medir varios kilómetros con alturas de varios cientos de metros. Dentro de los flyggbergs suelen encontrarse rocas aborregadas de menor tamaño dentro de ellas (Figura 2.7(B y D)).

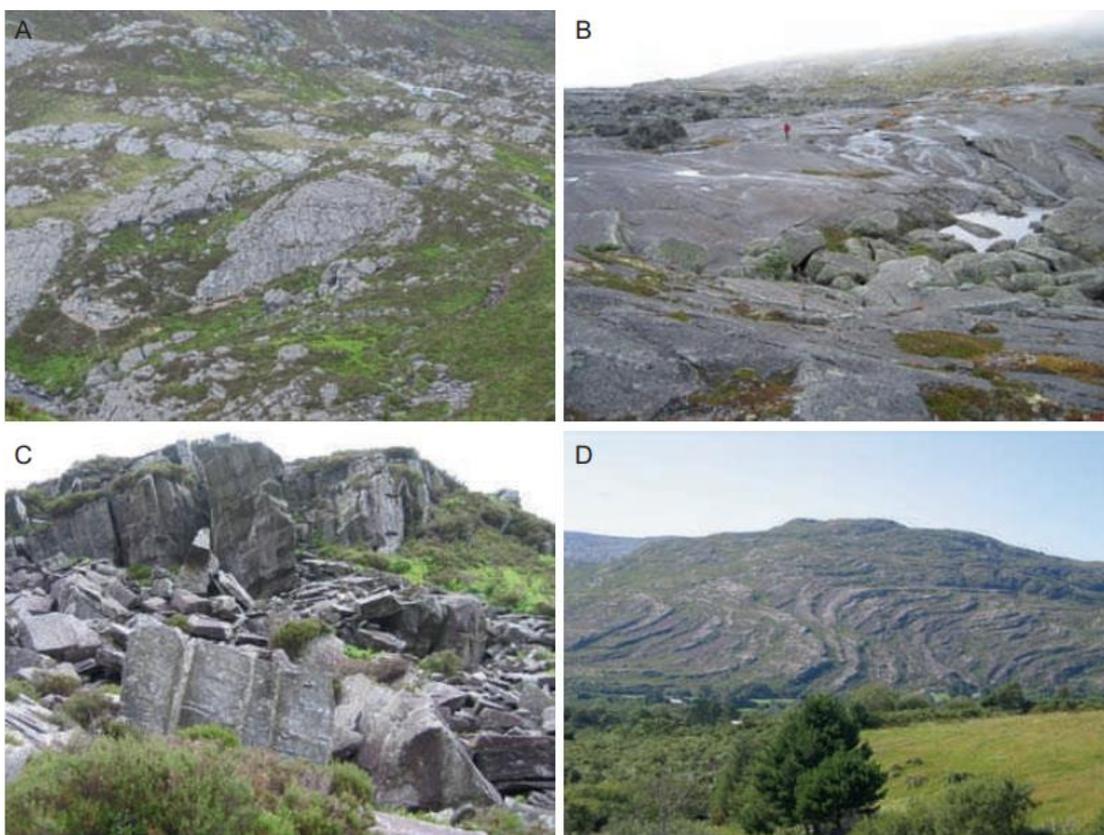


Figura 2.7. Distintos tipos de paisajes con roché mountonnée. (A) Whalebacks o lomo de ballena, rocas aborregadas en Harlech Mountains en el norte de Gales. (B) Roca dominada por la erosión del hielo (C) Roca esparcida alrededor de las roché mountonnée. (D) Roca dominada por la erosión del hielo donde se muestra una estructura en el basamento.

Fuente: BENNETT & GLASSER, 2009.

El origen de estas formas aún no está claro. Algunos autores resaltan la importancia del espacio de diaclasado, otros explican como el lado abrupto como efecto de la crioclastia. No obstante hay autores como Embelton y King (1975) que proponen si las rocas aborregadas solo se forman bajo el hielo templado como señala la hipótesis de crioclastia (Figura 2.7(C)) (Gutiérrez Elorza, 2008).

2.2.3. Topografía Kame y Kettles

Los Kames son pequeñas colinas las cuales están constituidas por depósitos de arena y gravas estratificadas. Las dimensiones de estas varían desde unos pocos metros a colinas cónicas de hasta 50 m de altura y aproximadamente 400 m de base. Suelen generarse por sedimentación en cubetas de hielo y en cavidades supraglaciares y endoglaciares (Gutiérrez Elorza, 2008) (Figura 2.8).

Según Gutiérrez Elorza (2008), los Kames se modifican por la subsidencia si tienen hielo infrayacente y se pueden generar depresiones subcirculares denominadas kettle holes. Si se tienen un conjunto de pequeñas colinas asociadas a depresiones se utiliza el termino de topografía de kame y kettle o complejo de kame (Figura 2.8 y Figura 2.9).

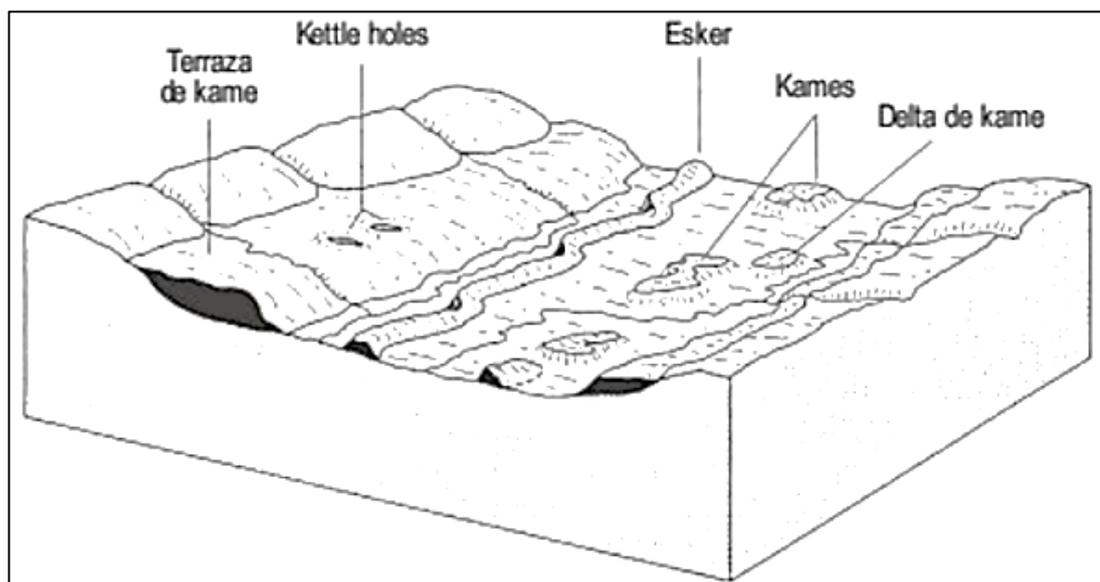


Figura 2.8. Modelados fluvio-glaciares desarrollados en el contacto con el hielo (después de la retirada del glaciar).

Fuente: Gutiérrez M, 2008.

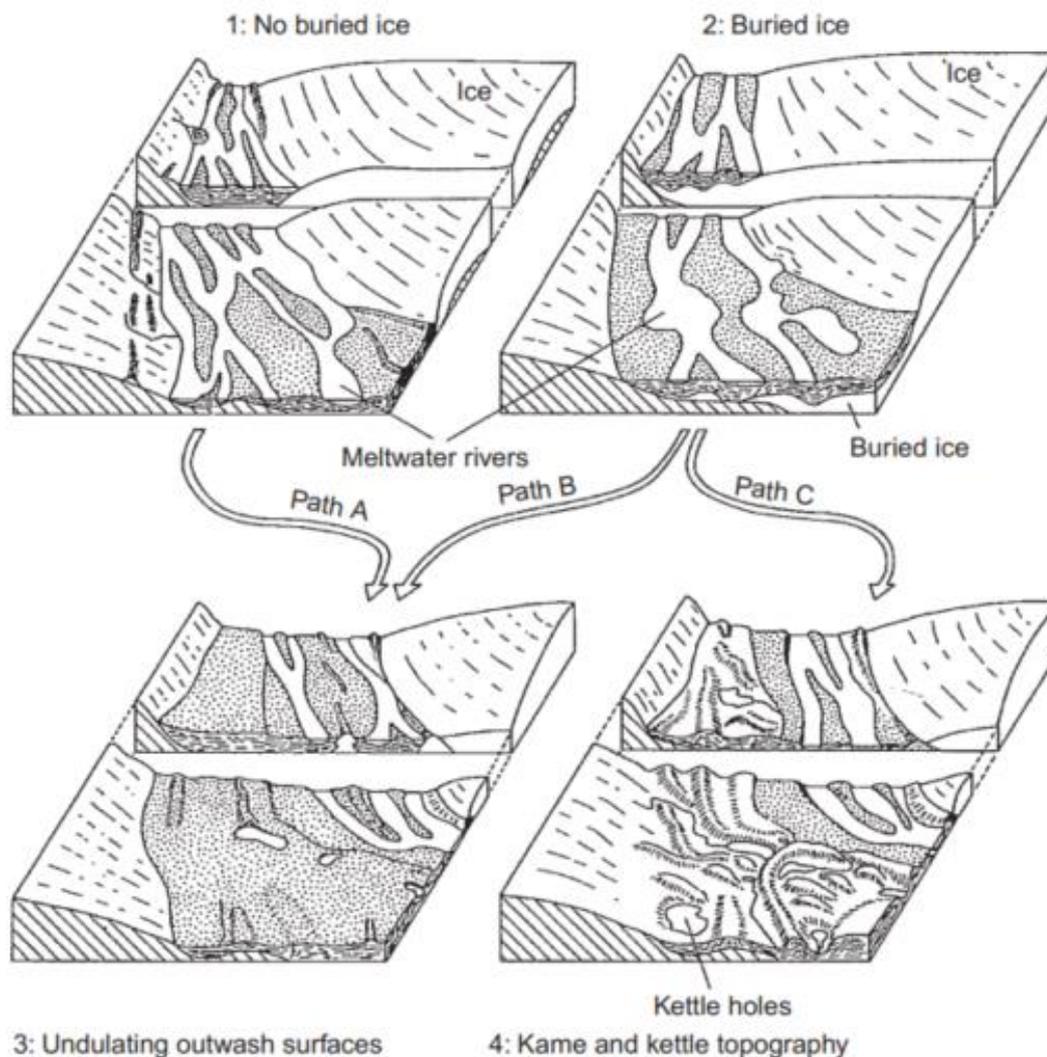


Figura 2.9. Modelo conceptual que muestra la evolución de dos superficies de sedimento fluvio-glacial una de las cuales está debajo de hielo (2). El control clave sobre la morfología fluvio-glacial que resulta es el tiempo entre la fusión del hielo enterrado y el abandono de la superficie fluvio-glacial. Si la superficie se abandona antes de que todo el hielo se haya derretido, se produce una topografía de kame y kettle (4). Caso contrario, si el hielo enterrado se derrite antes de que se abandone la superficie, su presencia puede no ser visible en la superficie fluvio-glacial porque las corrientes de agua de fusión tienden a llenar los orificios de los kettle a medida que se forman (3).

Fuente: BENNETT & GLASSER, 2009.

2.2.4. Esker

De acuerdo con Gutiérrez Elorza (2008), son estructuras en forma de cordones formados por depósitos estratificados de gravas y arenas redondeadas, donde suelen presentarse algunos bloques. Estas estructuras presentan una dirección paralela al rumbo regional del movimiento del hielo, haciendo que tengan formas sinuosas o rectas. Otro rasgo por mencionar es que pueden medir desde unos pocos metros hasta varios cientos de kilómetros presentando hiatos con alturas de hasta 200 m y aproximadamente hasta 3 km de ancho (Figura 2.8).

2.3. Antártida

El continente antártico contiene morfología, litología muy particular lo cual hace de este una fuente de información geológica, biológica y antropológica muy valiosa. Cabe mencionar que los suelos antárticos se forman debido a la acción del clima y de procesos biológicos en el material que comprende la superficie de la tierra. Es necesario entender la geología y geomorfología de los suelos antárticos para comprender los procesos de formación del suelo y su influencia en la capa de hielo (Campbell & Claridge, 1987).

La Antártida a lo largo del tiempo es un continente el cual ha sido deformado fuertemente, metamorfoseado e instruido por granitos durante el Paleozoico (Campbell & Claridge, 1987). Luego de la intrusión del granito, se presentó una fase de perturbación tectónica la cual provocó algunas fallas relacionadas con el levantamiento de cadenas montañosas. La mayor parte de estas rocas guardan similitudes con rocas aún más antiguas que formaban parte del supercontinente Gondwana (Campbell & Claridge, 1987)(Figura 2.11 y Anexo F).

2.3.1. Geología del Este de la Antártida

Con respecto a la parte Este de la Antártida, según Campbell & Claridge (1997) está es considerada un fragmento del antiguo supercontinente Gondwana. Puesto que, en este fragmento encontramos muchas similitudes con el Australia y África, y a su vez su geología puede describirse muy simple.

Está compuesta por basamento del Precámbrico al Paleozoico Inferior, con una historia y estructura complejas, intruido por granito y erosionado por la intemperie y los procesos glaciales, subyace a una gran secuencia plana de sedimentos, areniscas,

limolitas, secuencias de carbón, tillitas, etc., pertenecientes al Paleozoico superior (Campbell & Claridge, 1987) (Figura 2.10).

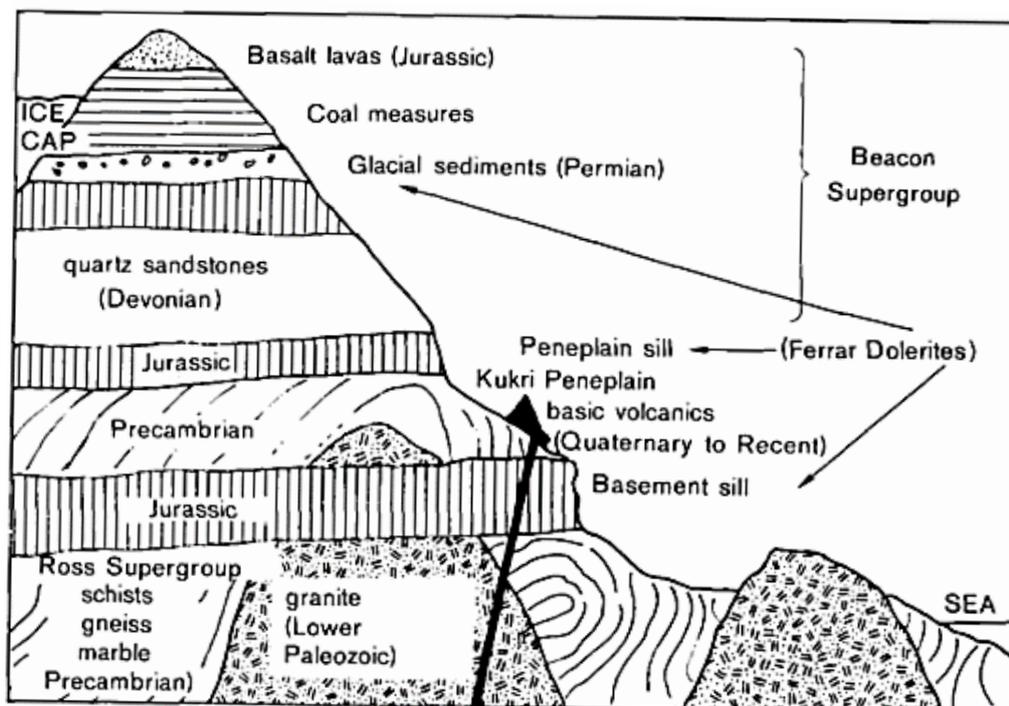


Figura 2.10. Corte Geológico general de las montañas Transantárticas del sur de Victoria donde muestra sus Principales Características.

Fuente: Campbell & Claridge, 1987.

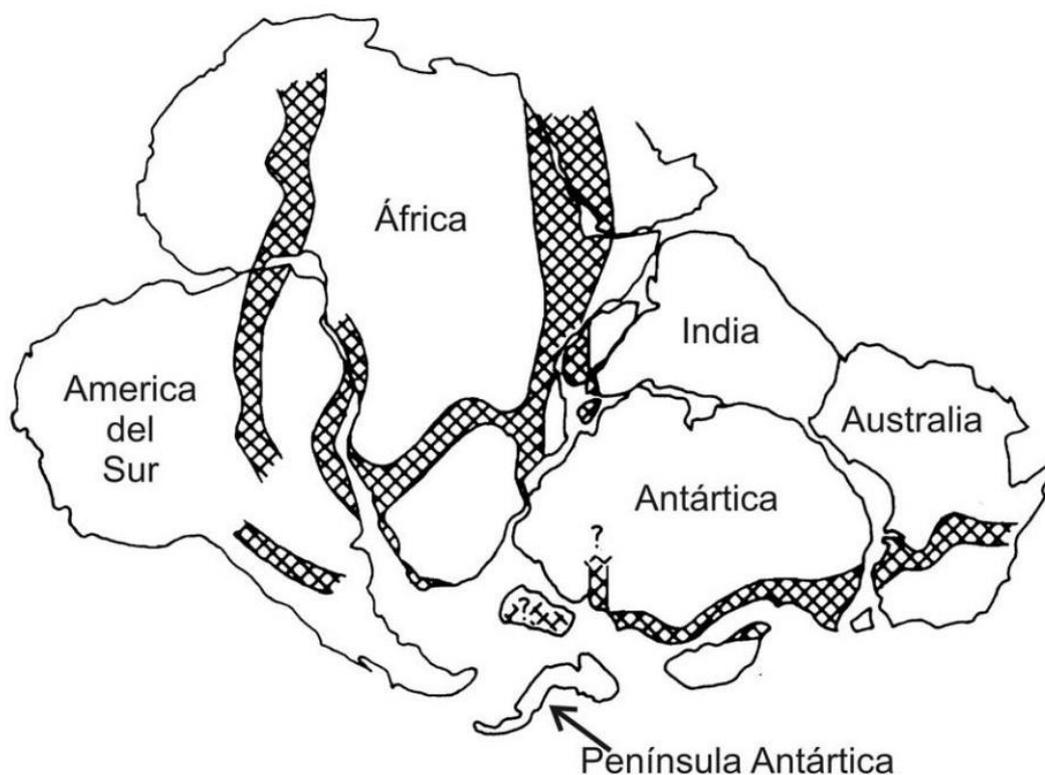


Figura 2.11. Reconstrucción del Supercontinente Gondwana donde se muestra la orogenia de 500-600 m.a.

Fuente: Kraus S., 2016.

2.3.2. Geología del Oeste de la Antártida

De acuerdo con Campbell & Claridge (1997) el Oeste de la Antártida consiste en dos unidades estructurales básicas, las montañas de Marie Byrd Land y la Península Antártica (Figura 2.12).

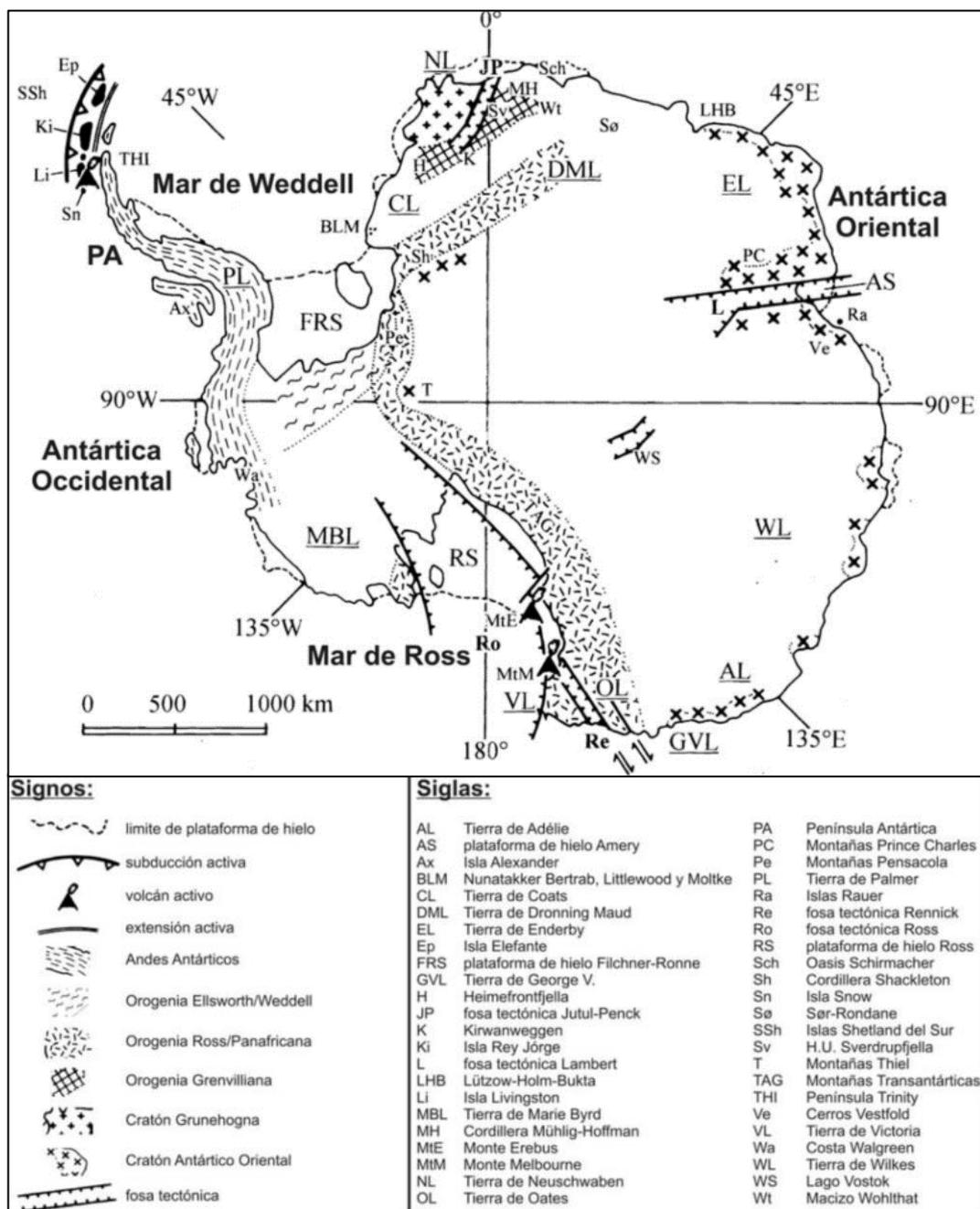


Figura 2.12. Estructuras principales de la Antártida.

Fuente: Kraus S., 2016.

Marie Byrd Land es la parte del oeste de la Antártida que está ubicada al norte de la cuenca Subglaciar de Byrd, es un archipiélago de islas de corteza de tipo continental que parece haber sido arrastrado por la acreción durante la desintegración de Gondwana (Campbell & Claridge, 1987).

La Península Antártica es parte del gran cinturón móvil antártico-andino de deposición geosinclinal Mesozoico y Cenozoico, orogenia y magmatismo, que se extiende desde los Andes alrededor de la curva del Arco de Scotia y a lo largo de la Península Antártica. Campbell & Claridge (1997) establecieron que, en la base de la Península, el cinturón se balancea hacia el Oeste quedando al Este de Ellsworth Mountains (Figura 2.12) de los cuales cuatro grandes ciclos de sedimentación están representados en estas rocas.

2.4. Marco Geológico Regional

2.4.1. Islas Shetland del Sur

Las Islas Shetland del Sur forman un arco de islas de origen volcánico el cual ha estado activo desde el Jurásico hasta el Cuaternario (J.F. Dumont & Santana, 2002). Se encuentran ubicadas al norte de la Península antártica y al Sur del Paso Drake, al sudoeste del grupo de las islas Elefante y Clarence, comprenden un arco de la isla magmático de mesozoico a Cuaternario, que se cree que se originó de un basamento continental de esquistos y rocas sedimentarias (Figura 2.13).

Los esquistos del basamento se encuentran aislados en las islas en cada extremo del grupo: las islas Elefante y Clarence en el noreste y la Isla Smith en el sudoeste. La mayoría son esquistos o filitas de bajo grado con anfíbol-Na y epidota, asociados con metacherts y metabasites, pero, en la isla Elephant sudeste, hay esquistos de cuarzo-mica-granate de grano más grueso, similares a las facies de anfibolitas de las Orcadas del Sur Islas. La idea de que estas rocas de basamento constituyen un cinturón metamórfico emparejado, formado a partir de una secuencia de brecha arco-trinchera pre-Mesozoica deformada durante la

orogenia de Gondwana, fue desarrollada por Smellie (1981). La evidencia directa consistente con esto proviene de una edad cruzada de isócronas Rb-Sr de 280 ± 55 Ma para los esquistos de las Islas Orcadas del Sur (Rex, 1976), y un resultado similar para las lutitas en el grupo Trinity Península en Hope Bay (Pankhurst, 1983), pero Tanner y otros (1982) presentaron evidencia de que al menos parte del terreno de facies esquisto es esencialmente de la misma edad del magmatismo mesozoico.

El arco de las Islas Shetland del Sur se originó en el Jurásico o los inicios del Cretácico en la parte sudoeste de la cadena de la isla (Península Byers, Isla Nieve, Isla Baja). Los sedimentos marinos con las faunas marinas Jurásico Temprano-Cretáceo Temprano son lateralmente continuos y sucesivos con areniscas volcanoclásticas terrestres y conglomerados con basalto intercalado y flujos de lava de andesita basáltica. Las rocas volcánicas se han datado mayormente de edades K-Ar concordantes con una edad isócrona Rb-Sr de 111 Ma (Aptiano), y restos de plantas en los sedimentos terrestres cerca de Cerro Negro han sido interpretadas al Barremian (Cretácico). Sin embargo, otras lavas y diques en la misma área han dado edades de 74-90 Ma, lo que podría representar la restauración de los sistemas de conjunto de rocas de K-Ar durante los eventos

intrusivos cenomanianos o más jóvenes, o una continuación del volcanismo y la sedimentación en el Cretáceo. Se cree que las rocas volcánicas de la edad del Cretácico se extienden a través de la isla Livingston del noreste hacia las islas Greenwich y Robert.

2.4.2. Cuenca de Bransfield

La Cuenca de Bransfield, situada al suroeste del Arco de Scotia, es una cuenca de extensión que separa las islas Shetland del Sur de la parte septentrional de la Península Antártica (Figura 2.13). La cuenca, de edad Terciaria superior a Cuaternaria, es uno de los pocos ejemplos modernos de cuenca marginal dentro de un arcoensialico (Keller y Fisk, 1992) (Canals, Acosta, Gràcia, Escartín'J., & Grupo O.R.C.A., 1992).

El contexto geodinámico en el que la Cuenca de Bransfield está enclavada es extremadamente complejo (Craddock, 1982; British Antarctic Survey, 1985). El margen occidental de la Península Antártica ha sido una zona de subducción continuada desde el Jurásico hasta finales del Terciario (Barker, 1982; Barker y Dalziel, 1983). Estudios de las anomalías magnéticas marinas

han mostrado que desde 50 Ma hasta hace 4 Ma se ha producido una sucesión de colisiones dorsal-fosa a lo largo de la costa occidental de la Península Antártica (Herron y Tucholke, 1976; Barker, 1982; Larter y Barker, 1991). Durante todo este período, la nueva corteza oceánica que se creaba en el límite de placas Phoenix Antártica se subducía progresivamente al llegar a la fosa (Barker, 1982). Al colisionar la dorsal con la fosa, la expansión y la subducción dejaban de actuar, eliminando la topografía de la fosa de manera que el margen devenía pasivo (Larter y Barker, 1991).

Barker y Dalziel (1983) postulan el inicio del estadio de rifting en la Cuenca de Bransfield hace 4 Ma. Roach (1978), a partir de la interpretación de anomalías magnéticas marinas, considera que la expansión se inició hace 1,3 Ma. Los mecanismos focales de terremotos detectados en la Cuenca de Bransfield son predominantemente extensionales, produciéndose a lo largo de una cadena de volcanes submarinos de dirección SW-NE (Forsyth, 1975; Pelayo y Wiens, 1989). El volcanismo y la sismicidad presentes a lo largo del eje de la cuenca (Weaver et al., 1979; Saunders y Tarney, 1982; Pelayo y Wiens, 1986; Fisk, 1990) indican que la Cuenca de Bransfield es un rift activo, en el

que la actividad volcano-tectónica aún se está desarrollando (Grad et al., 1992). Además, el adelgazamiento de la corteza bajo el eje de la cuenca (Ashcroft, 1972; Guterch et al., 1991), y la presencia de una anomalía gravimétrica positiva (Davey, 1972), pueden corroborar estas ideas. Respecto a la expansión, se ha descrito también una actividad hidrotermal asociada (Han y Suess, 1987). La inexistencia de la zona de Benioff bajo la cuenca y la aparente falta de volcanismo de arco post-Mioceno en las islas Shetland del Sur, impiden clasificar a la Cuenca de Bransfield como cuenca de tras-arco (Karig, 1974). No obstante, este es aún un punto de discrepancia, ya que mientras algunos autores (Alabaster y Storey, 1990; Jeffers y Anderson, 1991; Kim et al., 1992) consideran a la Cuenca de Bransfield como cuenca de tras-arco, Keller y Fisk (1992) la definen simplemente como una cuenca marginal.

Morfológicamente, Jeffers y Anderson (1991) diferencian tres subcuencas en el interior de la Cuenca de Bransfield: occidental, central y oriental, las cuales aumentan de profundidad y se estrechan progresivamente hacia el noreste. En ellas, la sedimentación está dominada por los procesos glaciomarininos.

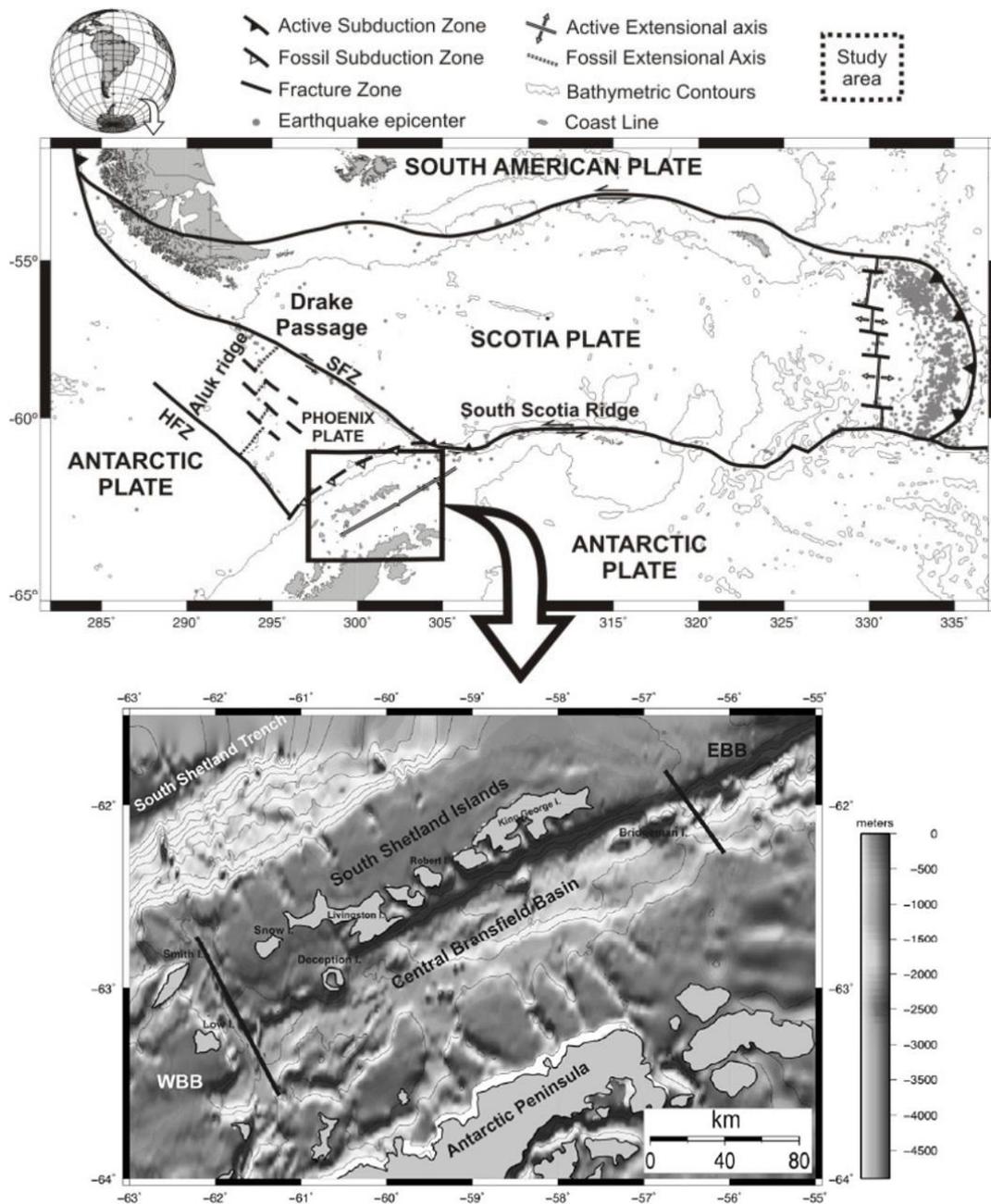


Figura 2.13. Mapa tectónico y batimétrico regional de la zona de estudio.
Fuente: Martos J., 2014.

2.5. Marco Geológico Local

2.5.1. Isla Greenwich

Dentro del ámbito geológico los datos más antiguos que están disponibles son los de Hervé y Araya (1964, 1965 y 1966), en los cuales reconocen en líneas generales un basamento andesítico, en el que hoy en día se encuentra bastante alterado. Este ha sido intruido por granodioritas a dioritas. Estas afloran en el Picacho López ubicado en las cercanías de la Base Arturo Prat, pero fueron observadas al oeste de Bahía Chile. No obstante, la presencia de estos intrusivos queda delatada por la alteración hidrotermal de las andesitas, clastos y bloques de este tipo de roca encontrados en las morrenas de los glaciales que bajan del centro de la isla (J.F. Dumont & Santana, 2002).

Según los datos recopilados en campo de Hervé y Araya (1966), los islotes de Bahía Chile están también formados por andesitas que se ven atravesados por filones. En Bahía Yanqui existe una secuencia volcánica en que alternan andesitas y brechas, de unos 150 m de potencia expuesta, poco alteradas, cuya relación con las rocas de los alrededores de Bahía Chile no está determinada. Hay numerosos diques oscuros distribuidos en

todos los afloramientos de la isla. Estos intrusivos probablemente corresponden al Andean Intrusive Suite, de repartición amplia en las Shetland del Sur y Tierra de O'Higgins y que se asigna al Cretácico superior o Terciario inferior. En el islote González y áreas vecinas de la Isla Greenwich, se encuentran andesitas basálticas y tobas de lapilli, horizontales y de aspecto mucho más fresco que las rocas anteriormente tratadas, por lo que probablemente son terciarias. Estos autores señalan que muchos de los clastos de intrusivos ácidos que se encuentran en las morrenas, presentan diseminaciones de calcopirita bastante densas, y presentan un blanqueamiento casi completo (J.F. Dumont & Santana, 2002).

2.5.2. Punta Fort Williams

La Isla Greenwich está principalmente compuesta por rocas ígneas y volcanoclásticas correspondientes entre el Cretácico tardío al Paleoceno temprano (Smellie, Pankhurst, Thomson, Davies, & Thompson, 1984). Según estudios realizados, la PFW, presenta algunos afloramientos de estas rocas ígneas de composición mineralógica similar, pero con diferentes texturas, así como sedimentos producto de procesos relacionado a la erosión y transporte glacial del Cuaternario.

Las rocas ígneas constituyen el basamento de esta zona. Estas rocas fueron descritas por Benítez y Rada (1992) clasificándolas en dos litologías: andesitas afaníticas y stock de andesitas porfídicas; esta clasificación la hizo con datos tomados en campo. A diferencia de Dumont et al. 2006 el cual mediante análisis petrográfico a partir de datos y muestras tomadas en campo; hace una clasificación de 4 litologías: basalto Puyango, basalto Fort Williams, brecha Puyango y cenizas recientes (Figura 2.14).

De acuerdo con Dumont & Santana (2002), se presenta como una plataforma marina sedimentaria de 10 m de altura con varios picos rocosos de hasta 20 m y con orientación al NE. Destacan dos zonas de playas, una al NW y otra al SE de la plataforma pueden ser observadas, estas están constituidas por cordones litorales con un promedio de 10 m de altura.

La sección con mayor continuidad se observa al oeste de la estación PEVIMA desde el mar hasta el cerro Puyango. La sucesión básica empieza con basalto macizo visible hasta 20 m de espesor y se termina en una planicie en donde aflora basalto vesicular, sobre esta se observa nuevamente el basalto macizo en la pendiente hacia el cerro Puyango en aproximadamente 30

m de espesor, y se termina hacia el tope de este cerro con basalto vesicular y brechas volcánicas.

El nivel más alto del cerro Puyango (80 msnm.) corresponde a brechas volcánicas que presentan una matriz roja con fragmentos heterogéneos de varios colores, además se encontraron pedazos de madera petrificada de hasta 10 cm de tamaño. Tanto la brecha como los fragmentos de madera sugieren la ocurrencia de un fenómeno catastrófico tipo Lahar y/o coladas superficiales.

La mayor parte de Punta Fort Williams, al E de la sección anteriormente descrita, corresponde a una zona baja con relleno aluvial y de playa con alturas menores a los 10 m, en donde se observa además afloramientos aislados de hasta 23 m de altura. La Punta Orión está constituida por basaltos macizos similares a la base de la sección anterior.

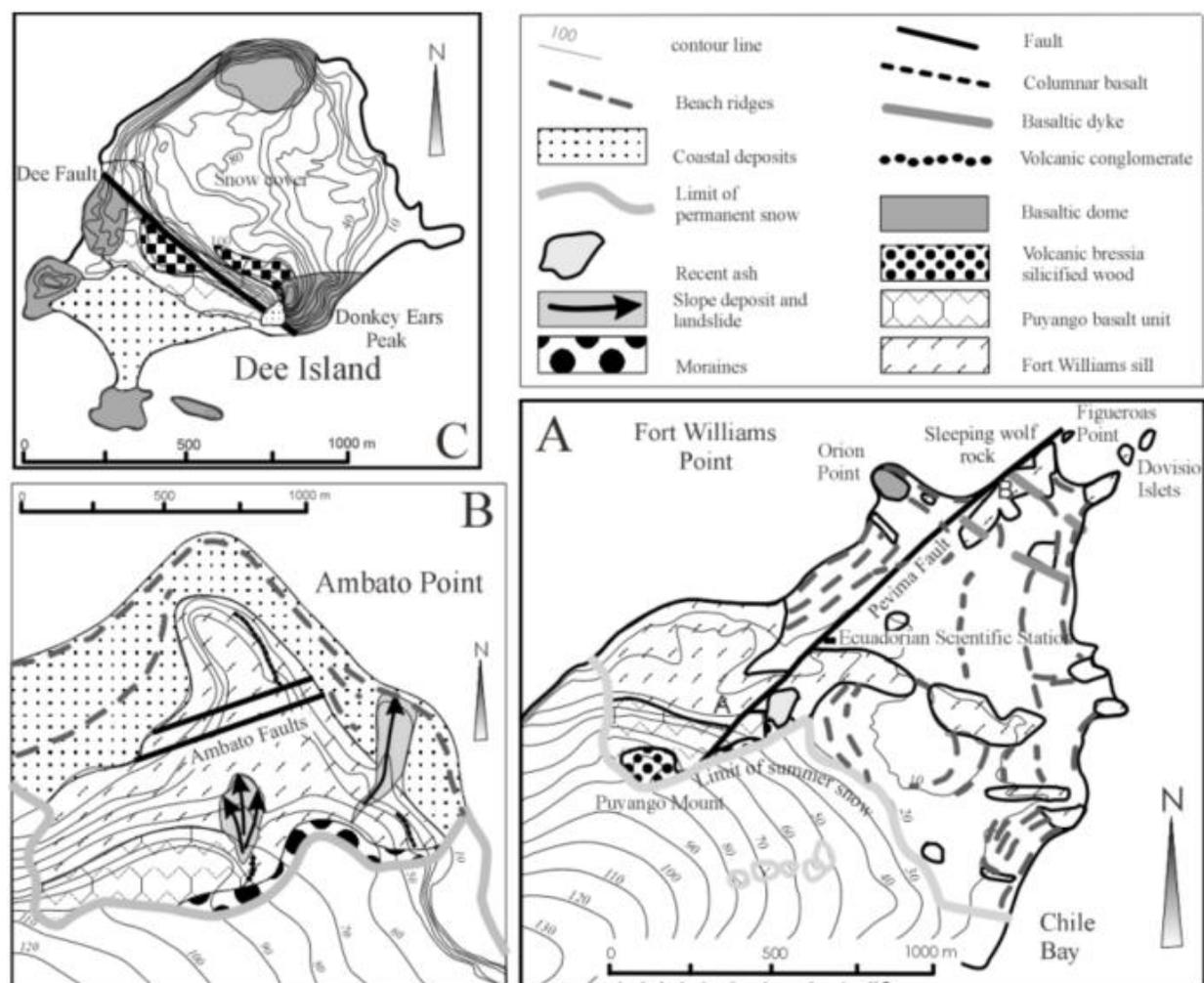


Figura 2.14. Mapa Geológico de los alrededores de la Estación científica PEVIMA, A: Punta Fort Williams, B: Punta Ambato, C: Isla Dee
Fuente: Dumont et al. 2006.

CAPÍTULO 3

DATOS Y METODOLOGÍA

3.1. Datos

Entre los datos que se utilizaron en este trabajo se encuentran:

- **Datos cartográficos y afines:**

Datos cartográficos en formato shape y DEM. Elaborados por el INOCAR en los años 2008, 2014, 2015 y 2016 (Proporcionados por el INAE en 2017).

Ortofotos elaboradas por el IGM y proporcionadas por el INAE

Imágenes tomadas por el Satélite Sentinel 2.

- **Datos bibliográficos:**

Mapas Temáticos elaborados por el INOCAR en los años 2008, 2014, 2015 y 2016 (Proporcionados por el INAE en 2017).

Mapa de la PFW elaborado en 1991 por el Ing. Stalin Benítez (Anexo H).

Datos bibliográficos del área de estudio tomados de distintas fuentes para su posterior análisis y comparación de resultados.

3.2. Metodología

La metodología propuesta, con la cual se espera alcanzar los objetivos planteados en este proyecto, comprende de 3 etapas (Figura 3.1).

3.2.1. Etapa I: Colección y selección de información

Durante esta primera etapa se recopiló y seleccionó información geológica pertinente y estudios previos realizados en la Isla Greenwich. Además, se obtuvieron datos cartográficos, ortofotos e imágenes satelitales proporcionadas por el Instituto Antártico Ecuatoriano (INAE), el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), Instituto Geográfico Militar (IGM), entre otros.

3.2.2. Etapa II: Procesamiento de Información

Los datos obtenidos en la Etapa I (geología, cartografía base, etc.) se procesaron y modelaron haciendo uso de software, tales como: ArcGis, Global Mapper, etc. Estos permitieron la generación de mapas temáticos.

Adicionalmente se realizó el análisis de imágenes satelitales aplicando principios de teledetección óptica y radar que permitan

profundizar el análisis de los peligros alrededor de la estación científica Pedro Vicente Maldonado.

3.2.3. Etapa III: Análisis o Discusión de Resultados

Con los resultados obtenidos de los mapas temáticos y el modelamiento en software, se evaluó la coherencia de los resultados con otros trabajos realizados en la zona, con el fin de:

- Ajustar la concepción geológica,
- Identificar los posibles peligros geológicos y proponer manejo o atenuación; y
- Establecer una campaña de muestreo la cual pueda mejorar la comprensión de la geología de la zona confirmar los resultados obtenidos.

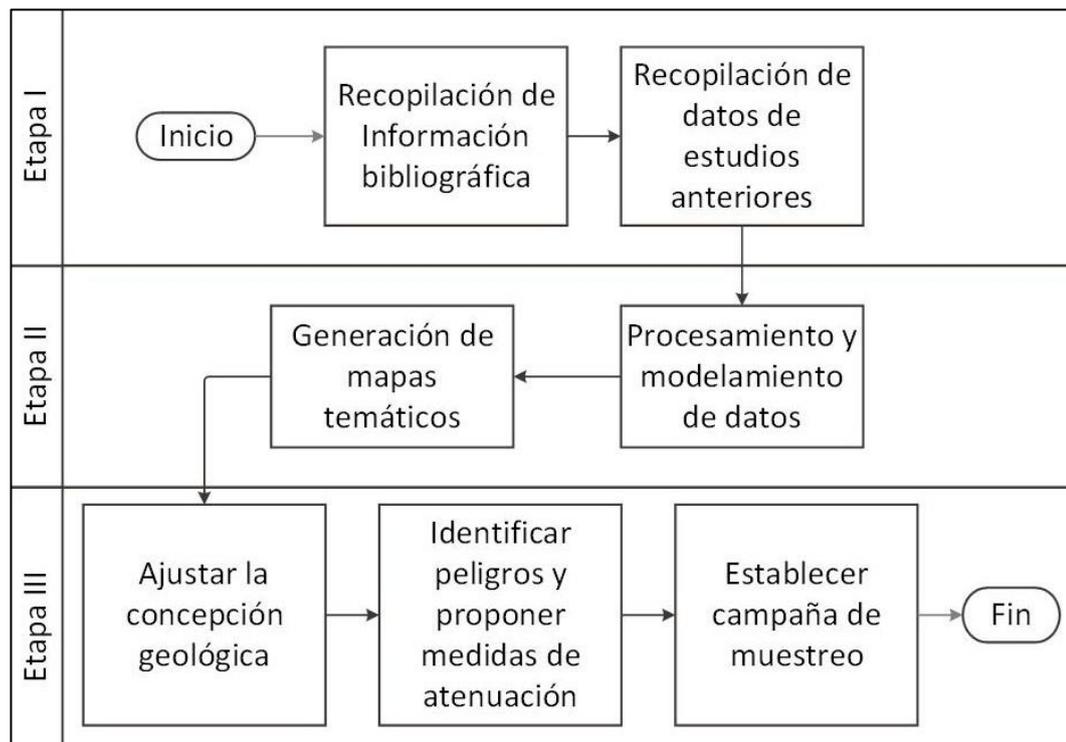


Figura 3.1. Diagrama de la metodología utilizada en el proyecto.
Fuente: Choez C., 2018.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Mapa Geomorfológico

La PFW presenta rasgos morfológicos erosivos dominantes los cuales han sido identificados mediante ortofotos, esta característica delimita claramente a dos tipos de ambiente que se encuentran divididos por un lineamiento de basaltos. Esto separa la PFW en una zona glaciaria y una periglaciaria (Figura 4.1 y Figura 4.5).

A primera vista se puede notar que en la zona periglaciaria va abarcar desde el SE en la Punta Troncoso y al SW donde se encuentra la Estación científica PEVIMA, hasta el NE a la Punta Figueroa. Por otra parte, la zona glaciaria comprende la parte que está al sur de la zona periglaciaria hasta donde se alcanza a ver el deshielo en las ortofotos.

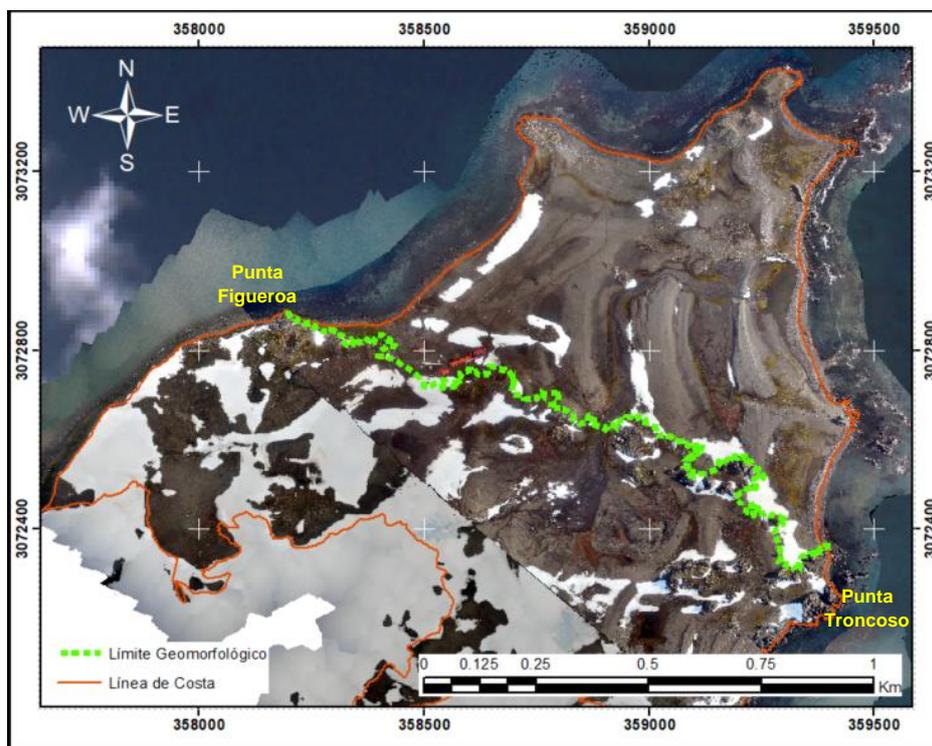


Figura 4.1 Límite geomorfológico presente en la PFW.

Fuente de datos: Ortofotos elaboradas por el IGM y proporcionadas por el INAE, imagen de fondo tomada por Sentinel 2.

La zona periglacial está compuesta por morfologías fluviales, lacustres y post-glaciares (Figura 4.2). Tenemos distintas morfologías como resultado de procesos erosivos, de transporte y de acumulación de sedimentos debido a que nos encontramos con la salida al mar.

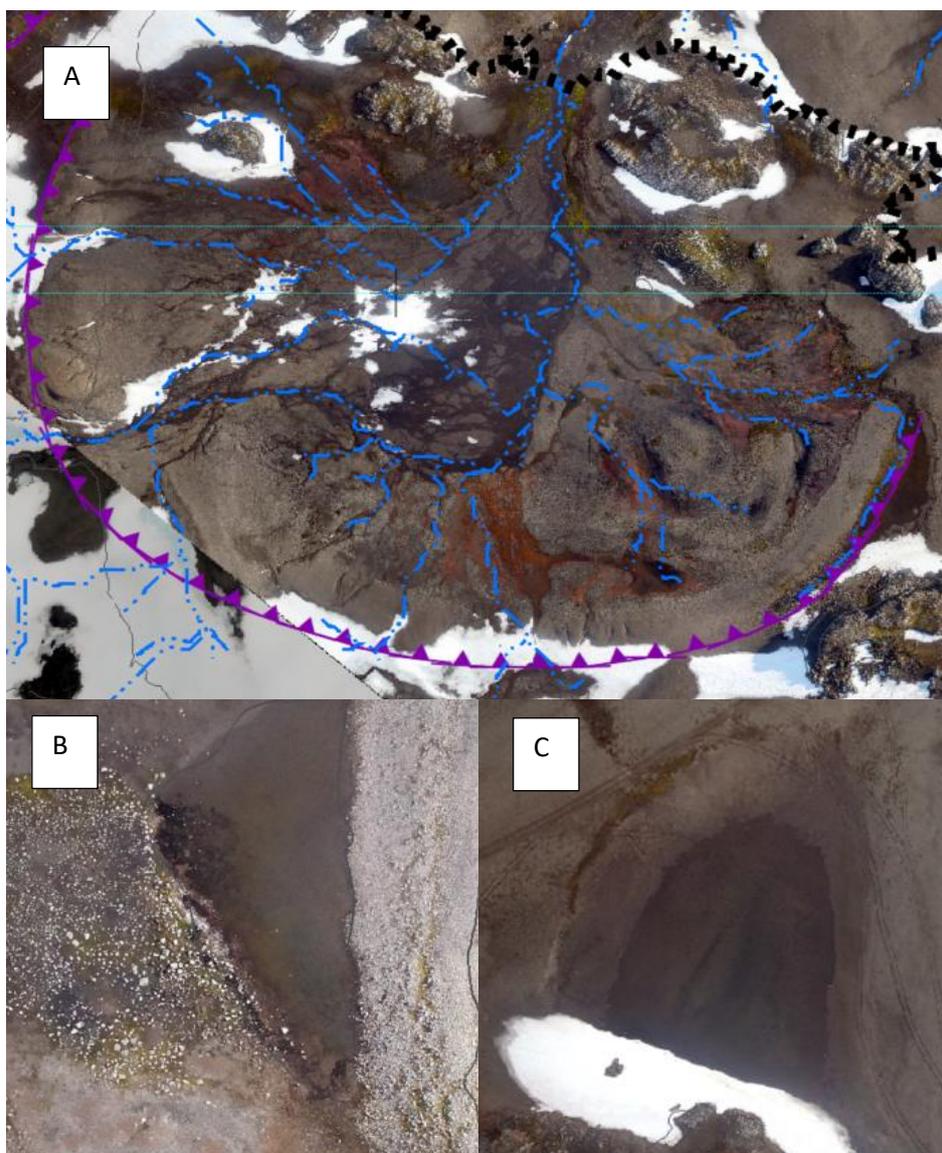


Figura 4.2. Morfologías Glaciares y periglaciares en la PFW.(A) Circo Glaciar. (B) Esker. (C) Laguna estacional/Kettle Hole?.

Fuente de datos: Ortofotos elaboradas por el IGM y proporcionadas por el INAE.

Encontramos morfologías de formación mixta (glaciar y fluvial) como lo son los cordones litorales (Figura 4.3) (Araya & Hervé,

1966), estos a su vez están clasificados en 6 familias (Santana & Dumont, 2017). A su vez tenemos morfologías fluviales estacionales como ríos y deltas a causa del deshielo que sufre en el verano austral. Otro rasgo morfológico fluvial principal es el río Culebra el cual atraviesa la PFW y desemboca en el mar.



Figura 4.3. Cordones Litorales en la zona periglacial de la PFW

Fuente de datos: Ortofotos elaboradas por el IGM y proporcionadas por el INAE.

Dentro de ambas zonas encontramos unas estructuras típicas que evidencian el retroceso del hielo, estas se denominan kettles

(Figura 4.2 (B y C)). Estas estructuras están ubicadas cerca del límite geomorfológico ya mencionado. Junto a estas por lo general se encuentra nieve o meltwater, el que esté presente alguna de las dos depende del clima en el cual se encuentre.

En la zona glacial se encuentran morfologías típicas como circos, lagunas estacionales y un valle en U localizado al sur de la estación científica PEVIMA (Figura 4.2 (A)). Es necesario recalcar que las morfologías glaciares presentes en la PFW no son de gran escala como en otras partes de la Isla Greenwich o la misma Península Antártica. Las lagunas estacionales están ubicadas al sur y al SE de la estación científica PEVIMA.

Los *rôche moutonnée* o bloques aborregados son un rasgo característico de la erosión glacial se manifiesta en la mayor parte de la PFW. Estos presentan fracturas en su mayoría con direcciones de NE-SW y NW-SE, el grado de erosión es variado dependiendo de la zona en donde se los observe (Figura 4.4).



Figura 4.4. Rochê moutonnée en PFW. A: Rochê moutonnée en la Punta Figueroa. B: Rochê moutonnée en el limite geomorfológico.

Fuente: Ortofotos elaboradas por el IGM y proporcionadas por el INAE.

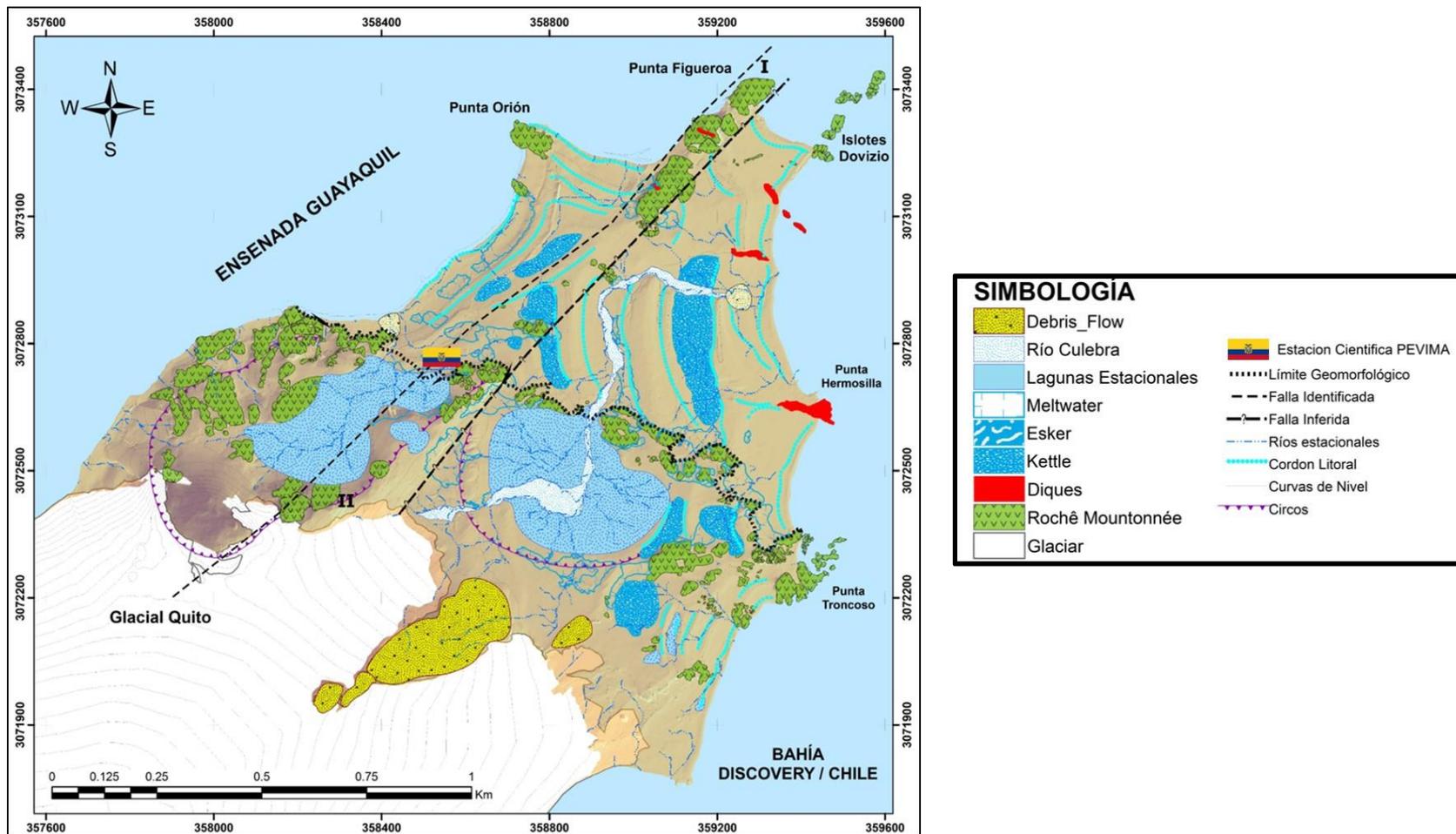


Figura 4.5. Mapa Geomorfológico de la Punta Fort Williams.

Fuente: Modelo de elevación digital (DEM) y datos topográficos proporcionados por el INOCAR e INAE.

4.1.2. Mapa Geológico

Las rocas ígneas constituyen el basamento de esta zona. Estas rocas fueron descritas por Benítez y Rada (1992) clasificándolas en dos litologías: andesitas afaníticas y stock de andesitas porfídicas; esta clasificación la hizo con datos tomados en campo. A diferencia de Dumont et al. 2006 el cual mediante análisis petrográfico a partir de datos y muestras tomadas en campo; hace una clasificación de 4 litologías: basalto Puyango, basalto Fort Williams, brecha Puyango y cenizas recientes (Ver 2.5.2)(Figura 2.14).

Los basaltos Fort Williams y Puyango se diferencian por las texturas que se han observado en campo y en los análisis petrográficos. La brecha Puyango y las cenizas presentes en la PFW solo han sido identificadas en campo.

Sin embargo, a partir de la interpretación realizada las ortofotos (realizadas por el IGM en 2014-2016) se puede evidenciar que muchas de las zonas propuestas con afloramientos se encuentran erosionadas fuertemente. A causa de esto el área que cubren las unidades litológicas propuestas por ambos autores ha sido delimitada y seccionada para aumentar el nivel

de detalle y mejorar la comprensión de la geología de la PFW (Figura 4.6).

Los sedimentos Cuaternarios presentes están asociados a distintos tipos de deposición. Se logró diferenciar depósitos lacustres, periglaciares y fluviales. Encontramos distintos tipos de depósitos debido al conjunto de procesos que se encuentra esta parte de la Isla Greenwich.

Los sedimentos periglaciares, lacustres y fluviales se le atribuiría su origen al constante proceso erosivo del glaciar presente. Estos depósitos se encuentran asociados a las geomorfologías descritas en el mapa geomorfológico (Ver 4.1.1). Localizados al NE de la PFW y están compuestos principalmente de gravas y areniscas (Dumont et al., 2006). Estos sedimentos ocupan una parte significativa de la PFW alcanzando aproximadamente al 80% de la superficie de la esta, siendo el otro 20% el hielo y nieve (cobertura en verano).

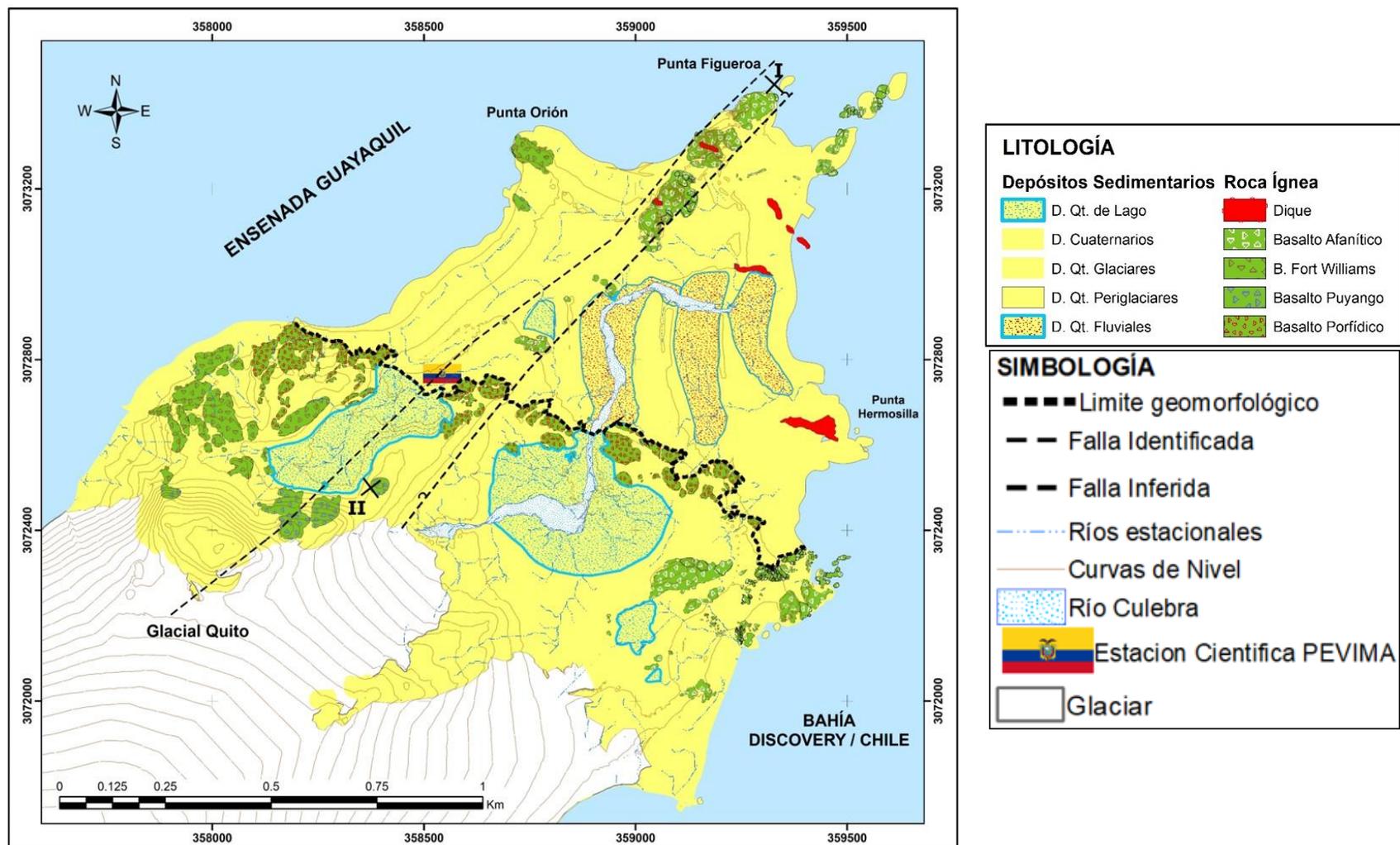


Figura 4.6. Mapa Geológico de la Punta Fort Williams
Fuente: Datos topográficos proporcionados por el INOCAR e INAE.

Los esfuerzos en la PFW presentan evidencias de tener dirección NE-SW. Estas estructuras están asociadas a fallas que posteriores a las unidades volcánicas del Cretácico. Cabe señalar que Dumont et al. (2006) identificaron una falla de cizalla. Por otro lado, en las ortofotos se infiere una falla de cizalla la cual es paralela a la que identificó Dumont (Figura 4.7).

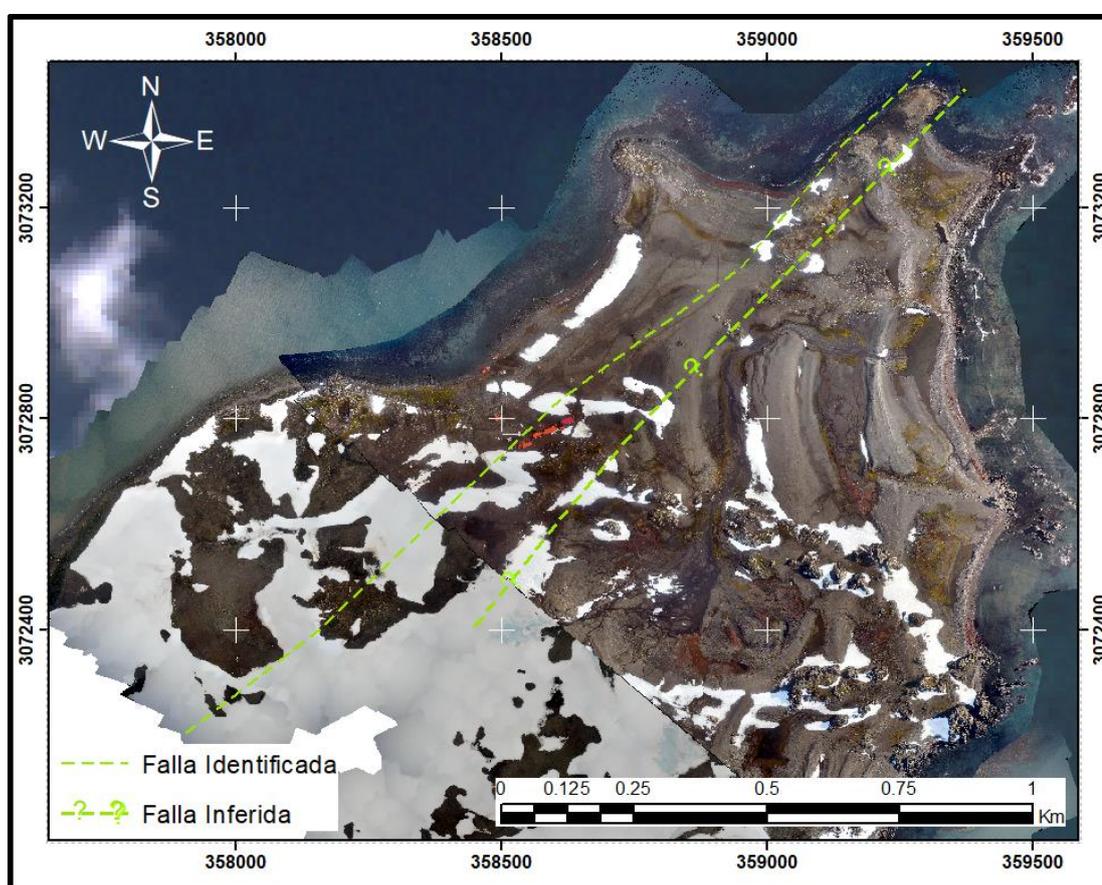


Figura 4.7. Fallas de cizalla identificadas en campo e inferidas por la ortofoto.

Fuente: Dumont et al. 2006, Ortografos elaboradas por el IGM y proporcionadas por el INAE, imagen de fondo tomada por Sentinel 2.

Benítez y Rada (1992), propusieron un perfil con una longitud de 1.5 km que corta la PFW de NE a SW. El cual fue corregido a partir de datos cartográficos (Figura 4.8). A partir de estos datos se deducen 3 tipos de texturas de basaltos. El perfil muestra al SW como basamento el basalto Puyango con una cota máxima de 27 msnm, sobreyaciendo de una capa de depósitos Cuaternarios que podrían ser coluviales o de till. Al norte de estos depósitos se encuentra un basalto porfídico con una cota máxima de 30 msnm, siendo este el basamento; superpuesto a este se encuentran depósitos Cuaternarios en las partes bajas. Consecutivamente, al norte de esta secuencia se encuentra el basalto afanítico como basamento el cual está seccionado por dos intrusivos de litología desconocida.

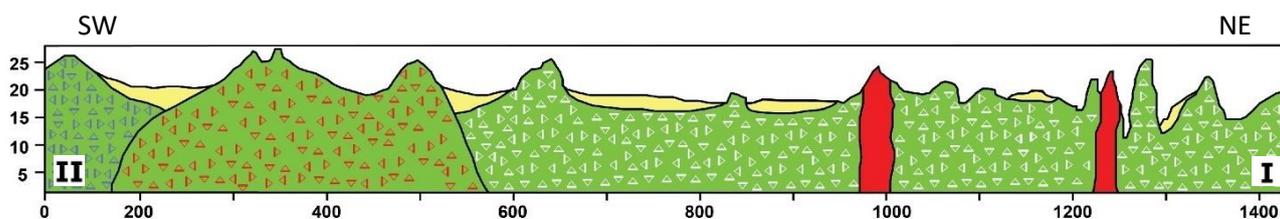


Figura 4.8. Corte I-II. Corregido a partir de Benitez y Rada (1992)
Fuente: Choez C., 2018.

4.2. Discusión

4.2.1. Mapa Geológico y Geomorfológico

Los mapas geológicos propuestos por Benítez & Rada, 1992 y Dumont et al., 2006 contienen aspectos generales de la geología de la PFW. A pesar de las limitaciones presentadas en cada una de estas propuestas se logra diferenciar claramente que:

El basamento en la PFW es una roca ígnea del mismo tipo, pero con distinta textura.

En la PFW se encuentra presente un límite geomorfológico el cual divide la morfología de esta en dos.

Existen esfuerzos de cizalla presentes en la isla los cuales deberían ser verificados en campo en conjunto con un análisis estructural detallado para conocer las posibles repercusiones de acuerdo con el tipo de depósito al que estaría afectando.

La evidencia y registros que se tienen de los análisis realizados por Dumont et al., 2006 a los distintos puntos de la PFW, sugieren que el basamento podría tratarse de varios flujos que

pertenezcan a una misma erupción volcánica o flujos de distintas erupciones volcánicas que mantengan una similitud petrográfica.

Esto se puede verificar con un dato de campo que involucre un posible contacto de estos flujos, seguido de un análisis petrográfico más a fondo y de ser posible la datación de estos flujos.

Se encontraron morfologías que son típicas de ambientes glaciares y periglaciares. Se identificaron morfologías típicas de ambientes glaciares como circos, valles en U, lagunas y diques. En la zona periglacial se identificaron morfologías correspondientes a meltwater, esker, kettle holes, cordones litorales, ríos y rochês moutonnèes; las cuales fueron explicadas anteriormente (Ver 4.1).

A partir de los distintos rasgos morfológicos se logra una diferenciación de ambientes dentro de la zona de estudio. Las estructuras glaciofluviales que se identificaron están sujetas a una comprobación en campo ya que la interpretación de algunas puede variar dependiendo del tamaño del grano y de su génesis.

En consecuencia, estas morfologías pueden interpretarse como morfologías asociadas del mismo ambiente.

Dentro de estas morfologías se tienen los cordones litorales identificados por Dumont & Santana (2006), los cuales tendrían una génesis mixta con aporte marino y aporte erosivo glacial. Estas morfologías están sujetas a discusión debido a que se difiere con respecto a su génesis y no se encuentran correlacionados con estructuras similares encontradas alrededor de la Bahía Discovery en la Isla Greenwich.

4.2.2. Análisis de Peligros

La Estación científica PEVIMA está expuesta a distintos tipos de peligros geológicos entre los cuales tenemos:

- Peligro sísmico
- Peligro Volcánico
- Peligro de Deslizamientos de masas y erosión
- Peligro de Inundaciones

4.2.2.1. Peligro sísmico

Dada la configuración tectónica a la que está sometida esta zona se considera asísmica. Cabe recalcar que

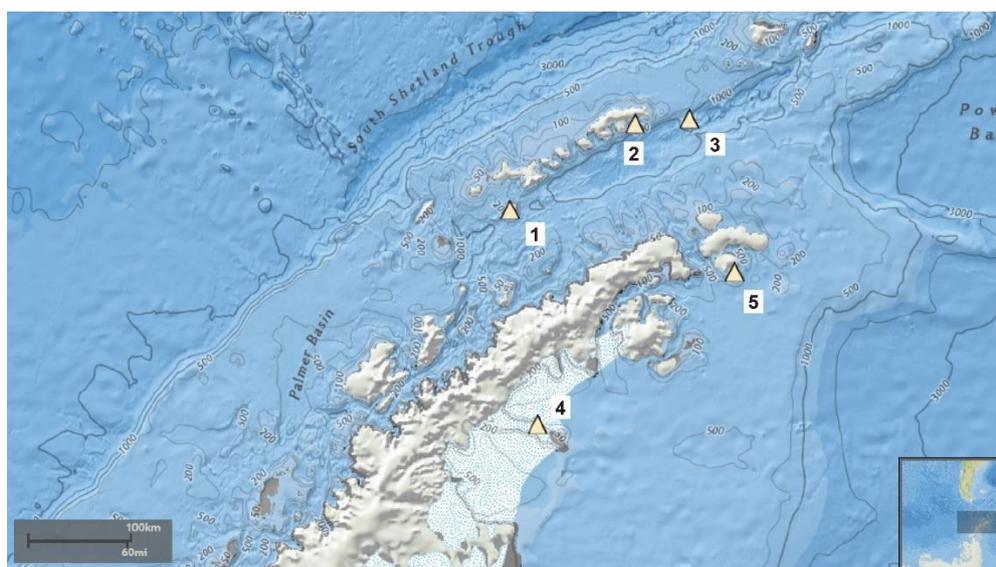
esta es una consideración regional, sin embargo, la Isla Greenwich está sometida a esfuerzos de cizalla debido a que la atraviesan dos fallas de las cuales no se tiene información pertinente sobre su actividad. Al este de la Isla Greenwich tenemos la cuenca de Bransfield la que está sometida a esfuerzos de cizalla, siendo en conjunto parte de un sistema tectónico potencialmente activo. (Jean Francois Dumont et al., 2006; Martos, 2014)

Por lo descrito, actualmente la tectónica regional no representaría mayor peligro a la estación científica PEVIMA. Sin embargo, un análisis de las estructuras en los alrededores de la estación ayudaría a comprender mejor el tectónico local a la que está sometida la estación.

4.2.2.2. Peligro Volcánico

La Antártida al ser una zona con más de 138 volcanes localizados tiende a ser una zona de alto Peligro volcánico. Hay que mencionar además que, las Islas Shetland del Sur son de origen volcánico. Dentro de los volcanes más representativos en la actualidad

alrededor de las Islas Shetland del Sur tenemos los que se encuentran ubicados en las Islas Decepción, Penguin, Bridgeman y Linderberg (Figura 4.9).



1: Deception Island, 2: Penguin Island; 3: Bridgeman Island, 4: Linderberg Island, 5: Paulet

Figura 4.9. Ubicación de los volcanes más representativos de la Antártida

Fuente: NOAA, 2017.

El Estrecho de Bransfield se caracteriza por un eje neovolcánico central, en el que se encuentra el volcán activo de Isla Decepción. Este volcán surge como consecuencia del régimen extensional que caracteriza la Cuenca Bransfield (Martos, 2014). Se debe agregar que este volcán presuntamente presentó actividad eruptiva en el año de 1964.

Durante los monitoreos que realiza el Programa Antártico Español, el volcán de la Isla Decepción durante el verano austral del 2014-2015 presentó una notable deformación e incremento de sismicidad. Este volcán se encuentra aproximadamente a 150 km de la estación científica PEVIMA (Carmona, Almendros, Serrano, Stich, & Ibáñez, 2012) (Venzke, 2015).

El peligro de caída de ceniza es alto hacia la estación. Aunque se encuentra cerca de la estación, la llegada de ceniza depende del tipo de erupción, la velocidad y la dirección de los vientos en la zona. Según Dumont et al. (2006) a aproximadamente 300 m en dirección SW de la estación se encuentra depósito de ceniza, lo que indica que erupciones anteriores ya se ha producido una caída de material piroclástico.

4.2.2.3. Peligro de deslizamiento de masas y erosión.

La estación científica PEVIMA se encuentra en una zona plana y no hay grandes depósitos de sedimentos que sean potencialmente propensos a deslizarse. Al no tener zonas muy altas cerca el peligro de avalancha sería mínimo.

Por otro lado, la estación se encuentra al norte de un circo y al término de un valle en U pequeño (Figura 4.10). Al mismo tiempo, se encuentra que el avance y retroceso del glaciar está en dirección a la estación (Figura 4.11). Esto sugiere que las bases de la estación estarían siendo sometidas a una erosión durante cada época de descongelamiento. Y podría producirse un deslizamiento lateral de la base debido a este proceso erosivo.



Figura 4.10. Foto de la estación científica PEVIMA donde se muestra al final del valle en U (Flecha Verde)

Fuente: Foto de archivos del INAE, 2014.



Figura 4.11. Foto donde se muestra el glaciar (Flecha verde) a pocos metros de la estación científica PEVIMA.

Fuente: Foto de archivos del INAE, 2014.

En este caso, se puede hacer una comprobación anual en campo para verificar si las bases de la estación están siendo afectadas o esta se encuentra deslizándose anualmente. De presentarse alguno de los dos casos se deben tomar medidas de atenuación del peligro al que está sometida la estación. Para atenuar este inconveniente se recomienda reforzar las bases de la estación regularmente o movilizar la estación a una zona lejos de este tipo de configuración morfológica.

4.2.2.4. Peligro a inundaciones

La Isla Greenwich durante el invierno está sometida a climas muy fríos y al estar cerca del polo su superficie permanece bajo la nieve. La PFW no es la excepción, a medida que pasa el tiempo el hielo que cubre el continente antártico se va desvaneciendo y esto produce un aumento en el nivel del mar.

Según una recopilación de estudios del medio ambiente realizados por (National Geographic, 2017b) el nivel del mar se podría elevar aproximadamente 65 m en 5000 años lo que implicaría un aumento de 13 cm cada 10 años. En donde al final las Islas Shetland del Sur quedarían en su mayoría bajo el agua (Figura 4.12).



Figura 4.12. Continente antártico después de la subida de 65m al nivel del mar ocasionado por el deshielo de los polos.

Fuente: National Geographic, 2017.

Este aumento del nivel del mar afecta directamente a la estación dado que se encuentra a pocos metros de la orilla y a escasos metros sobre el nivel del mar, lo que hace que eventualmente se deba movilizar la estación.

4.2.3. Muestreo

La geología de la PFW está dividida entre las distintas interpretaciones de los distintos autores y la escasa información pertinente para realizar un reconocimiento geológico adecuado. Entre los dos autores que proponen la litología de la PFW coinciden en que las rocas de la zona pertenecen a un mismo tipo de roca, pero con distintas texturas. A pesar de discrepar ligeramente en el tipo de roca que se encuentra en la PFW, ambos autores coinciden en las diferentes texturas de las rocas.

(Dumont et al., 2006) mediante análisis petrográficos determina que el basamento de la PFW son basaltos de texturas afaníticas y porfídicas. Esto le permitió a realizar un mapa geológico general de la PFW en el cual propone que la mayor parte del basamento está conformado por el basalto Fort Williams y al SW se encuentra el basalto y la brecha Puyango.

Debido a la información disponible de las descripciones de las láminas delgadas, se considera que no es suficiente para establecer un límite más claro de una unidad litológica. Para esto se establece una serie de 32 zonas de muestreo, con 83 puntos de muestreo.

Estas zonas de muestreo están distribuidas con el fin de establecer una relación entre toda la litología de la zona de estudio y comprobar la hipótesis geológica propuesta (Figura 4.13).

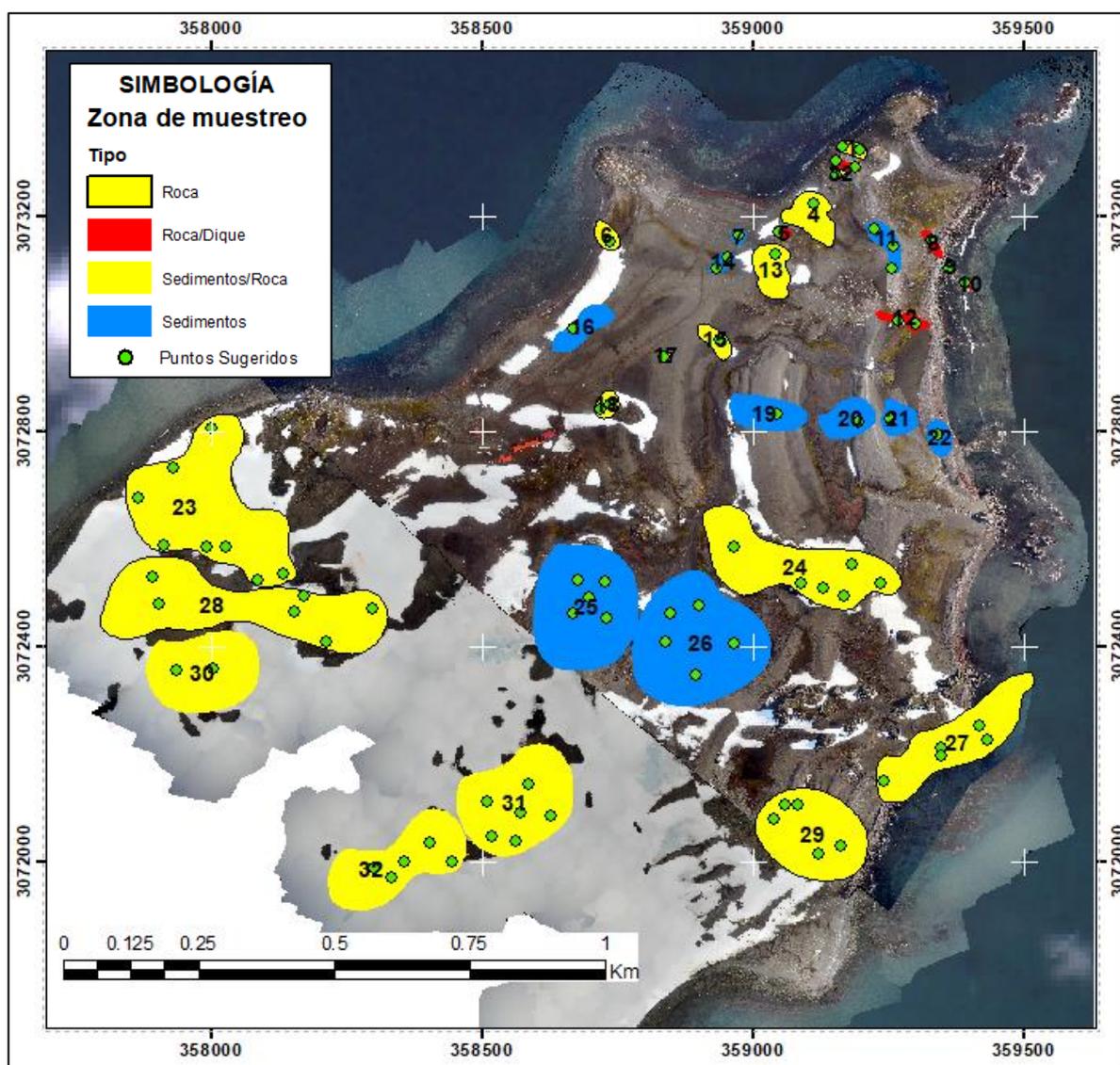


Figura 4.13. Mapa de las zonas de muestreo.
Fuente: Choez C., 2018.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

En la PFW se han realizado diversos estudios geológicos entre los cuales destacan los de Dumont et al. (2006) y Benítez & Rada (1992), de estos estudios se ha logrado concluir que al ser un área pequeña no posee grandes diferencias litológicas.

La litología de la PFW presenta basaltos con diferentes texturas por lo que sugiere que el basamento se trata de varios flujos que pertenezcan a una misma erupción volcánica o flujos de distintas erupciones volcánicas que mantengan una similitud petrográfica.

Dentro del marco estructural la PFW está dividida por dos fallas de cizalla, una identificada en campo por Dumont et al (2006) y una inferida mediante ortofotos.

Geomorfológicamente la PFW está dividida en 2 por un lineamiento de basalto que separa la zona glaciaria de la zona periglaciaria. Dentro de ambas zonas se identifican diferentes morfologías que definen claramente la diferencia entre estas.

Entre las morfologías encontradas dentro de la zona periglaciaria se encuentran unas estructuras denominadas cordones litorales (Araya & Hervé, 1966; Benítez & Rada, 1992; Jean Francois Dumont et al., 2006), estas estructuras

poseen una génesis confusa debido a que contienen sedimentos de aporte marino y de erosión glaciár.

Dada esta génesis mixta y los escasos datos estructurales para establecer el porcentaje de aporte de sedimento producto de la glaciotectónica y el porcentaje de aporte marino, se requieren datos adicionales en campo para definir la génesis de estas estructuras. Puesto que dada su génesis podrían ser Kames o montículos de materiales glaciares.

Así mismo en la zona glaciár se identifican dos circos glaciares a pequeña escala. Se presenta un valle e U dentro del circo que está ubicado al SW, a diferencia del circo que se encuentra al este del otro encontramos una laguna estacional.

La estación científica PEVIMA está expuesta a diversos tipos de peligro entre ellos: peligro sísmico, peligro a inundaciones, peligro a deslizamientos de masas y erosión, peligro volcánico. Siendo probable el peligro a deslizamientos de masas y erosión.

El deslizamiento de masas o avalanchas de nieve afecta a la estación en el especialmente verano austral. Considerando que, durante el verano austral la Isla Greenwich está sometida a un proceso de descongelamiento y que además de esto la isla Greenwich está ubicada de tal manera que corta la descarga de agua de nieve o meltwater como se discutió anteriormente. En conclusión, las bases de estación científica PEVIMA podría estar sometida a

una erosión constante o un deslizamiento lateral en dirección al oeste durante el periodo de descongelamiento y también en el posterior recongelamiento de la Isla Greenwich.

El Volcanismo alrededor de la PFW representa un peligro alto hacia la estación. En vista que, se identificaron depósitos de cenizas recientes en la PFW por Dumont et al. (2006), también encontramos varios volcanes cercanos entre 150-200 km con sus últimos episodios hace menos de 200 años. Frente a una emisión de cenizas, la estación científica PEVIMA podría ser afectada por la caída de este material. Cabe mencionar que no solo depende de la magnitud de la emisión, también depende de la dirección de los vientos y la época del año en la que suceda dicho acontecimiento; ya que de estos factores principalmente dependería el grado de afectación a la estación.

Los peligros sísmicos y los peligros a inundaciones son de nivel bajo. Debido a la configuración tectónica de la zona se los considera de bajo nivel, aunque localmente faltan datos para confirmar esta hipótesis.

La subida del nivel del mar afectaría directamente a la estación, pero es a largo plazo ya que la subida del mar se contempla a aproximadamente a 1.3 metros cada 100 años. Por esto el peligro a inundaciones por esta causa se considera bajo. Aunque un tsunami ocasionado por un evento sísmico lejano no se descarta, dada la configuración compleja de corrientes marinas del Paso

Drake y de las Islas Shetland del Sur no sería pertinente establecer un nivel de peligro. Este caso se debería analizar con profundidad.

RECOMENDACIONES

Frente a los resultados y conclusiones obtenidas se recomienda una comprobación de la geología con las muestras tomadas en campo de las zonas establecidos dentro de este proyecto. Dicha comprobación es recomendable hacerla con láminas delgadas, química total, ICP-MS o ICP OES con el fin de establecer una proporción de componentes mineralógicos y definir las características de los flujos que formaron los basaltos que se encuentran en la PFW.

Realizar un análisis estructural local en la PFW dado que está dividida por dos fallas en dirección NE-SW. Con esto comprobar si existen más estructuras (fallas, pliegues, diaclasas, etc.) que al ocurrir un episodio sísmico pueda afectar a la estación científica PEVIMA.

Ejecutar una campaña geofísica con el fin de correlacionar los datos marinos con los datos terrestres existentes. Tales como, sísmica 2D, gravimetría y magnetometría. Esto favorecería al conocimiento general, estructural, tectónico y geomorfológico de la zona.

Es necesario realizar la comprobación de las columnas estratigráficas a las que se tomarán en la Expedición ECUANTAR XXII y realizar columnas adicionales. Con el fin de correlacionarlas con los estudios estratigráficos realizados por otros países en zonas aledañas a la PFW y en las islas que están próximas a la Isla Greenwich. Para aportar al registro estratigráfico de las Islas Shetland del Sur.

Realizar comprobaciones en campo de las morfologías identificadas en el mapa geomorfológico. Para esta comprobación es necesario tomar en cuenta la geología estructural, la tectónica y la estratigrafía asociadas a estas morfologías ya identificadas.

Para la comprobación del grado de erosión o el deslizamiento de la estación científica PEVIMA es necesario tomar datos pertinentes en el campo. Para comprobar el deslizamiento de la base se podrían tomar las coordenadas de la base con GPS diferencial. Mientras que para medir el grado de erosión al que podría estar sometida la base de la estación, es necesario revisar continuamente las bases para comprobar si existe un desgaste en el tiempo y de cuanto es el desgaste en caso de presentarse.

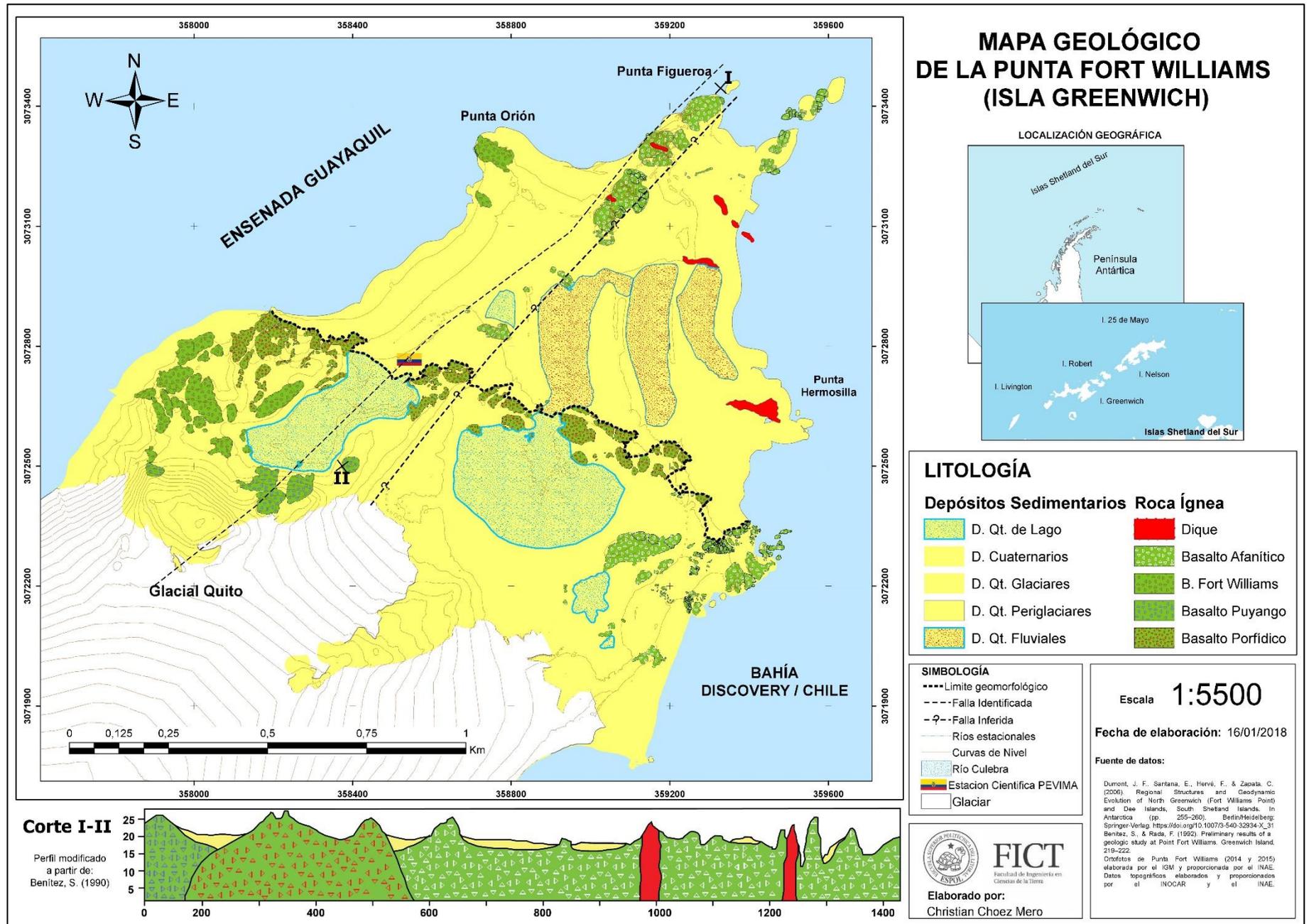
Para determinar el peligro a corto plazo es necesario realizar los estudios pertinentes en volcanes, tal que se determine una recurrencia de actividad de estos. Esto aclararía el nivel de peligro a corto plazo del volcanismo activo

hacia la estación científica PEVIMA y dada su cercanía a la Base Naval Antártica Capitán Arturo Prat de la República de Chile.

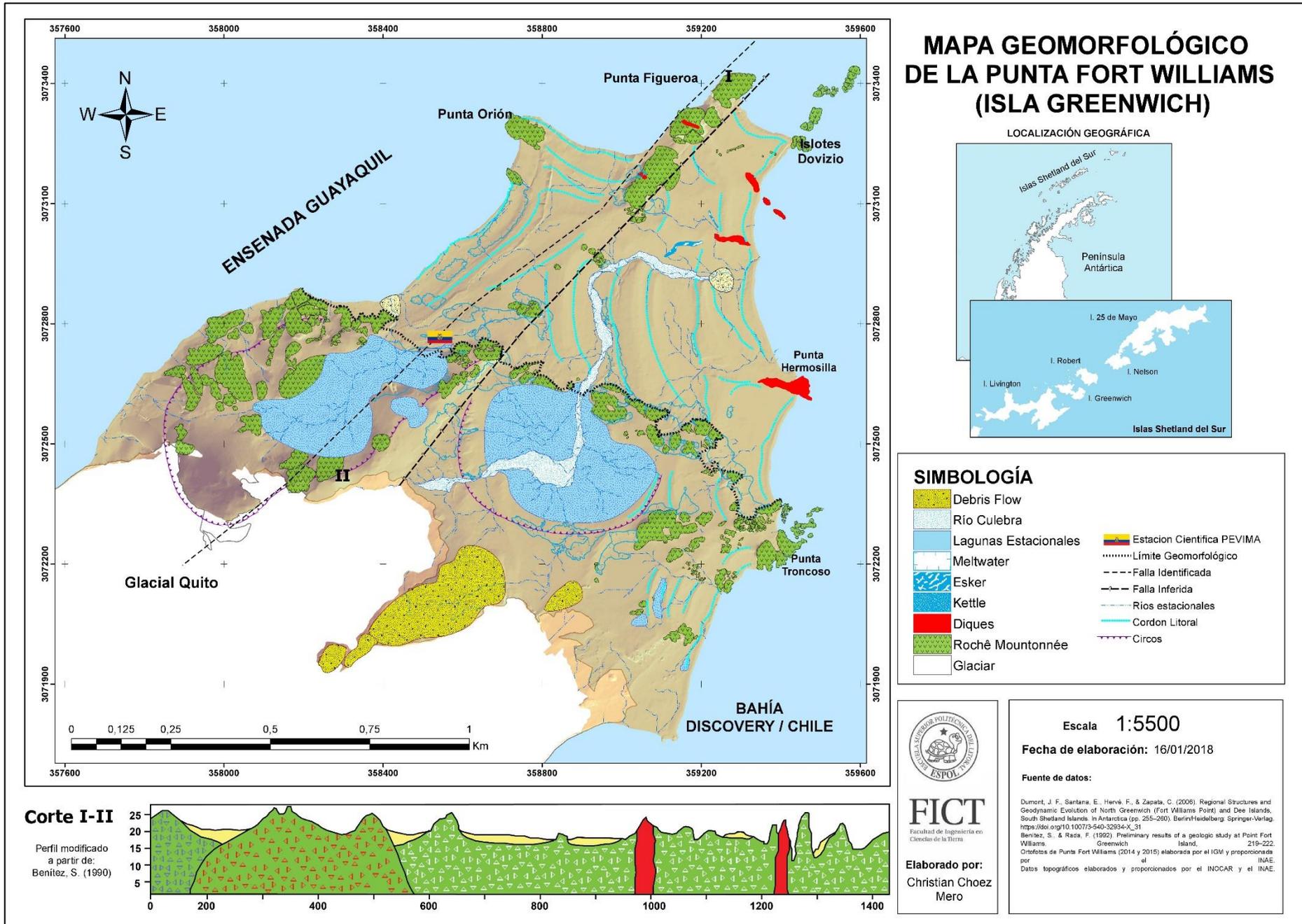
En relación con el peligro de tsunami se deben revisar las corrientes que dominan el Paso Drake y la Islas Shetland del Sur tomando como punto de partida el estudio de corrientes de esta zona realizado por Martos (2014) y la actividad sísmica que pueda generar una onda de expansión que llegue a las Islas Shetland del Sur.

ANEXOS

ANEXO A PRESENTACIÓN DE IMPRESIÓN A2 DEL MAPA GEOLÓGICO DE LA PFW



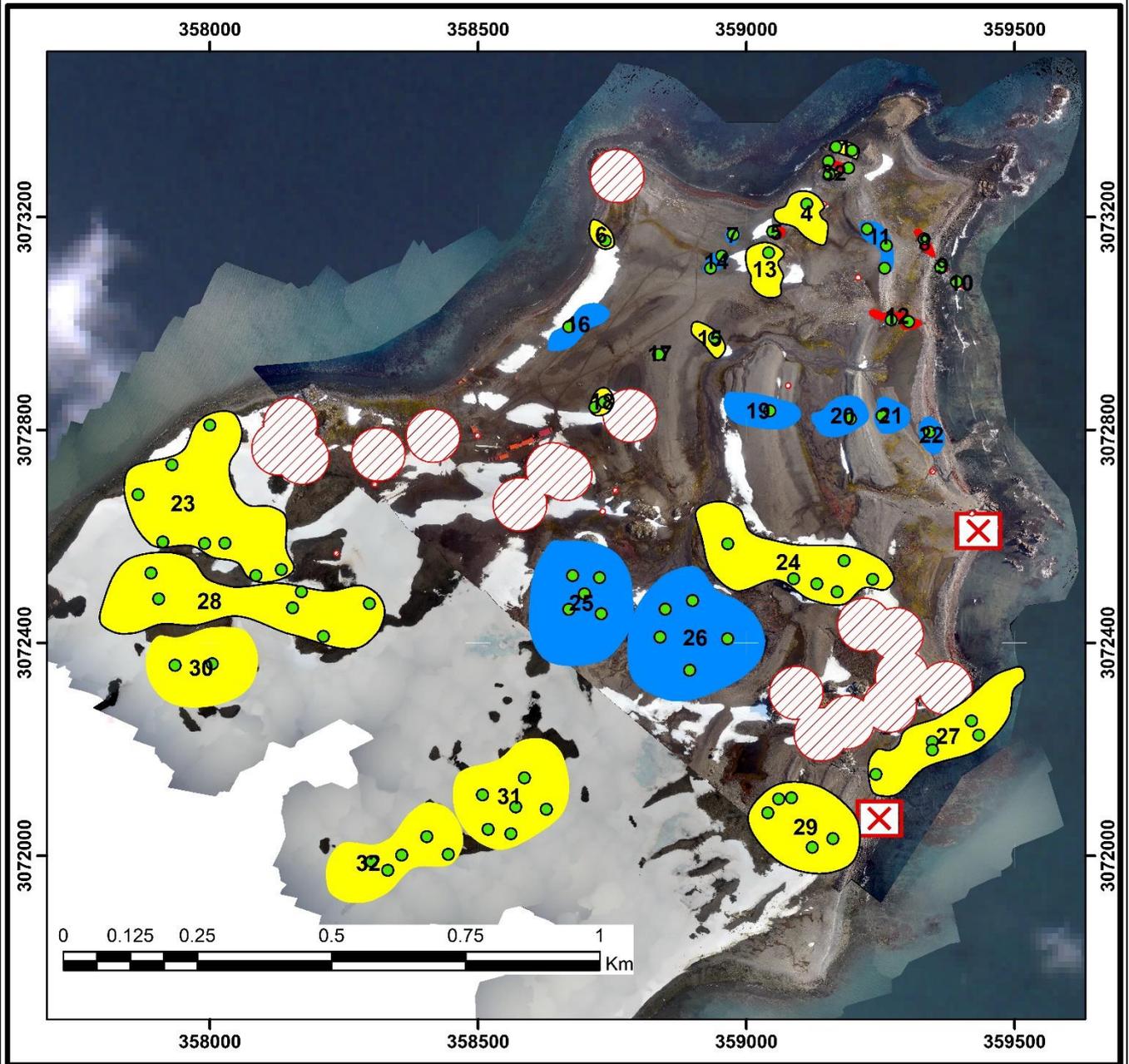
ANEXO B PRESENTACIÓN DE IMPRESIÓN A2 DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA PFW



ANEXO C

PRESENTACIÓN DE IMPRESIÓN A4 DEL MAPA DE ZONAS DE MUESTREO DE LA PFW

ZONAS DE MUESTREO PUNTA FORT WILLIAMS (ISLA GREENWICH)



FICT
Facultad de Ingeniería en
Ciencias de la Tierra

Elaborado por:
Christian Choez Mero
Fecha de elaboración: 16/01/2018

Bibliografía recomendada para el mapa:

Choez,C (2018). Análisis de procesos y peligros geológicos alrededor de la estación Científica Pedro Vicente Maldonado en la Isla Greenwich-Antártida



Escala 1:10000

Fuente de datos:
Ortofotos de Punta Fort Williams (2014 y 2015)
elaborada por el IGM y proporcionada por el INAE
Imagen de fondo tomada por Sentinel 2

SIMBOLOGÍA

Zona de muestreo

Tipo

- Roca
- Roca/Dique
- Sedimentos/Roca
- Sedimentos

- Puntos Sugeridos
- X Elefantes Marinos
- Zona de Fauna

ANEXO D

ZONAS DE MUESTREO PROPUESTAS

FID	Zona #	Tipo de Muestra	# Muestras	Justificación
1	2	Roca	1	Verificación de Litología
2	16	Roca	1	Verificación de Litología
3	23	Roca	1	Verificación de Litología
4	4	Roca	1	Verificación de la litología y continuidad del basamento
5	7	Roca	1	Verificación de la litología y continuidad del basamento
6	8	Roca	1	Verificación de la litología y continuidad del basamento
7	17	Roca	1	Verificación de la litología y continuidad del basamento
8	18	Roca	1	Verificación de la litología y continuidad del basamento
9	25	Roca	1	Verificación de la litología y continuidad del basamento
10	28	Roca	1	Verificación de la litología y continuidad del basamento
11	13	Roca	1	Verificación de la continuidad del basamento
12	14	Roca	1	Verificación de la continuidad del basamento
13	15	Roca	1	Verificación de la continuidad del basamento
14	5	Roca/Dique	1	Identificación del intrusivo (Descripción mineralógica y petrográfica)
15	6	Roca/Dique	1	Identificación del intrusivo (Descripción mineralógica y petrográfica)
16	9	Roca/Dique	1	Identificación del intrusivo (Descripción mineralógica y petrográfica)
17	10	Roca/Dique	1	Identificación del intrusivo (Descripción mineralógica y petrográfica)
18	11	Roca/Dique	1	Identificación del intrusivo (Descripción mineralógica y petrográfica)
19	12	Roca/Dique	1	Identificación del intrusivo (Descripción mineralógica y petrográfica)
20	3	sedimentos	1	Verificación de litología y análisis de sedimentos (micropaleontología, entre otros)
21	19	sedimentos	1	Verificación de litología y análisis de sedimentos (micropaleontología, entre otros)
22	20	sedimentos	1	Verificación de litología y análisis de sedimentos (micropaleontología, entre otros)
23	21	sedimentos	1	Verificación de litología y análisis de sedimentos (micropaleontología, entre otros)
24	22	sedimentos	1	Verificación de litología y análisis de sedimentos (micropaleontología, entre otros)
25	27	sedimentos	1	Verificación de litología y análisis de sedimentos (micropaleontología, entre otros)
26	29	sedimentos	1	Verificación de litología y análisis de sedimentos (micropaleontología, entre otros)
27	30	sedimentos	1	Verificación de litología y análisis de sedimentos (micropaleontología, entre otros)
28	31	sedimentos	1	Verificación de litología y análisis de sedimentos (micropaleontología, entre otros)
29	32	sedimentos	1	Verificación de litología y análisis de sedimentos (micropaleontología, entre otros)
30	1	Sedimentos/Roca	1	Verificación de Litología
31	24	Sedimentos/Roca	1	Verificación de Litología
32	26	Sedimentos/Roca	1	Verificación de Litología

ANEXO E

PUNTOS DE MUESTREO PROPUESTOS

Punto #	X	Y	Muestra (Zona. Muestra)
1	357935.275	3072357.73	1.1
2	358004.488	3072360.51	1.2
3	357890.596	3072531.11	2.1
4	357904.695	3072482.38	2.2
5	358154.22	3072465.71	2.3
6	358170.807	3072495.93	2.4
7	358211.791	3072412.01	2.5
8	358297.492	3072473.56	2.6
9	358839.365	3072410.9	3.1
10	358848.918	3072463.24	3.2
11	358894.61	3072348.67	3.3
12	358899.69	3072479.48	3.4
13	358965.095	3072407.72	3.5
14	359039.814	3072080.75	4.1
15	359060.275	3072106.78	4.2
16	359084.017	3072108.92	4.3
17	359122.917	3072015.81	4.4
18	359161.311	3072032.07	4.5
19	359049.017	3073172.28	5.1
20	359153.396	3073304.66	6.1
21	359190.289	3073292.09	6.2
22	359166.886	3073331.26	7.1
23	359196.905	3073325.05	7.2
24	359154.464	3073279.76	8.1
25	359331.446	3073158.64	9.1
26	359362.281	3073105.46	10.1
27	359391.65	3073078.47	11.1
28	359269.951	3073006.61	12.1
29	359302.339	3073003.03	12.2
30	358940.47	3072973.13	13.1
31	358836.486	3072941.43	14.1
32	358717.689	3072842.65	15.1
33	358734.96	3072852.27	15.2
34	357866.481	3072678.53	16.1
35	357912.452	3072589.44	16.2
36	357929.405	3072734.23	16.3
37	357990.535	3072586.69	16.4
38	358000.119	3072808.93	16.5
39	358028.075	3072587.33	16.6
40	358085.99	3072526.33	16.7

41	358133.438	3072537.48	16.8
42	359112.502	3073224.4	17.1
43	359041.377	3073132.92	18.1
44	359193.777	3072821.06	19.1
45	359341.52	3072795.81	20.1
46	359252.779	3072826.78	21.1
47	359043.652	3072835.78	22.1
48	358965.335	3072586.01	23.1
49	359088.016	3072520.35	23.2
50	359131.471	3072510.69	23.3
51	359169.027	3072495.54	23.4
52	359182.284	3072554.14	23.5
53	359235.315	3072519.2	23.6
54	358627.381	3072087.38	24.1
55	358586.216	3072146.25	24.2
56	358570.23	3072091.62	24.3
57	358561.235	3072041.34	24.4
58	358518.681	3072049.57	24.5
59	358508.318	3072114.37	24.6
60	359241.528	3072153.11	25.1
61	359346.676	3072214.16	25.2
62	359346.683	3072198.86	25.3
63	359419.518	3072253.24	25.4
64	359433.319	3072226.75	25.5
65	358444.5	3072002.5	26.1
66	358404.495	3072035.84	26.2
67	358357.822	3072001.23	26.3
68	358331.787	3071972.66	26.4
69	358301.509	3071989.08	26.5
70	358669.185	3072462.97	27.1
71	358676.17	3072526.47	27.2
72	358698.395	3072492.18	27.3
73	358726.152	3072522.51	27.4
74	358729.51	3072454.71	27.5
75	358737.111	3073155.57	28.1
76	358933.151	3073103.89	29.1
77	358954.351	3073126.46	29.2
78	358975.569	3073166.95	30.1
79	359225.179	3073177.34	31.1
80	359257.564	3073103.68	31.2
81	359260.739	3073146.23	31.3
82	358669.289	3072993.6	32.1

**ANEXO F
FICHA DE CAMPO PARA TOMA DE MUESTRAS EN LA EXPEDICIÓN ECUANTAR XXII**

EXPEDICIÓN XXIII ECUANTAR		
Fecha:	Ficha de Campo #	
Código de muestra	Fotografía	Coordenadas
Zona	TIPO DE MUESTRA	
	ROCA	SEDIMENTO
Textura	FANERÍTICA	AFANÍTICA
	PORFÍDICA	VESICULAR
	VÍTREA	
DESCRIPCIÓN		

ANEXO H
MAPA GEOLÓGICO DE LA PUNTA FORT WILLIAMS
ELABORADO POR: ING. STALIN BENÍTEZ



BIBLIOGRAFÍA

Araya, R., & Hervé, F. (1966). ESTUDIO GEOMORFOLOGICO Y GEOLOGICO EN LAS ISLAS SHETLAND DEL SUR ANTARTICA .-. Instituto Antartico Chileno, 5–76.

Barker, P. F., & Burrell, J. (1977). The opening of Drake Passage. *Marine Geology*, 25(1–3), 15–34. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(77\)90045-7](https://doi.org/10.1016/0025-3227(77)90045-7)

Benítez, S., & Rada, F. (1992). Preliminary results of a geologic study at Point Fort Williams, Greenwich Island, 219–222.

BENNETT, M., & GLASSER, N. (2009). *Glacial Geology Ice Sheets and Landforms* (2nd ed.). John Wiley & Sons Ltd.

Cáceres, B. (2012). Estimación del Balance de Masa sobre el Glaciar Quito. Guayaquil.

Campbell, I. B., & Claridge, G. G. C. (1987, January 1). Chapter 2 The Geology and Geomorphology of Antarctica. *Antarctica: Soils, Weathering Processes and Environment*. Elsevier. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70150-8](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70150-8)

Canals, M., Acosta, J., Gràcia, E., Escartín'J., & Grupo O.R.C.A. (1992). Caracterización geológica de la región de enlace entre la Cuenca de Bransfield

y la Dorsal Sur de Scotia (Antártida). *Acta Geológica Hispanica*, , 27, 119–4.
Retrieved from
<http://revistes.ub.edu/index.php/ActaGeologica/article/viewFile/4525/5740>

Carmona, E., Almendros, J., Serrano, I., Stich, D., & Ibáñez, J. M. (2012).
Results of seismic monitoring surveys of Deception Island volcano, Antarctica,
from 1999-2011. *Antarctic Science*, 24(5), 485–499.
<https://doi.org/10.1017/S0954102012000314>

Dumont, J. F., & Santana, E. (2002). Geología de los alrededores de la
Estacion ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado (Isla Greenwich) e Isla Dee,
Peninsula Antártica. *Acta Antártica Ecuatoriana PROANTEC*, 1, 1–26.

Dumont, J. F., Santana, E., Hervé, F., & Zapata, C. (2006). Regional Structures
and Geodynamic Evolution of North Greenwich (Fort Williams Point) and Dee
Islands, South Shetland Islands. In *Antarctica* (pp. 255–260).
Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/3-540-32934-X_31

Gutiérrez Elorza, M. (2008). *GEOMORFOLOGÍA*. (M. Martín-Romo & M.
Caicoya, Eds.) (1st ed.). Madrid: Pearson.

Hansen, J. E., & Sato, M. (2011). Earth's Climate History: Implications for
Tomorrow, (July), 1–3. <https://doi.org/10.1029/2009GL040222>

Martos, Y. (2014). GEODYNAMIC EVOLUTION OF THE SCOTIA SEA (ANTARCTICA), PALEOCEANOGRAPHIC IMPLICATIONS AND GLOBAL CHANGE. Universidad de Granada. Retrieved from http://www.ugr.es/~agcasco/gaia/conf/conf_13_14/martos_tesis.htm

National Geographic. (2017a). Voici à quoi ressemblerait le monde si la glace continentale venait à fondre. Retrieved February 5, 2018, from <http://www.nationalgeographic.fr/environnement/voici-quoi-ressemblerait-le-monde-si-la-glace-continentale-venait-fondre>

National Geographic. (2017b). What the World would look like if all the ice melted. Retrieved October 21, 2017, from <https://www.nationalgeographic.com/magazine/2013/09/rising-seas-ice-melt-new-shoreline-maps/>

Olmedo, J., Alfonso, J., Cáceres, B., & Espinoza, J. (2012). ESTUDIO DE BALANCE DE MASA Y ENERGETICO DE GLACIARES, CAPAS DE HIELO Y PERMAFROST ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMATICO (2010-2014). Guayaquil.

Santana, E., & Dumont, J. F. (2017). Características Granulométricas de los Cordones Litorales en Punta Fort Williams, Isla Greenwich, Península Antártica. Revista Tecnológica - ESPOL, 30(2). Retrieved from

<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/198/142>

Venzke, E. (2015). Report on Deception Island (Antarctica) — June 2015. Bulletin of the Global Volcanism Network (Vol. 40). Retrieved from <https://volcano.si.edu/showreport.cfm?doi=10.5479/si.GVP.BGVN201506-390030>