

**RECONSTRUCCIÓN DE LA EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA,  
PALEOAMBIENTAL Y ARQUEOLÓGICA DE MAGALLANES Y TIERRA  
DEL FUEGO DURANTE EL PLEISTOCENO TARDÍO Y HOLOCENO**

Memoria entregada a la Universidad Mayor en cumplimiento de los requisitos para  
optar al Título de Geóloga

ALLISON VALERIA JAÑA SEPÚLVEDA

**Profesora guía**

XIMENA PRIETO

**Miembros de la Comisión Evaluadora de Examen**

BERNARDITA LADRÓN DE GUEVARA

ALFREDO PRIETO

SANTIAGO DE CHILE

NOVIEMBRE, 2021

## RESUMEN

La presente memoria se enmarca en la conmemoración de la primera circunnavegación por el estrecho de Magallanes, dentro del proyecto “Encuentro de tres mundos: A 500 años de la primera circunnavegación del planeta”, en donde el Centro Nacional de Conservación y Restauración Patrimonial (CNCR), invitado por la Biblioteca Nacional, solicita a la Escuela de Geología de la Universidad Mayor realizar una investigación con fines de divulgación científica, acerca de la formación del Estrecho de Magallanes en un contexto de evolución geológica, paleoambiental y arqueológica del Estrecho durante el Pleistoceno tardío y Holoceno.

El objetivo de esta divulgación es hacer accesible el conocimiento de distintas especialidades científicas (geología, climatología y arqueología), democratizando el conocimiento sin menoscabar el análisis, la profundidad y el contexto de los estudios utilizados.

En este marco y de acuerdo con la estrategia de divulgación definida por la CNCR, este trabajo aporta al proyecto mediante la generación de productos que serán utilizados por el equipo de geomática del CNCR para crear una animación y una aplicación interactiva. Estos insumos se elaboran a partir de una recopilación bibliográfica e integración de la información científica disponible y corresponden a: siete mapas temáticos diseñados en SIG a distintas edades, los que abarcan aspectos geomorfológicos, paleoambientales y arqueológicos relevantes para la evolución del Estrecho. Estos mapas son acompañados por una Historia evolutiva de Patagonia sur y Tierra del Fuego. También, se entrega un hilo narrativo simplificado que relata la formación del estrecho de Magallanes con una reformulación del lenguaje científico y una adaptación del contenido para que sea comprendido por un público no científico y por último, se crea un esquema de la historia evolutiva simplificada que resume en una línea temporal la apertura del estrecho de Magallanes y el establecimiento de las condiciones actuales.

Por último, esta investigación aborda la formación del estrecho de Magallanes de una manera interdisciplinaria e integrada desde distintos campos de la ciencia, explicando la complejidad de los procesos tanto globales como locales que dieron forma al Estrecho. Así como también relaciona la ocupación humana con su entorno durante cambios importantes en el territorio y el ambiente, abriendo así un espacio de discusión acerca de los aspectos aún desconocidos de la historia de Magallanes durante el Holoceno.

SOLO USO ACADÉMICO

*A mi mamá, abuelos y Loki ♥*

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todos lo que formaron parte de mi etapa universitaria, en especial a mi mamá que siempre me apoyó y cuidó durante este proceso, acompañándome en mis noches en vela por estudiar o hacer trabajos de la universidad, por no dejar que me sintiera sola, y cuidarme cada vez que tenía colapsos de estrés, como también por ser comprensiva acerca del proceso universitario que era desconocido para las dos y no presionarme, eso hizo que me sintiera más tranquila durante la carrera. También quisiera agradecer a mi familia, que son mi motor en la vida, en especial mis abuelos que me incentivan a lograr cada vez más cosas creyendo en mí y en mis capacidades, consolándome y siempre sabiendo que decir para hacerme sentir mejor conmigo misma y tener más confianza. Igual a la Meli, eres un persona importante en mi vida, mi hermana postiza y espero poder guiarte y ser una fuente de orgullo para ti. Para toda mi familia, trato de hacer las cosas lo mejor posible por ustedes.

Agradezco también a mis amigas, Feñita, Ale, Paloma y Cote por acompañarme durante este proceso y su apoyo incondicional, fueron un pilar importante durante este, gracias por escucharme y apoyarme a través de las dificultades. Gracias a la Coni por recomendarme, dar fe de mí y hasta prestarme su computador cuando el mío murió a mitad de la memoria. Gracias al Mati, el Seba y Nacho, por compartirme sus experiencias como geólogos y darme consejos durante este proceso.

Al igual, quisiera agradecer a la profe Ximena por su excelente guía a lo largo de la carrera y durante esta memoria, por ayudarme a sortear las dificultades académicas como también por ser amable y atenta con respecto a problemas personales que surgieron a mitad del camino, su comprensión y amabilidad hizo más ameno el proceso. También, quisiera agradecer a Teko y Bernardita, por sus agudas observaciones y comentarios que permitieron mejorar cada vez más la memoria, así como también encantarme con otras ciencias como la arqueología y ver la fortaleza del trabajo en grupo multidisciplinario, espero que algún día nos encontremos en Punta Arenas. También gracias todo el equipo del CNCR, Darío, Antonio y Gerardo por llevar a la vida mis mapas y cuestionar datos que enriquecieron la discusión de esta investigación.

Gracias a todos mis compañeros de carrera, a la Sol, el Carlos, la Chichi y la Noushka (perdón si olvido a alguien), los recuerdos que creamos perduraran hasta que dure la memoria, los quiero!

Por último, gracias a mi compañero silencioso, que me acompañaba durante el día, tarde, noches y madrugadas mientras estudiaba y hacia la memoria, mi apoyo emocional Loki.

## INDICE DE CONTENIDOS

|  |    |
|--|----|
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....   | 1  |
| 1.1 Contexto general .....   | 1  |
| 1.2 Presentación del problema.....   | 2  |
| 1.3 Hipótesis .....  | 3  |
| 1.4 Objetivos.....   | 4  |
| 1.4.1    Objetivos generales.....  | 4  |
| 1.4.2    Objetivos específicos .....   | 4  |
| 1.5 Metodología .....  | 4  |
| 1.5.1    Revisión bibliográfica de la evolución geomorfológica .....   | 5  |
| 1.5.2    Digitalización de mapas geomorfológicos .....   | 7  |
| 1.5.3    Recopilación de dataciones radiométricas de eventos glaciológicos y marinos.<br>Calibración de dichos eventos.....                                | 8  |
| 1.5.4    Revisión bibliográfica de información paleoambiental y recopilación de dataciones<br>radiométricas .....  | 9  |
| 1.5.5    Revisión bibliográfica de arqueología y recopilación de dataciones radiométricas  | 11 |
| 1.5.6    Calibración de edades radiométricas <sup>14</sup> C publicadas a años naturales mediante la<br>curva SHCal20 y Marine20.....                      | 12 |
| 1.5.7    Generación de bases de datos .....  | 16 |
| 1.5.8    Determinación de siete intervalos temporales importantes en la historia evolutiva<br>del área de estudio .....                                    | 16 |
| 1.5.9    Generación de coberturas temáticas de eventos relevantes en formato de Sistemas<br>de Información Geográfica (SIG) mediante software ArcGIS ..... | 16 |
| 1.5.10   Historia evolutiva de Patagonia sur y Tierra del Fuego. Relato escrito y esquema<br>simplificado de la evolución .....                            | 17 |
| CAPÍTULO 2: DIVULGACIÓN CIENTÍFICA .....   | 18 |
| 2.1 Definición de Divulgación científica y conceptos relevantes .....  | 18 |
| 2.2 Trabajos previos de divulgación científica en Magallanes-Tierra del Fuego.....   | 20 |
| CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO.....   | 25 |
| 3.1 Glosario de términos .....   | 25 |
| 3.2 Datación con <sup>14</sup> C y curvas de calibración .....   | 29 |
| 3.2.1    Método de datación con radiocarbono.....  | 29 |
| 3.2.2    Construcción de la curva de calibración .....   | 31 |
| 3.2.3    Curva de calibración SHCal20 .....  | 31 |
| 3.2.4    Efecto reservorio en dataciones de muestras marinas y corrección en Magallanes  | 33 |

|   |   |     |
|---|---|-----|
| 3.2.5   | Curva de calibración Marine20 .....   | 36  |
| CAPÍTULO 4: MARCO GEOLÓGICO, PALEOAMBIENTAL Y ARQUEOLÓGICO.....                         |   | 37  |
| 4.1   | Geología glacial .....  | 37  |
| 4.1.1   | Contexto glacial global .....   | 38  |
| 4.1.2   | Contexto glacial regional de Patagonia.....   | 41  |
| 4.1.3   | Historia y geomorfología glacial en el estrecho de Magallanes y Tierra del Fuego                      | 44  |
| 4.2   | Geología marina.....  | 47  |
| 4.2.1   | Geomorfología marina.....   | 49  |
| 4.2.2   | Ingresión marina y ascenso relativo del nivel del mar en el estrecho de Magallanes                    | 57  |
| 4.3   | Paleoambiente.....  | 60  |
| 4.4   | Arqueología .....   | 67  |
| CAPÍTULO 5: RESULTADOS .....  |   | 77  |
| 5.1   | Estrategia y herramientas de divulgación científica de esta memoria .....                             | 77  |
| 5.2   | Reconstrucción paleográfica.....  | 80  |
| 5.2.1   | Etapa glacial D4 (16.600-16.100 años cal AP) .....  | 80  |
| 5.2.2   | Desglaciación D4 (16.100-15.300 años cal AP) .....  | 83  |
| 5.2.3   | Etapa glacial E (15.100-11.700 años cal AP).....  | 84  |
| 5.2.4   | Desglaciación E e Inicio de Ingresión Marina (11.700-9.700 años cal AP).....                          | 87  |
| 5.2.5   | Formación del Estrecho de Magallanes (9.500-8.200 años cal AP).....                                   | 90  |
| 5.2.6   | Ingresión marina máxima (7.500-5.000 años cal AP) .....   | 92  |
| 5.2.7   | Establecimiento de las condiciones actuales del Estrecho de Magallanes (5.000-2.000 años cal AP)..... | 94  |
| 5.3   | Historia evolutiva de Patagonia sur y Tierra del Fuego .....  | 97  |
| 5.4   | Hilo narrativo simplificado.....  | 105 |
| 5.5   | Esquema de la historia evolutiva simplificada.....  | 109 |
| CAPÍTULO 6: DISCUSIÓN.....  |   | 110 |
| CAPÍTULO 7: CONCLUSIÓN.....   |   | 120 |
| REFERENCIAS .....   |   | 125 |
| ANEXO A: CATASTRO DE SITIOS ARQUEOLÓGICOS DE PATAGONIA AUSTRAL Y TIERRA DEL FUEGO ..... |   | 149 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura N°1:</b> Área de estudio de publicaciones utilizadas en la revisión bibliográfica geomorfológica (Elaboración propia) .....  | 10 |
| <b>Figura N°2:</b> Área de estudio de mapas geomorfológicos digitalizados (Elaboración propia).....  | 10 |
| <b>Figura N°3:</b> Recopilación de dataciones radiométricas en Magallanes-Tierra del Fuego de diversos autores (Elaboración propia) .....  | 11 |
| <b>Figura N°4:</b> Comparación de calibraciones realizadas por el autor en comparación con las realizadas por esta memoria. AA-42414 a: calibración realizada por McCulloch et al., 2005a con la curva IntCal98 en el programa Calib 4.4; AA-42414 b: calibración realizada en esta memoria con curva SHCal20 en software Calib 8.1.0; MD07-3132 a: calibración realizada por Aracena et al., 2015 con efecto reservorio de 600 años <sup>14</sup> C en software CLAM 2.2; MD07-3132 b: calibración realizada en esta memoria con curva Marine20 y efecto reservorio $64 \pm 58$ años <sup>14</sup> C en programa Calib 8.1.0 (Elaboración propia) .....                                       | 13 |
| <b>Figura N°5:</b> Lámina educativa del viaje de Darwin por Patagonia, destaca los lugares visitados por el científico y los estudios realizados en la zona. (Instituto Antártico Chileno, 2009) .....   | 22 |
| <b>Figura N°6:</b> Lámina de los pueblos indígenas de Fuego-Patagonia destacando cultura de cada uno. (Extraído de Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, 2020) .....   | 23 |
| <b>Figura N°7:</b> Guía paleontológica de Patagonia durante el Cretácico en Magallanes. Informa de los hitos paleontológicos, fósiles y geología. (Extraído de Instituto Antártico Chileno, 2018) .....  | 23 |
| <b>Figura N°8:</b> Guía de trabajo “Recorriendo el paisaje glacial de Magallanes” (a) enfocado a comunidades educativas magallánicas donde se explican los procesos glaciares que dieron forma al paisaje de Magallanes, definición de conceptos geológicos (b) y geomorfologías glaciares (c), en conjunto con una guía de actividades en terreno (d) (Extraído del Centro de Estudios del Cuaternario de Fuego Patagonia y Antártica, 2012).....   | 24 |
| <b>Figura N°9:</b> Períodos temporales para los cuales se tiene mediciones directas de <sup>14</sup> C en el Hemisferio Sur y a partir del cual se construye la curva de calibración SHCal20 (Extraído y modificado de Hogg et al., 2020) .....  | 33 |
| <b>Figura N°10:</b> Comparación de concentración de isótopos de oxígeno del Proyecto Greenland Ice Sheet 2 (GISP2) en el Hemisferio norte con concentración de isótopos de hidrógeno del Proyecto Europeo para perforaciones en hielo en la Antártica (European Project for Ice Coring in Antarctica, EPICA) del Domo C en el Hemisferio sur entre los 20.000 y 10.000 años AP. El Estadial Heinrich 1 (HS1) y el Estadial Younger Dryas (YD) están marcados con un fondo amarillo mientras que el Último Máximo Glacial (LGM) y el Bølling-Allerød (B/A) contemporaneo a la Reversa Fría de la Antártica (ACR) es marcado con un fondo azul (Extraído y modificado de Denton et al., 2010) 40 | 40 |
| <b>Figura N°11:</b> Modelo de extensión y altitud del manto de hielo Patagónico durante el Último Máximo Glacial. La altitud presentada es respecto a el nivel del mar durante el UMG (Extraído y modificado de Hulton et al., 2002) .....   | 42 |
| <b>Figura N°12:</b> Reconstrucciones glaciares a) Previo al primer evento de desglaciación que inicia a los 17.500 y 17.150 años cal AP b) Posterior al evento de desglaciación de los 17.500 y 17.150 años cal AP y c) Previo al tercer paso de calentamiento climático (desglaciación) de los 11.400 años cal AP. En azul claro se presenta la extensión de los campos de hielo actuales y en azul oscuro  |    |

|   |    |
|---|----|
| la extensión estimada de los cuerpo de hielo durante la temporalidad mencionada. Las flechas negras indican rutas de canales de desglaciación con su respectiva datación con radiocarbono. (Extraído y modificado de McCulloch et al., 2000) .....  | 43 |
| <b>Figura N°13:</b> a) Límites de avances glaciares en la zona central del estrecho de Magallanes (Extraído de Sugden et al., 2005) b) Extensión del manto de hielo Patagónico durante el Último Máximo Glaciar (UMG) (Modificado de McCulloch et al., 2005a) .....   | 47 |
| <b>Figura N°14:</b> Secuencia de terrazas transicionales y marinas en las costas del estrecho de Magallanes y Tierra del Fuego denominadas por Brambati et al., 1998 como Terrazas de primer orden (I), Segundo orden (II), Tercer orden (III) y Cuarto orden (IV) con paleo acantilados asociados así como morfologías marinas costeras. (Elaboración propia modificado de Di Grande et al., 2003 y De Muro et al., 2004, 2015, 2017)..... | 51 |
| <b>Figura N°15:</b> Vista desde Bahía Inútil cerca de Puerto Nuevo de terrazas marinas escalonadas (I, II, III) con su respectivo paleo acantilado (PC) y en contacto con geomorfologías glaciares (D) (Extraído de Brambati et al., 2018).....   | 52 |
| <b>Figura N°16:</b> Terraza de segundo orden compuesta por grava fosilífera sobreyaciendo en discontinuidad a sedimentos glaciares. Fotografía al norte de Porvenir (Extraído y modificado de De Muro et al., 2017).....  | 52 |
| <b>Figura N°17:</b> Terraza de primer orden en Río Verde, Tierra del Fuego compuesta por gravas y arenas sobreyaciendo en discontinuidad a depósitos glaciares tectonizados. (Extraída y modificado de Brambati et al., 1998) .....   | 53 |
| <b>Figura N°18:</b> Terrazas de segundo orden en Puerto Percy, Tierra del Fuego con nivel basal de lutitas bioturbadas, sobreyacida por depósitos de grava, arena y limo con contenido fosilífero (Extraído y modificado de Brambati et al., 1998) .....  | 55 |
| <b>Figura N°19:</b> Acercamiento a niveles fosilíferos con gasterópodos y bivalvos en terrazas de segundo orden en Puerto Percy (Extraído de Brambati et al., 1998).....  | 56 |
| <b>Figura N°20:</b> Terrazas de tercer orden en Punta Zegers, Tierra del Fuego (Extraído de Brambati et al., 1998).....   | 56 |
| <b>Figura N°21:</b> Vista general de terrazas de segundo orden (II) y de tercer orden (III) en las costas de Seno Otway (Extraído de Brambati et al., 1998) .....   | 57 |
| <b>Figura N°22:</b> Estimados del nivel eustático del mar desde el Último Máximo Glaciar hasta el presente (Extraído y modificado de Fleming et al., 1998).....   | 59 |
| <b>Figura N°23:</b> Batimetría de Magallanes y Tierra del Fuego (Elaboración propia, información base de GEBCO, 2020).....  | 59 |
| <b>Figura N°24:</b> Mapa con las principales zonas vegetacionales actuales en el estrecho de Magallanes y sitios de estudio paleo ambiental de Mansilla <i>et al.</i> , 2019 numerados del 1 al 16. (Extraído de Mansilla et al., 2018 modificado de Tuhkanen et al., 1989-1990) .....  | 61 |
| <b>Figura N°25:</b> Resumen de registros paleoambientales en Magallanes-Tierra del Fuego y su evolución temporal (Elaboración propia).....  | 63 |
| <b>Figura N°26:</b> Ubicación de sitios arqueológicos de Magallanes-Tierra del Fuego. (Elaboración propia) .....  | 70 |



|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura N°27:</b> Estrategia y herramientas de divulgación científica en conjunto con aporte de la presente memoria. (Elaboración propia).....  | 79  |
| <b>Figura N°28:</b> Reconstrucción paleográfica de la Etapa Glacial D4 (16.600-16.100 años cal AP), sub-avance final del Avance glaciario D. (Elaboración propia).....  | 82  |
| <b>Figura N°29:</b> Reconstrucción paleográfica de la Desglaciación del cuerpo glaciario D4 (16.100-15.300 años cal AP). (Elaboración propia) .....   | 84  |
| <b>Figura N°30:</b> Reconstrucción paleográfica de la Etapa Glacial E (15.100-11.700 años cal AP) (Elaboración propia) .....  | 87  |
| <b>Figura N°31:</b> Reconstrucción paleográfica de la Desglaciación E e Inicio de la Ingresión Marina (11.700-9.700 años cal AP) (Elaboración propia).....  | 89  |
| <b>Figura N°32:</b> Reconstrucción paleográfica durante la Formación del Estrecho de Magallanes (9.500-8.200 años cal AP) (Elaboración propia).....   | 91  |
| <b>Figura N°33:</b> Reconstrucción paleográfica durante el Máximo Nivel del Mar (7.500-5.000 años cal AP) (Elaboración propia).....   | 93  |
| <b>Figura N°34:</b> Reconstrucción paleográfica durante el Establecimiento de las condiciones actuales del estrecho de Magallanes (5.000-2.000 años cal AP) (Elaboración propia) .....  | 96  |
| <b>Figura N°35:</b> Esquema de la historia narrativa simplificada de la evolución del Estrecho de Magallanes considerando eventos globales, glaciaciones y desglaciaciones en Magallanes, aumento relativo del nivel del mar, paleoambiente y desarrollo humano. Eventos globales: YD: Younger Dryas (12.800-11.600 años cal AP), ACR: Antarctic Cold Reversal (Reversa Fría de la Antártica 14.800-12.700 años cal AP), UMG: Último Máximo Glacial (23.000 y 19.000 años cal AP). Arqueología: CRT-Fell I: Cazadores-recolectores terrestres de cultura Fell I, CRT-Fell III: Cazadores-recolectores terrestres de cultura Fell III, CRM-E: Cazadores-recolectores marinos de cultura Englenfield, CRM-P: Cazadores-recolectores marinos de cultura Ponsonby, CRM-T: Cazadores-recolectores marinos del período Tardío. Las edades se encuentran calibradas a años naturales antes del presente (Años cal AP). El ítem paleoambiental es expresado como la diferencia de temperatura promedio pasada con la temperatura promedio actual (Delta °C) (Elaboración propia)..... | 109 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla N°1:</b> Recopilación de publicaciones científicas utilizadas para mapeo geomorfológico.....  | 6  |
| <b>Tabla N°2:</b> Recopilación de trabajos de mapeos geomorfológicos realizados en el sector del Estrecho de Magallanes e Isla de Tierra del Fuego y usados en el mapeo geomorfológico.....        | 8  |
| <b>Tabla N°3:</b> Dataciones radiométricas de eventos geológicos glaciales, transicionales y marinos en Magallanes-Tierra del Fuego.....   | 14 |
| <b>Tabla N°4:</b> Desviaciones modernas de edad reservorio en Magallanes (53°-55°S) (Extraído y modificado de Merino et al., 2017).....  | 35 |
| <b>Tabla N°5:</b> Detalle de aspectos culturales correspondientes a paleo indios de la zona de Magallanes-Tierra del Fuego desde la transición Pleistoceno-Holoceno hasta el Holoceno Tardío ..... | 71 |

SOLO USO ACADÉMICO

# **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Contexto general**

La Biblioteca Nacional en colaboración con el Centro Cultural de España y el Instituto Camões en Chile, ha desarrollado el proyecto “Encuentro de tres mundos: A 500 años de la primera circunnavegación del planeta” que busca conmemorar la primera circunnavegación por el estrecho de Magallanes de Hernando de Magallanes y Sebastián Elcano por el único paso interoceánico natural entre el Océano Pacífico y el Océano Atlántico, resaltando como este constituye un encuentro entre distintos continentes y culturas, asimismo como un avance en el conocimiento de la geografía del Estrecho y su aporte en las cartografías locales y globales.

En este contexto, la Biblioteca Nacional invita al Centro Nacional de Conservación y Restauración (CNCR) del Servicio Nacional de Patrimonio Cultural, a diseñar y desarrollar estrategias de divulgación como también herramientas apropiadas para llevar a cabo este proyecto, dentro de estas se encuentra la creación de tres animaciones y/o aplicaciones interactivas: 1. Historia de la navegación; 2. El viaje de Hernando de Magallanes y 3. La formación del estrecho de Magallanes.

Para la creación de la animación de la formación del estrecho de Magallanes, la CNCR propone a la Escuela de Geología de la Universidad Mayor realizar una investigación bibliográfica con fines de divulgación científica a la comunidad, acerca de la evolución geomorfológica, paleoambiental y arqueológica del estrecho de Magallanes y sus áreas circundantes, durante el Pleistoceno tardío y Holoceno, a modo de contextualizar la formación del Estrecho, su historia geológica y la relación del entorno natural con los primeros habitantes de este.

El objetivo de esta divulgación científica es hacer accesible el conocimiento de distintas especialidades científicas (geología, arqueología y climatología), democratizando el conocimiento sin menoscabar el análisis, la profundidad y el contexto de los estudios utilizados. Para lo anterior, la CNCR estableció un grupo de trabajo colaborativo entre diversos profesionales, entre ellos, asesores científicos de la Universidad de Magallanes en el área de la arqueología y de la Universidad Mayor en el área de la geología, además del equipo especialista en materias territoriales y geomática del CNCR.

Este tema es abordado a través de la presente memoria para obtener el título de Geóloga, donde la información generada es utilizada como insumo base para la creación de dos herramientas de divulgación científica, una animación que se encuentra en una exposición en la Biblioteca Nacional, así como también una aplicación interactiva en desarrollo, que junto a la animación estarán disponibles en el Portal de Mapas Patrimoniales digital de la Biblioteca Nacional, permitiendo así el fácil acceso de la comunidad a los conocimientos en estas temáticas en el área de estudio, promoviendo la curiosidad, el análisis crítico y la participación ciudadana en materias investigativas.

Conforme a lo anterior, se busca presentar la formación del estrecho de Magallanes de una manera atractiva y didáctica, donde el conocimiento científico sea transmitido transversalmente y de modo asequible, siendo entendible para todos independiente de la formación académica del público general.

## **1.2 Presentación del problema**

El estrecho de Magallanes está ubicado en la doceava Región de Magallanes y la Antártica Chilena, corresponde a un paso marítimo que conecta el Océano Pacífico por el oeste con el Océano Atlántico por el este, al mismo tiempo que separa el continente Sudamericano de la Isla Grande de Tierra del Fuego.

El sector del Estrecho es relevante científicamente ya que presenta un registro continuo de los últimos avances glaciares ocurridos en el sur de Patagonia durante el Cuaternario, como también de los cambios climáticos asociados y los efectos de estos en la vegetación y fauna de la zona, lo que permite estudiar sus variaciones con respecto a otras latitudes.

Particularmente, Magallanes meridional ha sido escenario de al menos seis grandes glaciaciones. Estas se remontan al Plioceno Tardío-Pleistoceno Temprano (Coronato et al., 2004) hasta períodos Tardi glaciales durante el Holoceno (McCulloch et al., 2005a; Kilian et al., 2013). Tales períodos glaciales desarrollaron distintas geomorfologías de erosión y depositación en el terreno, como también estuvieron asociadas a transformaciones locales como movimientos glacio-isostáticos y globales, y cambios relativos en el nivel del mar, que afectaron al territorio hasta por lo menos mediados del Holoceno entre los 5.000-6.000 años AP y los 4.000 años AP, respectivamente (Kilian et al., 2013).

A su vez, tales períodos de glaciación y desglaciación estuvieron controlados por fenómenos climáticos globales, como períodos de aumento de la temperatura regionales, desplazamiento del núcleo de los Vientos del oeste en el Pacífico y períodos de enfriamiento denominados estadales. Estas condiciones climáticas no solo afectaron el avance y retroceso de glaciares en Magallanes, sino que también tuvieron consecuencias en la flora y fauna del lugar.

Es bajo estas condiciones dinámicas del ambiente llegan los primeros habitantes al estrecho de Magallanes, hallándose sus registros en cuevas y aleros que datan desde los ~11.000 años antes del presente (AP) (Bird, 1983).

Diversos autores han llevado a cabo investigaciones en diferentes temáticas en el área del estrecho de Magallanes, sin embargo, al ser investigaciones altamente especializadas se analiza la evolución del Estrecho desde una única variable, aunque sabemos que más de un proceso tuvo incidencia en la transformación y posterior formación del estrecho de Magallanes, más aún, impactando estos también el desarrollo humano.

Basándose en investigaciones especializadas que se han realizado en el sector como mapeos geomorfológicos a distintas escalas, dataciones con radiocarbono de eventos geológicos y ocupaciones humanas, y estudios arqueológicos de los distintos grupos humanos que habitaron la zona, esta memoria busca ser un aporte a la divulgación científica, entregando una recopilación de la información geológica, paleoambiental y arqueológica de manera integrada, sintetizando información relevante y destacando eventos importantes en la formación del estrecho de Magallanes, con el fin de tener un entendimiento integrado de la evolución de la zona, reformulándolo y contextualizándolo para dar el soporte necesario para que la información generada pueda ser transmitida mediante herramientas de divulgación apropiadas y comprendida por un público general de una manera atractiva pero sin desvirtuar la profundidad del contenido.

### **1.3 Hipótesis**

La historia evolutiva del estrecho de Magallanes y Tierra del Fuego durante el Pleistoceno Tardío y Holoceno, considerando sus aspectos geomorfológicos, paleoambientales y arqueológicos, puede ser divulgada apropiadamente a la comunidad no científica mediante herramientas adecuadas.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivos generales**

Divulgar adecuadamente a la comunidad la evolución geomorfológica, paleoambiental y arqueológica del estrecho de Magallanes y Tierra del Fuego durante el Pleistoceno tardío y Holoceno mediante una animación y aplicación interactiva generadas en base al diseño y creación de insumos apropiados que integren el conocimiento científico de distintas disciplinas sin menoscabar el alcance, profundidad y limitaciones de estos.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- a) Elaborar mapas en SIG a distintas edades calibradas, que registren la información geomorfológica, paleoambiental y arqueológica publicada, que sean relevantes en la historia evolutiva del estrecho de Magallanes.
- b) Contextualizar la información elaborada en los mapas anteriores, con un relato escrito a modo de divulgación, que integre y sintetice los principales conocimientos científicos referidos a la fecha.

## **1.5 Metodología**

Para lograr los objetivos propuestos se realizó una revisión y selección de bibliografía publicada, referente a información geológica, geomorfológica, paleoambiental y arqueológica de la Región de Magallanes, aledaña al Estrecho durante el período Cuaternario. En base a la cual se definen al menos siete intervalos temporales asociados a eventos de importancia geológica y/o que enmarcan cambios ambientales y arqueológicos relevantes en la historia evolutiva del área de estudio.

La información compilada de cada uno de estos siete eventos fue mapeada mediante software ArcGIS y las dataciones realizadas con el método de  $^{14}\text{C}$  fueron calibradas a años naturales mediante la curva de calibración SHCal20 (Hogg et al., 2020) en el caso de muestras terrestres y con la curva Marine20 (Heaton et al., 2020) en el caso de muestras marinas con un efecto reservorio de  $64 \pm 58$  años  $^{14}\text{C}$  (Merino, 2017).

Los siete intervalos temporales definidos corresponden a:

- i. Etapa Glacial D4 (16.600– 16.100 años cal AP)
- ii. Desglaciación D4 (16.100 – 15.300 años cal AP)
- iii. Etapa Glacial E (15.100 – 11.700 años cal AP)
- iv. Desglaciación E e Inicio de Ingresión Marina (11.700 – 9.700 años cal AP)
- v. Formación del Estrecho de Magallanes (9.500 – 8.200 años cal AP)
- vi. Ingresión Marina Máxima (7.500 – 5.000 años cal AP)
- vii. Establecimiento de condiciones actuales (5.000 – 2.000 años cal AP)

Conjuntamente, se integró la información disponible de distintos autores y temas en un texto expositivo para cada intervalo temporal, que a la vez sirve de base para confeccionar una historia narrativa simplificada y adaptada al objetivo divulgativo, que acompaña a los mapas anteriormente señalados.

Finalmente, se entregan los siguientes productos al Centro Nacional de Conservación y Restauración (CNCR) del Servicio Nacional de Patrimonio Cultural: 7 mapas y sus vectores SIG, una Historia evolutiva de Patagonia sur y Tierra del Fuego, un relato simplificado de la evolución del área y un esquema simplificado, con el fin de ser utilizados en la realización de una animación y una aplicación interactiva en el marco del proyecto “Encuentro de 3 mundos: A 500 años de la primera circunnavegación del planeta”

En este contexto se desarrollaron las siguientes actividades:

### **1.5.1 Revisión bibliográfica de la evolución geomorfológica**

Recopilación de estudios relevantes acerca de la evolución geomorfológica en Magallanes meridional desde el avance Tardi-glacial (Avance D-Sub avance D4), seguida por la ingresión marina, hasta la apertura del estrecho de Magallanes y posterior configuración actual de la región, enfatizando en morfologías glaciares como morrenas, lagos proglaciares, paleo costas, entre otros y geomorfologías transicionales-marinas como terrazas marinas y morfologías costeras, siendo estas integradas y discutidas para posterior digitalización. La información utilizada proviene de las publicaciones detalladas en la Tabla N°1, cuyas áreas de estudio es presentada en la Figura N°1.

**Tabla N°1:** Recopilación de publicaciones científicas utilizadas para mapeo geomorfológico.

| Autores                        | Figura  | Metodología |   |   |   |   |   | Información extraída |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |   |
|--------------------------------|---|-------------|---|---|---|---|---|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|--|---|
|                                |   | a           | b | c | d | e | f | 1                    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |  |   |
| <b>Bentley et al., 2005</b>    | Geomorphological map of the northern end of Isla Dawson. Reproduced from McCulloch and Bentley (1998). (Figura 7)   | x           |   |   |   | x |   | x                    |   | x |   | x |   |   |   |   |    | x  |  |   |
| <b>Clapperton et al., 1995</b> | Detailed geomorphological map of advance D landforms and glacial lake shorelines on Isla Dawson (Figura 5)  | x           |   |   | x |   |   | x                    |   | x |   | x |   |   |   |   |    | x  |  |   |
| <b>Glasser et al., 2008</b>    | The glacial geomorphology of the Southern sector of the former Patagonian Ice Sheet. (Figura 9)   |             | x | x |   |   |   | x                    | x | x | x | x |   | x |   |   |    | x  |  |   |
| <b>Kilian et al., 2013</b>     | Stages of glacier retreat and marine transgression towards the Seno Skyring and Otway proglacial lake systems at (a) 18kyrs BP, (b) 15kyrs BP (Proglacial lake stage), (c) 14kyrs BP (opening of Jerónimo), (d) 10kyrs BP (opening of Gajardo Channel) (e) 6kyrs BP (end of global sea level rise) and (f) 0.5 BP (Neoglacial glacier advances) (Figura 10) |             |   |   |   | x | x |                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    | x  |  | x |
| <b>McCulloch et al., 2000</b>  | Glacier extent following deglaciation triggered by the initial warming event at ca. 14 600–14 000 14C yr BP. (Figura 2b)  |             |   |   |   | x |   |                      |   | x |   |   | x |   |   |   |    |    |  |   |
| <b>McCulloch et al., 2005a</b> | Landsat TM image with the location of the glacial stage D limit (from Bentley <i>et al.</i> , 2005). Also shown are the 10Be and 14C ages obtained from the Strait of Magellan and Bahía Inútil from deposits associated with the limit. (Figura 6)   |             |   |   |   | x |   |                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    | x  |  | x |
| <b>McCulloch et al., 2005b</b> | The main map shows the study area and the limit of the glacier advance into the Strait of Magellan during glacial stage E (Clapperton et al. 1995; McCulloch and Bentley, 1998; this study).  | x           |   |   |   |   |   |                      |   | x |   |   |   |   |   |   |    |    |  | x |

Continúa



|                                  |   |   |  |  |  |  |   |   |   |   |  |   |   |  |  |  |  |
|----------------------------------|---|---|--|--|--|--|---|---|---|---|--|---|---|--|--|--|--|
| <b>McCulloch y Bentley, 1998</b> | Map of the glacial geomorphology of the northern peninsula of Isla Dawson. The landforms record a number of glacial advances which extended over the island. The most recent advances constructed separate moraine limits along the east and west coasts of the island. | x |  |  |  |  |   | x | x | x |  |   |   |  |  |  |  |
| <b>McCulloch y Morello 2009</b>  | Modelo topográfico SRTM30-plus con el nivel del mar a -100, -40 y +10m s.n.m. (Figura 7.A; 7.B; 7.C)<br>Modelo topográfico de SRTM30-plus y la reconstrucción de la capa de hielo del glacial en el estadio E, con el nivel del mar en - 80 m. (Figura 8)               |   |  |  |  |  | x |   |   |   |  | x | x |  |  |  |  |

**Leyenda: Metodologías utilizadas:** **a** Mapeo en terreno **b** Imágenes satelitales Lansat **c** Imágenes satelitales con combinación de bandas y procesos de realce **d** Validación con transectas **e** Cartografía preliminar **f** Información topográfica de *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM)

**Información extraída:** **1** Morrenas **2** Lineamientos glaciares **3** Canales de deshielo **4** Circos glaciares **5** Paleo costas **6** Campos de hielo **7** Topografía **8** Nivel del mar **9** Lagos proglaciares **10** Sedimentos glacio fluviales **11** Límites de avances glaciares

### 1.5.2 Digitalización de mapas geomorfológicos

Los mapas geomorfológicos seleccionados para ser digitalizados provienen de distintos autores y diversas zonas del estrecho de Magallanes, en donde se ha aplicado metodología de trabajo en terreno, análisis de imágenes satelitales, interpretación de fotografías aéreas, estudio de imágenes satelitales utilizando combinación de bandas y procedimientos de realce, sobreposición de datos sobre Modelos de Elevación Digital (DEM), entre otros. El detalle de los mapas utilizados, la zona de estudio y la metodología usada por cada autor son detallados en la Tabla N°2 y Figura N°2. Se realiza una georreferenciación de estos y creación de vectores en GIS, integrando y contrastando consistentemente la información de las varias fuentes.

**Tabla N°2:** Recopilación de trabajos de mapeos geomorfológicos realizados en el sector del estrecho de Magallanes e Isla de Tierra del Fuego y usados en el mapeo geomorfológico

| Autores                       | Mapa   | Metodología |   |   |   |   |   | Información |   |
|-------------------------------|--|-------------|---|---|---|---|---|-------------|---|
|                               |  | a           | b | c | d | e | f | 1           | 2 |
| <b>Darvill et al., 2014</b>   | A glacial geomorphological map of the southernmost ice lobes of Patagonia: the Bahía Inútil – San Sebastián, Magellan, Otway, Skyring and Río Gallegos lobes   | x           | x | x |   |   |   |             | x |
| <b>Di Grande et al., 2003</b> | Marine and transitional terraces (Holocene) between Seno Otway and Bahía Shoal Patagonia – Straits of Magellan – Chile. Escala 1:50.000  | x           |   |   |   |   | x | x           |   |
| <b>De Muro et al., 2004a</b>  | Distribution of the marine and transitional deposits (Holocene) and geomorphological map of the coastal area between Punta Arenas and Río Quema Angusta – Península Brunswick. Patagonia – Strait of Magellan – Chile. Escala 1:50.000 | x           | x | x |   |   | x | x           |   |
| <b>De Muro et al., 2015</b>   | Geomorphology map of the marine and transitional terraces and raised shorelines of the Península Juan Mazía, Tierra del Fuego Straits of Magellan – Chile. Escala 1:50.000   | x           | x | x | x |   |   | x           |   |
| <b>De Muro et al., 2017</b>   | Geomorphology of marine and transitional terraces and raised shorelines between Punta Paulo and Porvenir, Tierra del Fuego, Straits of Magellan – Chile. Escala 1:50.000   | x           | x |   |   | x |   | x           |   |
| <b>De Muro et al., 2018</b>   | Geomorphology of marine and glacio-lacustrine terraces and raised shorelines in the northern sector of Península Brunswick, Patagonia, Straits of Magellan, Chile. Escala 1:50.000   | x           | x | x |   | x |   | x           |   |
| <b>Lovell et al., 2011</b>    | A glacial geomorphological map of the Seno Skyring-Seno Otway-Strait of Magellan region, southernmost Patagonia  |             |   |   |   |   |   |             | x |

**Leyenda: Metodologías utilizadas:** **a** Mapeo en terreno **b** Fotografías aéreas **c** Imágenes satelitales Lansat **d** Imágenes satelitales con combinación de bandas y procesos de realce **e** Validación con transectas **f** Cartografía preliminar  
**Información extraída:** **1** Terrazas marinas y morfologías costeras **2** Geomorfología glaciaria

### 1.5.3 Recopilación de dataciones radiométricas de eventos glaciológicos y marinos.

#### Calibración de dichos eventos

Recopilación de dataciones radiométricas con  $^{14}\text{C}$  de diversos autores cuyas investigaciones se dediquen al estudio de eventos glaciológicos y marinos importantes, que hayan tenido lugar en Magallanes hacia finales del Pleistoceno y durante el Holoceno (Figura N°3). Se da énfasis a dataciones realizadas en sedimentos de testigos de perforación en zonas de geomorfologías glaciares y que estén calibradas a años naturales por el autor del artículo. Cabe destacar que, las

dataciones con  $^{14}\text{C}$  que no se encuentren calibradas a años naturales, son calibradas en esta memoria utilizando la curva SHCal20 de Hogg et al., 2020 y la curva Marine20 (Heaton et al., 2020) con un efecto reservorio de  $64 \pm 58$  años  $^{14}\text{C}$  (Merino, 2017) mediante el software Calib 8.1.0 (Stuiver et al., 2020).

#### **1.5.4 Revisión bibliográfica de información paleoambiental y recopilación de dataciones radiométricas**

Revisión y selección de publicaciones paleoambientales fundamentadas en campañas de muestreos de sedimentos en testigos subacuáticos en cuencas ubicadas a través del estrecho de Magallanes, para posterior estudio litoestratigráfico, de contenido orgánico, humedad efectiva, estudios geoquímicos y aproximación de temperaturas pasadas de aguas marinas superficiales mediante alquenona. También, se examinan estudios paleoambientales sustentados en análisis de polen y de muestras de diatomeas, donde se busca la identificación del grano de polen y su clasificación por grado de conservación (normal, roto, arrugado, deteriorado o degradado) y reconocimiento del tipo de diatomea a través microscopios de luz.

Los productos generados a partir de estos estudios son limitados puesto que la concentración espacial de análisis paleoambientales en sedimentos de testigos de buena resolución es reducido dentro del estrecho de Magallanes, estos se encuentran dispersos por lo que una extrapolación de dichos datos sería imprecisa, por lo tanto, solo son utilizados para identificación de especies de flora que dejan entrever determinados ambientes a modo de contextualización ambiental del escenario.

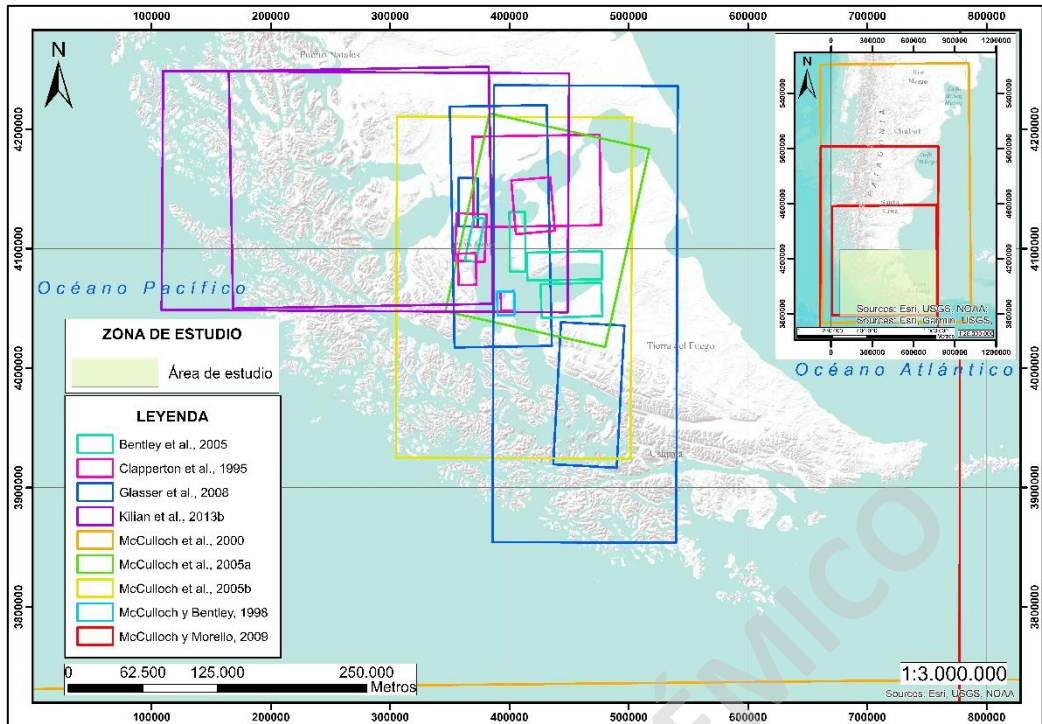


Figura N°1: Área de estudio de publicaciones utilizadas en la revisión bibliográfica geomorfológica (Elaboración propia)

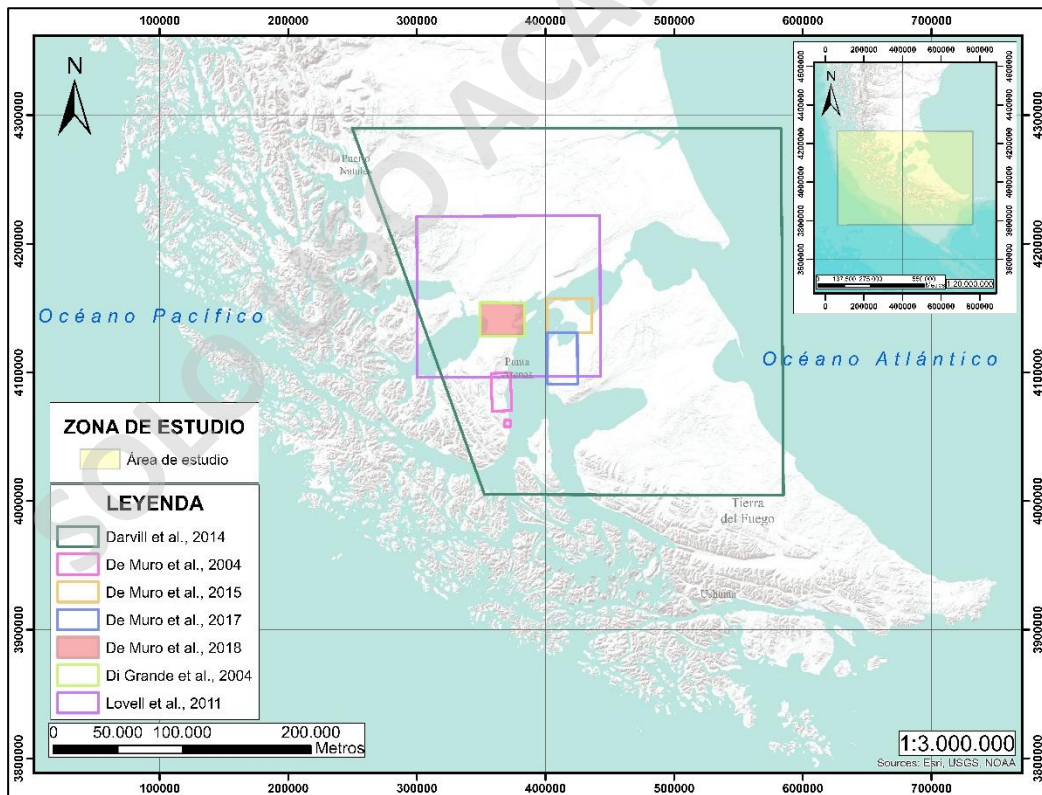


Figura N°2: Área de estudio de mapas geomorfológicos digitalizados (Elaboración propia)

### 1.5.5 Revisión bibliográfica de arqueología y recopilación de dataciones radiométricas

Revisión y selección de artículos científicos arqueológicos que estudien poblamientos humanos en Magallanes. A través de la integración y discusión de información proveniente de distintos autores se identifica y catastra los principales sitios arqueológicos, modos culturales de los grupos humanos, dataciones de ocupaciones, y posibles migraciones en Magallanes. Al igual que en el caso de los eventos geológicos, las dataciones arqueológicas con  $^{14}\text{C}$  que no se encuentren calibradas a años naturales, son calibradas en esta memoria utilizando la curva SHCal20 de Hogg et al., (2020) en el caso de muestras de origen terrestre y la curva Marine20 para muestras de origen marino con una corrección de efecto reservorio ( $\Delta R$ ) de  $64 \pm 58$  años  $^{14}\text{C}$  AP (Merino, 2017), mediante el software Calib 8.1.0 (Stuiver et al., 2020).

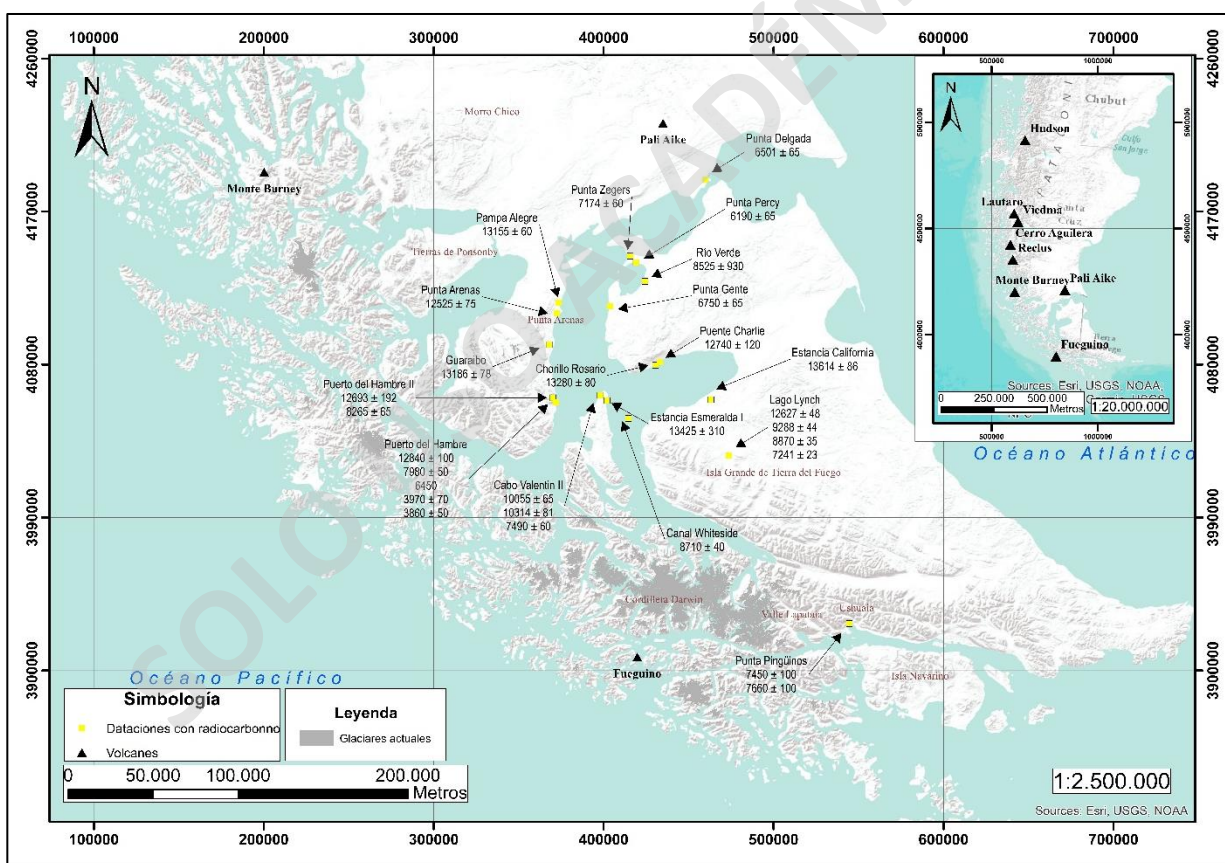


Figura N°3: Recopilación de dataciones radiométricas en Magallanes-Tierra del Fuego de diversos autores (Elaboración propia)

### 1.5.6 Calibración de edades radiométricas $^{14}\text{C}$ publicadas a años naturales mediante la curva SHCal20 y Marine20

Como se ha señalado con anterioridad, las dataciones radiométricas publicadas de eventos glaciales, marinos, arqueológicos y paleoambientales que no estén calibradas a años naturales por el autor son calibradas mediante el software Calib 8.1.0 (Stuiver et al., 2020) con la curva SHCal20 (Hogg et al., 2020) para muestras terrestres y con la curva Marine20 (Heaton et al., 2020) en el caso de muestras marinas considerando una corrección de efecto reservorio para la última de  $\Delta R = 64 \pm 58$  años  $^{14}\text{C}$ .

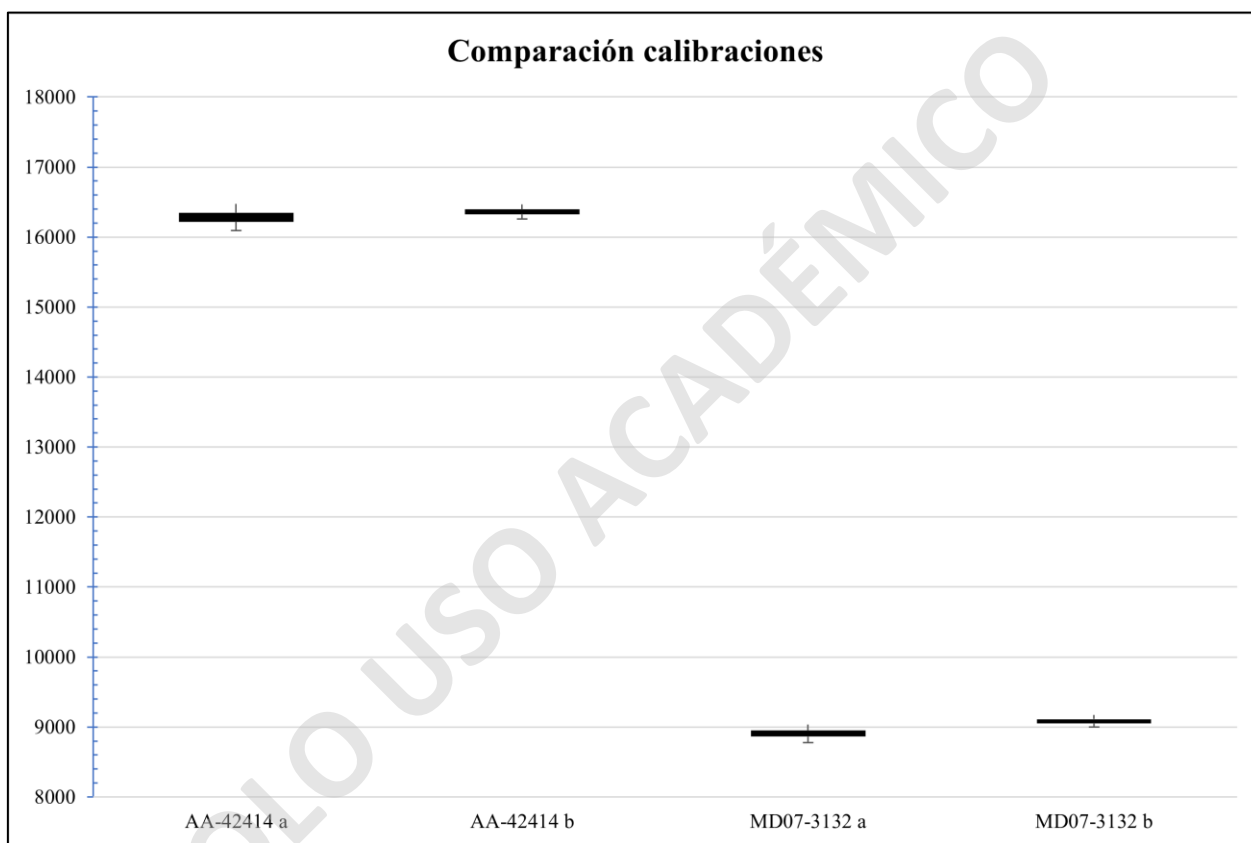
La primera corresponde a una curva basada en la previa curva SHCal13, pero con la añadidura de catorce nuevos sets de datos de anillos de árboles para los intervalos de 13.140-11.375, 3.608-3.590, 3.520-3.453 y 2.140-0 años calibrados (cal) antes del presente (AP) y específica para el Hemisferio Sur. Mientras que, la segunda corresponde a una mejora de la antigua curva Marine13 (Reimer et al., 2013) que consideraba en su cálculo un modelo invariante en el tiempo en cuanto a la difusión de  $^{14}\text{C}$  entre el océano y la atmosfera, a diferencia de la curva Marine20 que utiliza un modelo BICYCLE (*Box-model of the Isotopic Carbon Cycle*; Köhler y Fischer, 2004, 2006; Köhler et al., 2005, 2006) dependiente del tiempo que permite incluir cambios clave en el ciclo del carbono a través del tiempo (Heaton et al., 2020).

En el software se ingresa: el número de muestra, la edad radiométrica, la incertidumbre de la edad (el error) y una descripción de la muestra, posteriormente se selecciona la curva SHCal20 o Marine20 con precisión de 1-sigma y calibración a edades antes del presente (*Before present* “BP”).

Para probar que el software se está usando correctamente, se ingresa a modo de prueba una datación radiométrica publicada con su calibración ya conocida, esto se realiza tanto para una muestra terrestre como marina. Por ejemplo, en el caso de una muestra terrestre se prueba la muestra AA-42414 correspondiente a turba basal con remanente de plantas ubicada en la costa sureste de Bahía Inútil, la datación radiométrica es publicada en McCulloch *et al.*, 2005a y es calibrada en el mismo estudio por el autor con la curva IntCal98. Con respecto a la muestra marina, se ingresa la muestra MD07-3132 correspondiente a un testigo sedimentario tomado por Aracena

et al., 2015 en Canal Whiteside y que es datada con el software CLAM 2,2 y la curva SHCal13 con un efecto reservorio de 600 años.

En la Figura N°4 se presenta la calibración realizada los autores y la resultante usando la curva SHCal20 y Marine20 ( $\Delta R = 64 \pm 58$  años  $^{14}\text{C}$ ) con el software Calib 8.1.0. Se puede observar que las calibraciones tienen medias muy similares por lo que el software se está usando correctamente. Las calibraciones son presentadas en la Tabla N°3



**Figura N°4:** Comparación de calibraciones realizadas por el autor en comparación con las realizadas por esta memoria. AA-42414 a: calibración realizada por McCulloch et al., 2005a con la curva IntCal98 en el programa Calib 4.4; AA-42414 b: calibración realizada en esta memoria con curva SHCal20 en software Calib 8.1.0; MD07-3132 a: calibración realizada por Aracena et al., 2015 con efecto reservorio de 600 años  $^{14}\text{C}$  en software CLAM 2.2; MD07-3132 b: calibración realizada en esta memoria con curva Marine20 y efecto reservorio  $64 \pm 58$  años  $^{14}\text{C}$  en programa Calib 8.1.0 (Elaboración propia)

**Tabla N°3:** Dataciones radiométricas de eventos geológicos glaciales, transicionales y marinos en Magallanes-Tierra del Fuego.

| Localidad  | Muestra    | Edad <sup>14</sup> C | Edad calibrada            | Evento   | Fuente    |
|--|------------|----------------------|---------------------------|--|-----------|
| <b><i>Etapa glacial D4</i></b>                             |            |                      |                           |  |           |
| Estancia California  | AA-42414   | 13614 ± 86           | 16596 -16095 <sup>a</sup> | Edad mínima de retroceso glacial D4              | <b>9</b>  |
| <b><i>Desglaciación D4</i></b>                             |            |                      |                           |  |           |
| Estancia Esmeralda I                                       | A-6807     | 13425 ± 310          | 16597-15654 <sup>a</sup>  | Drenaje lago proglacial                          | <b>4</b>  |
| Pampa Alegre   | SRR-6502   | 13155 ± 60           | 16101-15530 <sup>a</sup>  | Drenaje lago proglacial                          | <b>9</b>  |
| Chorillo Rosario   | QL-1683    | 13280 ± 80           | 16236-15682 <sup>a</sup>  | Crecimiento de turba en condiciones atmosféricas | <b>5</b>  |
| Puente Charlie   | A-7569     | 12740 ± 120          | 15638-14380 <sup>a</sup>  | Crecimiento de turba en condiciones atmosféricas | <b>4</b>  |
| Guaraibo   | AA-42415   | 13186 ± 78           | 16140-15561 <sup>a</sup>  | Remanente de plantas                             | <b>9</b>  |
| <b><i>Etapa glacial E</i></b>                              |            |                      |                           |  |           |
| Puerto del Hambre  | AA-20570   | 12840 ± 100          | 15454-15134 <sup>b</sup>  | Caída de tefra volcán Reclús                     | <b>10</b> |
| Punta Arenas   | AA-30918   | 12525 ± 75           | 14720-14462 <sup>b</sup>  | Caída de tefra volcán Reclús                     | <b>8</b>  |
| Puerto del Hambre II                                       | Vn Reclús  | 12693 ± 192          | 15584-14362 <sup>a</sup>  | Caída de tefra volcán Reclús                     | <b>11</b> |
| Lago Lynch   | Tephra R1  | 12627 ± 48           | 14619-15183 <sup>c</sup>  | Caída de tefra volcán Reclús                     | <b>13</b> |
| <b><i>Desglaciación E e Inicio de Ingresión Marina</i></b> |            |                      |                           |  |           |
| Cabo Valentín II   | A-8614     | 10055 ± 65           | 11693-11303 <sup>a</sup>  | Drenaje lago proglacial                          | <b>10</b> |
| Cabo Valentín II   | AA-23077   | 10314 ± 81           | 12578-11773 <sup>a</sup>  | Drenaje lago proglacial                          | <b>9</b>  |
| Lago Lynch   | Tephra Ha  | 9288 ± 44            | 10556-10266 <sup>c</sup>  | Caída de tefra volcán Hudson                     | <b>6</b>  |
| Lago Lynch   | Tephra MB1 | 8870 ± 35            | 10153-9700 <sup>c</sup>   | Caída de tefra volcán Mt Burney                  | <b>6</b>  |
| Río Verde  |            | 8525 ± 930           | 10606-8375 <sup>b</sup>   | Turba en Terraza de primer orden transicional    | <b>3</b>  |

**Continúa**



| <i>Formación del Estrecho de Magallanes</i>    |            |            |                        |   |           |
|--|------------|------------|------------------------|---|-----------|
| Puerto del Hambre                              | QL-1468    | 7980 ± 50  | 8785-8691 <sup>c</sup> | Inicio condiciones marinas                                      | <b>12</b> |
| Punta Pingüinos                                | Y-191      | 7450 ± 100 | 8369-8180 <sup>c</sup> | Inicio condiciones marinas                                      | <b>2</b>  |
| Punta Pingüinos                                | Y-192      | 7660 ± 100 | 8539-8349 <sup>c</sup> | Inicio condiciones marinas                                      | <b>2</b>  |
| Puerto del Hambre II                           | AA-35086   | 8265 ± 65  | 9270-9161 <sup>b</sup> | Inicio condiciones marinas                                      | <b>11</b> |
| Cabo Valentín II                               | AA-35088   | 7490 ± 60  | 8360-8206 <sup>a</sup> | Turba bajo sedimentos marinos                                   | <b>8</b>  |
| Lago Lynch                                     | Tephra H1  | 7241 ± 23  | 8153-7949 <sup>c</sup> | Caída de tefra volcán Hudson                                    | <b>14</b> |
| Canal Whiteside                                | MD07-3132  | 8710 ± 40  | 9121-8776 <sup>d</sup> | Salinización de aguas   | <b>1</b>  |
| <i>Máxima Ingresión Marina</i>                 |            |            |                        |   |           |
| Puerto del Hambre                              |            | 6450       | 7420-7340 <sup>a</sup> | Condiciones marinas profundas asociadas a especies planctónicas | <b>11</b> |
| Punta Delgada                                  | Section 14 | 6501 ± 65  | 6827-6573 <sup>b</sup> | Terrazas de segundo orden                                       | <b>3</b>  |
| Puerto Percy                                   | Section 28 | 6190 ± 65  | 6478-6253 <sup>b</sup> | Terrazas de segundo orden                                       | <b>3</b>  |
| Punta Zegers                                   | Section 31 | 7174 ± 60  | 7509-7313 <sup>b</sup> | Terrazas de segundo orden                                       | <b>3</b>  |
| Punta Gente                                    | Section 26 | 6750 ± 65  | 7125-6872 <sup>b</sup> | Terrazas de segundo orden                                       | <b>3</b>  |
| <i>Establecimiento de condiciones actuales</i> |            |            |                        |   |           |
| Puerto del Hambre                              | QL-1467    | 3970 ± 70  | 4443-4286 <sup>b</sup> | Termino de condiciones marinas                                  | <b>12</b> |
| Puerto del Hambre                              | Tephra MB2 | 3860 ± 50  | 4407-4154 <sup>c</sup> | Caída de tefra volcán Mt Burney                                 | <b>7</b>  |

**Leyenda:**

**Calibración:** <sup>a</sup> Calibración con Calib 4.4 y curva IntCal98, <sup>b</sup> Calibración con Calib 8.1.0 y curva SHCal20, <sup>c</sup> Calibración con OxCal 4.3 y curva SHCal13, <sup>d</sup> Calibración con CLAM 2.2 y curva SHCal13.

**Fuentes:** **1** Aracena et al., 2015, **2** Auer, 1974, **3** Brambati et al., 1998, **4** Clapperton et al., 1995, **5** Heusser et al., 1990, **6** Mansilla et al., 2016, **7** McCulloch, 1994, **8** McCulloch et al., 2005a, **9** McCulloch et al., 2005b, **10** McCulloch y Bentley, 1998, **11** McCulloch y Davies, 2001, **12** Porter et al., **13** Sagredo et al., 2011, **14** Stern et al., 2008.

### **1.5.7 Generación de bases de datos**

Creación de bases de datos con el objetivo de tener la ubicación de zonas de muestreo de dataciones con radiocarbono de datos geológicos, paleoambientales y arqueológicos, además de la localización de sitios arqueológicos para posterior digitalización.

### **1.5.8 Determinación de siete intervalos temporales importantes en la historia evolutiva del área de estudio**

Se definen siete escenarios correspondientes a intervalos temporales donde haya ocurrido un suceso geomorfológico, arqueológico o glaciológico importante, durante el Pleistoceno tardío y Holoceno.

El primer escenario definido es la Etapa Glacial D4 que constituye a un sub-avance glaciario ocurrido hacia finales del Pleistoceno, posteriormente, le sigue el segundo evento denominado Desglaciación D4, donde se cartografía el deshielo del cuerpo glaciario antes formado. El tercer escenario es la Etapa Glacial E que corresponde a uno de los últimos avances glaciares importantes en el estrecho de Magallanes y donde, además, se tiene registro de ocupaciones humanas tempranas. Después, se encuentra el escenario de la ingresión marina del Holoceno temprano en el cual se forma el estrecho de Magallanes, seguido por el escenario de Ingresión Marina Máxima en el cual aparte de la característica nombrada destacan la aparición de grupos humanos de distinta modalidad cultural que los grupos anteriores, para finalmente terminar con el escenario del Establecimiento de las condiciones actuales, donde destaca la estabilización del nivel de mar y el desarrollo humano tanto en el continente como en Tierra del Fuego.

### **1.5.9 Generación de coberturas temáticas de eventos relevantes en formato de Sistemas de Información Geográfica (SIG) mediante software ArcGIS**

Se realiza una compilación de información relevante de los artículos seleccionados (artículos científicos, mapas geomorfológicos, bases de datos) sobre coberturas batimétricas del sector del estrecho de Magallanes proveídas por la *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO, 2020) con una resolución de 4,16m.

Posteriormente, mediante la digitalización en formato GIS se elaboran mapas temáticos para determinados intervalos de tiempo, integrando la información compilada y extrapolando

información en lugares donde esta no exista. Al mismo tiempo, los vectores de los mapas creados son enviados como insumo para la creación de la animación y aplicación interactiva.

Cabe aclarar que, algunas extensiones de los elementos mapeado son inferidas, como lo es el caso particular de la Etapa Glacial D4 donde la definición del cuerpo glaciario se realiza mediante una reconstrucción basada en su estado previo y posterior a la desglaciación que toma lugar entre los 17.500 y 17.150 años cal reconocida por McCulloch et al., 2000; combinado con información radiométrica y geomorfológica de otros autores, por lo tanto, su extensión es inferida. Esto es similar al caso de los lagos proglaciares, donde su extensión es inferida mediante geomorfologías de paleo costas, morrenas de avances previos y las interpretaciones realizadas por autores como McCulloch et al., 2005a y McCulloch y Morello, 2009.

#### **1.5.10 Historia evolutiva de Patagonia sur y Tierra del Fuego. Relato escrito y esquema simplificado de la evolución**

Se crea relato escrito de carácter científico que integra y sintetiza los principales conocimientos científicos del área de estudio, el cual acompaña los mapas temáticos y permite contextualizarlos apropiadamente. Además de un relato escrito de tipo narrativo que acompaña tanto a la animación denominada “*Entre grandes hielos y pequeñas hogueras: El nacimiento del estrecho de Magallanes*” así como la aplicación interactiva donde se narra los principales hitos evolutivos con un lenguaje amigable al espectador no científico, simplificando términos y dando énfasis a la ejemplificación y explicación de los conceptos. Asimismo, se diseña un esquema simplificado de la evolución del estrecho de Magallanes integrando y sintetizando la información glaciológica, geográfica, ambiental y arqueológica desde finales del Pleistoceno hasta el Holoceno.

## CAPÍTULO 2: DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

### 2.1 Definición de Divulgación científica y conceptos relevantes

Durante el desarrollo de la ciencia y la aparición del lenguaje especializado se produce una ruptura cultural entre los científicos y el resto de la sociedad. El esfuerzo para reducir esta brecha entre la sociedad y los científicos es el origen de la divulgación (Roqueplo, 1983).

La divulgación científica se trata de acercar la ciencia al público general que no cuente con especialización o conocimiento en un determinado tema, este puede ir desde la ciudadanía general hasta otros científicos no especializados en el tema divulgado, lo que le da a la divulgación un carácter universal que es independiente del nivel educativo de la persona receptora del conocimiento (Roqueplo, 1983, Sánchez y Roque, 2011). Esta no es solo una actividad de explicación sino que también de difusión de los conocimientos, de la cultura y del pensamiento científico y técnico (Roqueplo, 1983). De esta manera, se le llama divulgación científica al *“conjunto de actividades que interpretan y hacen accesible el conocimiento científico al público general, es decir, todas aquellas actividades que llevan el conocimiento científico a las personas interesadas en él”* (Sánchez y Roque, 2011, p. 91) siempre y cuando esta se haga de forma externa a la enseñanza académica formal y que su finalidad no sea formar especialistas ni profesionales en el tema (Roqueplo, 1983; Mogollón, 2015). Por lo tanto, la divulgación científica tiene un carácter pedagógico fuera del sistema de educación oficial pero que puede ser aprovechado por este.

El objetivo de la divulgación científica es ser un canal entre la ciencia y la ciudadanía, haciendo el conocimiento asequible e inteligible para la población de manera que pueda ser integrado por el público (Briceño, 2012). Conforme a lo anterior, los objetivos de la divulgación se pueden dividir en tres: (1) Informar al público de los avances científicos, (2) Proporcionar un contexto político, social y cultural a los nuevos conocimientos en conjunto con las posibles repercusiones y (3) Contribuir a crear un pensamiento crítico (González, 2007). Cabe destacar que, en esta actividad, el científico sale de su rol de creador de conocimiento a ser una fuente de información, asesor científico y colaborador en un fenómeno educativo, lo que es denominado Científico divulgador (Belenguer, 2003).

Por ende, la divulgación busca democratizar el conocimiento en el sentido de igualar las condiciones de la ciudadanía y su relación con la ciencia, de una manera libre y participativa donde

la población puede opinar, contribuir y decidir libremente como se relaciona con el desarrollo científico incluyendo adicionalmente a actores sociales excluidos que presentan desigualdades en oportunidades de conocimiento por diversas razones tales como edad, género, condición social, raza, etc (Mogollón, 2015). Dentro del proceso de divulgación, también se destaca el concepto de apropiación, definido como “*hacer propio el conocimiento científico y tecnológico*” (Convenio Andrés Bello, 2008, p. 31) para esto se debe hacer apropiado el conocimiento de forma que se adecue a las condiciones de quien lo recibe (Mogollón, 2015). Asimismo, dentro de la divulgación también se añade el concepto de popularización, el cual corresponde al proceso general a través del cual la ciudadanía de una u otra forma se encuentra con los contenidos, aspectos y hechos de la ciencia (Mogollón, 2015). En resumen, la divulgación consiste en un fenómeno educativo externo a la educación oficial cuya intención es acercar a la ciudadanía al conocimiento científico generando procesos de popularización, democratización y apropiación (Mogollón, 2015).

Para que la divulgación sea eficiente, es necesario diseñar una estrategia y herramienta de divulgación apropiada que tenga el soporte preciso para que la información transmitida pueda ser comprendida eficazmente. Esta es desarrollada mediante un plan de acción diseñado y llevado a cabo según lo planificado por un grupo de trabajo (Sánchez y Roque, 2011).

A diferencia de la divulgación, la difusión científica consiste en transmitir información por parte de un científico investigador con sus pares y especialistas en el mismo sector de la ciencia (Calvo, 1990), por lo tanto, la divulgación y difusión de la ciencia están asociadas a receptores, objetivos y procesos discursivos distintos, relacionados a modos de interacciones diferentes definidos según la naturaleza y la meta comunicativa (Swales, 1990). Mientras que, el lenguaje científico es el instrumento lingüístico de la difusión para transmitir a otros especialistas el saber, caracterizado por ser un lenguaje preciso, objetivo y con un amplio uso de términos especializados que son entendibles para los pares especialistas (Lerat, 1997; Mogollón, 2003; Parodi, 2005; Díez de Revenga Torres, 2009; Pérez, 2009), la divulgación usa instrumentos del lenguaje para explicar conceptos científicos (Briceño, 2012) contextualizando, reformulando y adaptando los rasgos específicos del lenguaje científico de manera que sea comprensible para la ciudadanía independiente de su formación educacional sin menoscabar su contenido y profundidad, esto es a lo que se le denomina discurso divulgador y es parte de la estrategia divulgativa (Brumme, 2001; Bolet, 2015; Mogollón, 2015).

La divulgación puede ser llevada a cabo por diversos mecanismos, por ejemplo escritos (revistas, diarios, libros de divulgación científica), oral (cursos, conferencias, programas radiales), visual (viñetas, dibujos, esquemas, cine, infografías, vídeos, etc.), tridimensional (exposiciones o museos interactivos, laboratorios científicos, viajes divulgativos, etc.) como también en museos, bibliotecas, ferias, teatro científico y virtualmente a través de la internet con viajes infográficos al pasado o futuro, etc (Belenguer, 2003) Sin embargo, cuando este se realiza a través de los medios de comunicación masiva pasa a ser periodismo científico y no divulgación científica (Calvo, 1990)

Por último, hay que destacar que la divulgación científica no solo pone a disposición el conocimiento científico sino que también da cuenta del proceso científico, las comunidades investigadoras, cómo se certifica el conocimiento científico, el manejo de la incertidumbre dentro de esta, como también promueve la curiosidad, ayuda a comprender las transformaciones que ocurren en la sociedad, pone a disposición información para que las personas puedan formar su propia opinión y participar en la ciencia (Collins y Pinch, 1996; Sánchez y Roque, 2011; Mogollón, 2015).

## **2.2 Trabajos previos de divulgación científica en Magallanes-Tierra del Fuego**

Diversos esfuerzos por divulgar el conocimiento científico se han llevado a cabo en la región de Magallanes, entre estos destaca el Proyecto Asociativo Regional Explora Magallanes (PAR Explora Magallanes), que es financiado por la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) y que busca posicionar a Magallanes como un laboratorio natural y patrimonio científico de la humanidad.

Dentro de las actividades realizadas por esta entidad, resalta el Campamento Científico Escolar de Punta Arenas, donde hasta el 2016 se ha recibido a 1.870 asistentes entre niños y adolescentes de Magallanes que tengan interés por la investigación científica, donde se les reúne con investigadores y académicos de la zona austral para guiar y potenciar estudios creados por niños y jóvenes y acercarlos al mundo de la ciencia (CONICYT, 2016).

Recientemente, PAR Explora Magallanes en conjunto con la Universidad de Magallanes (UMAG) ha diseñado y publicado en noviembre del 2020, cuatro láminas de divulgación científica en el marco de la Semana Nacional de la Ciencia, relacionadas con la biodiversidad de vegetación de la región, los pueblos originarios de Patagonia, la importancia y cuidado de los glaciares con

énfasis en su relevancia para la macrozona de Aysén y Magallanes y finalmente, el Ictiosaurio fósil como patrimonio paleontológico y regional. Estas iniciativas buscan compartir el conocimiento de manera gratuita y transversal sorteando las dificultades de conexión a internet en la zona, siendo distribuidas semanalmente mediante la prensa escrita “El Magallanes” y “Prensa Austral” (La Prensa Austral, 2020).

Para el público adulto, la Universidad de Magallanes en 2020, ha realizado ciclos de charlas de investigación y ciencia para la comunidad magallánica en temas de salud, arquitectura y genética, entre otras. Con respecto a temas geológicos, en este ciclo el Centro de Investigación guía Antártica expuso a la comunidad estudios acerca de la protección de glaciares, dendrocronología y paleontología (Universidad de Magallanes, 2020).

Asimismo, otras actividades divulgativas en Magallanes se han concentrado principalmente en cuentos ilustrados, manuales de actividades, infografías, guías, libros infantiles, láminas (Figura N°5) y posters monotemáticos dirigidos principalmente a la comunidad estudiantil y que están disponibles en portales estatales. Con respecto a herramientas divulgativas que aborden temas similares a los de esta memoria, sobresalen la lámina “Fuego-Patagonia” (Figura N°6) creada por PAR Explora Magallanes y la UMAG (2020) que presenta a los pueblos indígenas de la zona en conjunto con las zonas que habitaban y su culturalidad, también se destaca la guía “Patagonia Fósil” (Figura N°7) donde se presentan hitos paleontológicos y su asociación con la geología así como también reconstrucciones de Patagonia durante el Cretácico creado por el Instituto Antártico Chileno (2018)

En cuanto a proyectos de divulgación científica que abarcan la evolución glacial de Magallanes, se encuentra la guía de trabajo “Recorriendo el paisaje glacial de Magallanes” (Figura N°8, 2012) del Proyecto Explora CONICYT en colaboración con el Centro de Estudios del Cuaternario Fuego-Patagonia y Antártica (CEQUA) y The British School cuyo objetivo es informar la historia natural de Magallanes y dar a conocer las bases científicas y metodologías utilizadas en la reconstrucción del paisaje a jóvenes escolares desarrollando actividades en terreno de reconocimiento de geomorfologías glaciares y asociarlas a distintos tiempos geológicos.

Por último, cabe recalcar que los proyectos de divulgación científica en Magallanes están en general divididos en función del público objetivo al que se apunta, en primer lugar el público

infantil-juvenil cuyas actividades de divulgación se ha concentrado en las comunidades escolares mediante herramientas visuales (libros, guías, láminas, cuentos) y actividades en terreno (campamento y guías de trabajo) mientras que en segundo lugar, la divulgación para el público adulto se ha abordado mediante láminas informativas distribuidas a través de la prensa escrita y con ciclos de charlas dadas por especialistas.



**Figura N°5:** Lámina educativa del viaje de Darwin por Patagonia, destaca los lugares visitados por el científico y los estudios realizados en la zona. (Instituto Antártico Chileno, 2009)





Figura N°6: Lámina de los pueblos indígenas de Fuego-Patagonia destacando cultura de cada uno. (Extraído de Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, 2020)

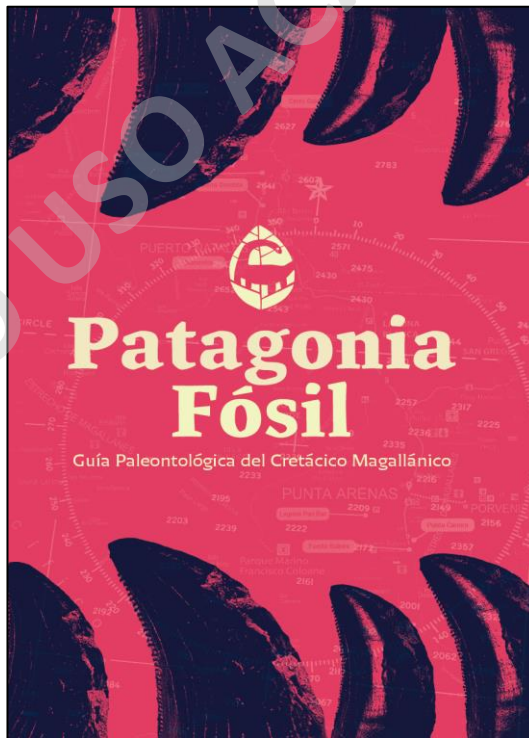
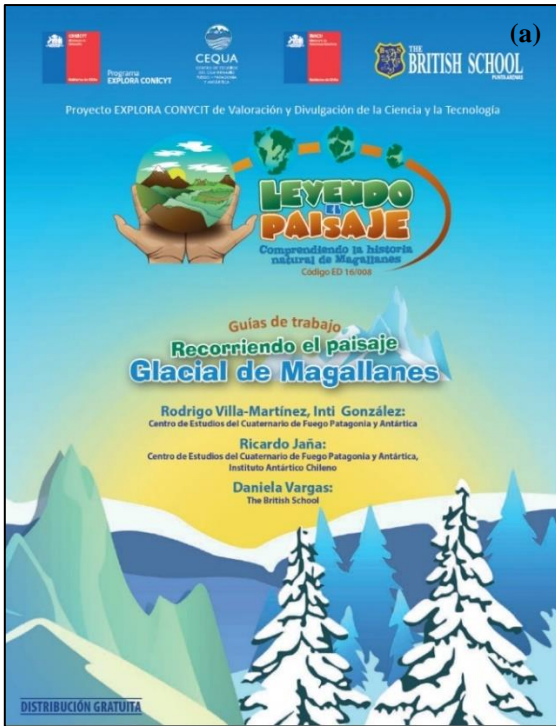


Figura N°7: Guía paleontológica de Patagonia durante el Cretácico en Magallanes. Informa de los hitos paleontológicos, fósiles y geología. (Extraído de Instituto Antártico Chileno, 2018)



### Recorriendo el paisaje Glacial de Magallanes (b)

## Las rocas y los procesos geológicos como parte del paisaje

La Tierra, la Luna y los planetas están hechos esencialmente de **ROCAS**. Las **ROCAS** son grandes masas de materia formadas por **MINERALES**. Las **ROCAS** se originan de varias formas, en procesos que duran millones y millones de años. La Naturaleza nunca es igual, siempre cambia lenta pero continuamente en un ciclo sin fin.

Para entender esto, veamos como es el interior de la Tierra:

Esta compuesta de varias capas: **Corteza**, donde vivimos, **Manto** y **Núcleo**. Así pues, bajo la **CORTEZA** terrestre (de 6 a 60 km de espesor), encontramos el **MANTO**, formado por materiales fundidos y altísimas temperaturas (masas rocosas), que podemos imaginar como los gases de una olla deseando salir. Y a veces lo consiguen, escapándose por grietas de la Corteza: es el **magma** de los Volcanes, que, al enfriarse, se convierte en **ROCAS** (las Rocas Magmáticas o Igneas).

Luego, las fuerzas de la Naturaleza van modelando, como un escultor, el paisaje, cambiándolo y formando nuevas rocas.

**Veámoslo más detenidamente:**

- 1 - La lluvia, hielo, viento rompen y desgastan las rocas de las montañas **EROSIÓN**
- 2 - Los ríos, torrentes, glaciares, y viento arrastran materiales hacia abajo **TRANSPORTE**
- 3 - Los materiales arrastrados se depositan en valles, lagos y océano **SEDIMENTACIÓN**
- 4 - Los sedimentos, aplastados entre sí por cientos de metros otros sedimentos y agua, se transforman en: **ROCAS SEDIMENTARIAS**.

Al elevarse el terreno y formarse las **montañas**, estas Rocas quedan en la superficie.

- 5 - El magma fundido que forma el **Manto** bajo la Corteza se escapa por grandes grietas del terreno (Volcanes) que, al enfriarse, se solidifica formando nuevas rocas: **ROCAS IGNEAS**
- 6 - Algunas R. Sedimentarias o Igneas, cercanas a las grietas o bolsas de magma, se transforman por altas temperaturas y presión, dando lugar a: **ROCAS METAMÓRFICAS**.

**Cómo identificar el tipo de roca:**

- 1- Formada por **cristales** o con aspecto de vidrio o con burbujas **> IGNEA**
  - muy compacta, formada por agregado de cristales **> Plutónica**
  - amorfa, con aspecto de vidrio o con burbujas **> Volcánica**
- 2- Formada por **granos** incluidos en otros materiales o de aspecto exterior **uniforme** **> SEDIMENTARIA**
  - con granos de granos: a finísimos **> Detrítica**
  - con aspecto lustrado uniforme **> Química**
  - con restos de los seres vivos que las han originado **> Organogénica**
- 3- Presenta disposición en **capas** u hojas o en agregado de cristales **> METAMÓRFICA**

### Recorriendo el paisaje Glacial de Magallanes (c)

Las medales son en realidad las **morenas laterales** combinadas de dos glaciares que se han fusionado. La ciudad de Punta Arenas tiene al menos tres sistemas de **morenas laterales** que fueron depositadas durante el último máximo glacial (25000-18000 años atrás).

**Llanuras de inundación glacial:** Corresponde a planicies formadas por sedimentos glaciares que son formadas por el agua de derretimiento de la zona de término de un glaciar.

**Kettles:** formación de origen fluvio-glacial con forma de depresión más o menos circulares, y a veces llenos de agua o de cavidad en los cauces de los ríos por la acción de los corrientes fluviales.

**Kames:** es un accidente geomorfológico de origen fluvio-glacial, una colina o morchuelo de forma irregular compuesta por arena, grava y till que es acumulada en una depresión durante el retroceso de un glaciar, y que luego se depositan sobre la superficie de la tierra cuando el glaciar finalmente se funde.

**Drumlin:** son pequeños montículos de laderas lisas, de forma aerodinámica, formado frecuentemente por debajo de un glaciar en movimiento. Su forma, con un extremo más afilado que otro, se debe al modo en el que el glaciar avanza por él o a su alrededor (Fig. 3). Son colinas bajas, de forma dómica o de cuchara invertida, alargada en la dirección del movimiento del hielo, con la pendiente más suave apuntando en la dirección hacia la cual el hielo se desplazaba. Están formados por acumulación de sedimentos glaciares como till y morrenas.

**Canales de desahogue:** corresponden a cursos de agua proveniente del derretimiento del glaciar. En Punta Arenas los ríos y canales (Río de Las Minas, de la Mano, etc) que atraviesan la ciudad, constituyeron antiguos canales de desahogue durante el proceso de retroceso glacial.

## Breve historia glacial de Magallanes

El Cuaternario corresponde a los últimos 2.6 millones de años de historia geológica de la tierra. Este período se caracteriza por la ocurrencia de etapas de bajas temperaturas globales del planeta, durante los cuales los glaciares de montaña se expandieron ocupando tierras bajas. Estos períodos son llamados glaciaciones. La última de ellas comenzó hace 110.000 años y finalizó hace 11.500 años, y se estima que la temperatura promedio fue 6°C más baja que en la actualidad. Los niveles de mar también han cambiado, y durante la última glaciación el nivel del mar (que ahora

### Recorriendo el paisaje Glacial de Magallanes (d)

Figura 1: Perfil topográfico entre Avenida Independencia-Avenida Costanera y Cerro Mirador (Punta Arenas). Modificado de Bentley (2005)

3- Observación relieve de Punta Arenas con el perfil construido

a. ¿Cómo crees que se originan el relieve y las formas que observamos? Anota las posibles causas.

b. Revisa el perfil topográfico de M. Bentley. Nomina tu perfil de acuerdo a lo elaborado por él. ¿Cómo se comparan los perfiles? ¿Son distintos o similares?

c. De acuerdo a la comparación anterior ¿Dónde nos encontramos? ¿Por qué?

d. Observación de morrena: Como se distribuye el material, describe la disposición del material, acompaña su descripción con dibujo(s), esquema y/o fotografías.

e. Como es el material de una morrena (tamaños y formas). Observe y distingue los tamaños, forma (redondeada, e caras planas) y tipos, de rocas dentro de una morrena. Describe su clasificación.

f. ¿Qué factor modelador del paisaje explica el relieve de la ciudad? ¿Por qué? (comparación de hipótesis)

**Figura N°8:** Guía de trabajo “Recorriendo el paisaje glacial de Magallanes” (a) enfocado a comunidades educativas magallánicas donde se explican los procesos glaciares que dieron forma al paisaje de Magallanes, definición de conceptos geológicos (b) y geomorfologías glaciares (c), en conjunto con una guía de actividades en terreno (d) (Extraído del Centro de Estudios del Cuaternario de Fuego Patagonia y Antártica, 2012)

## CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

### 3.1 Glosario de términos

- **Alquenona:** Corresponde a un grupo de moléculas orgánicas de cadena larga (C<sub>37-39</sub>) producida por tipos específicos de algas marinas como las Haptofitas (*Haptophyte*), *Emiliania huxleyi* y especies relacionadas (Peterson, 2021) Estas pueden ser utilizadas para reconstruir temperaturas pasadas de la superficie oceánica (SST, *Sea Surface Temperature*) ya que el grado de insaturación de la alquenona cambia con la temperatura del agua marina (Brassell et al., 1986)
- **Años calibrados antes del presente:** Corresponde a la nomenclatura utilizada (Años cal AP) para reportar dataciones radiométricas cuya edad haya sido calibrada (corregida) mediante curvas de calibración. El término “antes del presente” hace referencia a las concentraciones de radiocarbono supuestamente constantes hasta 1.950 (OxCal, 2021)
- **Barras de arena:** Depósito de arena de forma elongada sumergido o parcialmente expuesto generado por la acción del oleaje en zonas costeras (Haldar, 2020)
- **Bosque perennifolio:** Bosque ubicado en zonas de clima frío-templado con gran humedad y presencia de lluvias. Está caracterizado por comunidades de especies *Nothofagus betuloides* que se encuentran como bosque puro en las zonas interiores del bosque y que en las zonas costeras se asocian a especies como *Drimys winteri* y *Pseudopanax laetevirens* y en menor medida con *Maytenus magellanica* y *Tepualia stipularis*. (Pisano, 1981)
- **Bosque deciduo:** Ubicado en la zona de clima trasandino con degeneración esteparia. Está dominado por la especie *Nothofagus pumilio* y con presencia parcial de comunidades mesicas de *N. antarctica* y bosques ecotonales en los que se asocia con *N. betuloides*. (Pisano, 1981)
- **Difusión:** Conjunto de prácticas sociales y discursivas altamente especializadas que se desarrollan en el seno de instituciones científicas, tanto de forma oral como escrita, mediante distintos mecanismos como revistas científicas, congresos, conferencias, publicaciones especializadas, etc. Con el propósito de producir, difundir y validar entre pares especialistas el conocimiento científico nuevo en una disciplina. (Bolet, 2015)
- **Divulgación:** Conjunto de prácticas sociales y discursivas llevadas a cabo por comunidades de personas heterogéneas, no necesariamente científicas, de forma oral o escrita, con el

objetivo de comunicar el conocimiento científico a un público no iniciado en el saber científico (Roqueplo, 1983)

- **Ecotono:** Área de transición vegetacional entre dos comunidades distintas de flora (Britannica, 2021)
- **Escarpe:** Pendiente abrupta que conecta una planicie con otra superficie que se encuentra en desnivel de altura con la primera (Lustig et al., 2021)
- **Espolones:** Formación de tierra angosta creada por depositación marina y formada por sedimentos costeros que está unida a la costa en un extremo (Britannica, 2021)
- **Estadial:** Escenario de desarrollo de un glaciar o un escenario en un período de glaciación cuando la temperatura disminuye y más hielo es formado. También, denominados como períodos relativamente fríos durante períodos glaciales (Mayhew, 2009)
- **Estadial Heinrich:** Período temporal que incluye tanto eventos precursores a condiciones climáticas frías y el enfriamiento efectivo del clima (Wendt et al., 2019) entre los 18.000 y 14.600 años AP (Rasmussen et al., 2006). Dicho período está ligado a cambios climáticos drásticos en el Hemisferio Norte y a reorganizaciones de la circulación oceánica profunda (Hemming, 2009)
- **Estepa:** Clima con precipitaciones que varían de 500 a 250 milímetros, los máximos de esta ocurren en otoño y verano. La diferencia de temperatura es del orden de los 8° a 9°C, con una temperatura promedio mayor a 10°C en verano y de 2°C en invierno (Silva y Calderón, 2018)
- **Glaciar:** Cualquier masa grande de hielo perenne que se origina en tierra por la recristalización de nieve u otras formas de precipitación sólida y que presenta evidencia de flujo pasado o presente (Meier, 2020)
- **Glaciares de outlet:** Glaciares de valle que se originan desde mantos, campos o casquetes de hielo (Meier, 2020) que fluyen desde zonas montañosas en forma de lenguas lobuladas (Schlieder et al., 2019)
- **Interestadial:** Períodos relativamente cortos de aumento de temperatura durante un período glacial, sin embargo, estos no alcanzan temperaturas actuales (Lowe y Walker, 1997) Jessen y Milthers (1928) postulan que estos son períodos muy cortos o muy fríos para lograr climas interglaciales.

- **Interstadial Bølling-Allerød:** Fase inicial de calentamiento durante la transición Weichselian y ocurrió de los 13.000 hasta los 11.000 años <sup>14</sup>C AP (Mangerud et al., 1974), de esta el Interstadial Bølling-Allerød fue el primer paso, que causó el derretimiento de los mantos de hielos glaciares Pleistocenos (Hoek, 2009).
- **Intermareal:** Zona donde el océano se conecta con la tierra entre mareas altas y bajas (NOAA, 2021)
- **Lago proglaciar:** Corresponde a cuerpos de agua ubicados al borde de un glaciar o al margen de una capa de hielo. Estos lagos se encuentran físicamente unidos a un margen de hielo, como también puede estar separados o inmediatamente más distanciado de un glaciar que sea contemporáneo (Carrivick y Tweed, 2013).
- **Meridional:** Hace referencia a ubicaciones en el globo sobre un meridiano que se encuentran en dirección al Polo Sur (Ucha, 2010)
- **Metodología multi-proxy:** Metodología aplicada al estudio de secuencias lacustres y marinas para obtener información paleoambiental donde se realizan análisis de las propiedades físicas, geoquímicas, geocronológicas, biológicas, composicionales y sedimentologías de sondeos sedimentarios (Morellón, 2009).
- **Morrena:** Acumulación de restos rocosos (till) llevados y depositados por un glaciar (Evenson y Schlieder, 2021)
- **Nivel eustático del mar:** Nivel del mar controlado por variaciones en la masa o volumen de océanos (Rovere et al., 2016)
- **Terraza marina:** Superficie relativamente plana de origen marino limitada por pendientes escarpadas en sus bordes resultado de abrasión marina (Pirazzoli, 2013)
- **Tundra:** Clima caracterizado por precipitaciones abundantes, superiores a 1.000 milímetros que son más abundantes en verano y en invierno son de tipo nivales. La temperatura promedio es de 5° a 7°C. No hay un desarrollo vegetacional mayor (Silva y Calderón, 2018)
- **Turba:** Combustible de material esponjoso formado por la descomposición parcial de materia orgánica, principalmente material vegetal en ambientes húmedos como pantanos, humedales, ciénagas, etc. (Kopp, 2018)
- **Período glacial:** Episodio frío durante un intervalo de tiempo geológico. En un período glacial gran parte de la Tierra es cubierta por cuerpos glaciares. La denominada “Era del

Hielo” corresponde a un período glacial que tuvo lugar en la época del Pleistoceno (2.6M-11.700 años AP) durante la cual los casquetes de hielo se desarrollaron periódicamente en procesos cíclicos de hielo y deshielo. La mayoría de las glaciaciones mayores están compuestas por pequeños pulsos de avances glaciares que se alternan con períodos similares de retroceso (Rafferty, 2020)

- **Período interglacial:** Período cálido entre dos glaciaciones durante las cuales la temperatura se eleva a niveles similares a los actuales (Suggate, 1965)
- **Reversa Fría de la Antártica:** El término Reversa Fría de la Antártica (*Antartic Cold Reversal “ACR”*) es utilizado por primera vez por Jouzel et al., en 1995 y corresponde a un evento registrado en los casquetes de hielo antártico en la cual el calentamiento que ocurre entre los 20.000 y 10.000 años AP donde la Tierra emerge del último período glacial al período interglacial del Holoceno, es interrumpido por un enfriamiento temporal (reversa) que dura alrededor de 1.500 años entre 14.500 y los 13.000 años AP (Morgan, 2009).
- **Vegetación bentónica:** Algas microscópicas que habitan ambientes pelágicos de baja profundidad (Kingsford, 2018)
- **Vegetación mesica:** Vegetación que habita ambientes con un buen balance de humedad caracterizados por ser condiciones ni tan húmedas (condiciones hídricas) ni secas (condiciones xéricas) (U.S Department of Agriculture, 2017)
- **Vegetación plantónica:** Organismos que son abundantes en la superficie de sedimentos ubicados en la plataforma continental y en aguas profundas (Kingsford, 2018)
- **Vientos del oeste:** Los vientos del oeste se encuentran en el lado ecuatorial de los centros subpolares semipermanentes de baja presión. Están asociados con climas cambiantes comunes en las latitudes medias. Los ciclones y anticiclones extra tropicales migratorios asociados con el aire húmedo cálido contrastante que se mueve hacia los polos desde los trópicos y el aire frío y seco que se mueve hacia el ecuador desde las latitudes polares producen períodos de lluvia, nieve, aguanieve o lluvia helada interrumpida por períodos secos y soleados y, a veces, condiciones de frío intenso (Britannica, 2020)
- **Younger Dryas:** Evento climático abrupto registrado en Tierra, océanos y casquetes polares. Corresponde a un evento frío (estadial) que ocurrió entre los 11.000 y 10.000 años  $^{14}\text{C}$  (12.800-11.600 años cal AP) y tuvo una duración aproximada de 1.200 años. (Alley et al., 2002, 2003; Peteet, 2009)

## 3.2 Datación con $^{14}\text{C}$ y curvas de calibración

### 3.2.1 Método de datación con radiocarbono

En 1949 Willard Libby desarrolla el método de datación con  $^{14}\text{C}$ , el cual le otorga el Premio Nobel de Química en 1960 (Libby et al., 1949; Arnold y Libby 1949) este método es utilizado para realizar dataciones de eventos y organismos que han tomado lugar durante el Pleistoceno y Holoceno. El  $^{14}\text{C}$  corresponde a un isótopo radioactivo que es parte esencial de todos los seres vivos, por lo que puede ser encontrado en plantas y animales. Este es producido en la estratosfera y troposfera superior por rayos cósmicos, para luego ser distribuido por la troposfera inferior, océanos y otros reservorios de carbono en la Tierra. Los diversos organismos a lo largo de su vida intercambian carbono con la atmósfera llegando a concentraciones que se encuentran en un equilibrio aproximado con esta. Una vez que el organismo perece, el intercambio cesa y deja de absorber carbono, quedando con una concentración definida de esta. En este punto, la cantidad de  $^{14}\text{C}$  en el tejido sobreviviente empieza a decrecer exponencialmente mediante decaimiento radioactivo con una vida media de  $5.730 \pm 40$  años (Libby et al., 1949)

La datación con radiocarbono consiste en medir la concentración de  $^{14}\text{C}$  que permanece en el organismo una vez que este fallece. En un inicio, cuando se descubrió este método se creía erróneamente que los niveles de  $^{14}\text{C}$  permanecían constantes en la atmósfera, pero más tarde se descubrió que este depende de diversos factores como los ciclos solares, tormentas solares, variaciones geomagnéticas en la Tierra y liberaciones de carbono antiguo guardado en reservorios de gran escala como el océano, también, se ve afectada por actividad antrópica como el uso de armamento nuclear (de Vries, 1958; Willis et al., 1960; Blackwell y Buck 2008).

Debido a los antecedentes anteriores, se manifiesta la necesidad de crear una curva de calibración que corrija este problema. A través de una curva de calibración se es posible obtener un estimado de los niveles de  $^{14}\text{C}$  a través del tiempo y graficarlos mediante una función que relacione la edad determinada por la concentración de radiocarbono a años naturales (calendar years). Debido a que diversos procesos afectan las concentraciones de radiocarbono en los organismos, es complejo modelar las relaciones para obtener la función, por lo que, la única manera de obtener una curva de este tipo es a partir de registros de radiocarbono en todo el mundo.

La primera aproximación a una curva de calibración es realizada por Hans Suess el cual dató muestras de árboles con radiocarbono que ya habían sido calibradas previamente mediante dendrocronología, y con estas dibujó manualmente una curva de calibración con un método que bautizó como “Oscilación cósmica” (Suess 1967, 1970)

Más tarde, se descubrió que la relación entre una edad datada y su equivalente en años naturales no es directa, y que una única edad calculada con  $^{14}\text{C}$  da múltiples edades calibradas. Debido a lo anterior, se realizan diversos estudios estadísticos entre los que destacan el “Ajuste a una curva no paramétrica” de Renfrew y Clark en 1973 y 1974 y la contribución a la estimación del error en la curva de Clark en 1975.

Entre 1966 y 1968 se crea el Intcal Working Group (IWG) cuyo objetivo era establecer un estimado de una curva de calibración que fuera acordada internacionalmente, dentro de este grupo se destacan Stuiver y Reimer quienes son los pioneros en desarrollar algoritmos y softwares de calibración en 1986b, es en este mismo año en el que se publica la primera curva de calibración internacional terrestre de alta precisión construida a partir de datos del Hemisferio Norte de Seattle, Belfast, Heidelberg y Arizona.

Para este entonces existían dos métodos para calibrar:

1. Método de interceptación: podía ser implementado por cualquiera con acceso a graficar la curva de calibración a una escala apropiada y donde el usuario debía dibujar una línea desde el eje de radiocarbono hasta interceptar la curva y luego leer la edad calibrada relativa (Stuiver y Pearson 1986b) Debido a que era manual se incluían dos estimados de puntos con intervalos de confianza estimados.

2. Método de distribución probabilística: podía ser implementado por aquellos con acceso a computador. Stuiver y Reimer (1989) discuten un rango de opciones para estimar la probabilidad completa de distribuciones a años calibrados dada la curva no monótona.

Un par de años más tarde, se publica la investigación pionera en la aproximación Bayesiana para la calibración por Naylor y Smith 1988, la cual es reforzada por Herold Dehling y Hans van der Plicht los cuales explican y postulan por qué la aproximación Bayesiana es mejor que otros



métodos estadísticos utilizados en el pasado (Dehling y van der Plicht 1993) Ese mismo año, se acuña el término “IntCal” para llamar a las curvas de calibración internacionales.

Después, en 1998 se construye la curva de calibración IntCal98, que incluye información de dataciones de árboles, corales y sedimentos lacustres y marinos. Esta base de datos es actualizada regularmente incluyendo las últimas versiones para las curvas de calibración publicadas tanto terrestres como marinas.

### 3.2.2 Construcción de la curva de calibración

La curva de calibración se construye mediante diversos registros radio carbónicos de organismos a través del globo. Para realizar la calibración, se debe tener la concentración de radiocarbono ( $X_0$ ) de un organismo, en el cual la edad calibrada para esta concentración es  $\Theta_0$ , y donde la curva se elabora a partir de una proyección emparejada de una determinación de radiocarbono de  $X = (X_1, \dots, X_n)$  y años naturales  $T = (T_1, \dots, T_n)$  de los registros globales, donde la verdadera edad de las muestras es  $\Theta = (\Theta_1, \dots, \Theta_n)$ . Entonces, la edad calibrada estaría dada por la función de:

$$p(\theta_0|X, T, X_0)$$

Por lo tanto, un objeto  $\Theta$  tiene una “verdadera” concentración de radiocarbono de  $\mu(\Theta)$ , por lo que  $E(X_0|\theta_0) = \mu(\theta_0)$  donde los niveles “verdaderos” para datos calibrados son  $M = (\mu_1, \dots, \mu_n) = \mu(\theta_1, \dots, \theta_n)$  (Blackwell y Buck, 2008).

De lo anterior resulta la función para la curva de calibración, la cual es denominada  $\mu(\cdot)$

$$p(\theta_0|X, T, X_0) = \int \int p(\theta_0|\mu, X_0)p(\mu|X, T, X_0)d\mu$$

### 3.2.3 Curva de calibración SHCal20

Después de diversos estudios de niveles de radiocarbono en el Hemisferio Sur se identificó un desfase temporal en dataciones contemporáneas que, además, es variable en el tiempo (McCormac et al., 1998a, 1998b, Hogg et al., 2002) En particular, anillos de crecimiento del Hemisferio Sur tienen niveles empobrecidos de  $^{14}\text{C}$ , dando como resultado dataciones con edades

más antiguas en comparación con dataciones realizadas en anillos de crecimiento del Hemisferio Norte coetáneos (Lerman et al., 1970). Rodgers et al., 2011 postula que dicha característica es producto de grandes flujos de aire marino con  $^{14}\text{CO}_2$  de las grandes extensiones oceánicas del Hemisferio Sur. Lo anterior sumado a diferencias en la forma estructural de las curvas pertenecientes a ambos hemisferios hace necesario el planteamiento y uso de una curva de calibración especializada para datos del Hemisferio Sur.

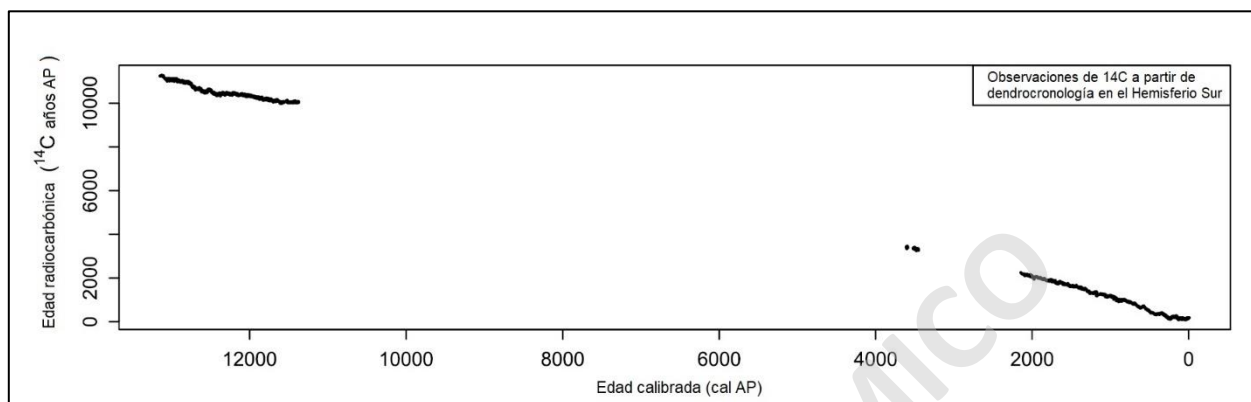
La curva SHCal20 es una curva de calibración diseñada para datos de dicho hemisferio y cubre el intervalo temporal de los 0-55.000 años cal AP. Esta se basa en la previa curva SHCal13 con la diferencia que es fortificada con la adición de 14 nuevos sets de dataciones de anillos de crecimiento de árboles.

En esta nueva curva, se hace la corrección de datos utilizados erróneamente en la curva SHCal04 y SHCal13, también, se omiten datos incongruentes de subfósiles con dataciones inconsistentes comparados con el mismo subfósil en otra ubicación y en contraparte se agregan datos omitidos accidentalmente en las curvas SHCal04 y SHCal13 (Hogg et al., 2020). Además, se añaden 1022 nuevas medidas del evento de Younger Dryas desde anillos de crecimiento de árboles en Nueva Zelanda con edades de 11.285 a 9.990 años BP, estos nuevos datos refinan la forma de la curva para el Hemisferio Sur (Hogg et al., 2016a, 2016b).

La curva SHCal20 es la última versión de la curva de calibración para el Hemisferio Sur, se construye mediante cuatro períodos temporales basados a su vez en datos del mismo hemisferio, específicamente para los intervalos de 0-2.140, 3.453-3.520, 3.590-3.608 y 11.375-13.149 años cal AP (Figura N°10, Hogg et al., 2020) Para los períodos donde no se tiene información del Hemisferio Sur, se utilizan datos del Hemisferio Norte de la curva de calibración IntCal20. Para lo anterior, se requiere realizar un modelo estadístico del desfase atmosférico Norte-Sur en el tiempo, como un proceso de primer-orden auto regresivo. Posteriormente, se agregan los datos del Hemisferio Sur en las dispersiones para crear intervalos predictivos para la curva completa de SHCal20.

Aun con las medidas tomadas para crear la curva de calibración, existe una dificultad para datar información que este cercana a los 50° latitud sur, puesto que estos se encuentran en la zona del máximo de intensidad de los Vientos Alisios del Oeste y, además, es influenciada por la

liberación de radiocarbono viejo desde los océanos mediante surgencia e intercambio de gas entre el océano y el aire (De Pol Holz et al., 2017) por lo que no se descarta la adición de nuevos datos que tomen en consideración los aspectos de dicha zona.



**Figura N°9:** Períodos temporales para los cuales se tiene mediciones directas de <sup>14</sup>C en el Hemisferio Sur y a partir del cual se construye la curva de calibración SHCal20 (Extraído y modificado de Hogg et al., 2020)

### 3.2.4 Efecto reservorio en dataciones de muestras marinas y corrección en Magallanes

Los océanos son grandes reservorios naturales de carbono en los cuales el <sup>14</sup>C circula lentamente entre aguas profundas y superficiales. Particularmente, el agua superficial de los océanos tiene dos fuentes de radiocarbono, la primera correspondiente al dióxido de carbono atmosférico y la segunda correspondiente al carbono de aguas profundas que puede tener un grado de empobrecimiento ya existente en sus niveles. De esta forma, el <sup>14</sup>C en el océano superficial está supeditado al intercambio gaseoso de CO<sub>2</sub> con la atmósfera (Southon et al., 2002) el cual a su vez varía en relación con la temperatura, salinidad y latitud, así como por el movimiento de columnas de agua (Takashi, 2001; Takashi et al., 2002; Key et al., 2004; Petchey et al., 2008; Torres et al., 2011) Debido a diferencias espaciotemporales en la mezcla de aguas oceánicas y posibles cambios en las tasas de intercambio aire-agua del CO<sub>2</sub> atmosférico (Bard, 1988) el nivel de empobrecimiento del carbono en el océano varía en función del tiempo y la ubicación.

Por lo tanto, el contenido de radiocarbono en los océanos se expresa generalmente como un promedio basado en una diferencia constante de 400 años <sup>14</sup>C más antigua, con respecto a la concentración de carbono en la atmósfera (Huguenet et al., 2004) En otras palabras, la edad radiocarbónica de una muestra marina es 400 años <sup>14</sup>C más antigua que una muestra terrestre equivalente. A esta diferencia se le denominada Edad de Reservorio Marino (R) (Stuiver et al.,

1986a; Stuiver y Braziunas, 1993) y constituye una media global que es el producto de la mezcla de aguas superficiales jóvenes con aguas profundas antiguas (Broecker, 1987; Broecker et al., 1991; Stuiver y Braziunas, 1993). Esta tasa de mezcla varía con respecto a la ubicación, encontrándose diferencias en las latitudes altas (Hier-Nielsen et al., 1995; Berkman y Forman, 1996) o en zonas con alta surgencia (Southon et al., 1995)

Entonces, para poder calibrar de forma apropiada una muestra marina se debe saber la desviación local de una edad  $^{14}\text{C}$  con respecto a la media del océano global, a esta se le denomina Edad de Reservorio Regional ( $\Delta\text{R}$ ) y corresponde a una corrección localizada de la Edad de Reservorio Marino (R) (Stuiver et al., 1986a).

Merino (2017) entrega la Edad de Reservorio Regional en el Océano Pacífico a lo largo de la costa chilena, esto lo hace mediante el estudio de 37 muestras de moluscos bivalvos y gasterópodos recolectados en océano abierto en una fecha conocida. Tomando la Edad de Reservorio Marino global de la base de datos Marine13 (Reimer et al., 2013) Merino (2017) calcula la diferencia de estas con la edad de las aguas superficiales del océano frente a Chile. A cada  $\Delta\text{R}$  obtenido, se les calcula el error estándar asociado a ambas edades utilizadas en el cálculo anterior, mediante una fórmula estadística que incluye tanto el error asociado a la medición de la edad  $^{14}\text{C}$  aparente de la muestra, y el error que posee el cálculo de la edad global oceánica (R) para cada edad  $^{14}\text{C}$  correspondiente a la curva Marine13.

Realizado el procedimiento Merino, (2017) concluye que el  $\Delta\text{R}$  decrece en dirección sur a lo largo de la costa de Chile, producto de procesos oceanográficos variables tales como surgencia costera perenne en la zona norte, surgencia estacional en la zona central y grandes influencias de agua dulce en los fiordos y canales de Patagonia hacia el océano.

En el sector del Estrecho de Magallanes, entre los  $53^\circ$  y  $55^\circ$  latitud sur, Merino, (2017) calcula una Edad de Reservorio Regional ( $\Delta\text{R}$ ) en océano abierto igual a  $64 \pm 58$  años  $^{14}\text{C}$  (Tabla N°4), esta varía considerablemente con la anterior  $\Delta\text{R}$  dado por Ingram y Southon (1996) de  $220 \pm 46$  años  $^{14}\text{C}$  en Puerto Natales a lo que Merino, (2017) lo atribuye a la influencia del agua superficial subantártica que se mezcla con el agua de los fiordos y que disminuye la concentración de radiocarbono (Silva et al., 2009), como también al material litológico de Puerto Natales correspondiente a rocas sedimentarias marinas del Cretácico inferior, que pueden influenciar la señal isotópica de los cuerpos de agua de los alrededores. Por último, también se destaca que la

muestra analizada por Ingram y Southon (1996) proviene del fiordo Señoret mientras que Merino, (2017) analiza muestras en océano abierto.

**Tabla N°4:** Desviaciones modernas de edad reservorio en Magallanes (53°-55°S) (Extraído y modificado de Merino, 2017)

| Código Laboratorio | Nombre muestra             | Ubicación                        | $\delta^{13}\text{C}$ (‰ PDB) | Edad de recolección (AD) | Edad $^{14}\text{C}$ (AP) | Edad modelo  | $\Delta\text{R}$ (AP) |
|--------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------|-----------------------|
| UCIAMS-144984      | <i>P. rugosa</i>           | Estrecho de Magallanes (53°S)    | -1.35                         | 1955                     | 510 ± 25                  | 469 ± 23     | 40 ± 34               |
| UCIAMS-134083      | <i>Nacella magellanica</i> | Punta Chilota (53°S)             | n.a.                          | 1953                     | 495 ± 20                  | 469 ± 23     | 25 ± 30               |
| UCIAMS-134084      | <i>Fisurella cumingi</i>   | Fuerte Bulnes, Magallanes (53°S) | n.a.                          | 1954                     | 505 ± 20                  | 469 ± 23     | 35 ± 30               |
| UCIAMS-134085      | <i>Nacella clypeater</i>   | Región de Magallanes (53°S)      | n.a.                          | 1954                     | 505 ± 20                  | 469 ± 63     | 35 ± 30               |
| UCIAMS-134086      | <i>Scurria zebrina</i>     | Fuerte Bulnes, Magallanes        | 2.08                          | 1954                     | 505 ± 20                  | 469 ± 23     | 35 ± 30               |
| UCIAMS-134090      | <i>Fisurella cumingi</i>   | Punta Arenas (53°S)              | 1.15                          | 1956                     | 475 ± 20                  |              |                       |
| UCIAMS-134087      | <i>Nacella deaurata</i>    | Seno Almirantazgo (54°S)         | n.a.                          | 1955                     | 530 ± 20                  | 469 ± 23     | 60 ± 30               |
| UCIAMS-134088      | <i>Nacella magellanica</i> | Seno Agostini (54°)              | 1.93                          | 1954                     | 530 ± 20                  | 469 ± 23     | 60 ± 30               |
| UCIAMS-134089      | <i>Nacella polaris</i>     | Hoste Island (55°S)              | n.a.                          | 1954                     | -650 ± 20                 |              |                       |
|                    |                            |                                  |                               |                          |                           | <b>Media</b> | <b>64 ± 58</b>        |

### 3.2.5 Curva de calibración Marine20

La curva Marine20 corresponde a la última curva de calibración publicada para dataciones con radiocarbono en muestras de origen marino y consiste en una mejora de la antigua curva de calibración Marine13. A diferencia de esta última curva, la curva Marine20 es construida basada en un modelo de carbono BICYCLE (*Box-model of the Isotopic Carbon Cycle*; Köhler y Fischer, 2004, 2006; Köhler et al., 2005, 2006) que incorpora modelos atmosféricos promediados globalmente y módulos de los componentes terrestres y oceánico del ciclo de carbono, incluido flujos de sedimentos oceánicos profundos y alcalinidad que imitan el proceso de compensación de carbonatos.

Las reconstrucciones de CO<sub>2</sub> se basan en múltiples registros de casquetes glaciares (Köhler et al., 2017) mientras que las estimaciones de <sup>14</sup>C atmosféricos son obtenidas de las realizaciones de la curva IntCal20 (Reimer et al., 2020).

De esta manera, mientras que la curva Marine13 consideraba un intercambio de CO<sub>2</sub> constante entre el océano y la atmósfera, el nuevo modelo para la creación de la curva incorpora dependencia en el tiempo y variaciones realistas del ciclo del carbono, extendiéndose hasta hace 55.000 años cal AP (Heaton et al., 2020a). Asimismo, mediante un acercamiento Bayesiano ingresado en la curva IntCal20 (Heaton et al., 2020b) se incorpora la incertidumbre atmosférica del <sup>14</sup>C en la curva de calibración, dando estimaciones más precisas de la curva de calibración marina global y la Edad del Reservorio Marino, especialmente durante el Holoceno (Heaton et al., 2020a)

## **CAPÍTULO 4: MARCO GEOLÓGICO, PALEOAMBIENTAL Y ARQUEOLÓGICO**

### **4.1 Geología glacial**

La alternancia entre período glaciales e interglaciales son comunes en la historia de la Tierra y tienen relación con los Ciclos de Milankovitch (Marshall, 2009), los que explican la relación que existe entre los ciclos climáticos de largo plazo y su sincronización con los ciclos orbitales del planeta. Morgan (2009) señala que los ciclos están caracterizados por patrones climáticos constituidos por períodos de alrededor de 90.000 años en los cuales la temperatura disminuye a un mínimo (período glacial) y luego aumenta a temperaturas cálidas por 10.000 años aproximadamente (período interglacial). Esto ocurre en respuesta a las variaciones en la distribución de radiación solar que llega a la superficie terrestre, la que a su vez depende del comportamiento de la órbita elíptica y los cambios en la inclinación del eje de rotación de la Tierra.

También, existen ciclos climáticos a corto plazo que están controlados por la retroalimentación entre sistemas y los umbrales de tolerancia del sistema climático, estos últimos corresponden a límites críticos que una vez sobrepasados causan cambios drásticos en el sistema climático (Marshall, 2009). De estos destaca el sistema de Circulación Oceánica, donde las corrientes oceánicas transportan grandes cantidades de masas de aguas, las que tienen distintas temperaturas y al evaporarse en la atmósfera, generan importantes efectos en el clima regional. Según los modelos computacionales de Weaver et al., 2003, la circulación oceánica es sensible además de a cambios en la evaporación, a las inyecciones de agua dulce, por lo que, durante la transición de un período glacial a uno interglacial, las fluctuaciones en las capas de hielo inyectan grandes cantidades de agua dulce a los océanos, resultando en cambios mayores en la circulación oceánica.

Según registros climáticos provenientes de sedimentos marinos y testigos de hielo, los patrones de calentamiento ambiental difieren según el lugar estudiado y no son necesariamente sincrónicos, destacándose el contraste en temporalidad entre los hemisferios norte y sur. Por lo tanto, mediante la interacción de estos complejos sistemas climáticos, tanto globales como locales, es que los períodos glaciales, si bien son globales, tienen sus auges y términos en distintos momentos dependiendo de la ubicación.

#### 4.1.1 Contexto glacial global

Las glaciaciones en la Tierra han ocurrido periódicamente desde el Proterozoico, con excepción del Mesoproterozoico (1,6-1Ga) en el Precámbrico y el Mesozoico (250-66Ma) en el Fanerozoico (Amaud y Martini 2009). Durante el Pleistoceno (2.6Ma-11.700 años AP) existe evidencia en registros geológicos de al menos 20 ciclos de avance y retroceso glacial (Farmer y Cook, 2013). Estos ocurrieron principalmente en latitudes altas y en zonas de mayor altura, caracterizándose por ser ciclos con un calentamiento rápido y enfriamiento relativamente lento. Las causas de estos ciclos son variadas y no se puede atribuir a una única, estas corresponden a la circulación oceánica, fluctuaciones en la energía solar y los ciclos orbitales de la Tierra (Farmer y Cook, 2013).

Durante estos períodos glaciales, los glaciares cubrieron aproximadamente el 30% de la superficie de la Tierra (Farmer y Cook, 2013), especialmente en Europa, América del Norte, Groenlandia, América del Sur, Antártica completa y pequeñas porciones de Asia. En Sudamérica, Patagonia y el sur de los Andes estaban cubiertos por cuerpos glaciares.

A escala global y mientras los glaciares avanzaban, los sistemas de corrientes atmosféricas y oceánicas se vieron modificados. Estas variaciones afectaron los márgenes de los glaciares, provocando fluctuaciones desiguales de estos, en distintos continentes y dentro del mismo manto de hielo. Por otra parte, durante el Pleistoceno se desarrolla gran parte de la flora y fauna existente de hoy en día (Farmer y Cook, 2013).

Durante el Pleistoceno tardío (>129.000 años AP) ocurre una de las glaciaciones más recientes y extensas globalmente, denominado Último Máximo Glacial (UMG, o también *Last Glacial Maximum, LGM*) que tuvo lugar entre los 23.000 y 19.000 años cal AP (Clapperton, 1993; Clark y Mix, 2002, Hulton et al., 2002 y Hughes et al., 2013) en el cual los mantos de hielo y los glaciares estuvieron en su clímax y las temperaturas promedio anuales en el Hemisferio norte eran de 2° a 7° más bajas que las actuales (Bigelow, 2013). Durante este intervalo temporal, ocurrieron grandes cambios en la geografía, con una diferencia del nivel del mar de 120 a 130m por debajo de lo actual (Peltier y Fairbanks, 2006) debido al agua contenida en el manto de hielo Laurentino ubicado en norte américa y el Fenoscándico (Báltico) en el norte de Europa, lo que a su vez cambia la forma de las líneas de costa y cuencas marinas (Bowen, 2009).



Asimismo, la extensión de las grandes masas de hielo durante el Último Máximo Glacial provoca que la corteza terrestre sea comprimida bajo el peso de las capas de hielo, el grado de deformación depende del grosor del hielo y la densidad del manto subyacente a la corteza comprimida. Una vez que la masa de hielo se retira, la corteza presenta una respuesta elástica seguida de una viscosa, esto es conocido como rebote glacio-isostático (Lambeck, 2009) y es otro de los procesos glaciales que producen cambios en la geografía y en las líneas de costa.

La transición del último período glacial a uno interglacial, entre el Pleistoceno y el Holoceno, es uno de los últimos mayores cambios climáticos que ocurrieron a lo largo del Cuaternario, con grandes cambios en la temperatura y diferencias de hasta 10°C en algunas zonas.

Hacia finales del UMG, ambos hemisferios presentan diferentes comportamientos climáticos, teniendo conductas asimétricas producto del balancín (*seesaw*) bipolar oceánico que hace referencia a cambios en la tasa de transporte de calor oceánico transecuatorial entre la corriente marina noratlántica y antártica, lo que causa una diferencia temporal y de temperatura durante eventos glaciales entre los hemisferios (Pedro et al., 2018). Lo anterior, combinado con cambios en los núcleos de corrientes atmosféricas (Broecker 1998; Lamy et al., 2007; Denton et al., 2010) produciría respuestas y eventos distintos en los hemisferios.

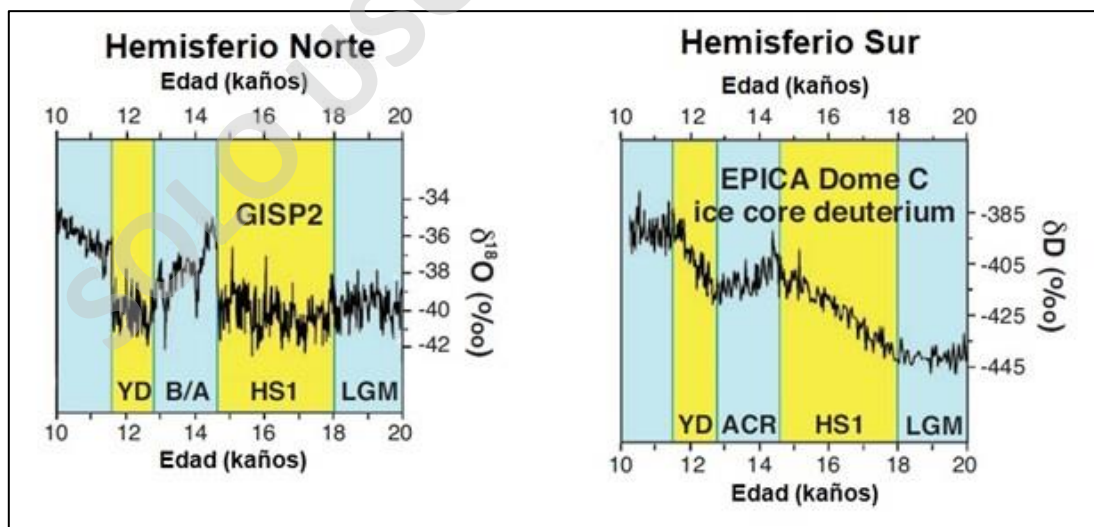
Mediante análisis de isótopos de oxígeno e hidrógeno llevados a cabo tanto en Groenlandia como en la Antártica, se reconoce que la desglaciación que puso fin al Último Máximo Glacial se inicia a los 20.000 años AP en el Hemisferio norte (HN) (Denton y Hughes, 1981; Toucanne et al., 2009) y a los 18.000 años en el Hemisferio sur (HS), alcanzando globalmente temperaturas interglaciales a los 11.000 años AP cuando inicia el Holoceno, mientras que, más tarde, hacia los 7.000 años AP la desglaciación global era casi total (Dyke y Prest, 1987).

La asimetría entre ambos hemisferios se puede ver detalladamente en la Figura N°10 donde se grafica en el Hemisferio norte la concentración de isótopos de oxígeno a través del tiempo desde los 20.000 años AP hasta los 10.000 AP y en el Hemisferio sur los registros de deuterio en el mismo intervalo temporal.

En la figura se puede observar que existen condiciones frías en ambos hemisferios durante el Último Máximo Glacial (LGM, 20.000-18.000 años) marcado por un fondo azul, pero que luego sus comportamientos son opuestos una vez que inicia la desglaciación pasando a condiciones frías

en el Hemisferio norte después del UMG correspondiente al Estadial Heinrich 1 (HS1) marcado con un fondo amarillo, mientras que durante este mismo stadial, las condiciones se vuelven más templadas en el Hemisferio sur. Luego, hay un decrecimiento de la temperatura en el Hemisferio sur durante la Reversa Fría de la Antártica (ACR, 14.800-12.700 años) marcada en azul, mientras que en el Hemisferio norte hay un aumento de esta durante el Bølling-Allerød (B/A) marcados ambos en azul. Este comportamiento se repite durante el Estadial Younger Dryas (YD) marcado en amarillo en ambos hemisferios. Mientras que, este pulso frío afecta al Hemisferio norte, en el Hemisferio sur toma lugar un pulso cálido. Cabe destacar que, una vez que se da inicio al Holoceno (11.700 años) e inicia un fuerte calentamiento global, ambos hemisferios se comportan de manera similar.

Al igual, la asimetría entre ambos hemisferios se ve reflejada en que en el Hemisferio sur la desglaciación consiste en dos pulsos templados separados por un pulso frío nombrado Reversa Fría de la Antártica (ACR, Antarctic Cold Reversal; Denton et al., 2010). Lo que es distinto al comportamiento en el Hemisferio norte donde ocurren dos pulsos fríos separados por uno cálido. El primer pulso cálido del Hemisferio sur coincide con el Estadial Heinrich 1 (HS1) y el segundo con el Estadial Younger Dryas (YD) (Denton et al., 2010) ambos estadales correspondientes a pulsos fríos del Hemisferio norte (Figura N°10).



**Figura N°10:** Comparación de concentración de isótopos de oxígeno del Proyecto Greenland Ice Sheet 2 (GISP2) en el Hemisferio norte con concentración de isótopos de hidrógeno del Proyecto Europeo para perforaciones en hielo en la Antártica (European Project for Ice Coring in Antarctica, EPICA) del Domo C en el Hemisferio sur entre los 20.000 y 10.000 años AP. El Estadial Heinrich 1 (HS1) y el Estadial Younger Dryas (YD) están marcados con un fondo amarillo mientras que el Último Máximo Glacial (LGM) y el Bølling-Allerød (B/A) contemporaneo a la Reversa Fría de la Antártica (ACR) es marcado con un fondo azul (Extraído y modificado de Denton et al., 2010)

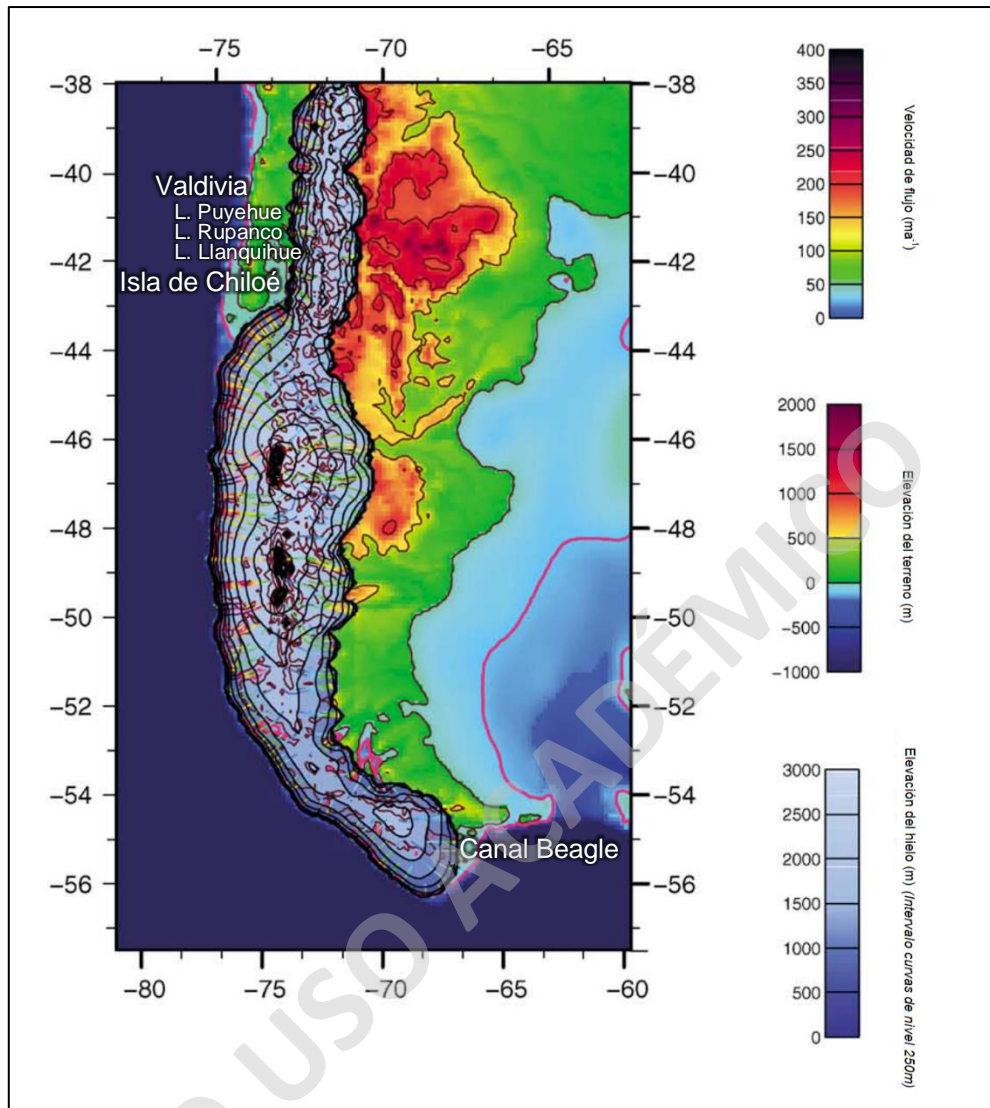
#### 4.1.2 Contexto glacial regional de Patagonia

Diversas investigaciones han sido realizadas en Patagonia, iniciando con estudios tempranos de la distribución de las glaciaciones por Caldenius (1932), Auer (1956), Heusser (1989a), Rabassa y Clapperton (1990) y Lowell et al., (1995); más tarde continuados por Coronato y Rabassa (2007a, b), Glasser et al., (2008) y Glasser y Ghiglione (2009). Asimismo, se han realizado estudios cronológicos de las glaciaciones de la zona, siendo el pionero Merver (1976), seguido por Meglioli (1992), Clapperton (1993), Ton-That et al., (1999) y Singer et al., (2004).

Shackleton (1995) une la información de Patagonia disponible de los trabajos anteriores con las glaciaciones en otras regiones y registros glaciales marinos, dando una primera idea de la relación de las glaciaciones en Patagonia con glaciaciones de diferentes continentes. Con posterioridad McCulloch et al., (2000, 2007) se han dedicado al estudio de las glaciaciones Cuaternarias en Patagonia. Una recopilación de glaciaciones del Cenozoico tardío en Patagonia y Tierra del Fuego puede ser encontrada en Rabassa (2008).

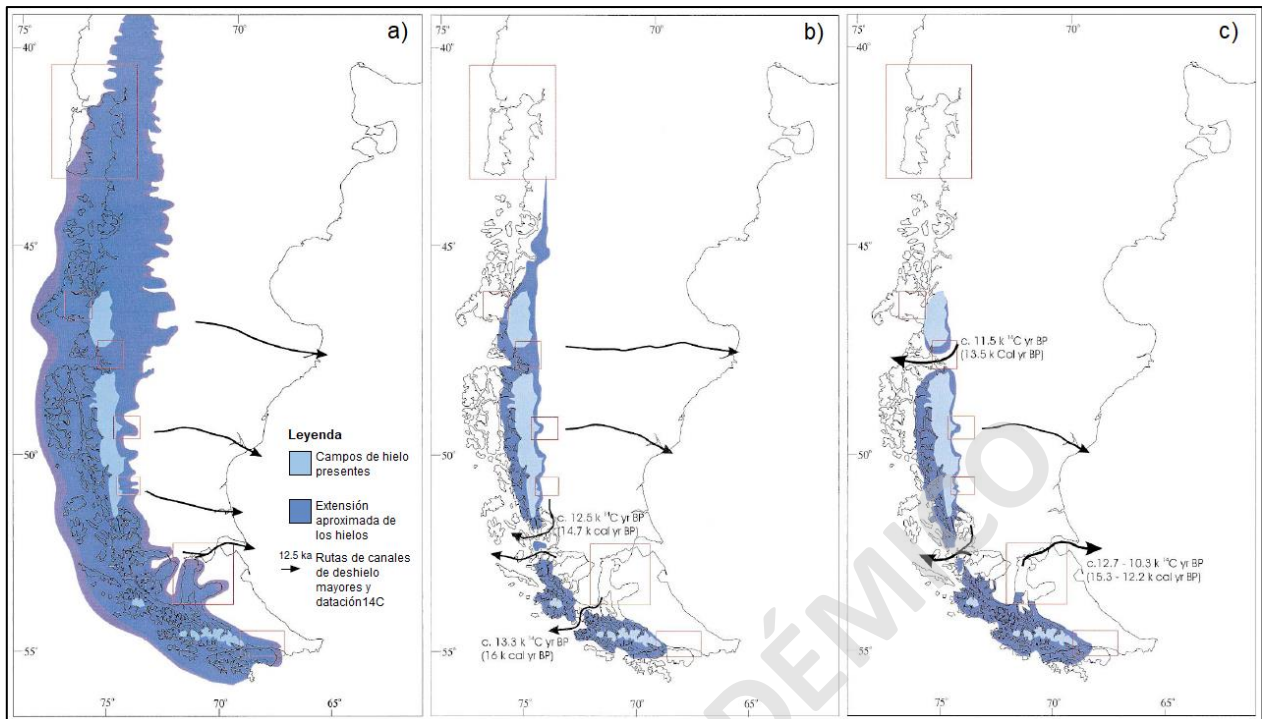
El Último Máximo Glacial, 23.000 y 19.000 años cal AP (Clark y Mix, 2002, Hughes et al., 2013) se desarrolló en la Región de los Lagos entre los 34.300 y 17.700 años cal AP (Bentley, 1997; Denton et al., 1999) y en el estrecho de Magallanes entre los ~32.000 y 22.000 años cal (McCulloch et al., 2005a; Kaplan et al., 2008a). Cabe destacar que en Patagonia, durante el UMG, el núcleo de los Vientos del oeste estaba ubicado en el Pacífico entre las latitudes 45° y 50°S concentrando las precipitaciones en esta zona (Hubbard, 1997; Denton et al., 1999)

En Patagonia, los cuerpos glaciares se extendieron a lo largo de las Cordillera de los Andes abarcando una longitud de 1.800km desde los 40°S (Valdivia) hasta los 55°S en Canal Beagle (Hollin and Schilling, 1981). La extensión geográfica de estos avances está registrada de mejor manera en la Región de los Lagos producto de mapeos geomorfológicos y estudios estratigráficos detallados de Denton et al., (1999), que permiten concluir que los lóbulos glaciares se extendieron hacia el oeste desde los Andes, atravesando los lagos Llanquihue, Puyehue y Rupanco y que cruza hacia Isla Grande de Chiloé (Figura N°11). Hulton et al., (2002) a partir de modelamientos computacionales estima una temperatura 6°C por debajo de la actual durante el UMG en Patagonia.



**Figura N°11:** Modelo de extensión y altitud del manto de hielo Patagónico durante el Último Máximo Glacial. La altitud presentada es respecto a el nivel del mar durante el UMG (Extraído y modificado de Hulton et al., 2002)

Se han reconocido en Sudamérica tres eventos de aumento de la temperatura. Entre los 17.500 y 17.150 años cal AP ocurre una desglaciación que inicia sincrónicamente desde los 16° latitud sur (Lago Titicaca) hasta Magallanes, con un súbito aumento de la temperatura que produce un retroceso drástico de los cuerpos de hielo (Figura N°12a y N°12b) quedando los márgenes glaciares a menos de 10 km de su fuente en los Andes (Lowell et al., 1995), este constituye el primer paso de calentamiento en Patagonia y marca el cambio de un período glacial a uno interglacial (McCulloch et al., 2000). La presencia de vegetación del tipo tundra magallánica en la Región de los Lagos indica que las precipitaciones se mantuvieron altas por lo menos 1.600 años después de esta desglaciación inicial (Denton et al 1999).



**Figura N°12:** Reconstrucciones glaciares a) Previo al primer evento de desglaciación que inicia a los 17.500 y 17.150 años cal AP b) Posterior al evento de desglaciación de los 17.500 y 17.150 años cal AP y c) Previo al tercer paso de calentamiento climático (desglaciación) de los 11.400 años cal AP. En azul claro se presenta la extensión de los campos de hielo actuales y en azul oscuro la extensión estimada de los cuerpo de hielo durante la temporalidad mencionada. Las flechas negras indican rutas de canales de desglaciación con su respectiva datación con radiocarbono. (Extraído y modificado de McCulloch et al., 2000)

Más tarde, entre los 15.650-15.530 años cal AP ocurre un segundo paso de calentamiento que provoca la desaparición de vegetaciones de climas fríos como la tundra magallánica en la Región de los Lagos, y es reemplazada por vegetación a fin a climas más cálidos sin embargo no hay evidencias de este calentamiento en Magallanes (McCulloch et al., 2000). Finalmente, a los 11.400 años cal AP ocurre el tercer y último paso de calentamiento climático en Patagonia (Figura N°12c) y es registrado tanto en Patagonia Norte (Región de los Lagos), como en Patagonia Central (Península de Taitao) y en Patagonia Sur (Magallanes) y está asociado a condiciones más áridas y secas (McCulloch et al., 2000)

A partir de evidencia geomorfológica reconocida en Patagonia entre los 45°-50° latitud sur, McCulloch et al., (2000) interpretan que durante el UMG los actuales Campos de hielo norte y sur estaban unidos y formaron un lago proglaciar que represa a el Río Baker en su ruta hacia el Pacífico, provocando que dicho lago drenara hacia el este por Patagonia Argentina. Mediante dataciones por método  $^{14}\text{C}$  en los sedimentos en distintos canales de drenaje de este lago se tiene la información que estos fueron abandonados a los 11.245 años AP, infiriéndose que fue producto del drenaje del

lago proglaciar hacia el Pacífico, fruto a su vez de una separación de los actuales Campos de hielo norte y sur (McCulloch et al., 2000). A partir de estos datos McCulloch et al., (2000); McCulloch et al., (2005a); McCulloch et al., (2005b) interpretan que los glaciares de esta zona alcanzaron su presente extensión alrededor de los ~11.000 años, en contraste a lo que sucede más al sur en Magallanes, donde estos permanecieron más tiempo y ocurrieron otros avances posteriores.

#### **4.1.3 Historia y geomorfología glaciar en el estrecho de Magallanes y Tierra del Fuego**

Distintos períodos glaciales han ocurrido en el estrecho de Magallanes y sus alrededores (Isla Grande de Tierra del Fuego, Isla Dawson, Seno Skyring y Seno Otway) que han tomado lugar desde el Plioceno tardío-Pleistoceno temprano (Coronato et al., 2004) hasta mediados del Holoceno (Kilian et al., 2007a; Aracena et al., 2015).

Las glaciaciones más antiguas registradas en las cercanías del estrecho de Magallanes se remontan a los 7,03-4,96 Ma (Ton-That et al., 1999; método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) y a los 2,05-1,86Ma durante la Glaciación de Río Grande propuesta por Meglioli (1992), le siguen la Glaciación de Sierra los Frailes y la Gran Glaciación Patagónica a los 1,151-1,001Ma (Ton-That et al., 1999) continuadas por la Glaciación Cabo Vírgenes restringida a los  $>0,36$ - $<1,07$ Ma (Caldenius, 1932; Meglioli, 1992) y la Glaciación Punta Delgada (Caldenius, 1932), finalizadas por la Glaciación Primera Angostura y Glaciación Segunda Angostura (Caldenius, 1932)

Los estudios en el estrecho de Magallanes se iniciaron tempranamente con los mapeos geomorfológicos de Caldenius (1932) y continuaron con los estudios de las geomorfologías de los depósitos glaciares por Marangunic (1974) y Raedeke (1978). Luego Clapperton et al., (1995) definen cinco avances glaciares en Magallanes meridional denominados Avance A, B, C, D y E, los cuales fueron enmarcados en las dataciones obtenidas por Porter (1990) y Porter et al., (1992). Los dos últimos avances (D y E) son estudiados minuciosamente por McCulloch y Bentley (1998) y McCulloch et al., (2005b), donde este último compila y resume la cronología de los últimos avances glaciales en Magallanes en McCulloch et al., (2005a). Además, mediante las dataciones de tefra del Volcán Reclús de Heusser et al., (1990) y Stern, (1992), se es capaz de enmarcar temporalmente los lagos proglaciares formados durante los estos últimos avances.

Las glaciaciones más recientes en Magallanes corresponden a cinco avances glaciares, denominados Avance A, Avance B correspondiente al UMG, seguido con posterioridad de tres avances C, D y E respectivamente.

El Avance A es marcado por un complejo morrénico y de canales de deshielo (Meglioli 1992 y Rabassa *et al.* 2000) ubicados al este de Bahía Gente Grande y que sigue en línea semi paralela a la costa para luego curvarse en dirección noreste en Bahía Inútil, también se pueden observar las morrenas de este avance en el norte de Seno Otway (Figura N°13a). Según dataciones de aminoácidos calculados en muestras de conchas del tipo *Hiatella*, este avance sería previo al Último Máximo Glaciar ocurriendo antes de los 90.000 años AP, con una edad aún no determinada.

El Último Máximo Glaciar (UMG) está representado por el Avance B en el estrecho de Magallanes y es registrado por morrenas terminales y planicies de desglaciación. Estos depósitos ocupan casi la totalidad de la Península Juan Mazia y se extienden en dirección sur para luego tomar una orientación noreste cerca de Chorrillo Rosario y seguir paralelo a la costa de Bahía Inútil (Figura N°13a y N°13b). En los depósitos diamictíticos asociados a las morrenas de este escenario se pueden encontrar fragmentos de conchas marinas, lo que fue interpretado por Clapperton *et al.*, (1995) como un indicador que el Avance Glaciar B ocurre con posterioridad a un intervalo de tiempo donde el Estrecho se encontraba abierto al mar. Con el apoyo de dataciones por aminoácidos en estos restos se determina una edad de 31.250 años cal AP (Clapperton *et al.*, 1995) para su inicio y una culminación a los 25.200-23.100 años cal AP mediante dataciones con  $^{10}\text{Be}$  en bloques erráticos (McCulloch *et al.*, 2005a) Durante este máximo, el manto de hielo abarca desde los 35°S hasta los 56°S.

Posterior a este máximo, el lóbulo glaciar Magallánico retrocede hacia la Cordillera hasta una distancia desconocida, para luego re avanzar en un avance menos extenso denominado Avance C (Figura N°13a), el cual está marcado por deriva glaciar con hoyas glaciares sobrepuestas en los derrubios del escenario B y canales de deshielo que cortan las morrenas del avance previo (Clapperton *et al.*, 1995), este avance es datado con  $^{10}\text{Be}$  en bloques erráticos a partir de los cuales se determina que inicia antes de los 22.400-20.300 años cal AP y retrocede cercano a los 21.700-20.300 años cal por dataciones de  $^{14}\text{C}$  en depósitos diamictíticos (Clapperton *et al.*, 1995).

Luego de estos avances (A, B y C), ocurre un nuevo avance glaciar llamado Avance D (Figura N°13a), este es considerablemente menos extenso y su límite está marcado por morrenas y

un extenso canal de deshielo continuo que recorre el lado oeste del estrecho de Magallanes y que fueron reconocidos por Bentley et al., (2005) existen además numerosos limites fragmentados y discontinuos alrededor de Bahía Inútil y de Punta Gente denominados D1, D2, D3 (17.038 años cal AP; McCulloch et al., 2005a) y D4 (16.095 años cal AP; McCulloch et al., 2005a), estos marcan períodos de avances episódicos en una tendencia general de retroceso de los cuerpos glaciares hacia la Cordillera Darwin. Las morfologías de depositación y erosión de este avance no presentan fragmentos de conchas como los avances anteriores, por lo que se interpreta que el Estrecho permaneció cerrado al mar. Según dataciones de  $^{10}\text{Be}$  en bloques erráticos y de  $^{14}\text{C}$  en turberas se determina que el avance ocurre antes de los 17.700 años cal AP (McCulloch et al., 2005a) y es seguido por una marcada desglaciación datada en Puerto del Hambre a los 17.580 años cal AP y Estancia Esmeralda II correspondiente a 16.620 años cal AP (McCulloch et al., 2005a) que provoca un rápido retroceso de los glaciares hacia los fiordos cordilleranos australes. Durante el retroceso de los glaciares se forma un lago proglaciar en el frente este del cuerpo glaciar el cual fue represado por el cuerpo de hielo hacia el oeste, dicho lago fue drenado hacia el Pacífico entre los 16.597-15.530 años cal AP según dataciones con  $^{14}\text{C}$  de McCulloch et al., (2005a), como consecuencia del retroceso de los glaciares hacia los fiordos de Cordillera Darwin, marcando el final de este avance.

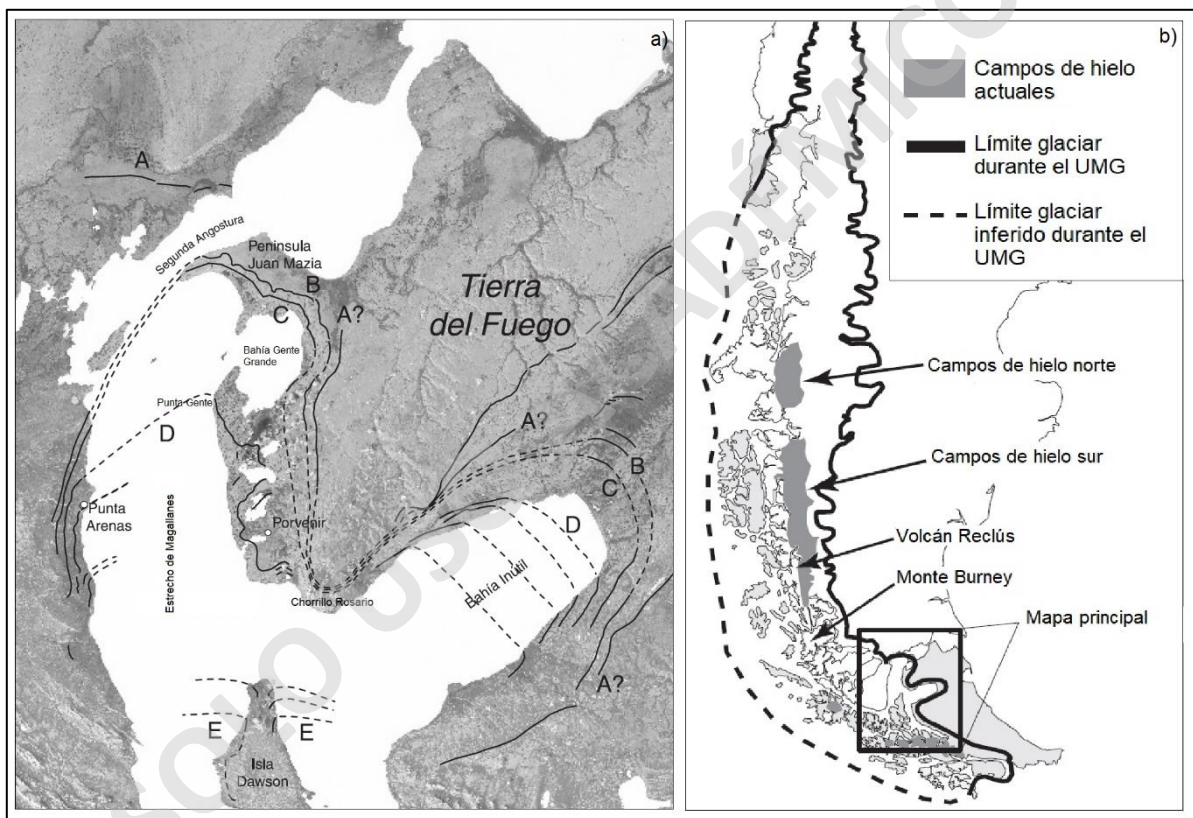
A través de mapeos geomorfológicos detallados en Isla Dawson realizados por McCulloch y Bentley (1998), se evidencia el Avance glaciar E. La tefrocronología (técnica de cronología que data capas de tefra) de capas de cenizas pertenecientes al Volcán Reclús (Figura N°13b) encontradas en sedimentos lacustres, turberas y testigos sedimentarios, permite datar que este avance ocurre entre 15.500-11.770 años cal AP (Stuiver et al., 1998 en McCulloch et al., 2005a; McCulloch et al., 2005b).

Registros de este avance corresponden a límites de morrénicos que luego gradan a paleo costas alzadas hoy en día, ubicadas paralelo a la línea de costa actual en Isla Dawson (Figura N°13a). Al mismo tiempo, estas paleo costas sugieren la generación de un gran lago proglaciar que estaba trampeado por el este por morrenas dejadas por los avances previos (B-C) en Península Juan Mazía y represado por el cuerpo de hielo hacia el oeste, el drenaje de este lago ocurre 11.773-11.303 años cal AP (McCulloch y Bentley 1998; McCulloch et al., 2005b) durante el repliegue del glaciar hacia Cordillera Darwin. Su retroceso ocurre durante el auge del episodio frío del Younger Dryas en el Hemisferio norte y coincide con la Reversa Fría de la Antártica ocurrida entre 14.800-



12.700 años cal AP (McCulloch et al., 2005a) como también con el aumento de las precipitaciones en la zona oeste del Estrecho entre los 15.100 y 11.700 años cal AP asociadas a la llegada de los Vientos del oeste a Magallanes (McCulloch et al., 2000).

Posterior a estos avances y mediante testigos de sedimentos extraídos de Canal Gajardo, Lago Muñoz Gamero y de los fiordos del área norte del Estrecho se han podido reconocer aumentos en el flujo de agua dulce a los 5.400-5.100, 4.400-4.100, 2.700-2.200 años (Kilian et al., 2013) y a los 600-100, 3.500-2.500 años (Aracena et al., 2015) indicando períodos de actividad glaciár denominados Pequeña Edad de Hielo por Kilian et al., (2013) en el Holoceno medio-tardío.



**Figura N°13:** a) Límites de avances glaciáres en la zona central del estrecho de Magallanes (Extraído de Sugden et al., 2005) b) Extensión del manto de hielo Patagónico durante el Último Máximo Glaciár (UMG) (Modificado de McCulloch et al., 2005a)

## 4.2 Geología marina

Durante el Último Máximo Glaciár que tomó lugar entre los 23.000 y 19.000 años cal AP en la Tierra (Clark y Mix, 2002) y particularmente entre los 31.250 años cal AP (Clapperton et al., 1995) y 23.100 años cal AP (McCulloch et al., 2005a) en Magallanes, el nivel del mar se encontraba

de 120 a 130m por debajo del nivel actual. Una vez que los mantos y casquetes de hielos se derritieron entre el período de 21.000 a 8.000 años AP tomó lugar un rápido alzamiento del nivel del mar debido a las grandes cantidades de agua dulce inyectadas a los sistemas oceánicos (Clark y Mix, 2002).

Se estima que durante el punto máximo del Último Máximo Glacial a los 21.000 años AP, el casquete de hielo Antártico individualmente tenía un volumen de hielo equivalente a 14-21m de nivel del mar y el manto de hielo de Norte America a 82,4m (Clark y Mix, 2002; Marshall et al., 2002) En total, considerando los mantos de hielo Antárticos, de Groenlandia, Eurasia, Norte America, entre otros, durante el Último Máximo Glacial estos cuerpos contenían un equivalente a 130,4 m del nivel marino (Clark y Mix, 2002), por lo tanto, su derretimiento significa un importante aporte de agua dulce a los sistemas marinos y un consecuente aumento del nivel del mar. Así pues, la desglaciación que da fin al Último Máximo Glacial que inicia a los 20.000 años en el Hemisferio Norte y a los 18.000 años en el Hemisferio Sur (Denton et al., 2010) está estrechamente ligada a los cambios en el nivel del mar globalmente y su progresivo aumento.

En el área de Magallanes, la ingresión marina está registrada por una secuencia de terrazas transicionales y marinas que fueron tempranamente reportadas localmente por Darwin (1846) en Beagle, por Nordenskjold (1898) en Porvenir, Andersson (1906) en Tierra del Fuego, Hagg (1910) al sur de Punta Arenas, Caldenius (1932) en Río Pescado, Río Tres Brazos, Río Santa María, Río Amarillo, Cecioni (1957) en Cabo Boquerón y Urien (1966) en Ushuaia. Más tarde Markgraf (1980) las señala en La Misión, Rabassa et al., (1988) en Isla Gable en Canal Beagle, Bujalesky et al., (1990) en San Sebastián, Porter et al., (1984) en Puerto del Hambre, Bahía San Gregorio y Bahía Gente Grande. Asimismo, Clapperton et al., (1995) las reporta al sur de Punta Arenas, en Isla Dawson y Península Juan Mazia y McCulloch y Bentley (1998) en Isla Dawson. Mientras que, Bentley y McCulloch (2005) en la zona central del estrecho de Magallanes y en Bahía Vera-Camarones por Aguirre et al., (2006).

Por otro lado, estas fueron reconocidas a modo regional por Halle, (1910), Feruglio (1933), Auer (1956, 1970, 1974), Codignotto (1984), Mörner (1987), Gordillo et al., (1999, 1993), Porter et al., (1992) y Rabassa et al., (1992) en Patagonia-Magallanes y Tierra del Fuego.

Por último, estas terrazas fueron mapeadas ampliamente por Brambati et al., (1993a, 1993b, 1995), De Muro et al., (1995), Di Grande et al., (1995), Rostami et al., (2000), Isla y Bujalesky (2008), Di Grande et al., (2003) y De Muro et al., (2004, 2015, 2017) estos últimos como parte del proyecto “Programma Nazionale di Ricerche in Antartide” (PNRA)

#### **4.2.1 Geomorfología marina**

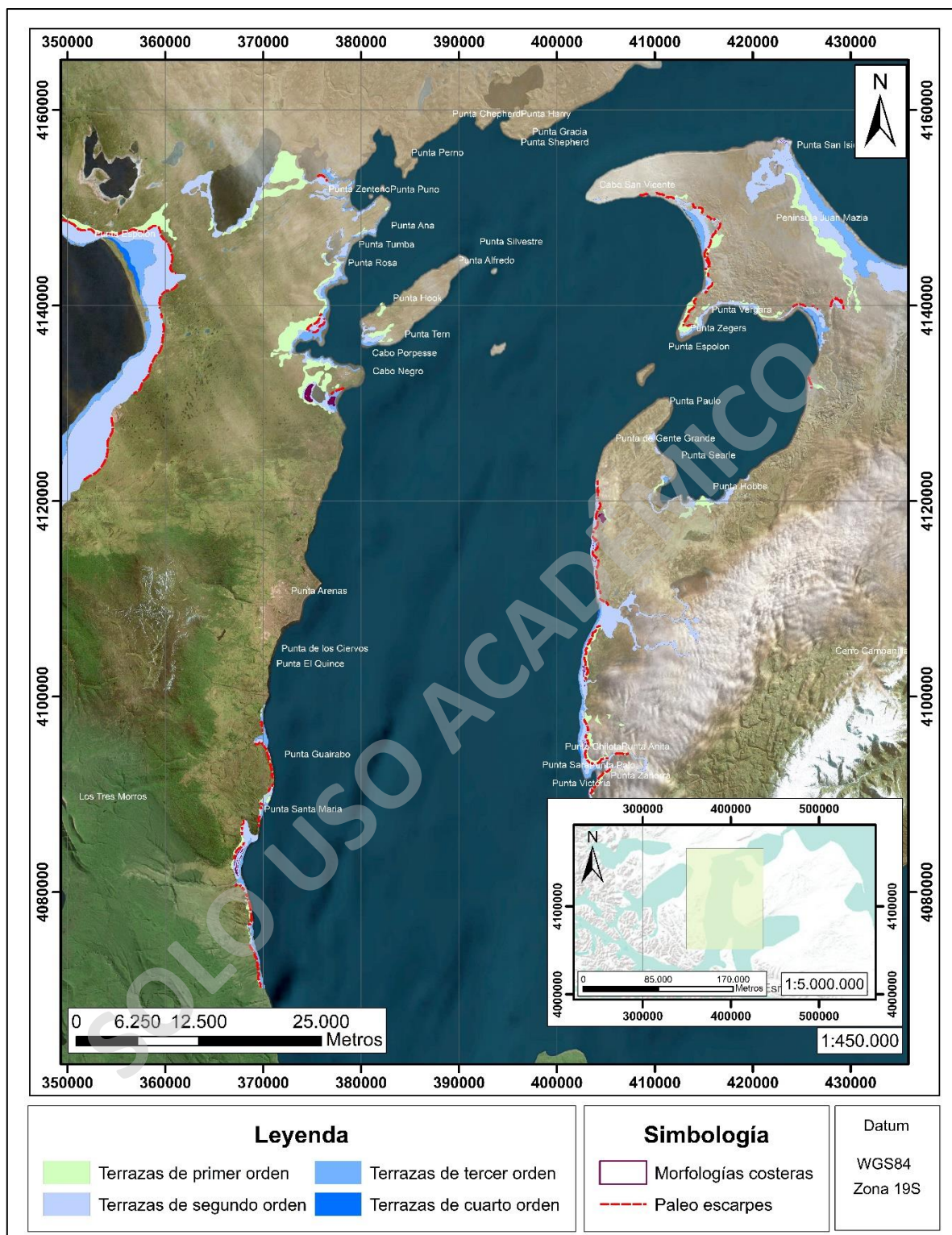
Las geomorfologías marinas presentes en las costas del Magallanes-Tierra del Fuego han sido reconocidas y descritas por varios autores, en particular destacan los estudios realizados durante el Proyecto de investigación interdisciplinario en el estrecho de Magallanes promovido por el programa “Nazionale Ricerche in Antartide” (P.N.R.A.). Este consiste en tres campañas a terreno con el objetivo de investigar la geomorfología y sedimentología de las zonas norte y este del estrecho de Magallanes. Los mapas generados durante este proyecto son encontrados en los trabajos de Di Grande et al., (2003) y De Muro et al., (2004, 2015, 2017).

Los investigadores del PNRA reconocen y mapean cuatro niveles de terrazas dispuestas paralelas a semi paralelas a las costas del Estrecho, estas son denominados terrazas de primer, segundo, tercer y cuarto orden que además, son datadas con radiocarbono por los investigadores. Asimismo, son reconocidas diversas geomorfologías costeras como acantilados, barras de arena, espolones y escarpes.

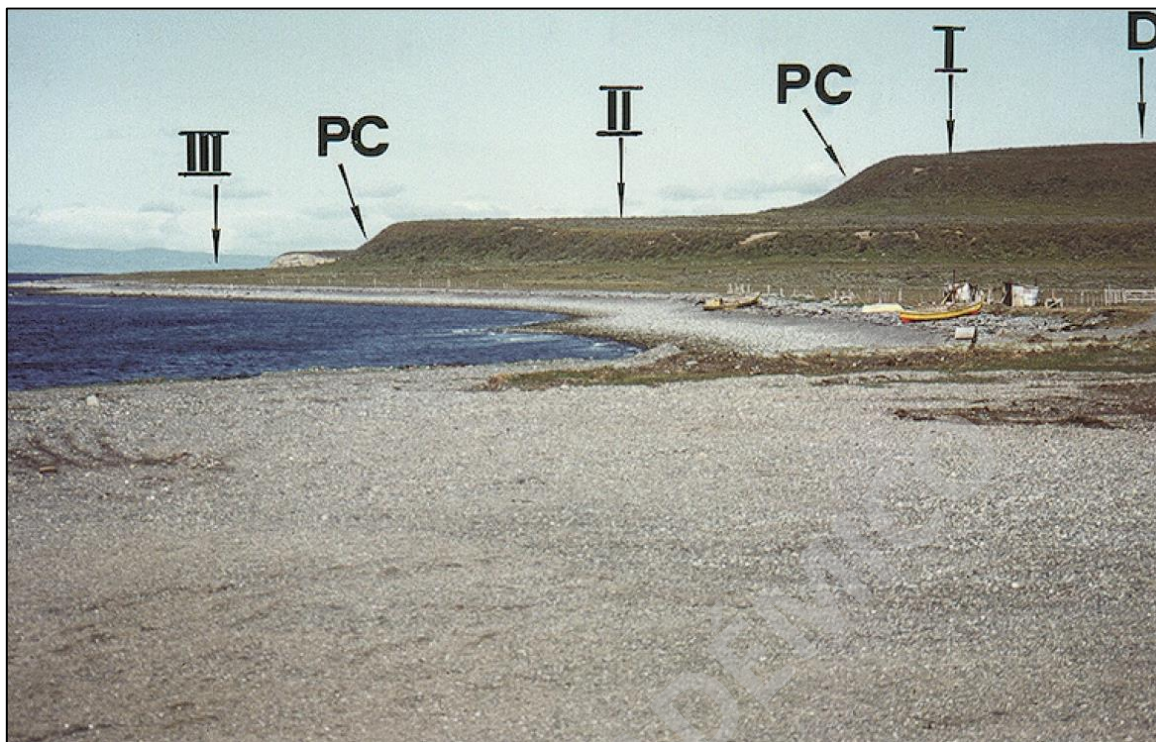
La costa de Patagonia-Magallanes y Tierra del Fuego es lugar de una serie de cuatro paleo costas transicionales y marinas alzadas con diferentes elevaciones y con depósitos fosilíferos costeros (Feruglio, 1933; De Muro et al., 1996a, 1996b, 1996c) que se extienden a lo largo de 1.000km aproximadamente y están principalmente compuestas por depósitos de grava, arena y limo (De Muro et al., 2015, 2017, 2018) Estas, están dispuestas como franjas angostas y paralelas a la costa (Figura N°14) que se alzan en una secuencia escalonada caracterizadas por una superficie plana con bordes de paleo acantilados escarpados (Figura N°15) y cuya base en su mayoría sobreyace en discontinuidad erosiva a depósitos de origen glaciario, otra terraza o rocas Mesozoicas-Cenozoicas (Figura N°16; Brambati et al., 1998). Según Lovell et al., (2011) y Darvill et al., (2014) la formación de estas terrazas está asociada a la alternancia de fases glaciales e interglaciales desde el Último Máximo Glacial.

La terraza más antigua es denominada Terraza de primer orden (I) por Brambati et al., (1998) y corresponde a una terraza que se alza de 25 a 18m s.n.m con una media de 20m s.n.m. Está caracterizada por planicies compuestas por depósitos de arena y limo (De Muro et al., 2017) dispuestas de manera diferente a la orientación actual de la línea de costa y que gradan tierra adentro a morfologías glaciares tales como planicies de desglaciación con patrones de drenaje trenzados o a superficies erosivas en morrenas (Brambati et al., 1998), mientras que en dirección hacia el mar es limitada por paleo acantilados escarpados (Figura N°15). La base de estos depósitos consiste casi invariablemente de depósitos glaciares con una superficie de erosión marcada sobre la cual yace los depósitos gravosos arenosos limosos de las terrazas de primer orden sobreyacidas por lutitas y turbas (Figura N°17) Según una datación de esta terraza en Río Verde, esta tendría una edad de  $8.525 \pm 930$  años AP (Brambati et al., 1998) sin embargo, debido a la asociación en su base con depósitos glaciares previos no se descarta que esta sea más antigua, por lo tanto, se les estima un período de formación entre los 9.000 y 8.000 años AP según De Muro y Brambati (2012) y De Muro et al., (2015).

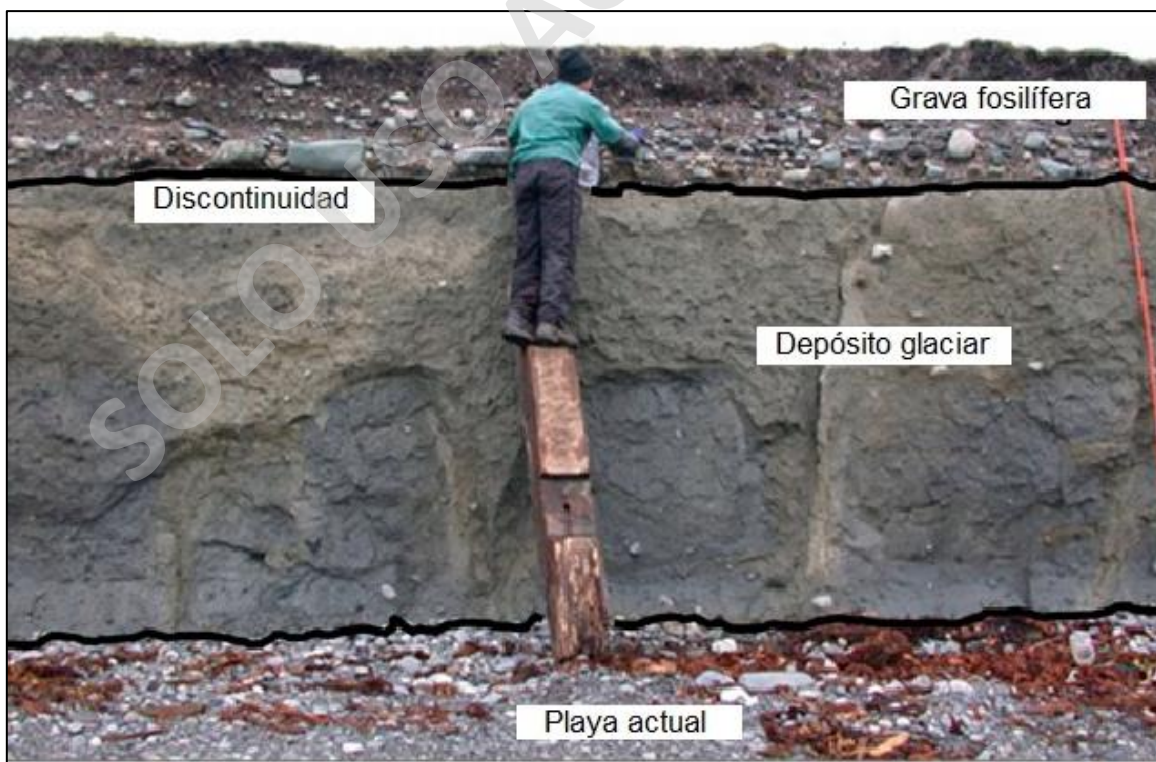
Esta secuencia de terrazas de primer orden corresponde a las mencionadas por Caldenius (1932), Feruglio (1933), Auer (1970), Clapperton (1990) y Clapperton et al. (1995). Al igual, la terraza presente en Porvenir, citada por Nordenskiöld (1898) y Auer (1970), es probablemente de este orden según Brambati et al., (1998).



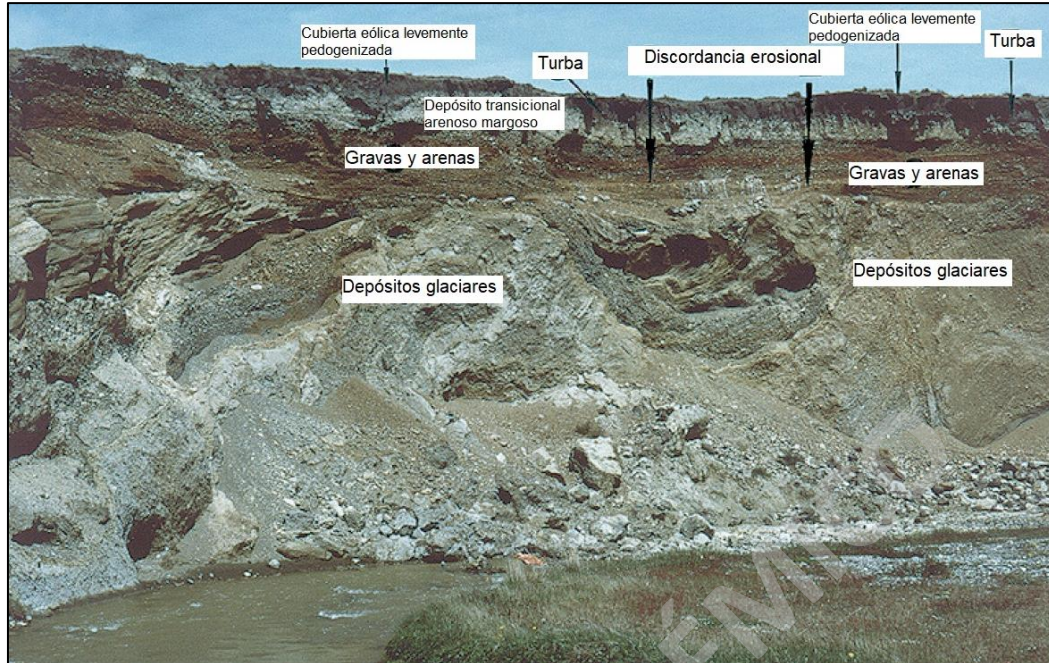
**Figura N°14:** Secuencia de terrazas transicionales y marinas en las costas del estrecho de Magallanes y Tierra del Fuego denominadas por Brambati et al., 1998 como Terrazas de primer orden (I), Segundo orden (II), Tercer orden (III) y Cuarto orden (IV) con paleo acantilados asociados así como morfologías marinas costeras. (Elaboración propia modificado de Di Grande et al., 2003 y De Muro et al., 2004, 2015, 2017)



**Figura N°15:** Vista desde Bahía Inútil cerca de Puerto Nuevo de terrazas marinas escalonadas (I, II, III) con su respectivo paleo acantilado (PC) y en contacto con geomorfologías glaciares (D) (Extraído de Brambati et al., 2018)



**Figura N°16:** Terraza de segundo orden compuesta por grava fosilífera sobreyaciendo en discontinuidad a sedimentos glaciares. Fotografía al norte de Porvenir (Extraído y modificado de De Muro et al., 2017)



**Figura N°17:** Terraza de primer orden en Río Verde, Tierra del Fuego compuesta por gravas y arenas sobreyaciendo en discontinuidad a depósitos glaciares tectonizados. (Extraída y modificado de Brambati et al., 1998)

Debido a la composición de las terrazas marinas de primer orden y a su asociación casi invariable con depósitos glaciares previos se le infiere una formación que evoluciona de desde ambiente continental glacial a marino. Esta transición puede observarse en secuencias estratigráficas descritas por Brambati et al., (1998) donde se encuentran sedimentos glaciares atribuibles a planicies de desglaciación fluvial-glacial en la base de la secuencia estratigráfica que luego cambian a sedimentos lacustres y posteriormente a sedimentos marinos litorales en el techo. De hecho, en Península Juan Mazia, estas terrazas presentan variaciones en su composición interna en dirección oeste-este de fluvial-glacial, a lacustre y a marino finalmente (De Muro et al., 2015).

Por lo anterior, Brambati et al., (1998) denomina a estas terrazas como transicionales, que estarían relacionadas a las últimas fases de retroceso glacial en el estrecho de Magallanes y la primera ingresión marina del Holoceno (De Muro et al., 2015) Cabe destacar que la disposición de estas terrazas difiere de la configuración actual de la línea de costa por lo tanto dan atisbos de la configuración antigua del Estrecho durante los inicios de la ingresión marina (Brambati et al., 1998)

Por otro lado, las terrazas de segundo orden (II) se encuentran alzadas desde 11 a 6m s.n.m. con un promedio de 10m s.n.m. (Brambati et al., 1998) y están compuestas al igual que las terrazas anteriores por depósitos de grava, arena y limo con la diferencia de que estas contienen un alto contenido fosilífero con presencia de gasterópodos y bivalvos (Figura N°18 y N°19). Están expuestas de manera regular y continua a lo largo de la costa del Estrecho y presentan una amplia variedad de morfologías de origen marino tales como acantilados, barras de arena, espolones, escarpes, etc.

Según dataciones con radiocarbono por Brambati et al., (1998) en Punta Delgada, Puerto Percy, norte de Punta Zegers y al sur de Punta Gente, estas tendrían una edad de  $6.501 \pm 65$ ,  $6.190 \pm 69$ ,  $7.174 \pm 60$  y  $6.750 \pm 65$  años AP respectivamente, lo que les da un rango de edad a las terrazas de segundo orden de 7.000 a 6.000 años AP. Esta terraza es mencionada por Hagg (1910) en el sur de Punta Arenas entre Punta Carrera y Puerto Femina.

Considerando la composición de estas terrazas además de sus estructuras y fósiles marinos asociados, esta sería de formación netamente marina sin procesos glaciares involucrados a diferencia de las terrazas de primer orden (Brambati et al., 1998). Además, la disposición de estas presenta presumiblemente la morfología previa de las costas del estrecho de Magallanes (De Muro et al., 2017).

Continuando, las terrazas de tercer orden (III) se alzan de 5 a 3m s.n.m. (Figura N°20, Brambati et al., 1998) Al igual que las terrazas anteriores, está compuesta por depósitos de gravas, arenas y limo pero con una marcada predominancia del primero y están dispuestas en franjas angostas que siguen de manera paralela a la actual costa (Figura N°21). Terrazas de este mismo tipo son reportadas por Rabassa et al., (1986) en Estancia Túnel con una datación de 4.870 años AP. Asimismo, los depósitos marinos descritos por Porter et al., (1984) en Puerto del Hambre, Bahía San Gregorio y Bahía Gente Grande como también los mencionados por Caldenius (1932) en Seno Skyring, Seno Otway y a lo largo del canal Fitz Roy pueden ser incluidos en esta clasificación.

Las dataciones con radiocarbono de Porter et al., (1984) en terrazas correlacionadas altimétricamente con las terrazas de tercer en orden en Puerto del Hambre, Bahía San Gregorio y Bahía Gente Grande proveen una edad entre 7.980-3.970, 3860 y 5.860-4.860 años AP,



respectivamente, lo que sugiere una formación entre los 3.000 y 2.500 años AP por Brambati et al., (1998) y De Muro et al., (2012).

Debido al poco alzamiento de estas en comparación con las terrazas anteriores y la ausencia de morfologías y fósiles marinos en su configuración son interpretadas por Brambati et al., (1998) como una breve fase depositacional con una leve variabilidad de ambiente que fomenta el dominio de grava en su composición. Sin embargo, la disposición de estas no da indicios de cambios mayores en las costas del Estrecho debido a su disposición casi idéntica a la configuración actual.

Por último, las terrazas de cuarto orden (IV) se alcanzan de 2 a 1m s.n.m. y están compuestas por sedimentos de origen marino, su distribución es discontinua a lo largo de la costa. Según Brambati et al., (1998) estas corresponden a las más jóvenes de las secuencias de terrazas y tendrían una edad entre 1.200 y 2.500 años AP. Además, indicarían alzamiento continuo durante el Holoceno tardío.



**Figura N°18:** Terrazas de segundo orden en Puerto Percy, Tierra del Fuego con nivel basal de lutitas bioturbadas, sobreyacida por depósitos de grava, arena y limo con contenido fosilífero (Extraído y modificado de Brambati et al., 1998)



**Figura N°19:** Acercamiento a niveles fosilíferos con gasterópodos y bivalvos en terrazas de segundo orden en Puerto Percy (Extraído de Brambati et al., 1998)



**Figura N°20:** Terrazas de tercer orden en Punta Zegers, Tierra del Fuego (Extraído de Brambati et al., 1998)



**Figura N°21:** Vista general de terrazas de segundo orden (II) y de tercer orden (III) en las costas de Seno Otway (Extraído de Brambati et al., 1998)

#### **4.2.2 Ingresión marina y ascenso relativo del nivel del mar en el estrecho de Magallanes**

La morfogénesis y la evolución paleo geográfica del área del estrecho de Magallanes está estrictamente controlada por procesos complejos combinados de glacio-isostasia asociados a los avances y retrocesos glaciares de la zona (Clapperton, 1992) mezclados con actividad tectónica leve (De Muro et al., 2012; Rabassa et al., 1992; Winslow y Prieto, 1991) especialmente en el lado del Océano Pacífico (Bartole et al., 2000) y en Canal Beagle (Bujalesky et al., 2004) a los que se une la ingresión marina posterior a la desglaciación asociada a los cambios eustáticos en el nivel del mar (Brambati et al., 1998; De Muro et al., 2012).

Considerando lo anterior, las terrazas marinas representan varios escenarios de formación ligados a la ingresión marina que siguió a la desglaciación del estrecho de Magallanes donde las terrazas de primer orden (I) corresponden a escenarios de ingresión marina y su interacción con los procesos de desglaciación que estaban tomando lugar en ese entonces y las terrazas de segundo, tercer y cuarto orden (II, III, IV respectivamente) dan cuenta de los procesos marinos en el área (Brambati et al., 1998; De Muro et al., 2012, 2015, 2017, 2018).

La distribución y sucesión de estas indican una evolución continua de la línea de costa donde la secuencia de terrazas inicia principalmente con un plataforma de abrasión formado por procesos marinos a medida que el oleaje y la marea erosiona los depósitos glaciares (till) y deposita sedimentos marinos (De Muro et al., 2015), interrumpiendo este proceso se añaden fases de rebote glacio isostático y/o tectonismo leve que alzan los sistema de costa (Schellmann y Radtke, 2010) y sobre estos vuelve a ocurrir el proceso de erosión y depositación marina generando escarpes que marcan los distintos procesos de alzamiento glacio isostático y/o tectónicos. Con respecto a los rebotes glacio isostáticos, probablemente ocurrieron en sincronidad o más tarde que los cambios en el nivel del mar, donde este alzamiento se sobrepone en la configuración geológica previa del área de una manera que todavía no es comprendida a cabalidad (Brambati et al., 1998, De Muro et al., 2012) Por otro lado, con respecto a los movimientos tectónicos, el área sureste de Patagonia y el noreste de Tierra del Fuego son consideradas tectónicamente estables durante el Holoceno (Schellmann y Radtke, 2010) no así el lado oeste donde se ha reportado actividad tectónica (Winslow y Prieto, 1991; Bartole et al., 2000).

Considerando la curva del nivel eustático del mar desde el Último Máximo Glacial hasta el Holoceno (Figura N°22) Shackleton (1987) postula que la incursión marina en el estrecho de Magallanes desde el Atlántico solo se podía dar cuando el nivel del mar global se encontraba 40m bajo el nivel actual hace 11.000 años atrás por la batimetría de la zona (Figura N°23), mientras que, según Clapperton et al., (1995) en el lado oeste del Estrecho el agua marina no podía ingresar hasta que los hielos se retirarán de los fiordos y el terreno se encontrara isostáticamente deprimido.

Lo anterior es apoyado por estudios multi-proxy llevado a cabo por Kilian et al., (2007) en los fiordos magallánicos que apuntan a que la transgresión marina en el lado oeste del Estrecho ocurrió entre los 14.500 y 13.500 años cal AP, indicado por aumentos en la acumulación de carbono biogénico y la primera aparición de foraminíferos en testigos sedimentarios subacuáticos, con la apertura del Canal Gajardo a los 14.000 años cal AP y de Canal Jerónimo a los 10.000 años cal AP (Kilian et al., 2013b). En tanto que, en el sector central del estrecho de Magallanes, Aracena et al., (2015) postula que la evolución de la transgresión marina comienza como un proceso intermitente en el Tardi-glacial a los 12.500 años cal AP y finaliza durante el Holoceno a los 8.500 años cal AP con el aislamiento definitivo de Tierra del Fuego y la definición del patrón actual de circulación en el estrecho de Magallanes.

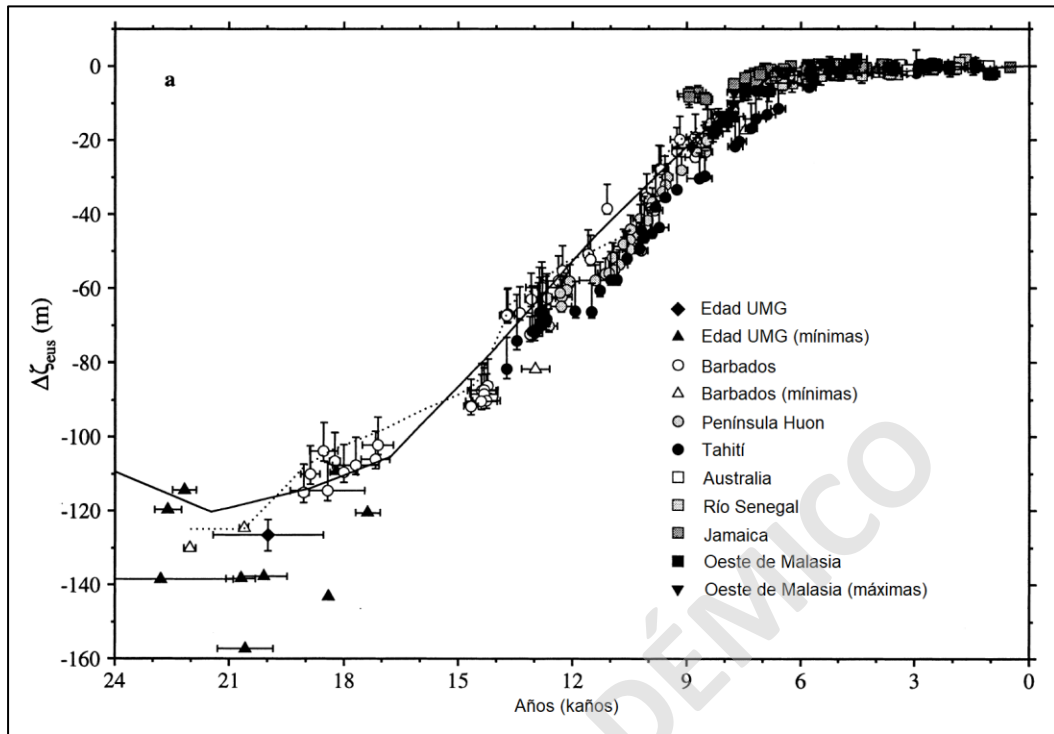


Figura N°22: Estimados del nivel eustático del mar desde el Último Máximo Glaciar hasta el presente (Extraído y modificado de Fleming et al., 1998)

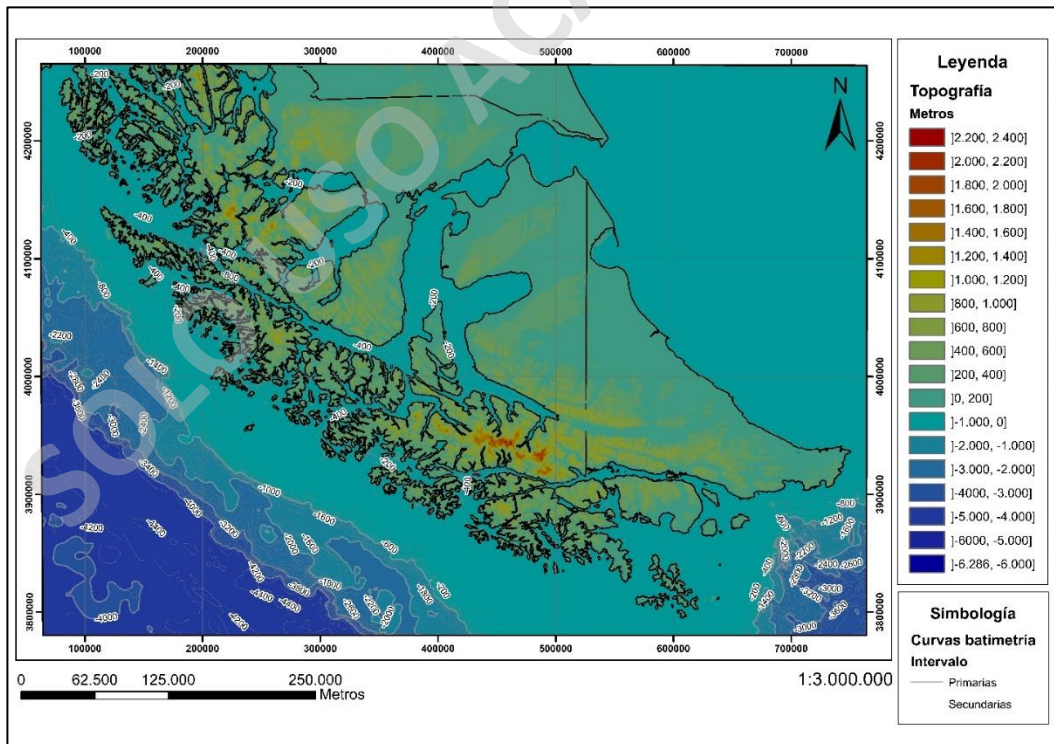


Figura N°23: Batimetría de Magallanes y Tierra del Fuego (Elaboración propia, información base de GEBCO, 2020)

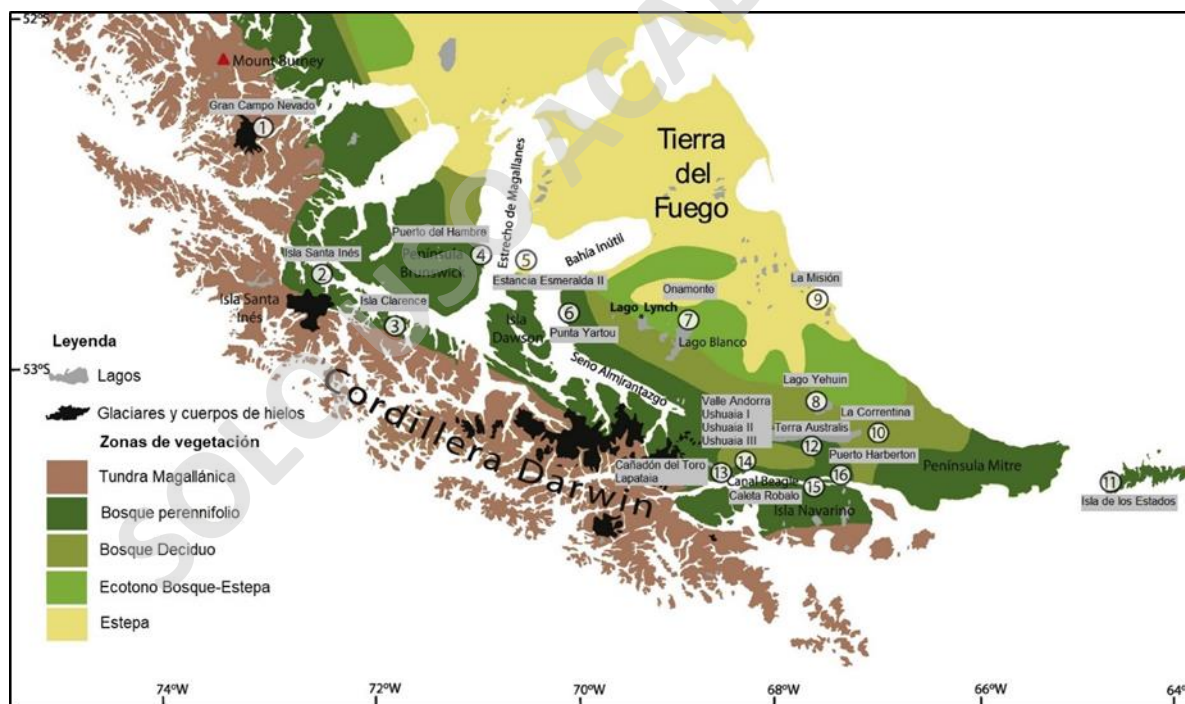
### 4.3 Paleoambiente

El sur de Patagonia es una zona relevante para estudios paleo climáticos y paleo ambientales puesto que es la única masa de tierra que se encuentra bajo la trayectoria de los Vientos del oeste (~40°-65° latitud sur) un componente importante de la circulación atmosférica global (McCulloch y Davies, 2001). Estos, controlan sistemas climáticos de mayor envergadura tales como la oceanografía (Marshall y Speer, 2012) y las descargas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera desde el océano sur (Toggweiler et al., 2006) Además, su cercanía al continente Antártico hace que la zona presente gradientes de presiones mayores entre las latitudes altas y el subtropical del Hemisferio sur, las cuales generan mayores velocidades para los Vientos del oeste en comparación con el Hemisferio norte (Aceituno et al., 1993). Por estas razones, los estudios y reconstrucciones paleo ambientales llevadas a cabo en Patagonia sur son de importancia global puesto que dan perspectivas de los comportamientos climáticos pasados tanto de forma regional como global y las relaciones interhemisféricas.

Asimismo, el sur de los Andes en Patagonia forma un obstáculo orográfico para el paso de los Vientos del oeste produciendo abruptos cambios climáticos en cortas distancias asociados a cambios bruscos en los gradientes de precipitación de la zona, llegando a valores drásticamente diferentes tales como 6.000 mm/año en el flanco oeste de los Andes y de menos de 300 mm/año en la zona este (Schneider et al., 2003; Garreaud et al., 2013). Este gradiente de precipitación también se expresa en los distintivos patrones de vegetación del sur de Patagonia (Pisano, 1977), particularmente en Magallanes meridional, la vegetación se caracteriza en la actualidad por ambientes de estepas hacia el oriente que luego gradan a ambientes más boscosos hacia el suroeste, en transición a bosques deciduos y perennifolios hacia la zona centro, para terminar en tundra magallánica en el extremo oeste (Figura N°24).

Los primeros estudios paleo ambientales de Magallanes estaban basados en reconstrucciones de avances glaciares por Caldenius (1932) y Mercer (1965), al igual, se realizaron estudios palinológicos tempranamente por Auer (1933, 1958, 1960, 1974) y Heusser (1971) los cuales realizaron análisis de polen en muestras de suelo y turberas. Más tarde, los estudios palinológicos se concentraron principalmente en el período Tardiglacial (hace ~14.000 años AP) y el Holoceno (11.000 años AP). Dentro de estos destacan los trabajos en Tierra del Fuego de Heusser (1989b, 1993, 1998), Markgraf (1983), Borrromei (1995), Rabassa et al., (2000), Grill et al., (2002),

Coronato et al., (2007), Borrromei y Quattrocchio (2007), Markgraf y Huber (2010), Fontana y Bennett (2012), Borrromei et al., (2007, 2014, 2016), Musotto et al., (2016a, 2016b) y Mansilla et al., (2018); como también las investigaciones de Magallanes Central por Heusser et al., (2000), McCulloch y Davies (2001), Mansilla et al., (2018) y de los archipiélagos magallánicos por Ponce et al., (2011); finalmente a nivel regional Denton (1999a), McCulloch et al., (2000), Fesq-Martin et al., (2004), Heusser et al., (2006) y Mansilla et al., (2016) han llevado a cabo estudios paleoambientales de Patagonia Sur y analizado su relación con procesos climáticos globales y la correlación entre hemisferios. Cabe destacar que, en la última década se ha dado énfasis a reconstrucciones multi-proxy desde testigos sedimentarios de lagos y fiordos, los que dan información de las corrientes termohalinas, temperaturas de la superficie de agua, salinización, entre otros rasgos, de cuerpos de agua, entre estos destacan los trabajos de Kilian et al., (2006, 2007a, 2007b, 2013a, 2013b), Kilian y Lamy (2012), Caniupían, (2011, 2014) y Aracena et al., (2015).



**Figura N°24:** Mapa con las principales zonas vegetacionales actuales en el estrecho de Magallanes y sitios de estudio paleo ambiental de Mansilla *et al.*, 2019 numerados del 1 al 16. (Extraído de Mansilla et al., 2018 modificado de Tuhkanen et al., 1989-1990)

En base a los trabajos anteriores y particularmente para la zona de Magallanes meridional, la información ha sido resumida en seis intervalos temporales que están representados en la Figura N°25, y que serán descritos a continuación:

A modo de introducción, en la Región de los Lagos, la comparación con vegetaciones pasadas y sus contraparte actuales sugieren que durante los últimos avances glaciares de la zona entre 14.805 y 14.550 años 14C AP (antes de los 17.500 años cal AP) coetáneo con el Avance glaciar D en el estrecho de Magallanes, las temperaturas abrían sido de 6 a 7°C más bajas que en el presente pero con el doble de precipitación (McCulloch et al., 2000). Estas condiciones permitirían la formación de un extenso cuerpo de hielo sobre la Cordillera de los Andes desde los 35° hasta los 56° latitud sur, posteriormente, un súbito aumento de temperatura entre los 17.500 y 17.150 años cal AP habría generado una desglaciación sincrónica desde los 16° hasta los 56° de latitud sur (McCulloch et al., 2000).

El primer intervalo temporal de cambios ambientales corresponde al ambiente post desglaciación (Nivel I Figura N°25), el cual toma lugar desde el retroceso de los hielos de Magallanes central antes de los 17.330 años cal AP hasta los 16.910 años cal AP (McCulloch y Davies, 2001), asociaciones de vegetación *Poaceae-Acaena-Empetrum* dan cuenta de ambientes de tundra-estepa y brezales en Puerto del Hambre y Estancia Esmeralda II (Figura N°24), aunque estas especies no son buenos indicadores de temperatura la ausencia en registros palinológicos de especies afines a climas más cálidos como *Nothofagus dombeyi* indican que el ambiente era más frío que en el presente (McCulloch y Davies, 2001). Entre los 17.190 y 16.910 años cal AP la presencia de especies de brezales *Empetrum* sugiere un clima frío, mientras que la disminución de la especie *Myriophyllum* y aumento de *Pedistrum* hacen referencia a ambientes secos (McCulloch y Davies, 2001). Por otro lado, en la zona oeste de Magallanes el clima es más húmedo y dominado por especies de ambientes fríos como *Gunnera* y tundra magallánica. La diferencia de vegetaciones en dirección oeste-este dan cuenta de que existirían diferencias en el gradiente de precipitación para los 17.000 años cal AP aproximadamente (Fesq-Martin et al., 2004; Fontana y Bennet, 2012)

Más tarde, entre los 16.910 y 15.170 años cal AP correspondiente al Nivel II de la Figura N°25, en Magallanes central hay un cambio en las asociaciones de especies que reemplazan a *Empetrum* por vegetación de estepa-tundra mesica, lo que a su vez hace referencia a condiciones más húmedas pero con la persistencia de climas más fríos que en el presente (McCulloch y Davies,



2001) Sin embargo, la expansión de *Myriophyllum* sugiere un calentamiento de 3°C con respecto al nivel anterior (McCulloch et al., 2000)

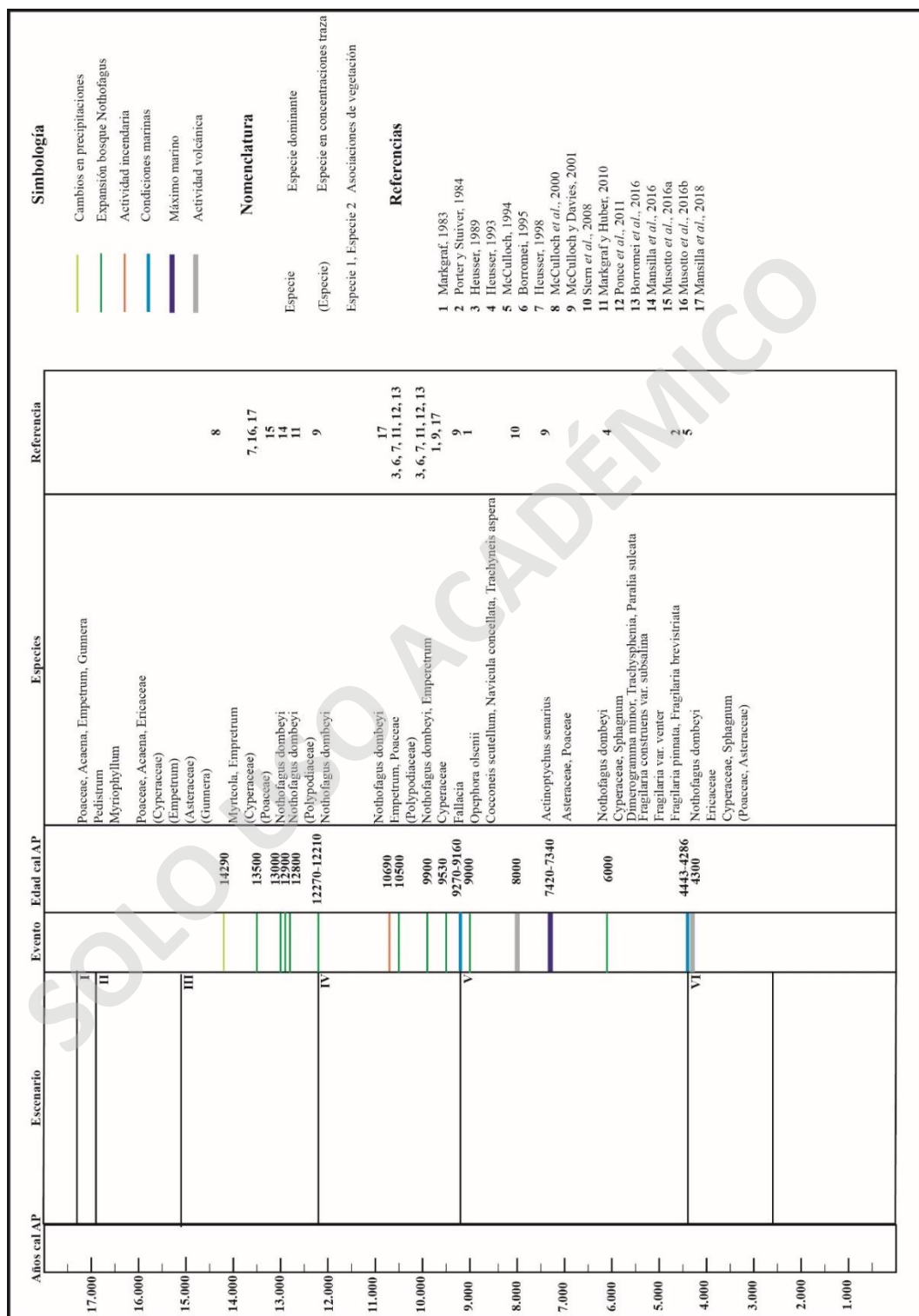


Figura N°25: Resumen de registros paleoambientales en Magallanes-Tierra del Fuego y su evolución temporal (Elaboración propia)

En el Nivel III (Figura N°25) correspondiente al período entre los 15.170 y 12.270 años cal AP está marcado por el Avance glaciar E entre los 15.130 y 14.440 años cal AP (McCulloch et al., 2005a) y un decrecimiento de la humedad efectiva indicado por especies de brezales como *Empetrum* en Puerto del Hambre y especies de herbazales como *Poaceae* en Estancia Esmeralda II (McCulloch y Davies, 2001; Figura N°24) a los 14.550 años cal AP (Mansilla et al., 2018) lo que hace referencia a un retorno a condiciones ambientales secas y que además es coincidente con la Reversa Fría de la Antártica a los 14.800-12.700 años cal (Denton et al., 2010).

Durante este intervalo, se produce el primer pulso de condiciones ambientales óptimas para la aparición y expansión de los bosques *Nothofagus* entre el 13.500 y 12.800 años cal AP (Mansilla et al., 2018) durante este período aparece la especie *Nothofagus dombeyi* en la localidad de Ushuaia I en Canal Beagle a los 13.500 años cal AP (Heusser, 1998, Figura N°24) y en Terra Australis (Musotto et al., 20016b; Figura N°24). Quinientos años más tarde esta especie aparece en La Correntina (Musotto et al., 2016a; Figura N°24) a los 13.000 años cal AP, asimismo en Punta Yartou (Figura N°24) aparece a los 12.900 años cal AP (Mansilla et al., 2016). Según Premoli et al., (2010) y Mansilla et al., (2016) se estima que el bosque *Nothofagus* proviene de áreas que estaban libres de hielo durante las glaciaciones y que alcanza un máximo de dominancia a los 12.650 años cal AP, lo que sugiere el establecimiento del ecotono bosque-estepa para ese entonces. También, las fechas más antiguas para el establecimiento del bosque *Nothofagus* coinciden con el punto más bajo de la Reversa Fría de la Antártica y con el actual ecotono entre los bosques perennifolios y deciduos (Mansilla et al., 2018; Figura N°24). Asimismo, durante este intervalo ocurre un cambio frecuente entre pastizales y brezales pero de períodos cortos de alrededor de 100 a 200 años (McCulloch et al., 2000)

Entre los 12.270 y 9.270 años cal AP (Nivel IV, Figura N°25) toma lugar una intensa fase árida sugerida por el aumento en la degradación de polen entre 10.740 y 9.550 años cal AP, una dominancia de herbazales entre 11.930 y 9.530 y altas concentraciones de carbón y aumento de actividad incendiaria a los 10.690 años cal AP (McCulloch y Davies, 2001; Mansilla et al., 2018) También, a los 11.400 años cal AP ocurre un abrupto período de calentamiento climático indicado por McCulloch et al., (2000) llegando a temperaturas similares a las actuales pero con permanencia de condiciones secas.

En Magallanes central (Figura N°25), se expande el bosque *Nothofagus* en Puerto del Hambre entre los 12.270 y 12.110 (McCulloch y Davies, 2001) mientras que en Estancia Esmeralda II esta especie aparece a los 9.530 años cal AP (McCulloch y Davies, 2001), aproximadamente 2.500 años más tarde. Al igual, en este periodo ocurre el segundo pulso de establecimiento del bosque *Nothofagus* en el presente ecotono de bosque-estepa de Tierra del Fuego (Figura N°24) entre los 10.500 y 9.900 años cal AP (Mansilla et al., 2018), con la expansión de *Nothofagus dombeyi* en Lago Yehuin a los 9.000 años cal AP (Markgraf, 1983) y en Ushuaia II y III (Heusser, 1998), Cañadón del Toro (Borromei et al., 2016), Lapataia (Heusser, 1989b), Puerto Haberton (Markgraf y Huber, 2010), Valle Andorra (Borromei, 1995) e Isla de los Estados (Ponce et al., 2011).

El Nivel V (Figura N°25) corresponde al intervalo temporal entre los 9.270 y 3.970 años cal AP, durante este período se tiene evidencia estratigráfica de una incursión marina en Magallanes Central que inicia a los 9.270 años cal AP (McCulloch y Davies, 2001) y culmina a los 3.970 años cal AP (Porter et al., 1984). Este está caracterizado por asociaciones vegetacionales en Puerto del Hambre y Estancia Esmeralda II (Figura N°24) de diatomeas bentónicas de tipo *Opephora olsenii*, *Cocconeis scutellum*, *Naviculla concellata* y *Trachyneis aspera* que indican ambientes intermareales (Sundback, 1987; McCulloch y Davies, 2001). A los 7.420-7.340 años cal AP, se produce un cambio de especies marinas bentónicas a especies plantónicas, con una dominancia de *Actinoptychus senarius* (McCulloch y Davies, 2001) que está asociada a niveles marinos profundos, sin embargo, estas especies indican que la profundidad no era más de unos cuantos metros (Vos y de Woff, 1993). Después del máximo nivel marino hay una predominancia de especies tipo *Dimerogramma minor* y *Trachysphenia* relacionada a ambientes litorales, asimismo hay presencia de *Paralia sulcata*, no obstante, su interpretación aún está en discusión puesto que puede tener un origen externo, es decir, una especie alóctona (Hendey, 1964) o puede interpretarse como transición de un ambiente marino a agua dulce (McCulloch y Davies, 2001). En los últimos momentos de la incursión marina, hay una concentración preponderante de especies del tipo *Fragilaria construens* var. *Subsalina*, *Fragilaria pinnata* var. *Venter*, *Fragilaria pinnata* y *Fragilaria breviatriata* (McCulloch y Davies, 2001). Estas especies, se pueden interpretar como un aislamiento de condiciones marinas, es decir, un aislamiento gradual del sitio y el término de ambientes marinos.

Por otro lado, en Tierra del Fuego, entre los 8.510 y 6.570 años cal AP hay una reducción sustancial de la extensión del bosque *Nothofagus*, presumiblemente debido a una reducción en la humedad efectiva que alienta la expansión herbazales con especies de ambientes secos como *Asteraceae* y *Acaena* (Mansilla et al., 2018), también, durante este período hay una alza en la concentración de carbón que sugiere una fase árida que conlleva a la contracción de los bosques. A los 8.000 años cal AP la erupción del volcán Hudson (Stern et al., 2008) provoca cambios en la vegetación según análisis de clúster CONISS (Mansilla et al., 2018). Más tarde, entre los 6.570 y 4.640 años cal AP hay un aumento de los bosques *Nothofagus*, con *Nothofagus dombeyi* extendiéndose en Onamonte (Figura N°24) a los 6.000 años cal AP (Heusser, 1993). Al mismo tiempo, hay un reemplazo de la especie *Ericaceae* por *Cyperaceae* y *Sphagnum*, las que indican un cambio a condiciones más húmedas que facilitarían la expansión de bosque *Nothofagus* y una reducción de la actividad incendiaria (Mansilla et al., 2018).

Finalmente, el nivel VI (Figura N°25) de los 4.300 años cal AP a los 2.640 años cal AP está caracterizado por la erupción volcánica de Monte Burney a los 4.300 años cal AP (McCulloch, 1994) y una reducción de los bosques *Nothofagus* entre 4.300 y 3.890 años cal AP emparejado con un aumento de especies de brezales como *Ericaceae*, atribuible a la erupción volcánica ya que estas nuevas condiciones duran 400 años aproximadamente (Mansilla et al., 2018). Entre los 3.890 y 2.640 años cal AP hay un desarrollo de bosque *Nothofagus* en Tierra del Fuego facilitado por niveles altos de humedad efectiva (Mansilla et al., 2018).

#### 4.4 Arqueología

Los primeros registros humanos en Patagonia y América se encuentran en el sitio arqueológico Monte Verde en la Región de los Lagos cuyos componentes datan del Pleistoceno tardío entre los 12.000 y 13.000 años AP  $^{14}\text{C}$  (Dillehay, 1989; Dillehay, 2000), alrededor de ~14.600 años cal AP (Dillehay, 1989; Dillehay, 1997) mientras que en la zona de Magallanes-Tierra del Fuego los habitantes más antiguos registrados corresponden a cazadores recolectores nómades que utilizaban recursos terrestres para su manutención. En la zona oriental de estepa se cazaba principalmente el guanaco y el ñandú, mientras que en las zonas boscosas el huemul. Al igual, esta dieta era complementada por el consumo de roedores y otras especies presentes en los ecosistemas. Además, cazaban animales ya extintos como el caballo nativo y el milodón (Nami 1994; Massone 2004; Barberena et al., 2011)

Más tarde, debido a la formación del estrecho de Magallanes las poblaciones fueron divididas, quedando grupos en la zona continental y otros aislados en la Isla Grande de Tierra de Fuego. En estas condiciones, los grupos humanos evolucionaron de manera independiente hasta que retomaron su contacto durante el Holoceno medio mediante cazadores marítimos (Massone et al., 2016).

Los cazadores marítimos se desarrollaron posterior a la ingesión marina que formó el estrecho (9.400 años cal AP, McCulloch y Davies, 2001), la que conlleva a una adaptación marítima del estilo de vida y producción de tecnología de navegación (Massone et al., 2016). Estos grupos consumían lobos marinos con pelo, lobos finos, moluscos, cetáceos y aves marítimas (Massone et al., 2016). Con la llegada de estos grupos navegantes, se retoma el contacto con los grupos terrestres anteriores y se generan núcleos poblacionales de canoeros en la región de Otway-estrecho de Magallanes y en el Canal Beagle, cuyo desarrollo humano alcanza hasta Cabo de Hornos.

El modelo de poblamiento habría sido desde las zonas de transición marítima-terrestre hacia islas exteriores (Legoupil y Fontugne 1997), esto es inferido mediante dataciones donde los fechados más antiguos se encuentran en las zonas de transición y los más jóvenes en las islas exteriores del Océano Pacífico.

#### **4.4.1 Humanos del Pleistoceno tardío y Holoceno Temprano (11.000 años AP)**

La llegada de los primeros humanos al sur de Patagonia ocurrió hace 11.000 años AP aproximadamente (Prieto y Labarca, 2011) durante la transición Pleistoceno-Holoceno. Durante ese tiempo, el nivel del mar se encontraba unos 80 metros por debajo del nivel actual (Figura N°22; Clapperton 1992; Clapperton et al. 1995; McCulloch et al. 1997; Coronato et al. 1999; McCulloch y Morello, 2009) permitiendo que Tierra del Fuego permaneciera unida al continente, entre Primera y Segunda Angostura, en donde actualmente se emplaza el sector oriental del estrecho de Magallanes. Los grupos humanos habrían usado este puente natural para cruzar de la actual Patagonia meridional hacia Tierra del Fuego (Clapperton, 1992; Prieto y Winslow, 1992; Clapperton et al., 1995; McCulloch y Morello, 2009).

La ocupación para este período se realizó predominantemente en áreas estepáricas y zonas de transición estepa-bosque quedando registros humanos tempranos en cinco cuevas de Patagonia sur y Tierra del Fuego, dos de ellas se encuentran en la zona de Última Esperanza correspondientes a la Cueva del Milodón y Cueva del Medio. Mientras que, en el área de Patagonia sur aledaña al estrecho de Magallanes se encuentran Cueva Fell y Cueva Pali Aike para la región esteparia y volcánica oriental de Pali Aike y en el norte de la Isla Grande de Tierra del Fuego se encuentra la Cueva Tres Arroyos en la zona esteparia (Figura N°26). El poblamiento se habría realizado primeramente mediante una exploración de los entornos y de los recursos disponibles en él y, luego, ocurriría la colonización (Massone et al., 2016)

La tradición cultural de los grupos humanos paleo indios corresponde a la Tradición cultural Fell I (Bird 1938, 1988; Massone 2004; Massone y Prieto 2004), la cual perdura hasta los 10.000 años AP aproximadamente (Massone et al., 2016). Esta identidad es caracterizada por una asociación de restos culturales a fauna extinta, cuyos remanentes quedan en fogones en cubeta con otros restos tecnológicos asociados. Además, se presenta tecnología lítica característica como puntas “cola de pescado”, piezas óseas de aves seccionadas mediante la técnica transversal y ocasionalmente con adornos. Asimismo, también se incluyen retocadores y pigmentos colorantes (Massone y Prieto, 2004). La tradición cultural de estos grupos es presentada en detalle en la Tabla N°5.

Una de las características más reconocibles de los humanos de este período es el consumo en un contexto doméstico de grandes mamíferos extintos como camélidos, caballo nativo y milodón, existiendo abundantes restos de estas especies en los sitios tempranos de Magallanes (Massone et al., 2016).

Según Massone et al., (2016), entre los 10.000 y 8.000 años AP se tiene un escaso o nulo registro arqueológico, correspondiente al Periodo Fell II, lo que constituye un hiato en el registro arqueológico.

Hacia los 10.300 años AP, inicia un aumento progresivo de la temperatura global acompañado de un aumento paulatino del nivel del mar debido al derretimiento de los casquetes glaciares a través del globo. El aumento de temperatura, las variaciones en la humedad del ambiente y los cambios en la vegetación provocados por este nuevo régimen climático mundial combinados con la predación humana llevan a la extinción de especies faunísticas en la zona de Patagonia sur, el estrecho de Magallanes e Isla de Tierra del Fuego; tales como el caballo nativo americano, el milodón, algunos camélidos y grandes felinos, con excepción del puma (Massone et al., 2016).

Al igual, el aumento progresivo del nivel del mar elimina el puente terrestre entre Primera y Segunda Angostura, dando formación al estrecho de Magallanes y la Isla Grande de Tierra de Fuego (McCulloch y Morello, 2009). En esta nueva geografía, domina el guanaco debido a la falta de predadores que fueron extintos en los tiempos anteriores.

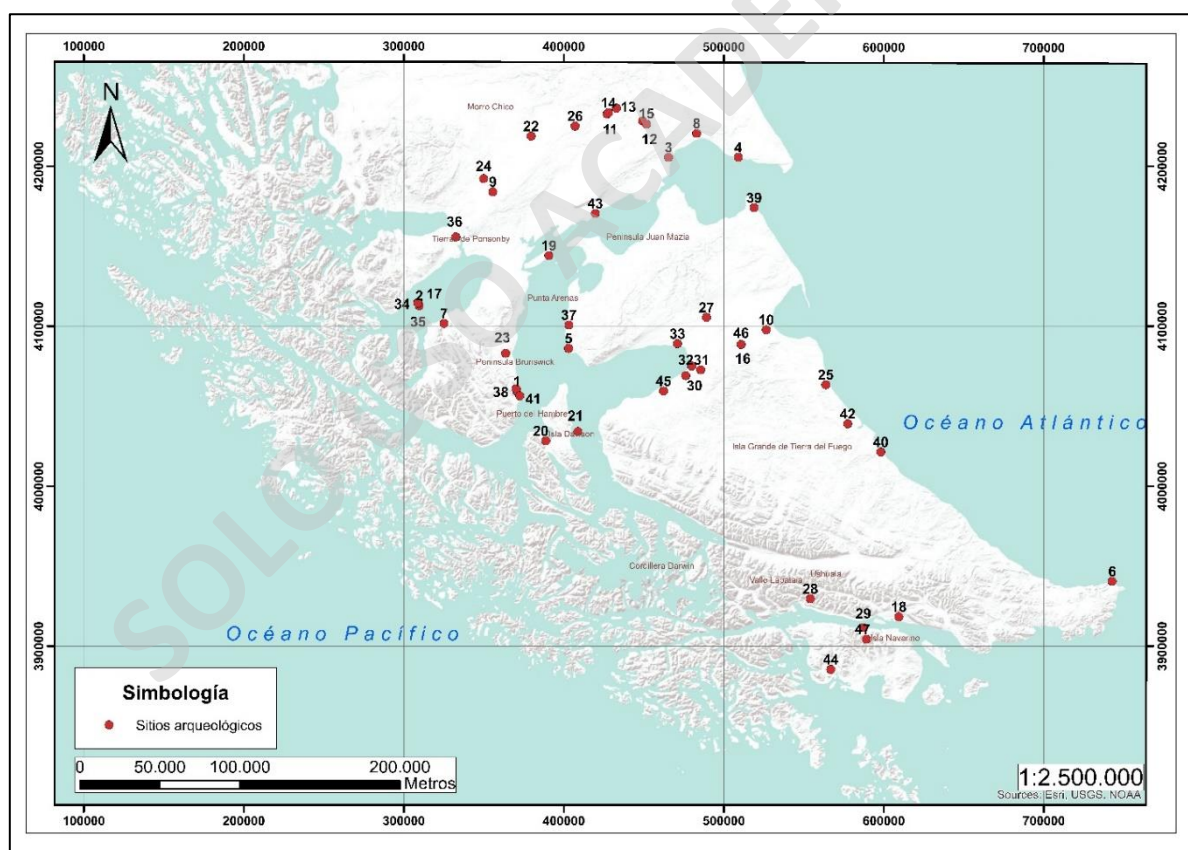
#### **4.4.2. Humanos del Holoceno Medio (8.000-5.000 años AP)**

Entre los 8.000 y 5.000 años AP la temperatura promedio continúa en aumento alcanzándose en Patagonia e Isla Grande de Tierra del Fuego temperaturas promedio superiores a las actuales y climas más húmedos (Massone et al., 2016), el nivel del mar continúa aumentando progresivamente hasta alcanzar su nivel máximo a los 6.450 años AP (McCulloch y Davies, 2001) en la denominada “Transgresión marina del Holoceno Medio”.

Los grupos humanos que se desarrollaron en este período se dividen en dos tipos: cazadores-recolectores terrestres y cazadores-recolectores canoeros. Del primer tipo, se han encontrado abundantes restos arqueológicos en Cueva Pali Aike y Cueva Fell principalmente, y en menor medida en el sitio Cañadón de la Leona 5, Laguna Thomas Gould, Imiwaia 1, Laguna

Arcillosa 1 y Túnel 1 (Figura N°26). Las características arqueológicas de estos sitios pertenecen a la tradición cultural Fell III (Massone et al., 2016) No se sabe con certeza si estos grupos humanos provienen de los antiguos grupos humanos de tradición cultural Fell II o si son grupos distintos que se desarrollaron en la zona (Massone et al., 2016)

Los cazadores-recolectores terrestres presentan cambios en la tecnología y en la dieta, en comparación a los grupos terrestres antes conocidos. En específico, la tecnología lítica de las puntas cola de pescado es reemplazada por puntas proyectil apedunculadas y se incluyen pequeños raspadores y boleadoras utilizadas para cazas en grupo (Massone et al., 2016). Por otro lado, en el sitio Marazzi 1 en Bahía Inútil, además de las puntas apedunculadas, se han encontrado bolas piqueteadas o pulidas de forma esféricas u ovaladas (Morello et al., 2012). Los detalles de las características de estos sitios son expuestos en la Tabla N°5.



**Figura N°26:** Ubicación de sitios arqueológicos de Magallanes-Tierra del Fuego. (Elaboración propia)

**Leyenda:** 1: Bahía Buena, 2: Bahía Colorada, 3: Bahía Munición 3, 4: Bahía Posesión 3, 5: Cabo Monmouth 20, 6: Cabo San Vicente I, 7: Camden 2, 8: Cañadón Cóndor, 9: Cañadón Leona 5, 10: Cerro Las Bandurrias, 11: Cueva Cerro Sota, 12: Cueva de los Chingues, 13: Cueva del Puma, 14: Cueva Fell, 15: Cueva Pali Aike, 16: Cueva Tres Arroyos 1, 17: Englefield 1, 18: Imiwaia 1, 19: Isabel 28, 20: Isla Dawson 3, 21: Islote Offing 2, 22: Juni Aike, 23: KM 44, 24: Lago Blanco 1, 25: Laguna Arcillosa 1, 2, 3, 26: Laguna Thomas Gould, 27: Lago Vergara E23, 28: Lancha Packewaia, 29: Lautá, 30: Marazzi 1, 31: Marazzi 13, 32: Marazzi 2, 33: Myren 2, 34: Pizzulic 1, 35: Pizzulic 2, 3, 36: Ponsonby, 37: Porvenir Norte 12E, 17, 38: Punta Carrera, 39: Punta Catalina 3, 40: Punta María 2, 3, 41: Punta Santa Ana 1, 2, 4, 5, 42: Río Chico, 43: San Gregorio 2, 44: Seno Grandi 1, 45: Taca Taca Sur, 46: Tres Arroyos 14, 47: Túnel 1 (Elaboración propia)



**Tabla N°5:** Detalle de aspectos culturales correspondientes a paleo indios de la zona de Magallanes-Tierra del Fuego desde la transición Pleistoceno-Holoceno hasta el Holoceno Tardío

| <i>Cazadores-recolectores de tradición cultural Fell I del Pleistoceno-Holoceno Temprano ~13k-8k años cal AP</i>   |   |   |  |                              |
|--|---|---|--|------------------------------|
| <b>Especies animales<br/>predadas extintas</b>   | <b>Especies animales<br/>predadas</b>   | <b>Tecnología lítica</b>  | <b>Tecnología ósea</b>   | <b>Otras técnicas</b>        |
| Caballo nativo americano<br><i>(Hippidion saldiasi)</i><br>Cámelido <i>Lama</i><br>Cámelido <i>Lama gracilis</i><br>Félido <i>Smilodon</i><br>Félido <i>Panthera onca mesembrina</i><br>Cánidos <i>Dusicyon avus</i> | Guanaco<br>Vicuña ( <i>Vicugna vicugna</i> )<br>Caiquén ( <i>Chloephaga</i> )<br>Bandurria ( <i>Theristicus caudatus</i> )  | Puntas de proyectil “cola de pescado” para caza.<br>Litos discoidales.<br>Raspadores frontales de gran tamaño para curtir.<br>Raederas laterales de faena.<br>Piezas líticas de desgaste de artefactos. | Piezas óseas con técnica de seccionamiento transversal y adornos cilíndricos en huesos de aves.<br>Retocadores óseos en huesos de guanaco. | Uso de pigmentos colorantes. |
| <i>Cazadores-recolectores terrestres de tradición cultural Fell III del Holoceno Medio 8k-5k años cal AP</i>   |   |   |  |                              |
| <b>Especies animales<br/>predadas actuales</b>   | <b>Tecnología lítica</b>  | <b>Tecnología ósea</b>  | <b>Otras técnicas</b>  |                              |
| Guanaco<br>Ñandú<br>Aves<br>Huemul<br>Zorros<br>Roedores<br>Lobo marino<br>Cachalote<br>Moluscos   | Puntas proyectil apedunculadas triangulares de base recta o ligeramente convexa<br>Boleadoras de forma ovalada con surco en su diámetro máximo o periformes. Estas eran utilizadas en la caza.<br>Raspadores pequeños de filo terminal con dorso rebajado para enmangadura. | Desconocida   | Desconocida  |                              |

Continúa

| <b>Cazadores-recolectores canoeros del Holoceno Medio de tradición Englenfield 7.6k-5.6k años cal AP</b>   |  |   |   |
|--|--|---|---|
| <b>Especies marinas depredadas</b>   | <b>Tecnología lítica</b>   | <b>Tecnología ósea</b>  | <b>Otras técnicas</b>   |
| Lobos finos ( <i>Artocephalus australis</i> )<br>Lobos de un pelo ( <i>Otaria flavescens</i> )<br>Merluza<br>Róbalo<br>Sardinas<br>Moluscos<br>Cormoranes ( <i>Phalacrocorax</i> sp.)<br>Pez ( <i>Salilota australis</i> ) | Explotación de obsidiana verde.<br>Punta de proyectiles bifaciales triangulares a sub triangulares.<br>Cuchillos bifaciales<br>Raspadores laterales<br>Pesas de línea, afiladores, alisadores y percutores hechos de guijarros con muescas y/o con surco | Puntas de arpones desmontables con 1 o 2 barbas y base cruciforme.<br>Arpones multidentadas con base fusiforme.<br>Piezas con bisel:<br>Espátulas, alisadores o cinceles hechos en huesos de mamíferos pinnípedos.<br>Retocadores en meta podio de mamíferos terrestres (guanaco).<br>Punzones con huesos de aves.<br>Cuñas en tallo en hueso de ballena.<br>Artefactos ornamentales. | Objetos decorados de hueso, piedra y concha con diseños geométricos o figurativos |
| <b>Cazadores-recolectores marinos del Holoceno Tardío: Período intermedio-Ponsonby 4.8k-2.3k años cal AP</b>   |  |   |   |
| <b>Especies marinas depredadas</b>   | <b>Tecnología lítica</b>   | <b>Tecnología ósea</b>  | <b>Otras técnicas</b>   |
| Pinnípedos<br>Guanaco<br>Pez<br>Molusco ( <i>Concholepas concholepas</i> )   | Industria bifacial: puntas de proyectil lanceoladas o foliáceas con lados denticulados y acerrados.<br>Piedras de moler.<br>Raspadores laterales.<br>Aparición de artefactos de obsidiana negra.   | Raramente herramientas de hueso.<br>Lanzas con un pequeño bulto en la base y extremo puntiagudo.<br>Arpones de punta no desmontable con base fusiforme y barbas mono o multidentadas.<br>Cinceles en hueso de pinnípedo.<br>Puntas y punzones en huesos de aves.  | Decoración en diáfisis de huesos de albatros                                      |

Continúa

| <i>Cazadores-recolectores marinos del Holoceno Tardío: Período tardío &lt;2.000 años cal AP</i>  |  |   |   |
|--|--|---|---|
| <b>Especies marinas depredadas</b>   | <b>Tecnología lítica</b>   | <b>Tecnología ósea</b>  | <b>Otras técnicas</b>   |
| Pinnípedos<br>Huemul<br>Cormorán ( <i>Phalacrocorax</i> sp.)<br>Molusco ( <i>Concholepas concholepas</i> )<br>Pez <i>Eleginops maclovinus</i><br>Pez <i>Odontesthes</i> sp.<br>Pez <i>Patagonotothen</i> sp. | Uso de obsidiana verde.<br>Raspadores terminales y laterales.<br>Cuchillos.<br>Puntas de proyectiles pedunculadas.<br>Puntas de proyectiles pequeñas asociados a brazos de arco-flecha.<br>Método de reducción de núcleo en cuchillas y hojas. | Retocadores<br>Cuñas<br>Punzones<br>Arpones de una púa y base espiga simple con punta desmontable.<br>Arpones multidentadas | Artefactos ornamentales como cilindros en diáfisis de aves con decoraciones grabas. |

**Información extraída de:** Legoupil, 1989; Legoupil y Pigeot, 2009; Morello et al., 2008, 2012b; San Román et al., 2016.

En cuanto a la dieta, esta cambia de ser totalmente terrestre durante el Holoceno Temprano a un consumo mixto tanto de recursos terrestres como marinos. Se consume mayoritariamente guanaco, ñandú y aves y en menor medida huemul, zorros y roedores. A su vez, en las zonas aledañas a la costa hay un consumo notable de pinnípedos como lobos marinos, además de cachalotes y moluscos.

Durante este intervalo de tiempo el aumento progresivo del nivel del mar continúa llegando a su máximo nivel hacia los 6.000 años AP aproximadamente. Alrededor de este mismo tiempo, aparecen los cazadores-recolectores canoeros en Patagonia Sur y Tierra del Fuego, que corresponde a la segunda modalidad de vida de los primeros humanos que habitaron el sector del estrecho de Magallanes. Estos cazadores habitaban los sistemas de islas, fiordos y canales que existen entre la Cordillera de los Andes y el Océano Pacífico. Signos de sus ocupaciones son registradas en sitios arqueológicos emplazados en terrazas marinas que se alcanzan 10 a 15 metros s.n.m aproximadamente, y están asociadas a la transgresión marina del Holoceno Medio (7.580 años cal AP; McCulloch y Davies, 2001).

Hasta la fecha, se tienen dos hipótesis del origen de los grupos cazadores-recolectores canoeros, la primera postula un origen local a partir de los grupos cazadores terrestres, los cuales

habrían desarrollado tecnología marina especializadas para la explotación de recursos marinos y el transporte. La segunda, presenta la teoría de un origen en el archipiélago sur, cerca del estrecho de Magallanes asociado a los grupos de la cultura Englenfield, los cuales habrían migrado desde el norte con equipo para transporte marítimo siguiendo las costas del Océano Pacífico (Legoupil y Fontugne, 1997; Orquera, 2005; Orquera y Piana, 2009).

De los aspectos de ambas hipótesis San Román et al., (2016) discute de la primera que las edades arqueológicas más antiguas se encuentran en los sitios hacia el extremo sur, lo que sugeriría un origen local, pero a la vez, la especialización de la instrumentación marítima es muy alta, y no se han encontrado hasta el momento, restos culturales o de instrumentación marítima más básica que permitan pensar que dicho rasgo fue parte de un desarrollo y evolución de una cultura. Mientras que, para la segunda hipótesis no existe evidencia actual de sitios antiguos ubicados en las costas del Pacífico, puesto que estos son hasta 1.000 años más jóvenes que los sitios más al sur.

Los cazadores-recolectores marítimos del sur de Patagonia y Tierra del Fuego son divididos en tres períodos según la clasificación de San Román et al., (2016) y estos corresponderían al Período temprano (7.400-6.200 años cal AP), Período intermedio (4.900-2.350 años cal AP) y Período tardío (<1.500 años cal AP). Su clasificación se basa en las diferencias encontradas en la industria lítica, ósea, diseño, manufactura y uso de materiales brutos.

Los sitios de canoeros asociados al Período Temprano del Holoceno Medio corresponden a: Englenfield 1, Bahía Colorada, Pizzulic 1-2, Punta Santa Ana 1, Los Noruegos y Bahía Buena 1 (Figura N°26). Estos humanos tienen una tradición cultural Englenfield (Ortiz-Troncoso, 1975, 1979) cuyos sitios están ubicados en el núcleo habitacional Otway-estrecho de Magallanes y corresponden a conchales (San Román et al., 2016). Están caracterizados por tener una tecnología lítica de estilo bifacial (Tabla N°5) y el uso de obsidiana verde como roca principal, igualmente, la industria ósea se encuentra estandarizada tanto en forma como en manufactura, usando predominantemente hueso de mamíferos como guanacos y pinnípedos, además de aves, los cuales pueden tener decoraciones talladas ocasionalmente.

La dieta de los grupos canoeros se basa en la explotación enfática de recursos marinos tales como pinnípedos (*Arctocephalus australis*), peces (*Salilota australis*) y pesca de especie de agua profunda, y es complementada con aves como los cormoranes.

#### **4.4.3. Humanos del Holoceno Tardío (<5.000 años AP)**

Cerca de los 5.000 años AP las condiciones climáticas tienden a ser muy similares a las condiciones actuales, con períodos temporales de corta duración más húmedos (McCulloch y Davies, 2001). Estas condiciones llevan a la expansión de los Bosques Nothofagus siguiendo el borde de la Cordillera Occidental. El nivel del mar se estabiliza alrededor de los 4.000 años al nivel actual (McCulloch y Morello, 2009).

Durante este período hay una ocupación efectiva de gran parte de los espacios boscosos y esteparios de Patagonia sur y Tierra del Fuego por parte de diversos grupos humanos de cazadores-recolectores. Con posterioridad a los 2.000 años AP (Massone, 2016) los patrones de asentamiento son nucleados en la zona continental interior evidenciado en los sitios Pali Aike, Río Chico, San Gregorio, Bahía Posesión y Punta Dungeness (Figura N°26). Mientras, en Tierra del Fuego se encuentran restos de ocupaciones humanas en la cueva Tres Arroyos, Estancias Florentina, Cabo San Vicente, Punta Catalina, Marazzi y Estancia Dos Marías (Figura N°26).

Por otro lado, los cazadores-recolectores canoeros de este período corresponden a los del Período intermedio (4.900-2.350 años cal AP) y Período tardío (<1.500 años cal AP) de San Román et al., (2016).

Los sitios del Período intermedio son: Isla Humberto, Pizzulic 3, Ponsoby, Isla Riesco, Punta Santa Ana 2, KM 44 y Offing 2 (Figura N°26). Estos sitios tienen una tradición cultural Ponsoby (Legoupil y Pigeot, 2009). Su industria lítica se caracteriza por ser bifacial, con puntas de proyectil lanceoladas o foliáceas, y por la ausencia de artefactos de obsidiana verde, cuyo material era relevante en los sitios anteriores. En cambio, aparecen artefactos con obsidiana negra (Tabla N°5) en los sitios de la Isla Grande de Tierra del Fuego, específicamente en Offing 2 y Marazzi 1 (Figura N°26). En cuanto a la industria ósea, los arpones cambian con respecto a los del período anterior en el aspecto que las puntas de proyectil no son desmontables y son de mayor tamaño, también, hay un cambio en la selección anatómica de un mismo taxa (pinnípedo) para la confección de cinceles (San Román et al., 2016).

Con respecto a la dieta, esta varía en la explotación de mamíferos con un énfasis en pinnípedos seguido del guanaco, además de pesca de especies marinas profundas y consumo de moluscos.

Los sitios arqueológicos correspondientes al Período tardío de San Román et al., (2016) tienen dataciones menores a los 2.000 años AP y corresponden a Punta Santa Ana 3, Offing 2, Bahía la Coruña, Punta Baja y Pizzulic 4 (Figura N°26).

La industria lítica de este período es caracterizada por la reaparición de artefactos con obsidiana verde, principalmente en el núcleo habitacional Otway-Magallanes. Al igual, continúa la producción y uso de raspadores y puntas de proyectiles pedunculadas. También, se utiliza el método de reducción de núcleo en hojas de cuchillas y lascas (Morello et al., 2008; 2012b). En el caso de la tecnología ósea, esta está constituida por retocadores, cuñas, punzones, arpones de puntas desmontables y multidentados (Legoupil, 1989).

En el caso de la dieta, esta se basa en la explotación de pinnípedos, huemules y cormoranes, complementado con el consumo de aves secundarias. Además, la pesca cambia de especies de profundidad a especies costeras.

Los sucesores históricos de los cazadores-recolectores terrestres corresponden a los pueblos Tehuelches/Aónikenk y Sek´nam/Ona mientras que los pueblos de Alacalufe/Kawésqar son Yagán/Ona los sucesores de los cazadores-recolectores marítimos (Morello et al., 2012)

## **CAPÍTULO 5: RESULTADOS**

Los resultados descritos a continuación corresponden a productos generados y entregados al Centro Nacional de Conservación y Restauración, los que se utilizarán en una animación y aplicación interactiva de divulgación científica. La metodología utilizada está definida en el Capítulo 1.

El primer producto consiste en siete reconstrucciones paleográficas (geomorfológicas, arqueológicas y paleoambientales), confeccionadas en Sistemas de Información Geográficas (SIG) en intervalos de edades previamente determinados, comprendidas entre el Pleistoceno tardío y Holoceno, las que servirán de base a la animación y aplicación referida. El segundo producto es una Historia evolutiva de Patagonia sur y Tierra del Fuego, que integra y contextualiza la información relevante compilada y elaborada en mapas paleográficos. El tercero corresponde a un hilo narrativo simplificado con fines de divulgación, que acompaña a las reconstrucciones señaladas con un lenguaje simplificado y amigable para el público no científico. El último producto corresponde a un esquema evolutivo resumido en una figura, que esquematiza la información referida con el objetivo de facilitar la ejecución de la animación y aplicación interactiva.

Junto con los productos previamente señalados, también se entregan vectores de la información mapeada en Sistemas de Información Geográficas y tablas con dataciones de radiocarbono calibradas.

### **5.1 Estrategia y herramientas de divulgación científica de esta memoria**

El Centro Nacional de Conservación y Restauración (CNCR) del Servicio Nacional de Patrimonio Cultural, en el marco del proyecto “Encuentro de tres mundos: A 500 años de la primera circunnavegación del planeta”, desarrolla iniciativas de divulgación científica en conjunto con la Biblioteca Nacional, que abordan este aniversario desde diversas perspectivas. Estas iniciativas corresponden a la creación de animaciones y aplicaciones interactivas que abordan la historia de navegación en el mundo resaltando campañas de exploración relevantes en busca de rutas comerciales y su aporte a la cartografía, así como también el viaje de Hernando de Magallanes por el Estrecho presentando fechas e hitos importantes en su recorrido.

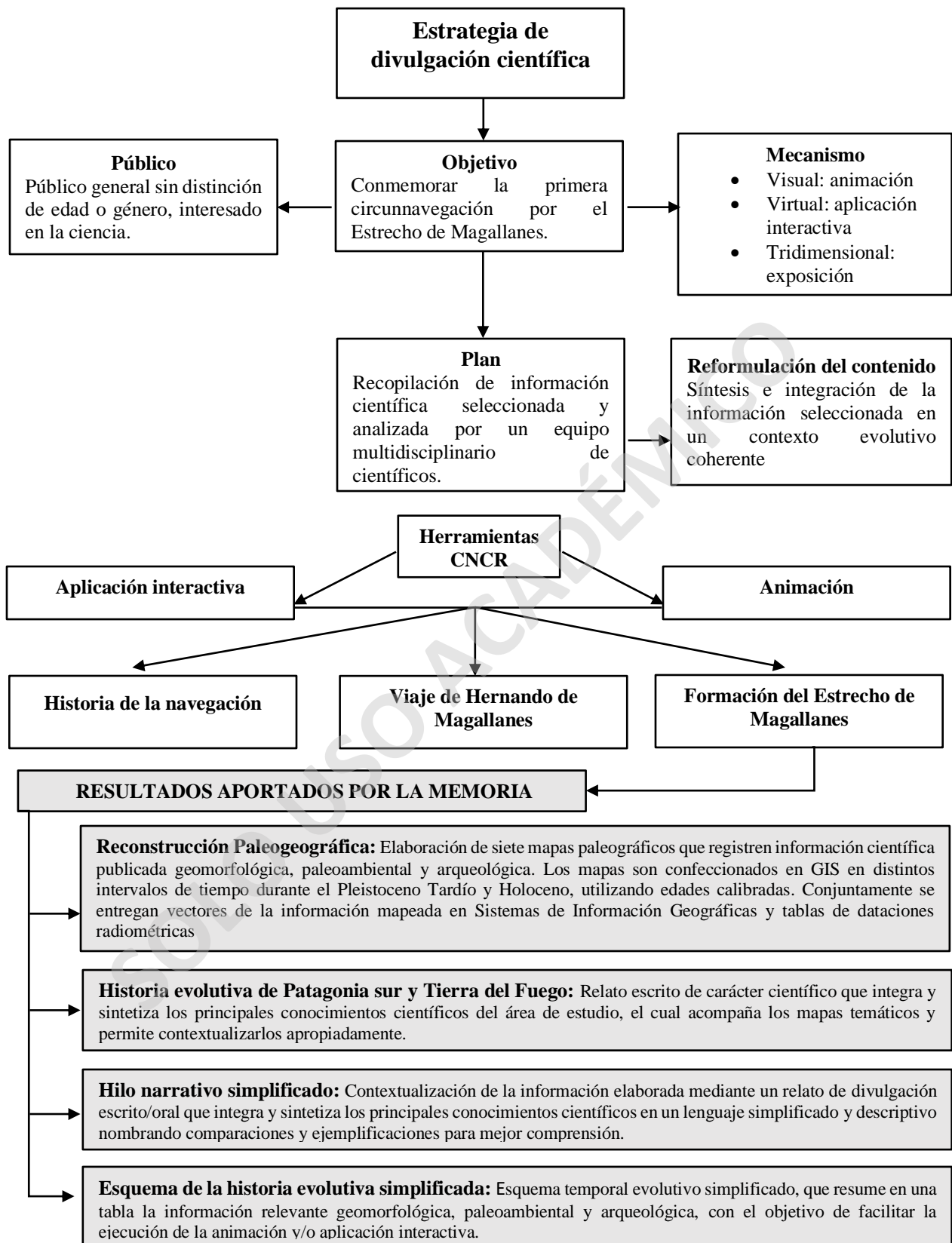
En este contexto, el CNCR propuso a la Escuela de Geología de la Universidad Mayor, un tema de investigación con fines de divulgación referido a la formación del estrecho de Magallanes; enmarcado en la evolución geomorfológica, paleoambiental y arqueológica del área aledaña al estrecho de Magallanes durante finales del Pleistoceno y Holoceno.

Para esto, el CNCR estableció previamente estrategias y herramientas de divulgación (animación y aplicación interactiva) dirigidas principalmente a un público general, sin conocimientos de disciplinas geológicas, ambientales o arqueológicas. Con este objetivo, se propuso como estrategia utilizar la información científica geológica publicada, seleccionar y analizar la información relevante por un grupo multidisciplinario de especialistas; integrando la información geológica-geomorfológica con la información ambiental y arqueológica, de manera de construir herramientas divulgativas que muestre los cambios en el paisaje y el desarrollo de la ocupación humana en el área de estudio.

Como resultado, una animación fue presentada a la comunidad en la exposición “Encuentro de tres mundos: A 500 años de la primera circunnavegación del planeta” en la Biblioteca Nacional y una aplicación interactiva se encuentra en desarrollo. Ambas herramientas estarán disponibles permanentemente en el Portal de Mapas Patrimoniales digital de la misma institución.

En el escenario descrito, el aporte de esta memoria corresponde al diseño y la generación de cuatro productos apropiados para ser utilizados como insumos en la confección de las herramientas de divulgación establecidas por la estrategia de divulgación científica del CNCR, como lo muestra la Figura N°27. Estos productos son: Reconstrucción paleográfica en 7 mapas construidos a distintas edades; Historia Evolutiva de Patagonia y Tierra del Fuego; Hilo narrativo simplificado y Esquema de la Historia evolutiva simplificada.





**Figura N°27:** Estrategia y herramientas de divulgación científica en conjunto con aporte de la presente memoria. (Elaboración propia)

## 5.2 Reconstrucción paleográfica

Las edades de las siete reconstrucciones fueron seleccionadas en base a eventos glaciológicos, marinos, paleoambientales o arqueológicos importantes, que hayan generado un cambio mayor en el paisaje o en la relación de los grupos humanos con el entorno natural.

Con la finalidad de relacionar eventos y procesos temporalmente, se calibraron las dataciones de radiocarbono de eventos geológicos, las que son presentadas en la Tabla N°3, en donde se integra las calibraciones realizadas por los autores en la misma publicación y las realizadas en esta memoria mediante la curva SHCal20 y Marine20. También se entregan dataciones radio carbónicas de sitios arqueológicos calibradas durante este estudio mediante la curva antes señalada, las que son presentadas en el Anexo A.

Las reconstrucciones mapeadas de Magallanes-Tierra del Fuego fueron realizadas para los siguientes intervalos temporales.

- i. Etapa Glacial D4 (17.000 – 16.100 años cal AP)
- ii. Desglaciación D4 (16.100 – 15.300 años cal AP)
- iii. Etapa Glacial E (15.100 – 11.700 años cal AP)
- iv. Desglaciación E e Inicio de Ingresión Marina (11.700 – 9.700 años cal AP)
- v. Formación del Estrecho de Magallanes (9.500 – 8.200 años cal AP)
- vi. Ingresión Marina Máxima (7.500 – 5.000 años cal AP)
- vii. Establecimiento de condiciones actuales (5.000 – 2.000 años cal AP)

A continuación, se describe cada una de ellas, en orden de más antiguo a más joven:

### 5.2.1 Etapa glacial D4 (16.600-16.100 años cal AP)

El Avance glacial D ocurre antes de los 17.700 años cal AP y culmina a los 16.100 años cal AP y está marcado por morrenas y canales de deshielo continuos al norte de Punta Arenas. En las costas de Bahía Inútil, presenta límites discontinuos denominados D1, D2, D3 y D4 los cuales están marcados por morrenas fragmentadas tanto al norte como al sur de la costa que son interpretados como momentos en que los glaciares se encontraban detenidos (sin avanzar) o pequeños episodios de avance (sub-avance) en la tendencia general de retroceso glacial.

El presente escenario evolutivo corresponde al último sub-avance glaciar desde que el cuerpo glaciar D retrocede desde el límite D3 a los 17.000 años cal AP (McCulloch et al., 2005a) para posicionarse en el límite D4 y formar el Cuerpo Glaciar D4 (denominado así en esta memoria) a los 16.600 años cal AP hasta su retroceso a los 16.100 años cal AP (McCulloch et al., 2005b).

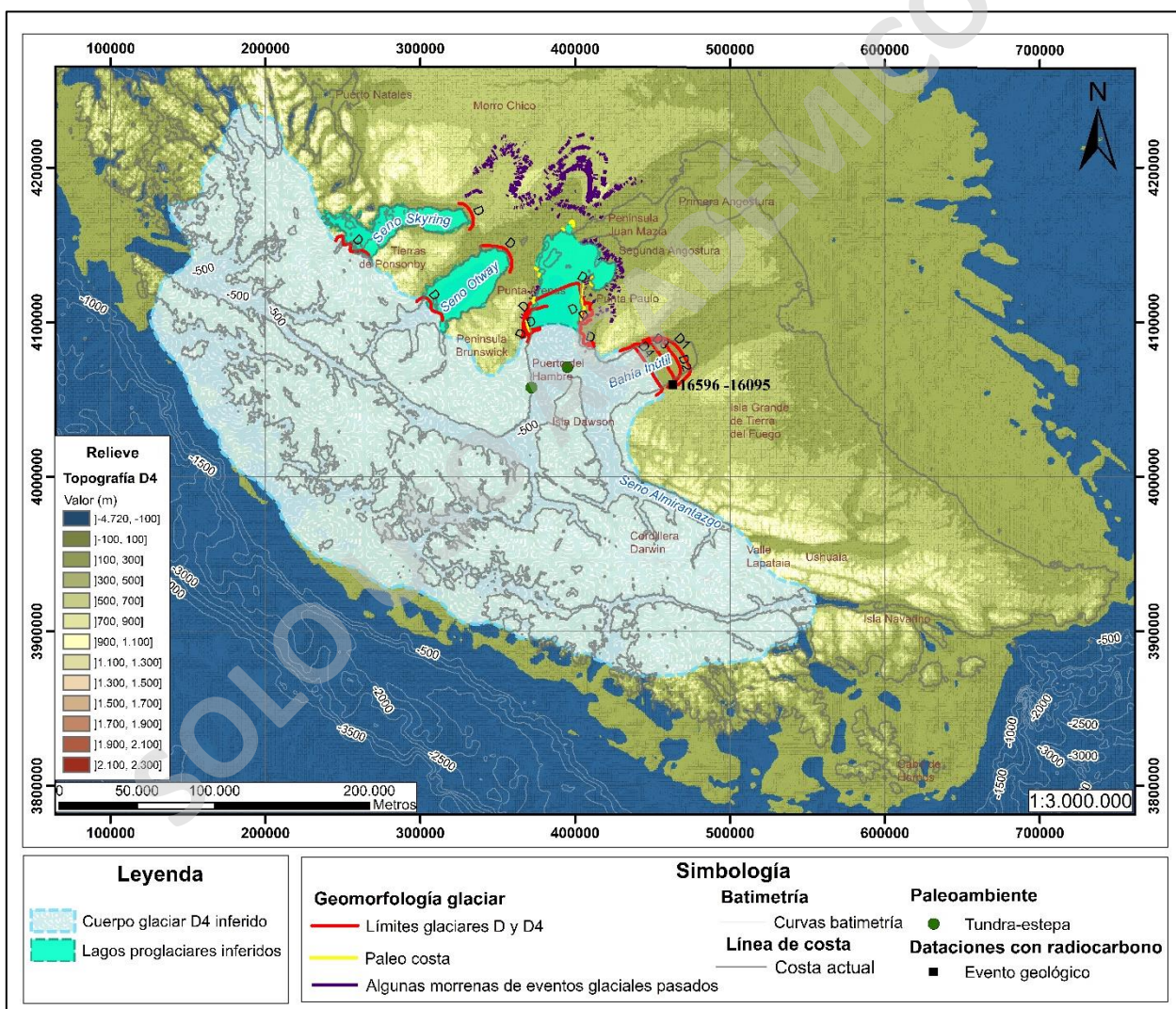
Los límites para el Cuerpo Glaciar D4 están marcado por morrenas terminales en la costa sur y norte de Bahía Inútil (Figura N°28) y es datado mediante testigos sedimentarios entre los 16.600 y los 16.100 años cal AP (Tabla N°3; McCulloch et al., 2005b). La extensión de este cuerpo glaciar se delimita basado en la reconstrucción de McCulloch et al., (2000) para el Avance D en su estado previo y posterior a la desglaciación que toma lugar entre los 17.500 y 17.150 años cal AP. De lo anterior, se infiere que el cuerpo glaciar D4 se extiende desde al menos Puerto Natales por el norte hasta aproximadamente Ushuaia por el sur (Figura N°28), con un borde occidental formado por glaciares tipo outlet que se encuentran en contacto con el océano flotando sobre este y en el continente ocupa valles glaciares de los actuales fiordos australes. Hacia el oriente de la cordillera, el glaciar se extiende en diversos lóbulos que cubrieron lo que hoy es el estrecho de Magallanes, Bahía Inútil, Isla Dawson y Seno Almirantazgo.

McCulloch et al., (2005a) y McCulloch y Morello (2009) interpretan la formación de un lago proglaciar en el frente este del glaciar D4, esto es apoyado por la presencia de paleo costas en las costas de Punta Arenas y Punta Paulo, mientras que Kilian et al., (2013b) mediante estudios multi-proxy interpreta la presencia de lagos proglaciares en Seno Otway y Seno Skyring, todos estos cuerpos lacustres se encontrarían represados por el cuerpo de hielo hacia el oeste y depósitos glaciares en el este.

Durante la etapa glacial D4, el nivel del mar se encuentra 100 metros por debajo del nivel actual (Fleming et al., 1998), con la línea de costa ubicada 126km hacia dentro del océano Atlántico en la zona norte del estrecho de Magallanes y a 85km en la zona sur. Mientras que la costa del océano Pacífico se encuentra de 20 a 30km hacia dentro del océano, en comparación de lo que se encuentran en la actualidad. Por esta razón, el agua marina todavía no inunda el área del Estrecho y, Primera y Segunda Angostura se encuentran conectadas por un puente de tierra permitiendo el paso de fauna hacia la actual zona de Isla Grande de Tierra del Fuego (McCulloch y Morello, 2009).

A partir de muestras de sedimentos de testigos subacuáticos a los cuales se les realiza estudios comparativos de polen con vegetación actual, se sugiere que durante el Avance D y por ende el sub-avance D4 las temperaturas eran 6° a 7°C más bajas que en el presente (Denton et al., 1999 y McCulloch y Davies, 2001), y que en la zona central del estrecho de Magallanes la vegetación era del tipo tundra-estepa con especies del tipo *Poaceae*, *Acaena* y *Empetrum*.

No se han encontrado registros arqueológicos correspondientes a este período (16.600-16.100 años cal AP) en Magallanes.



**Figura N°28:** Reconstrucción paleográfica de la Etapa Glacial D4 (16.600-16.100 años cal AP), sub-avance final del Avance glaciar D. (Elaboración propia)

### 5.2.2 Desglaciación D4 (16.100-15.300 años cal AP)

Después de la Etapa glacial D4 se registra un evento de desglaciación entre los 16.100 y 15.300 años cal AP, este es reconocido mediante dataciones de sedimentos obtenidos de perforaciones en los bordes del lago proglacial del Avance D en las costas de Punta Arenas y Bahía Inútil. A partir de estos se concluye que las condiciones lacustres finalizaron entre los 16.100 y 15.530 años cal AP (McCulloch et al., 2005b; Tabla N°3) debido a el retroceso de los cuerpos de hielo que estaban conteniendo el cuerpo glacial por el oeste hacia Cordillera Darwin, lo que provoca el drenaje de los lagos proglaciares hacia el Océano Pacífico a través de ríos de desagües (Figura N°29). Lo anterior, es apoyado por dataciones de Heusser et al., (1990) y Clapperton et al., (1995) en las costas del lago proglacial en muestras que revelan crecimiento de turba en condiciones atmosféricas entre los 15.600 y 14.380 años cal AP, lo que indica ausencia de cuerpos de agua entre esas edades. Cabe destacar que no hay un drenaje hacia el Océano Atlántico puesto que la batimetría de la zona (Figura N°23) indica que el área este del Estrecho se encuentra a una mayor altitud en comparación con el extremo occidental, por lo que el drenaje se realiza preferentemente hacia el oeste, zona que además de su profundidad se encontraría deprimida por el peso de los cuerpos de hielo que se desarrollan en la zona.

Este evento de desglaciación coincide con el segundo paso de calentamiento climático de los tres identificados mediante registros paleoambientales por McCulloch et al., (2000) para Patagonia y es definido en Patagonia norte en la Región de los Lagos entre los 15.650 y 15.350 años cal AP por la desaparición de tundra magallánica y un cambio a vegetación de climas más cálidos. En Magallanes central, la vegetación durante la desglaciación de D4 presenta un cambio con el reemplazo de especies *Empetrum* por vegetación de tundra-estepa mesica, lo que indica condiciones más húmedas pero con la persistencia de climas más fríos que en el presente (McCulloch y Davies, 2001) No obstante, la expansión de la especie *Myriophyllum* sugiere un calentamiento de 3°C con respecto al intervalo anterior (McCulloch et al., 2000)

La desglaciación del sub-avance D4 no afecta el puente terrestre que une Primera y Segunda Angostura con Tierra del Fuego puesto que el nivel del mar durante este escenario se encuentra alrededor de ~90 metros por debajo del nivel actual (Figura N°22).

No se han encontrado registros arqueológicos correspondientes a este período en Magallanes.

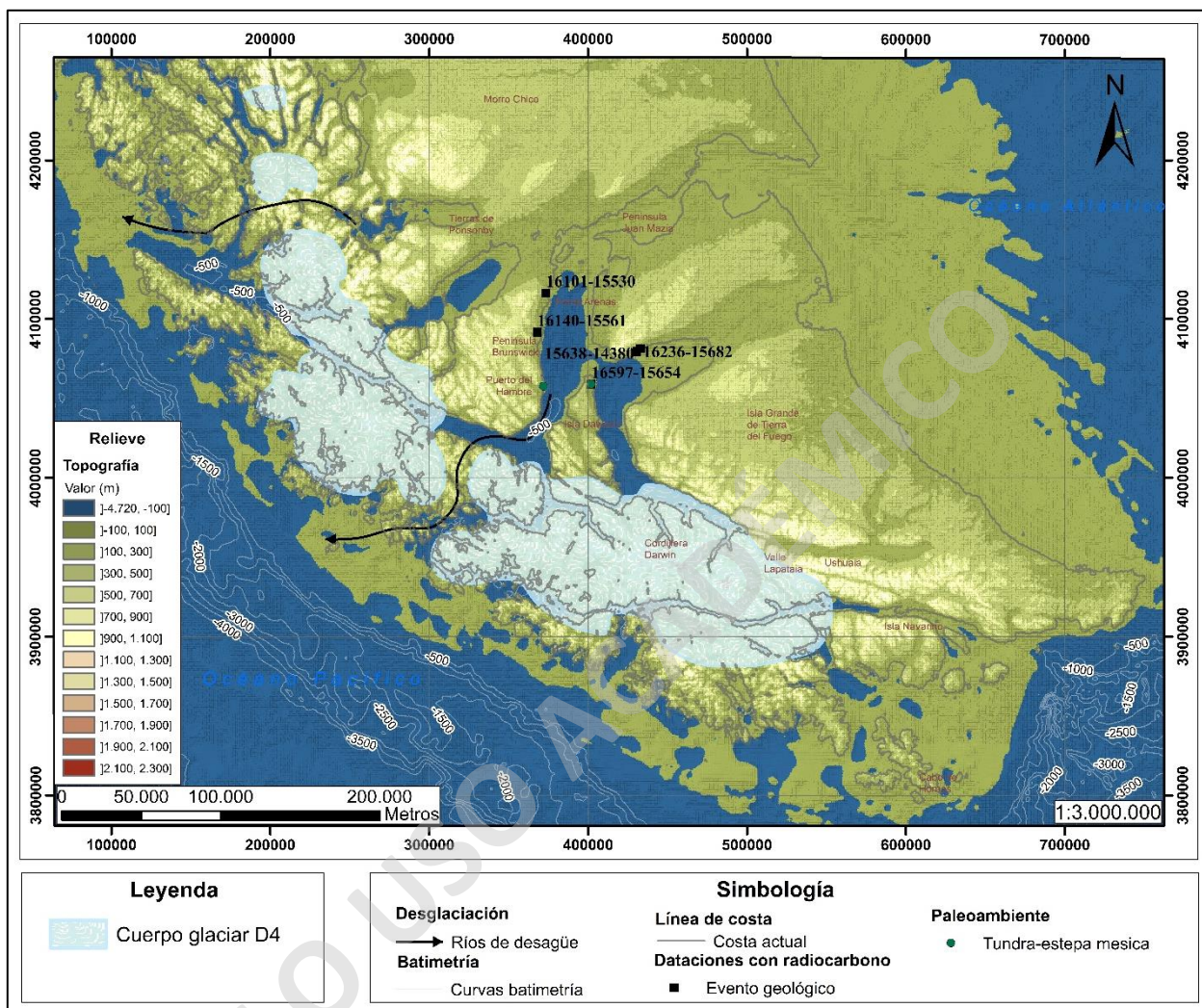


Figura N°29: Reconstrucción paleográfica de la Desglaciación del cuerpo glaciar D4 (16.100-15.300 años cal AP). (Elaboración propia)

### 5.2.3 Etapa glacial E (15.100-11.700 años cal AP)

Con posterioridad a la desglaciación previamente descrita ocurre un nuevo avance glaciar denominado Avance E entre los 15.100 y 11.700 años cal AP (McCulloch et al., 2005a; Tabla N°3). La edad máxima de este avance es proveída por una capa de tefra depositada a través del Estrecho y Tierra del Fuego correspondiente a la erupción del volcán Reclús, la cual está datada entre los 15.100 y 14.400 años cal AP (Tabla N°3). Por otro lado, la edad mínima de este avance es dada por dataciones en turba subyaciendo capas de arcilla obtenida de testigos sedimentarios en las costas de Bahía Inútil (McCulloch et al., 2005b) que indican el retorno a condiciones sub aéreas,

producidas por la formación de un extenso lago proglaciar, que a su vez indica la presencia de un cuerpo glaciar hasta los 11.700 y 11.300 años cal AP (Tabla N°3)

Este avance es registrado geomorfológicamente por la presencia de líneas de paleo costas en Isla Dawson que se ubican por sobre sedimentos del Avance Glaciar D y que son atribuida a la formación de un amplio lago proglaciar que cubre la zona central del estrecho de Magallanes, desde las costas de la Isla Dawson hasta Bahía Inútil y Bahía Gente Grande (Figura N°30). Este lago está represado por depósitos morrénicos en la zona de Península Juan Mazia hacia el noreste y por el cuerpo glaciar hacia el suroeste (McCulloch y Bentley, 1998; McCulloch et al., 2005b). Por otro lado, en la zona norte de Isla Dawson las paleo costas gradan a depósitos morrénicos tanto hacia el este como a el oeste, por lo que se interpreta que estas morrenas marcan la máxima extensión del Avance E (McCulloch y Bentley, 1998; Bentley et al., 2005; McCulloch et al., 2005b).

El nuevo avance glaciar E no afectan el puente terrestre que une Primera y Segunda Angostura con Tierra del Fuego puesto que el nivel del mar durante este escenario se encuentra 80m por debajo del nivel actual (Fleming et al., 1998; McCulloch y Morello, 2009) por lo que el mar no habría ingresado aún a esta zona.

Cabe destacar que, este avance E es sincrónico con la Reversa Fría de la Antártica del Hemisferio sur que toma lugar desde los 14.800 años cal hasta los 12.700 años cal AP (McCulloch et al., 2005a; McCulloch y Morello, 2009) y hacia sus períodos finales con el evento frío del Younger Dryas del Hemisferio norte que ocurre entre los 12.800 y 11.600 años cal AP (McCulloch et al., 2005a).

Con respecto a este avance, se discute si el enfriamiento y aumento de las precipitaciones producto del desplazamiento en el Océano Pacífico del núcleo de los vientos del oeste desde el norte (45° latitud sur) a su posición actual (50° latitud sur), habría sido el responsable de la formación del cuerpo glaciar del Avance E, que va en contra de una tendencia general global de retroceso y derretimiento glacial (McCulloch et al., 2000; McCulloch y Morello, 2009).

Paleoambientalmente, no hay enfriamiento significativo de la temperatura durante este período por lo que continúan los climas fríos de tundra-estepa en la zona central del estrecho de Magallanes, sin embargo, hay un decrecimiento de la humedad efectiva indicado por la aparición de especies tipo *Empetrum* con un inicio de una intensa fase árida a los 12.270 y que se extiende

más allá del final de la Etapa Glacial E (McCulloch y Davies, 2001). Asimismo, durante este intervalo (15.100-11.700 años cal AP) se produce el primer pulso de condiciones ambientales óptimas para la aparición y expansión de los bosques *Nothofagus* entre los 13.500 y 12.800 años cal AP con un peak de dominancia a los 12.650 años cal AP (Mansilla et al., 2018). Aparece la especie *Nothofagus dombeyi* en Ushuaia, Terra Australis y La Correntina en Canal Beagle (Heusser, 1998; Musotto et al., 2016a, 2016b) como también en Punta Yartou en Seno Almirantazgo (Mansilla et al., 2016) También, los registros de polen muestran cambios frecuentes entre pastizales y brezales de corta duración con períodos de 100 a 200 años (McCulloch y Davies, 2001).

Cabe destacar, que durante este intervalo temporal se encuentran los sitios arqueológicos más antiguos de la zona correspondiente a Cueva Fell, Cueva de los Chinges, Cueva del Puma y Cueva Tres Arroyos 1 (Figura N°30) con edades desde los 13.000 años cal AP aproximadamente hasta los 11.700 años cal AP. Estos sitios se caracterizan por pertenecer a cazadores-recolectores nómades terrestres de la transición Pleistoceno-Holoceno de cultura Fell I, los cuales consumían netamente recursos terrestres cazando especies extintas tales como camélidos, caballo nativo y milodón y especies actuales como el guanaco (Massone et al., 2016). Las cacerías se producen con dardos y lanzas con puntas “cola de pescado” (Massone, 2004). Por lo tanto, durante este intervalo temporal había una migración humana y de fauna desde la zona de Patagonia sur hacia Tierra del Fuego, por el puente terrestre entre Primera y Segunda Angostura.

En este periodo la megafauna comienza a disminuir para finalmente desaparecer casi completamente.



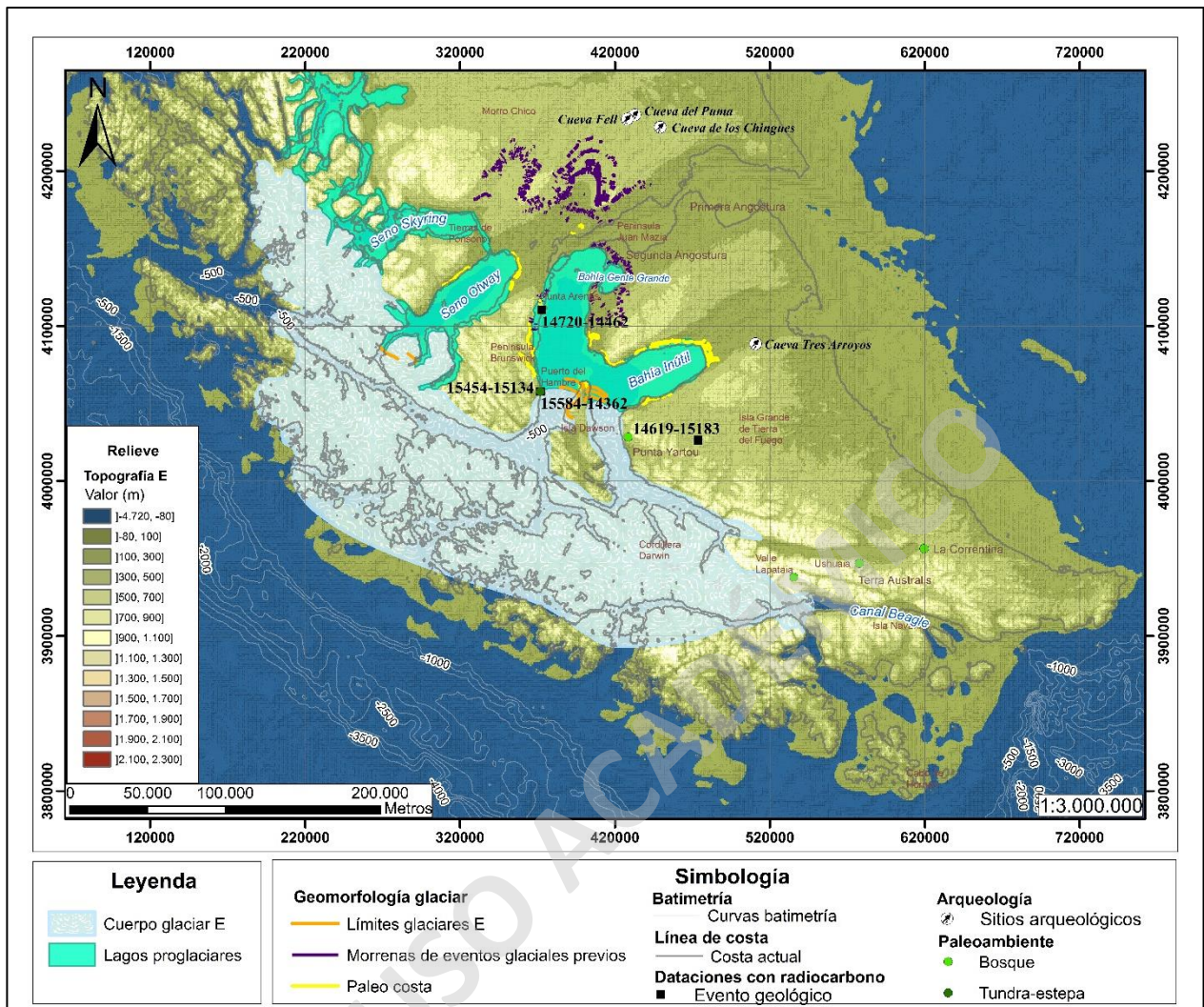


Figura N°30: Reconstrucción paleográfica de la Etapa Glacial E (15.100-11.700 años cal AP) (Elaboración propia)

### 5.2.4 Desglaciación E e Inicio de Ingresión Marina (11.700-9.700 años cal AP)

El término de la Etapa Glacial E es marcado por un retroceso rápido de los hielos hacia la zona cordillerana lo que, igual que en la Etapa Glacial D4 anterior, lleva a una ruptura de la represa de hielo que contiene al lago proglaciar permitiendo que este drene hacia el Océano Atlántico y el Pacífico, entre los 11.700 y 11.300 años cal AP (Tabla N°3; Figura N°31). Esta desglaciación que se da a inicios del Holoceno corresponde con el tercer y último paso de calentamiento ambiental definido por McCulloch et al., (2000) hacia los 11.400 años cal AP, el cual genera condiciones interglaciares en Patagonia.

Durante este período se inicia el ingreso de agua marina hacia la zona del estrecho de Magallanes, mayoritariamente desde el Océano Pacífico y en menor medida desde el Océano

Atlántico. De todas formas, como el nivel del mar se encuentra 40m por debajo del nivel actual (Fleming et al., 1998), su altura no es suficiente para erosionar el puente terrestre de Primera y Segunda Angostura (Figura N°31), los que todavía permiten el paso de los hombres y fauna hacia Tierra del Fuego.

Esta ingesión es registrada por terrazas transicionales glaciales-marinas denominadas Terrazas de primer orden (I) por Brambatti et al., (1998), las que se extienden semi paralelas a lo largo de las costas del estrecho de Magallanes y se alzan de 18 a 25m s.n.m. Tierra adentro gradan a geomorfologías glaciares como planicies de desglaciación y morrenas, mientras que hacia la costa están limitadas por paleo escarpes. Los depósitos de estas terrazas sobreyacen en una discontinuidad erosiva a los antiguos depósitos glaciares y, en sus secuencias estratigráficas se puede observar la evolución desde ambientes continentales glaciares a marinos, con sedimentos glaciares interpretados como planicies de desglaciación fluvial-glaciar en la base, que luego cambian a sedimentos lacustres y posteriormente a sedimentos marinos litorales en el techo (Brambatti et al., 1998; De Muro et al., 2015). Brambatti et al., (1998) datan una turba en una de estas terrazas en Río Verde en la que obtiene una edad entre los 10.606 y 8.375 años cal AP, sobre la cual se encuentran depósitos sedimentarios que marcan el inicio de ambientes marinos en el sector central del Estrecho. Por otro lado, Kilian et al., (2013b) propone una ingesión marina más antigua en el sector occidental del Estrecho asociada a la apertura del Canal Jerónimo a los 14.000 años cal AP y de Canal Gajardo a los 10.000 años cal AP, por lo que Seno Skyring y Seno Otway se encuentran abiertos al mar durante este intervalo (Figura N°31).

Paleoambientalmente, continua la intensa fase árida que se viene arrastrando desde el final de la etapa glacial anterior y se expande el bosque *Nothofagus* en Puerto del Hambre entre los 12.270 y 12.110 años cal AP (McCulloch y Davies, 2001). En Patagonia se registra un calentamiento sustancial a los 11.400 años cal AP (McCulloch et al., 200) donde se alcanza temperaturas similares a las actuales. Más tarde, a los 10.556-10.266 años cal AP hace erupción el volcán Hudson y entre los 10.153-9.700 el volcán Monte Burney (Mansilla et al., 2016). Entre los 11.930 años cal AP y los 9.530 años cal AP hay una dominancia de herbazales en la zona central del Estrecho y se destaca un aumento de la actividad incendiaria a los 10.690 años cal AP (McCulloch y Davies, 2001). Por otro lado, durante este intervalo en Tierra del Fuego ocurre el segundo pulso para el establecimiento del bosque *Nothofagus* entre los 10.500 y 9.900 años cal AP

(Mansilla et al., 2018) con la aparición de *Nothofagus dombeyi* en Ushuaia (Heusser, 1998), Cañadón del Toro (Borromei et al., 2016), Lapataia (Heusser, 1989b), Puerto Haberton (Markgraf y Huber, 2010) y Valle Andorra (Borromei, 1995) en Canal Beagle.

Con respecto al desarrollo humano, los sitios arqueológicos de este escenario corresponden a Cueva Tres Arroyos, Pali Aike y Cueva Fell los que datan desde los 11.700 años cal AP aproximadamente hasta los 9.100 años cal AP y corresponden a cazadores recolectores nómades terrestres de modalidad cultural Fell I. Las poblaciones humanas y animales de la zona se han visto fuertemente afectadas por el cambio climático, hay extinción de la megafauna, pero los humanos continúan en la zona (Massone et al., 2016) Aún no hay humanos en el archipiélago pacífico, pero las condiciones de este mejoran al liberarse del hielo.

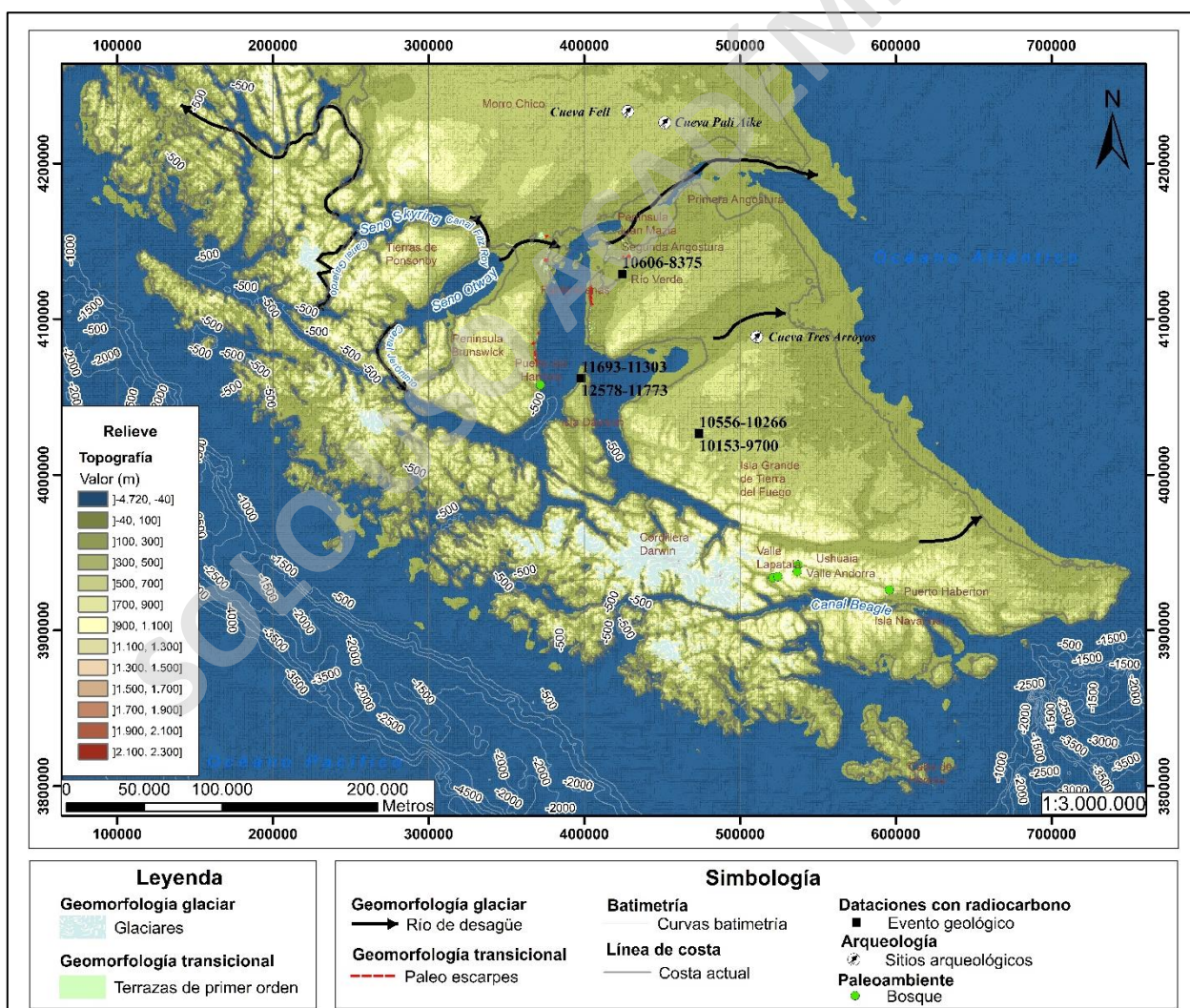


Figura N°31: Reconstrucción paleogeográfica de la Desglaciación E e Inicio de la Ingresión Marina (11.700-9.700 años cal AP) (Elaboración propia)

### **5.2.5 Formación del Estrecho de Magallanes (9.500-8.200 años cal AP)**

A medida que continúa el aumento progresivo del nivel mar durante el Holoceno hasta llegar a los 20m por debajo del nivel actual (Fleming et al., 1998), el mar ingresa en el Estrecho de Magallanes entre los 9.500 y 8.200 años cal AP, lo que genera la separación de Isla Tierra del Fuego del continente.

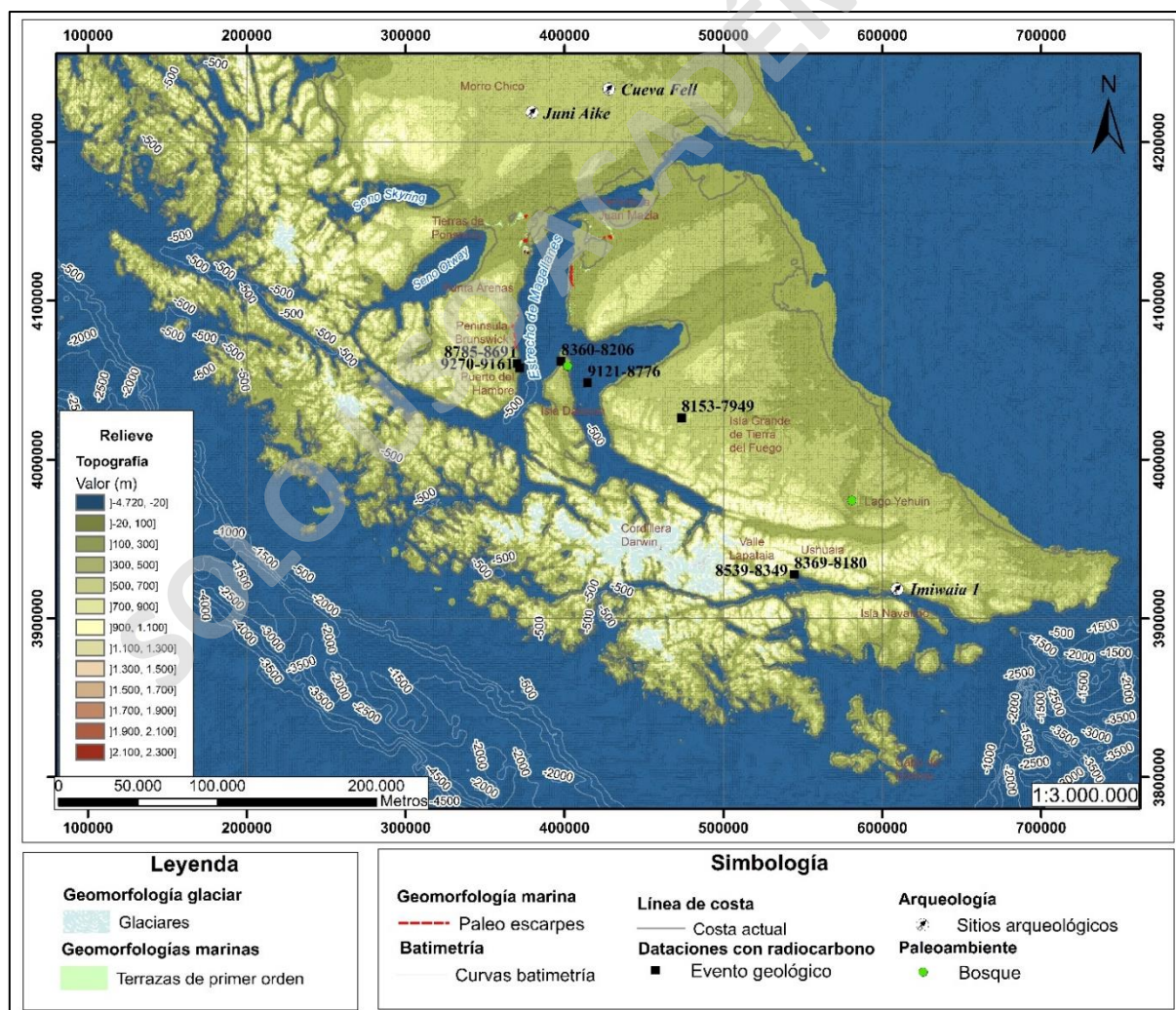
Este evento ha sido datado e interpretado a partir de secuencias estratigráficas y testigos sedimentarios en las siguientes localidades: Porter et al., (1984) data el inicio de la incursión marina en Puerto del Hambre entre los 8.785-8.691 años cal AP en una turba que subyace a una capa de arcilla gris azulada con restos de foraminíferos marinos y en Punta Pingüinos Auer (1974) data una arcilla marina entre los 8.369 y 8.539 años cal AP. Por otro lado, McCulloch y Davies (2001) registran el inicio de condiciones marinas en Puerto del Hambre II a los 9.270 años cal AP por la presencia de especies bentónicas en testigos sedimentarios, mientras que McCulloch et al., (2004) data una turba subyaciendo a sedimentos marinos en Cabo Valentín II, en 8.360 años cal AP. Considerando los datos anteriores (Tabla N°3), la ingesión marina en la zona central del estrecho de Magallanes se infiere que comienza alrededor de los 9.200 años cal AP aproximadamente. Esta ingesión ha sido también registrada por Brambatti et al., (1998) en las terrazas de primer orden, las cuales presentan en su secuencia estratigráfica las evidencias de los inicios de la incursión marina en las costas del estrecho de Magallanes y cuya única datación disponible en Río Verde, es entre los 10.606 y 8.375 años cal AP.

Estas edades se encuentran en concordancia con las reportadas por Aracena et al., (2015) quien a partir de muestras de sedimentos de testigos sedimentarios en Canal Whiteside señala que la salinización de las aguas del Estrecho ocurre entre los 9.121 y 8.776 años cal AP, lo que es interpretado como una ingesión marina total que erosiona el puente terrestre entre Primera y Segunda Angostura, formando el Estrecho de Magallanes, y separando a Isla Grande de Tierra del Fuego del continente (Figura N°32).

En términos paleoambientales, durante la ingesión marina de esta etapa se presentan asociaciones de diatomeas en las costas centrales del Estrecho, particularmente en Puerto del Hambre e Isla Dawson (McCulloch y Davies, 2001). Al mismo tiempo, en este intervalo se expande el bosque *Nothofagus* en Isla Dawson a los 9.530 años cal AP (Markgraf, 1983) y también a los

9.000 años cal AP en Lago Yehuín en Tierra del Fuego (McCulloch y Davies, 2001). A los 8.510 años cal AP se inicia una reducción de la humedad efectiva en el ambiente y se produce la erupción del volcán Hudson entre los 8153-7949 años cal AP (Stern et al., 2008).

Los sitios arqueológicos de esta etapa han sido reconocidos en Cueva Pali Aike, Imiwaia I y Cueva Fell, estos corresponden a cazadores-recolectores terrestres nómades de tradición cultural Fell III. Al producirse la apertura del estrecho de Magallanes algunos grupos humanos habrían quedado aislados en Tierra del Fuego (Massone et al., 2016). En el continente, los cazadores recolectores terrestres presentan nuevas tecnologías de caza, la tecnología lítica de las puntas cola de pescado es reemplazada por puntas proyectil apedunculadas y se incluyen pequeños raspadores y boleadoras (Massone et al., 2016) Asimismo, la dieta cambia de ser basada completamente en recursos terrestres a una dieta mixta con recursos marinos.



**Figura N°32:** Reconstrucción paleográfica durante la Formación del Estrecho de Magallanes (9.500-8.200 años cal AP) (Elaboración propia)

### 5.2.6 Ingresión marina máxima (7.500-5.000 años cal AP)

Durante el Holoceno medio, entre los 7.420 y 7.340 años cal AP el nivel del mar continúa alzándose, alcanzado su máxima altura de 3,5m sobre el nivel actual (Porter et al., 1984; McCulloch y Davies, 2001 Figura N°33) producto de las extensas desglaciaciones que están ocurriendo globalmente, donde los cuerpos glaciares han disminuido y llegan a sus volúmenes actuales cerca de los 7.000 años (Dyke y Prest, 1987)

Esta etapa está registrada en las terrazas marinas de segundo orden (II) alzadas desde 11 a 6m s.n.m. (Brambati et al., 1998), expuestas de manera regular y continua a lo largo de la costa del Estrecho y limitadas por paleo escarpes (Figura N°33) en sus márgenes, que las separan tierra adentro de las terrazas transicionales de primer orden (I) y hacia la costa de las terrazas marinas de tercer orden (III). Asimismo, sus depósitos tienen un alto contenido fosilífero de gasterópodos y bivalvos, y están asociados a una amplia variedad de morfologías de origen marino tales como los paleo escarpes antes mencionados, barras de arena y espolones (De Muro et al., 2012, 2015, 2017, 2018). Brambatti et al., (1998) data estas terrazas en Punta Delgada, Puerto Percy, Punta Zegers y Punta Gente con edades de 6.827, 6.478, 7.509 y 7.125 años cal AP respectivamente, lo que da un rango de formación entre los 7.125 años cal AP y 6.478 años cal AP.

Las terrazas marinas de esta edad han sido reconocidas con alturas mayores a 3,5m s.n.m. y hasta 11 m, lo que sugiere presencia de actividad neo tectónica o isostática en el área, con posterioridad a su formación.

Durante los inicios de este intervalo, hay una reducción sustancial de la extensión del bosque *Nothofagus* en Tierra del Fuego producto de la reducción de la humedad efectiva desde el final del escenario anterior y permanece hasta los 6.570 años cal AP (Mansilla et al., 2018). Al igual, hay un aumento en las concentraciones de carbón, lo que sugiere una fase árida que también podría aportar a la contracción de los bosques y a la expansión de herbazales con especies tipo *Asteraceae* y *Acaena* (Mansilla et al., 2018). Posterior a los 6.570 años cal AP hay un incremento en la humedad efectiva y aumenta nuevamente el bosque de *Nothofagus* en Tierra del Fuego, extendiéndose en Onamonte a los 6.000 años cal AP (Heusser, 1993). Por otro lado, en las costas de la zona central del estrecho de Magallanes, hay un cambio de las especies marinas bentónicas a plantónicas, lo que indica ambientes marinos más profundos (Vos y de Woff, 1993)

En cuanto al desarrollo humano, se reconoce la presencia de cazadores recolectores nómades terrestres de cultura Fell III en la zona este de Magallanes y Tierra del Fuego cuyos sitios arqueológicos corresponden a Túnel 1, Cueva Fell, Laguna Arcillosa 1, 2 y 3, Marazzi 1, Cabo Monmouth y Cerro Las Bandurrias.

Mientras que, durante el máximo nivel marino, ingresan los pueblos canoeros que extienden su presencia desde el sur de Chiloé hasta el canal Beagle. Estos corresponden a cazadores-recolectores marinos con una avanzada tecnología marítima los que se dividen en dos culturas; en primer lugar se encuentran los cazadores-recolectores marinos de cultura Englefield (Seno Otway) en los sitios de Bahía Buena, Bahía Colorada, Englefield 1, Pizzulic 1 y 2, Punta Carrera, Punta Santa Ana 1, Río Chico y Seno Grandi 1. En segundo lugar, se encuentran los cazadores-recolectores marítimos de cultura Ponsonby (Isla Riesco) cuyos restos se encuentran en el sitio homónimo.

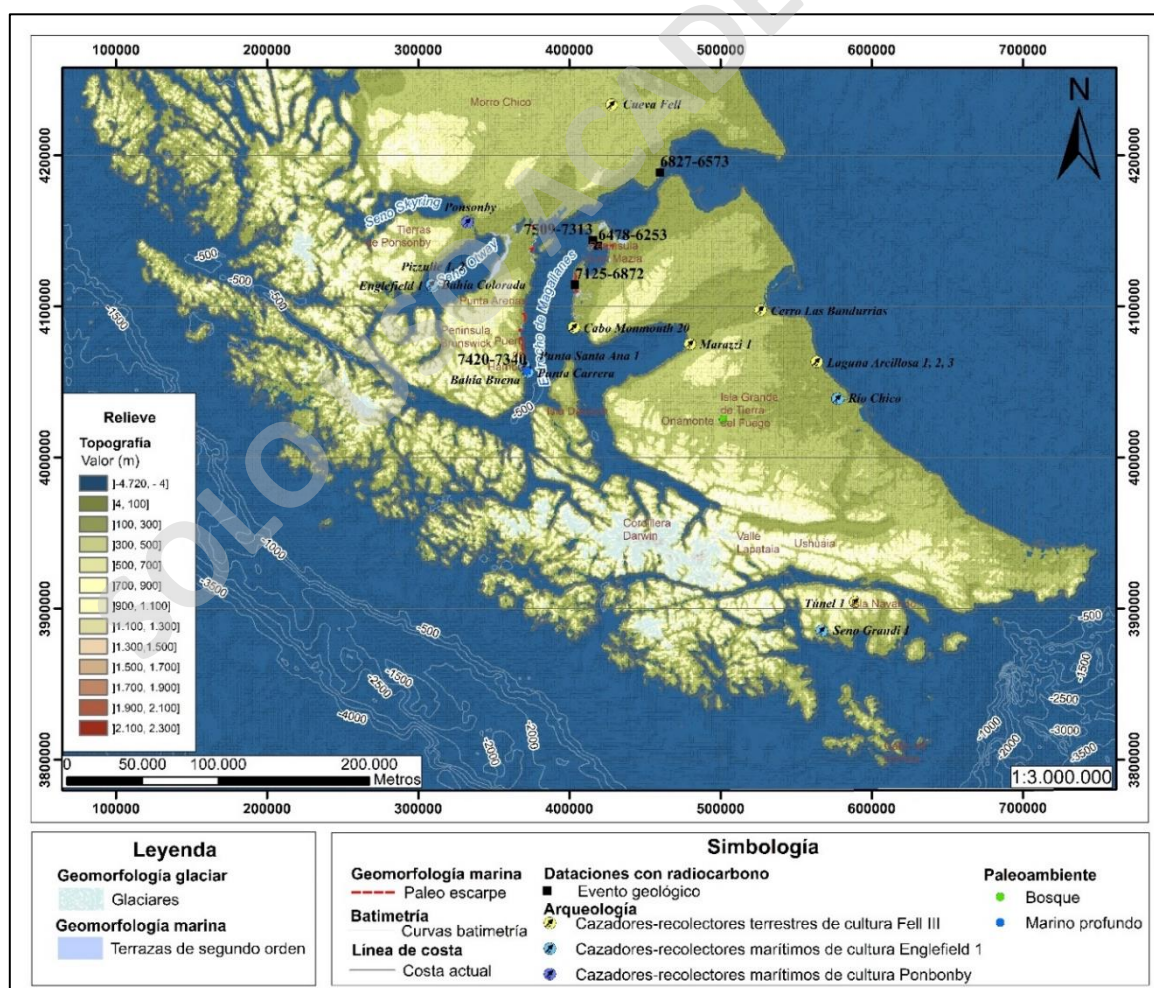


Figura N°33: Reconstrucción paleogeográfica durante el Máximo Nivel del Mar (7.500-5.000 años cal AP) (Elaboración propia)

No se conoce con certeza la relación de estos canoeros con los cazadores terrestres más antiguos que permanecen desarrollándose en la zona. Con estos grupos de cazadores recolectores marinos, aparece la navegación, el uso de arpones y la explotación de obsidiana verde de los alrededores del Seno Otway (Massone et al., 2016) asociado a la cultura Englenfield y de obsidiana negra en la zona de Isla Riesco en sitios asociados a la cultura Ponsonby. A los 5200-5300 años cal AP se produce un cambio tecnológico o de poblaciones en el área del archipiélago.

### **5.2.7 Establecimiento de las condiciones actuales del Estrecho de Magallanes (5.000-2.000 años cal AP)**

Alrededor de los 4.000 años las condiciones glaciales y marinas se estabilizan a través de la Tierra (Kilian et al., 2013b), los glaciares se posicionan en sus ubicaciones actuales con cambios menores en el volumen y el nivel del mar desciende a su nivel actual entre los 4.443 y 4.286 años cal AP, datado por Porter et al., (1984) como el término de condiciones marinas en Puerto del Hambre (Figura N°32).

Esta etapa es registrada por las terrazas marinas de tercer (III) y cuarto orden (IV) (Figura N°36) de edad 3.000 y 2.500 años AP (Brambati et al., 1998; De Muro et al., 2012) y 1.200 - 2.500 años AP (Brambati et al., 1998), respectivamente. Las terrazas de tercer orden (III) se alcanzan de 5 a 3m s.n.m (Brambati et al., 1998) y están dispuestas en franjas angostas que siguen de manera paralela a la costa actual mientras que, las terrazas de cuarto orden (IV) se alcanzan de 2 a 1m s.n.m. y su distribución es discontinua a lo largo de la costa. Según Brambati et al., (1998) estas terrazas indican alzamiento continuo durante el Holoceno tardío, sin embargo, la disposición de estas no da indicios de cambios mayores en las costas del Estrecho debido a su disposición casi idéntica a la configuración actual.

Durante este intervalo, hace erupción volcánica el Monte Burney entre los 4.407 y 4.154 años cal AP (McCulloch, 1994) y hay una reducción de los bosques *Nothofagus* entre los 4.300 y 3.890 años cal AP, acoplado a aumento de vegetación de brezales con especies tipo *Ericaceae*. Según Mansilla et al., (2018) estos cambios en la distribución de la vegetación son efectos atribuibles a la erupción volcánica debido a la corta duración de estas condiciones (~400 años). Finalmente, entre los 3.890 y 2.640 años cal AP hay un desarrollo de bosque *Nothofagus* en Lago



Lynch (Figura N°34) en Tierra del Fuego facilitado por niveles altos de humedad efectiva (Mansilla et al., 2018).

Durante este período los humanos hacen ocupación efectiva de la mayoría de los territorios del Estrecho de Magallanes y Tierra del Fuego. Se encuentran registros de los cazadores-recolectores terrestres en los sitios Bahía Munición 3, Bahía Posesión 3, Cabo Monmouth 20, Cabo San Vicente I, Cañadón Cóndor, Cañadón Leona 5, Cueva Cerro Sota, Cueva Fell, Lago Blanco, Laguna Arcillosa 2, Laguna Thomas Gould, Lago Vergara E23, Marazzi 13 y 2, Myrén 2, Porvenir 12E y 17, Punta Catalina, Punta María 2 y 3, San Gregorio 2, Taca Taca sur y Tres Arroyos 14. Mientras que, se encuentran registros de cazadores-recolectores marinos de cultura Ponsonby en Isla Dawson 3, Islote Offing 2, KM 44, Lancha Packewaia, Lautá y Ponsonby y de cazadores-recolectores marinos del período intermedio y tardío de San Román et al., (2016) en Camden 2, Isabel 28, Pizzulic 3, Punta Santa Ana 2, 4 y 5 y Río Chico.

Para este entonces, los grupos humanos han ocupado la mayoría de las tierras disponibles en la zona e intercambian materiales entre sí. En la estepa utilizan bolas y dardos para sus cacerías mientras que en el archipiélago usan arpones y otros materiales de hueso (Massone et al., 2016) Tal vez ya se han establecido las diferencias étnicas y de lenguajes que se conocieron históricamente.

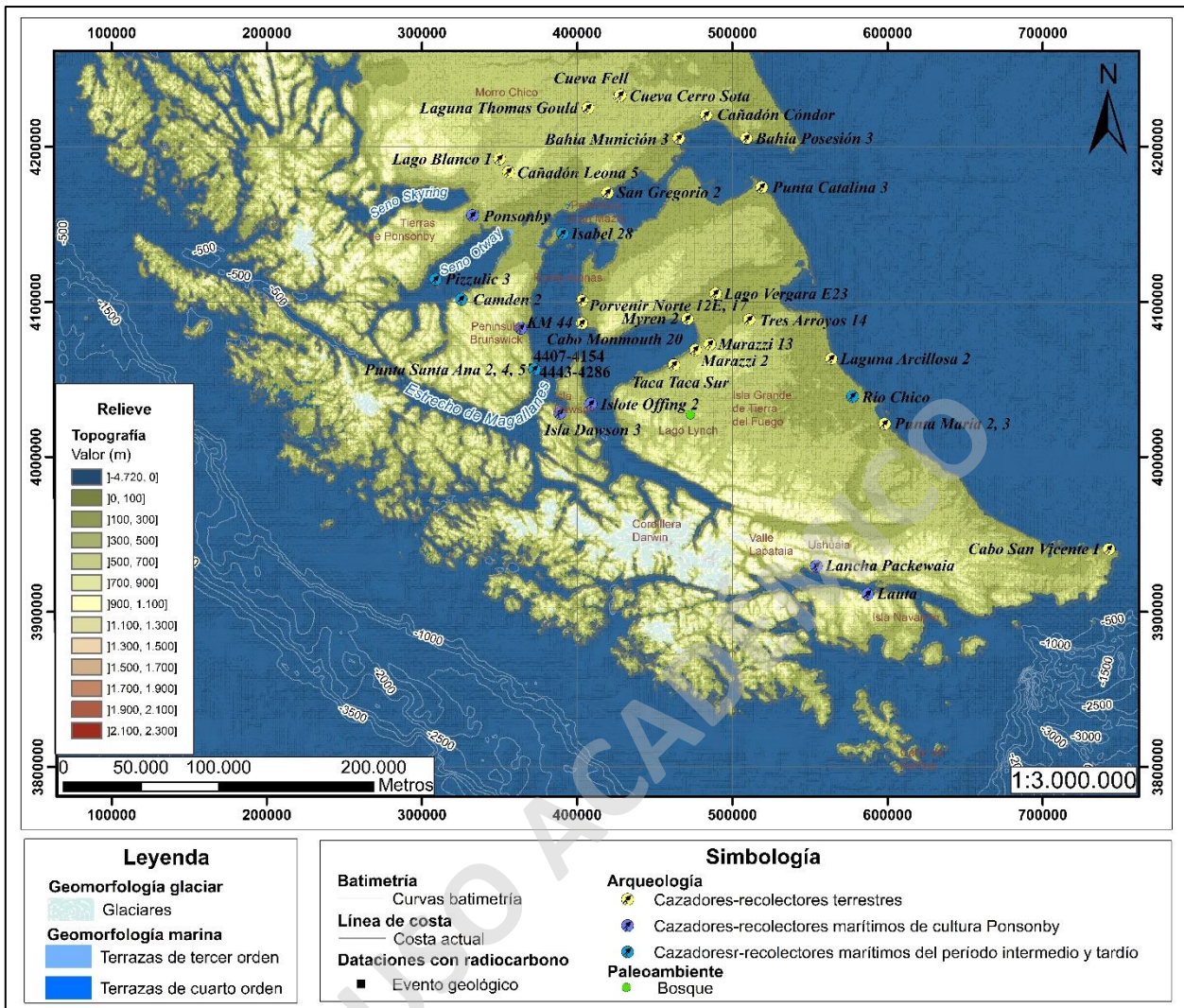


Figura N°34: Reconstrucción paleográfica durante el Establecimiento de las condiciones actuales del estrecho de Magallanes (5.000-2.000 años cal AP) (Elaboración propia)

### 5.3 Historia evolutiva de Patagonia sur y Tierra del Fuego

La Tierra ha sido afectada en distintas etapas de su evolución, por eventos de disminución de la temperatura global que han dado origen a períodos glaciales. Estos períodos corresponden a fases climáticas frías en las que se formaron grandes cuerpos de hielo en el planeta, los que han modelado la superficie, desarrollando múltiples depósitos y formas en el terreno, que evidencian los avances y extensión de los glaciares.

En el extremo sur de Sudamérica, en Patagonia han sido reconocido periodos glaciales que se remontan desde 7 millones de años atrás (Coronato et al., 2004) hasta los 14.400 años cal antes del presente (McCulloch et al., 2005a).

La última glaciación a nivel mundial o Último Máximo Glacial (UMG) ocurre de manera general a nivel global entre los 23.000 y 18.000 años cal AP (Hulton et al., 2002), mientras que en Patagonia norte en la Región de los Lagos toma lugar entre los 34.300 y 17.700 años cal AP (Denton et al., 1999; Hughes et al., 2013) y particularmente en Magallanes entre los 32.000 y 22.000 años cal representado por el Avance glacial B (McCulloch et al., 2005a) La desglaciación que pone fin al UMG en Patagonia norte inicia a los 17.500 años cal AP y está compuesta por tres pasos de calentamiento climático reconocidos por McCulloch et al., (2000).

El Último Máximo Glacial corresponde a un evento de extensión de los casquetes de hielo desde los polos y el momento donde los glaciares continentales se encuentran en su máxima extensión, lo cual, en términos generales fue sincrónico en los Hemisferios norte y sur. Grandes campos de hielos se desarrollaron en Norteamérica, el norte de Europa, el norte de Rusia y en la Antártica (Bowen, 2008). Durante este evento, las temperaturas promedio anuales en el Hemisferio norte eran de 2° a 7° más bajas que las actuales (Bigelow, 2013) y en Patagonia 6°C por debajo de lo actual (Hulton et al., 2002).

Debido a la gran cantidad de agua contenida en los glaciares en forma de hielo, el nivel del mar se encontraba 120m por debajo del nivel actual (Clapperton 1993, Schneider 2000, Heusser 2003, Rabassa et al., 2005, McCulloch et al., 2005a) por lo tanto, las líneas de costa y su ubicación eran muy diferentes a lo que se ve hoy en día. Al igual, producto de los grandes volúmenes de hielo acumulados en algunas zonas, la corteza se encontraba deprimida bajo el peso de estos (Bowen, 2008).

Con respecto a la ocupación humana, está en discusión si los humanos ya habrían ingresado al continente americano para este entonces. De igual forma, no hay evidencias de poblamiento en Patagonia.

A modo regional, durante este Último Máximo Glacial (UMG) en la zona sur de Sudamérica, el núcleo de los vientos del oeste estaba centrado en el Pacífico, entre los 45° y los 50° latitud sur, aproximadamente a altura de los actuales campos de hielo norte y sur (McCulloch et al., 2000) Esto permite que las precipitaciones en forma de nieve se acumulen cubriendo de manera continua en forma de hielo la zona cordillerana (Hulton et al., 2002).

En el área aledaña al estrecho de Magallanes, el manto de hielo del UMG abarcaba desde la zona cordillerana por el oeste, Cordillera Darwin por el sur y cubría los fiordos de Seno Skyring y Seno Otway hacia el este (McCulloch et al., 2000, Hulton et al., 2002). En el estrecho de Magallanes los glaciares del UMG, denominados Avance B, llegaban hasta Península Juan Mazía, Bahía Gente Grande y Bahía Inútil. La máxima extensión del avance glacial está definida en el paisaje por la presencia de depósitos glaciares terminales (Clapperton et al., 1995, McCulloch et al., 2005)

Con posterioridad al Último Máximo Glacial (UMG), entre los 17.500 y 17.150 años calibrados antes del presente (AP) (McCulloch et al., 2000; McCulloch y Davies, 2001) y hasta la actualidad, se desarrolla una etapa de desglaciación a nivel mundial, asociada a un aumento drástico de las temperaturas registrada desde los 16°S hasta el estrecho de Magallanes que indica el paso de un período glacial a uno interglacial (McCulloch et al., 2000).

Después del Último Máximo Glacial existe una marcada asincronía entre el comportamiento de los hielos en los Hemisferios norte y sur (Denton et al., 2010). Posteriormente del UMG, ocurre el Estadial Heinrich 1 (HS1) en el Hemisferio norte, mientras que durante este mismo stadial, las condiciones se vuelven más templadas en el Hemisferio sur. Después, mientras que en el Hemisferio norte hay un aumento de la temperatura durante el Bølling-Allerød (B/A) hay un decrecimiento de la temperatura durante la Reversa Fría de la Antártica (ACR, 14.800-12.700 años cal AP) en el Hemisferio sur. Finalmente, cuando en el Hemisferio norte ocurre el stadial Younger Dryas, en el Hemisferio sur hay un calentamiento climático (Denton et al., 2010)

Regionalmente, Patagonia norte y central muestra una tendencia general de retroceso después del primer pulso de condiciones climáticas interglaciales a los 17.500 años cal AP, que es acentuado con el segundo pulso entre los 15.650 y 15.350 marcado especialmente en la Región de los Lagos, sin embargo en Magallanes ocurren nuevos avances glaciares (McCulloch et al., 2000).

Con relación a ocupaciones humano, no hay evidencia arqueológica de humanos en Patagonia, aunque si en el sector de Monte Verde, Región de los Lagos (Dillehay, 1989) donde se encuentran rastros que datan alrededor de ~14.600 años cal AP (Dillehay, 1989; Dillehay, 1997).

En Magallanes, antes de los 17.700 años y 16.100 años cal AP, ocurre un avance glacial denominado Avance D compuesto de cuatro sub-avances consecutivos denominados D1, D2, D3 y D4, estos son de menor magnitud que los desarrollados durante el UMG y han sido registrados y reconocidos por depósitos glaciares terminales en el estrecho de Magallanes y en Bahía Inútil el cual forma un lago proglacial en el frente este del cuerpo de hielo D4 (figura N°28) producto del derretimiento del mismo (McCulloch et al., 2005a). Durante esta etapa, el nivel del mar se encontraba unos 100m bajo el nivel actual (McCulloch y Morello, 2009) y pesar de que hay un calentamiento global general del clima, las condiciones frías se mantienen en el estrecho de Magallanes, con temperaturas 6 a 7°C más frías que en la actualidad (McCulloch et al., 2000).

En la zona central del Estrecho los climas eran de tundra y estepa (McCulloch y Davies, 2001) La tundra se caracteriza por ser un clima muy frío con temperaturas promedio de 4°C y con precipitaciones semi abundantes de ~1000mm anuales con forma de nieve en invierno, mientras que la estepa es un poco más templada (9°C promedio), pero con menos precipitaciones, estos climas son similares a los que encontramos hoy en Puerto Williams y en el norte de Tierra del Fuego, respectivamente (Silva y Calderón, 2018) La vegetación predominante en el centro del estrecho de Magallanes era de brezales con plantas del tipo *Ericaceae*, *Poaceae*, *Acaena* y *Empetrum* (McCulloch y Davies, 2001) correspondientes a arbustos, matas y hierbas.

Durante este período, aún no hay evidencia arqueológica de poblaciones humanas en torno a Magallanes en Chile y Argentina, sin embargo, se han reconocido megafauna abundante.

En un contexto global, a nivel mundial continua la desglaciación manifestada por el retroceso general de los cuerpos de hielo. Asimismo, en Patagonia ocurre una segunda fase de

desglaciación que ha sido reconocida en la Región de los Lagos entre los 15.650 y 15.350 años cal AP (McCulloch et al., 2000; McCulloch y Davies, 2001).

Paleoambientalmente hablando, en la Región de los Lagos desaparecen las plantas del tipo tundra magallánica y se expande la vegetación de condiciones más cálidas, mientras las altas precipitaciones se mantienen.

Con respecto a la arqueología, en Monte Verde hay evidencias de poblaciones humanas moviéndose por largas distancias hacia el este y oeste de la Cordillera de los Andes, utilizando recursos del mar y cazando megafauna (Dillehay, 1989).

En Magallanes, los glaciares del Avance glacial D4 retroceden hacia la zona cordillerana entre 16.100 y 15.300 años cal AP (Figura N°29), y, en consecuencia, los lagos proglaciares previamente formados y represados por el hielo, drenan sus aguas hacia el Pacífico (McCulloch y Morello, 2009; McCulloch et al., 2005).

El nivel del mar estaba ubicado unos 100 a 80m bajo el nivel del mar actual (Fleming et al., 1998), no obstante, el nivel del mar no es aún lo suficientemente alto para ingresar al continente, por lo que el estrecho de Magallanes aún no se forma.

Climáticamente, reaparece vegetación del tipo *Myriophyllum* que es afín con las condiciones más cálidas climáticas (McCulloch y Bentley, 2001) e indica un aumento de temperatura de 3°C con respecto con el Avance glacial D anterior y aproximadamente 4° más bajas que las temperaturas actuales (McCulloch et al., 2000), por lo que las condiciones frías permanecen pero hay un aumento en la humedad efectiva.

Este período constituye una oportunidad para el paso de grupos humanos, por las zonas actualmente denominadas Primera y Segunda Angostura, sin embargo, aún no hay evidencias arqueológicas de la presencia humana en Magallanes (McCulloch y Morello, 2009).

El evento de desglaciación reconocido a nivel mundial es interrumpido por un período frío en el Hemisferio norte denominado Younger Dryas que ocurre entre 12.800-11.600 años cal AP (Petee, 2009). Asimismo, cercano a esta edad ocurre en el Hemisferio sur un período de enfriamiento temporal denominado Reversa Fría de la Antártica (14.800-12.700 años cal AP; McCulloch et al., 2005).

Entre los 15.507-11.773 años cal AP (McCulloch et al., 2005), el estrecho de Magallanes vuelve a estar cubierto por un cuerpo de hielo que avanzó 80 km desde su origen en la Cordillera Darwin. Este avance fue denominado Avance E (Figura N°30) y sus límites se encuentran registrados en Isla Dawson, en donde se exponen antiguas paleo costas elevadas asociadas al desarrollo de un gran lago proglaciar, el cual se encontraba represado hacia el este por antiguos depósitos glaciares en Península Juan Mazia y, al oeste por el cuerpo glaciar (Clapperton et al., 1995; McCulloch y Bentley, 1998). Este avance coincide con la Reversa Fría de la Antártica (McCulloch et al., 2005) y en el final con el estadal Younger Dryas, también, coincide con el aumento de precipitaciones en la zona oeste del Estrecho relacionadas a la llegada de los núcleos de los Vientos del oeste a Magallanes (McCulloch et al., 2000).

Durante esta etapa el nivel del mar se ubica a unos 80m bajo el nivel actual (McCulloch y Morello, 2009) por lo que el estrecho de Magallanes aún no se forma, y el área estaba cubierta parcialmente de hielo y por un extenso lago.

La temperatura anual promedio sufre un aumento, pero sigue siendo fría y menor a la del presente, hay una reducción de la humedad con respecto al escenario anterior, dando inicio a ambientes levemente más secos (McCulloch et al., 2000; McCulloch y Davies, 2001) indicado por la aparición de especies tipo *Empetrum* con un inicio de una intensa fase árida a los 12.270 años cal AP y que se extiende más allá del final de la Etapa Glacial E. Las precipitaciones aumentan en la zona cordillerana del Estrecho debido al desplazamiento del núcleo de Vientos del oeste a la zona, desde el norte de Patagonia hacia el sur, sin embargo, las precipitaciones se mantienen bajas en el este, debido a que el cuerpo de hielo y a que la cordillera actúa como un obstáculo para el paso de los sistemas frontales (McCulloch et al., 2000). Los ecosistemas son del tipo tundra-estepa seca y fría (McCulloch y Davies, 2001). Kilian et al., (2013b) propone una ingresión marina desde el Pacífico en el lado occidental del Estrecho, con la apertura del Canal Jerónimo a los 14.000 años cal AP.

La ocupación humana de Magallanes comienza hace 13.000 años cal AP cuando los humanos llegan a Cueva Fell, Cueva de los Chingues, Cueva del Puma y Tres arroyos (Massone et al., 2016). La megafauna comienza a disminuir para finalmente desaparecer casi completamente. Las cacerías se producen con dardos y lanzas con puntas cola de pescado, de un tipo que se extienden de Panamá a Patagonia (Massone, 2004).

Hacia los 11.400 años cal AP las condiciones climáticas en Patagonia registran un aumento de las temperaturas llegando a niveles similares a las actuales (McCulloch et al., 2000). Finalizan, en general, en el mundo las condiciones glaciales e inicia un paso a climas más cálidos. Este calentamiento ambiental, que constituye el tercer paso de los tres de Patagonia provoca la fusión de los cuerpos de hielo y reducción de la extensión de estos.

Se produce un retroceso de los campos de hielo hacia Cordillera Andina lo que genera colapso de las represas de hielo del lago proglaciar del evento E, el cual comienza a drenar sus aguas hacia el Pacífico y conjuntamente hacia el Atlántico (Figura N° 31) a través de un río de desagüe que se desarrolla en lo que hoy es el estrecho de Magallanes (McCulloch y Morello, 2009).

Con posterioridad, aproximadamente entre 10.606 y 8.375 años cal AP inician ambientes marinos en el sector central del Estrecho (Brambatti et al., 1998) y en el lado oeste del Estrecho con la apertura de Canal Gajardo a los 10.000 años cal AP (Kilian et al., 2013b) El nivel de mar se encontraba unos 40m bajo el nivel actual (McCulloch y Morello, 2009).

Tierra del Fuego permanece unida al continente al menos a través de Primera y Segunda Angostura. Este intervalo de tiempo constituye la segunda ventana de oportunidades para el paso de humanos y fauna hacia Tierra del Fuego, sin embargo, el río de desagüe del lago proglaciar, que drenaba sus aguas hacia el Atlántico, puede haber constituido una barrera natural peligrosa para la migración humana (McCulloch y Morello, 2009; Massone et al., 2016). Dichas condiciones se mantienen por aproximadamente 1.500-2.000 años (Massone et al., 2016).

En la zona central del Estrecho el ambiente es caracterizado por un cambio abrupto hacia condiciones más cálidas y áridas con una baja de las precipitaciones y temperaturas cercanas a la actual. Comienza la aparición de los bosques Nothofagus que empiezan a desplazar e invadir los ambientes de estepa (McCulloch et al., 2000; McCulloch y Bentley, 2001).

Las poblaciones humanas y animales de la zona se han visto fuertemente afectadas por el cambio climático, hay extinción de la megafauna, pero los humanos continúan en la zona (Massone et al., 2016) Aún no hay humanos en el archipiélago pacífico, pero las condiciones de este mejoran al liberarse del hielo.



Hacia los 9.200 años cal AP (Porter et al., 1984; McCulloch et al., 2005b) el agua marina ingresa en áreas de baja altura en el estrecho de Magallanes (Auer, 1974; McCulloch y Davies, 2001; McCulloch et al., 2004) registrando una salinización de las aguas del Estrecho entre los 9.121 y 8.776 años cal AP (Aracena et al., 2015). Esta ingesión registrada por terrazas transicionales erosiona el puente terrestre entre Primera y Segunda Angostura, separa a Isla Grande de Tierra del Fuego del continente y forma el estrecho de Magallanes (Figura N°32). El nivel del mar se encuentra 20m por debajo del nivel actual (Fleming et al., 1998; McCulloch y Morello, 2009).

Las precipitaciones permanecen bajas en la zona este del Estrecho y la fase árida continua. Se inicia una expansión del bosque *Nothofagus* que sigue desplazando los ecosistemas de estepa seca y pastizales en Isla Dawson. Los ambientes costeros presentan algas del tipo de zona intermareal, es decir de transición entre ambientes marinos y terrestres (McCulloch y Davies, 2001) Entre los 8153-7949 años cal AP se produce la erupción del volcán Hudson (Stern et al., 2008).

Al producirse la apertura del estrecho de Magallanes algunos grupos humanos habrían quedado aislados en la Tierra del Fuego (Massone et al., 2016). En el continente, los cazadores recolectores terrestres presentan nuevas tecnologías de caza.

Entre los 7.420 y 7.340 años cal AP el nivel del mar alcanza su máxima altura de 3,5m sobre el nivel actual (Porter et al., 1984; McCulloch y Davies, 2001) debido al máximo derretimiento total de los glaciares en el continente Sudamericano y el Hemisferio norte. Se desarrollan terrazas marinas por sobre el borde del continente actual (Figura N°33).

Con respecto al paleoambiente, entre 7.500-6.570 hay un decrecimiento de la humedad efectiva lo que produce una reducción de los bosques *Nothofagus* (Mansilla et al., 2018) y fomenta la expansión de herbazales con especies tipo *Asteraceae* y *Acaena*, también aumentan las concentraciones de carbón (Mansilla et al., 2018). En la zona central del Estrecho los bosques *Nothofagus* se extienden hacia el este de Tierra del Fuego posterior a los 6.570 años cal AP (Heusser, 1993). Debido a la ingesión marina, los ambientes anteriormente costeros con mezcla de ambientes terrestres y marinos (intermareales) ahora presentan algas del tipo *Actinoptychus senarius* que corresponde a algas de niveles marinos profundos (Vos y de Woff, 1993; McCulloch y Davies, 2001).

Durante el máximo nivel marino, ingresan los pueblos canoeros que extienden su presencia desde el sur de Chiloé hasta el canal Beagle. Estos presentan avanzada tecnología marítima y se dividen en dos culturas, en primer lugar se encuentran los cazadores-recolectores marinos de cultura Englefield y en segundo lugar, los cazadores-recolectores marinos de cultura Ponsonby. No se conoce con certeza la relación de estos con los cazadores terrestres más antiguos que permanecen desarrollándose en la zona. Con estos grupos, aparece la navegación, el uso de arpones y la explotación de obsidiana verde de los alrededores del Seno Otway (Massone et al., 2016) y de obsidiana negra en los alrededores de Isla Riesco asociada a los sitios de cultura Ponsonby.

El nivel del mar desciende a su nivel actual entre los 4.443 y 4.286 años cal AP datado por Porter et al., (1984) como el termino de condiciones marinas (Figura N°34), a consecuencia de esto se exponen las terrazas marinas previamente desarrolladas en el borde costero del Estrecho (Porter et al., 1984)

Ambientalmente, se alcanzan las temperaturas actuales y en las costas aparecen algas diatomeas del tipo *Paralia sulcata* y especies de *Fragilaria*, que indican abandono de condiciones marinas profundas y paso a condiciones costeras (McCulloch y Davies, 2001).

En las zonas de Cordillera Darwin y sus alrededores existen avances glaciares pequeños que indican períodos cortos de actividad glaciaria que son similares a los que ocurren globalmente y atribuidos a una época denominada Pequeña Edad Glacial (Kilian et al., 2013; Aracena et al., 2015).

Para este entonces, los grupos humanos han ocupado la mayoría de las tierras disponibles en la zona e intercambian materiales entre sí. En la estepa utilizan bolas y dardos para sus cacerías mientras que en el archipiélago usan arpones y otros materiales de hueso (Massone et al., 2016) Tal vez ya se han establecido las diferencias étnicas y de Lenguajes que se conocieron históricamente.

Cabe destacar, que los primeros pueblos correspondientes a los Tehuelches/Aónikenk y Selk'nam son los sucesores históricos de los cazadores-recolectores terrestres mientras que los pueblos de Alacalufe/Kawésqar y Yagán/Ona los sucesores de los cazadores-recolectores marítimos (Morello et al., 2012)

#### **5.4 Hilo narrativo simplificado**

El siguiente relato corresponde al hilo narrativo entregado al Centro Nacional de Conservación y Restauración (CNCR) del Servicio Nacional de Patrimonio Cultural en Noviembre del 2020 para acompañar a la animación denominada “Entre grandes hielos y pequeñas hogueras: el nacimiento del estrecho de Magallanes” que presenta la evolución del Estrecho de Magallanes desde el Avance glacial D4 hasta su apertura y se encuentra en exhibición en la Biblioteca Nacional en la exposición “Encuentro de tres mundos: A 500 años de la primera circunnavegación del planeta”.

El siguiente relato también es utilizado como escrito base para el texto que acompaña la animación interactiva. Cabe destacar que los cambios y ediciones realizadas por el CNCR para adaptar el hilo narrativo a los distintos formatos de las herramientas divulgativas: visual, virtual y tridimensional (Figura N°27) son de responsabilidad del equipo de profesionales del CNCR y la Biblioteca Nacional, por lo tanto, las nuevas ediciones de este texto escapan del resultado de la memoria. También, es preciso señalar que todas las edades mencionadas se encuentran calibradas aunque no se usa la nomenclatura “cal”. El relato es como sigue:

La Tierra ha atravesado múltiples eventos de disminución de la temperatura global que han dado origen a períodos glaciales.

El Último Máximo Glacial ocurrió entre 25.000 y 18.000 años antes del presente (AP), cuando grandes glaciares se extendieron desde ambos polos cubriendo parte de los continentes, modelando la superficie y produciendo una disminución del nivel del mar, situándolo unos 120 metros por debajo del nivel actual.

Durante el Último Máximo Glacial, en el extremo sur de Sudamérica los glaciares cubrían de manera continua la región cordillerana andina, desde Curicó hasta Cabo de Hornos.

Con posterioridad, desde los 17.500 años AP hasta la actualidad, se desarrolla una etapa de desglaciación a nivel mundial, con un aumento global de las temperaturas y ascenso constante del nivel del mar desde los 120 metros bajo el nivel actual.

En Magallanes, mientras los hielos comienzan a derretirse, ocurre un nuevo avance glacial denominado Avance D4, entre los 16.600 y 16.100 años AP, tal intervalo temporal es denominado “Etapa glacial D4 (16.600-16.100 años cal AP)”.

Este avance cubre la cordillera y el valle donde se formará el estrecho de Magallanes, hasta el sector de Punta Arenas. El nivel global del mar se alza 20 metros alcanzando una altura de 100 metros bajo el nivel actual.

En la zona central del valle del Estrecho los climas son de tundra y estepa, con desarrollo de vegetación de baja altura, sin bosques.

En la Patagonia se ha reconocido la presencia de abundante y variada megafauna, aún sin evidencia de ocupación humana. Sin embargo, aparecen vestigios humanos de esa época en la localidad de Monte Verde, a unos 20 km de la ciudad Puerto Montt en la Región de los Lagos.

El Avance D es seguido por un retroceso del hielo hacia la cordillera entre 16.100 y 15.300 años AP. Esta etapa es denominada “Desglaciación D4 (16.100-15.300 años cal AP)” El nivel global del mar se alza 10 metros desde el nivel anterior ubicándose a unos 90 metros bajo el nivel actual.

En la zona central del valle del Estrecho, el clima es más húmedo y con temperaturas más altas en comparación con el Avance D, pero más bajas que las actuales.

En Magallanes aún no hay evidencias arqueológicas de la presencia humana, sin embargo, en Monte Verde hay registro de poblaciones desplazándose largas distancias hacia el este y oeste de la cordillera de Los Andes, utilizando recursos del mar y cazando megafauna.

Entre los 15.100 y los 11.700 años AP un nuevo avance glacial proveniente de la cordillera Darwin, denominado Avance E correspondiente a la “Etapa glacial E (15.100-11.700 años cal AP)” cubrió el valle del Estrecho hasta Isla Dawson. Este avance coincide con un período de enfriamiento que afectó al hemisferio sur.

El nivel global del mar se alza 10 metros desde el nivel anterior, llegando a 80 metros bajo el nivel actual.

La temperatura, aunque aumenta, es más fría a la del presente. La humedad se reduce respecto a la etapa anterior, dando inicio a ambientes levemente más secos. Las precipitaciones aumentan en la cordillera, sin embargo, se mantienen bajas en el este. De esta forma, en la parte central del valle del Estrecho los ecosistemas son del tipo estepa tundra seca y fría.

En Magallanes existe evidencia desde los ~13.000 años AP de cazadores recolectores que se desplazan por tierra, cazando principalmente caballo nativo americano y guanaco en las estepas de cueva Fell, cueva Pali Aike y Tres Arroyos. Las cacerías se realizan con dardos o lanzas con puntas cola de pescado, cuyo uso se extiende desde Panamá a la Patagonia.

Alrededor de los 11.700 años AP, el Avance E es seguido por un período de abrupta desglaciación que provoca el retroceso de los campos de hielo hacia la cordillera, liberando del hielo al valle del Estrecho. Esta etapa es denominada “Desglaciación E e Inicio de Ingresión Marina (11.700-9.700 años cal AP)”

Con posterioridad y hacia los 9.700 años AP, el nivel global del mar se alza unos 40 metros desde el nivel anterior, alcanzando los 40 metros bajo el nivel actual. De esta manera, Tierra del Fuego permanece aún unida al continente, al menos en los sectores de Primera y Segunda Angostura.

En la zona central del valle del Estrecho el ambiente es caracterizado por un cambio abrupto hacia condiciones más cálidas y áridas, con una baja de las precipitaciones y temperaturas cercanas a las actuales. Comienza la aparición de bosques abiertos de *Nothofagus*, que invaden y desplazan la estepa, siguiendo el margen oriental de los Andes.

Las poblaciones de cazadores recolectores terrestres se habrían desplazado por los puentes naturales de Primera y Segunda Angostura hacia Tierra del Fuego. Se produce la extinción de la megafauna y el guanaco comienza a dominar el nuevo ambiente.

Entre los 9.500 y 8.200 años AP el nivel global del mar se alza 20 a 30 metros desde el nivel anterior, llegando a 10 a 20 metros bajo el nivel actual. Esto permite que las aguas fluyan entre el Océano Pacífico y el Atlántico formándose así el estrecho de Magallanes y la Isla de Tierra del Fuego. Esta etapa es denominada “Formación del Estrecho de Magallanes (9.500-8.200 años cal AP)”

Las temperaturas son similares a las actuales, las precipitaciones permanecen bajas y la aridez se acentúa. Se inicia la expansión del bosque de Nothofagus que desplaza los ecosistemas de estepa seca y pastizales.

Con la apertura del estrecho de Magallanes una parte de la población de los cazadores recolectores nómades de a pie quedaría aislada en la naciente Tierra del Fuego diferenciándose de la población continental.

A medida que continua el derretimiento de los glaciares en el mundo, estos alcanzan extensiones cercanas a las actuales cercano a los 7.000 años AP, por lo tanto grandes cantidades de agua son inyectadas a los océanos, de esta manera a los ~7.400 años AP el nivel del mar llega a su altura máxima de 3,5m s.n.m en el estrecho de Magallanes. Esta etapa es denominada “Ingresión marina máxima (7.500-5.000 años cal AP)”

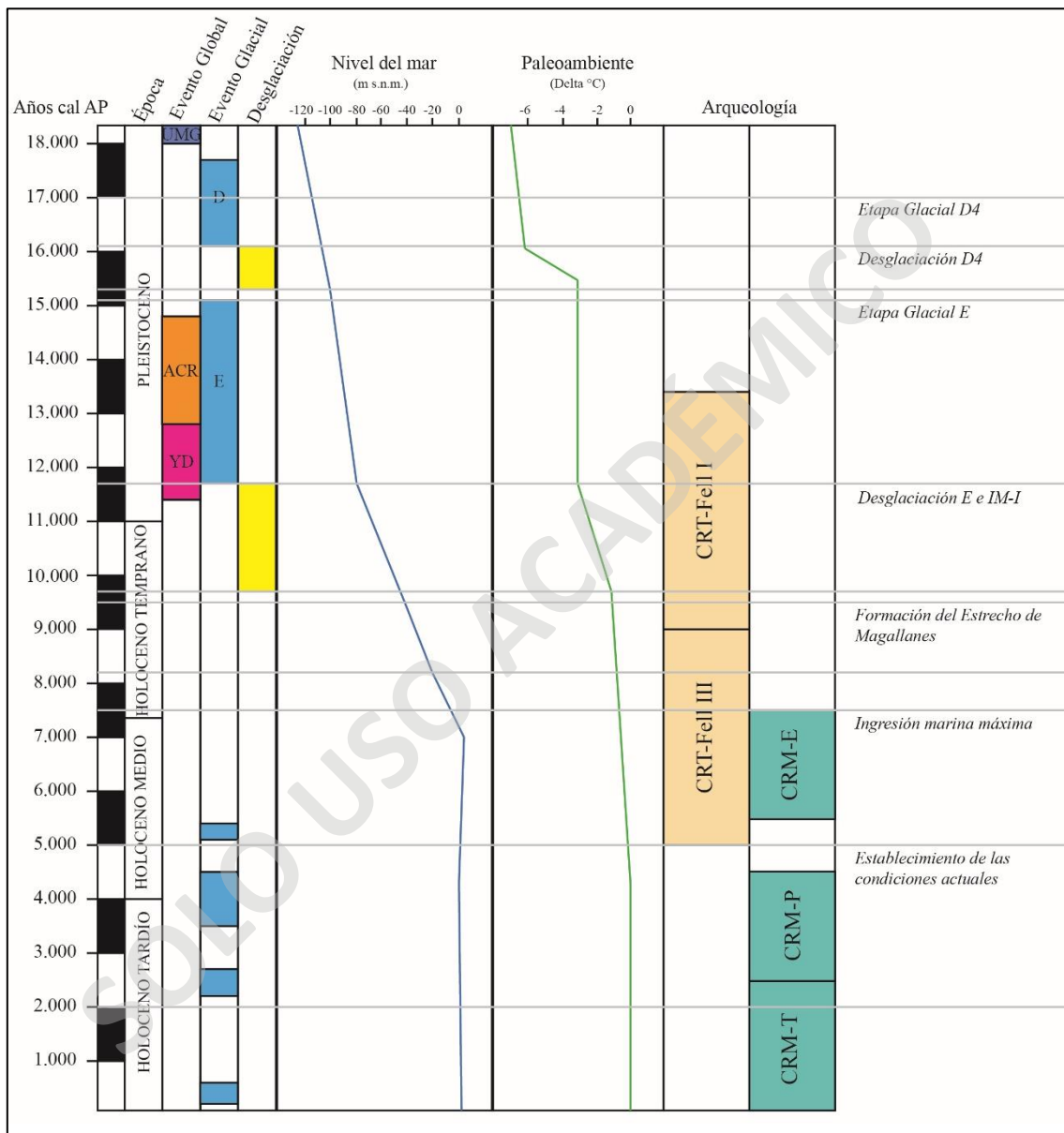
En Tierra del Fuego, hay una reducción de la humedad e inicia una fase árida en el ambiente lo que provoca una reducción del Bosque Nothofagus y una expansión de especies de ambientes secos. A los 8.000 años AP hace erupción del volcán Hudson lo que también provoca cambios en la vegetación. Más tarde, entre los 6.600 y 4.600 años AP hay una nueva expansión de los bosques Nothofagus extendiéndose hacia el este facilitada por un retorno de condiciones climáticas más húmedas. En las costas del Estrecho, la vegetación cambia de algas someras a algas de ambientes profundos atribuido al aumento del nivel del mar.

Los cazadores recolectores nómades terrestres continúan desarrollándose tanto en el continente, como en la isla de Tierra del Fuego ocupando los espacios boscosos y esteparios, estos cazadores cambian de una dieta de recursos terrestres a recursos mixtos incluyendo recursos marinos a su consumo. En Magallanes se registra el ingreso de los pueblos canoeros que extienden su presencia en los archipiélagos andinos desde el sur de Chiloé hasta el canal Beagle. No se conoce con certeza la relación de este pueblo con los cazadores terrestres más antiguos.

Hacia los 4400 años se establecen las características actuales del paisaje y el nivel del mar desciende a su nivel actual, asimismo, se alcanzan las temperaturas modernas. Esta etapa se denomina “Establecimiento de las condiciones actuales del estrecho de Magallanes (5.000-2.000 años cal AP) Para este entonces, los grupos humanos han ocupado la mayoría de las tierras

disponibles en la zona e intercambian materiales entre sí. Tal vez ya se han establecido las diferencias étnicas y de lenguajes que se conocieron históricamente.

### 5.5 Esquema de la historia evolutiva simplificada



**Figura N°35:** Esquema de la historia narrativa simplificada de la evolución del Estrecho de Magallanes considerando eventos globales, glaciaciones y desglaciaciones en Magallanes, aumento relativo del nivel del mar, paleoambiente y desarrollo humano. **Eventos globales:** YD: Younger Dryas (12.800-11.600 años cal AP), ACR: Antarctic Cold Reversal (Reversa Fría de la Antártica 14.800-12.700 años cal AP), UMG: Último Máximo Glacial (23.000 y 19.000 años cal AP). **Arqueología:** CRT-Fell I: Cazadores-recolectores terrestres de cultura Fell I, CRT-Fell III: Cazadores-recolectores terrestres de cultura Fell III, CRM-E: Cazadores-recolectores marinos de cultura Englenfield, CRM-P: Cazadores-recolectores marinos de cultura Ponsonby, CRM-T: Cazadores-recolectores marinos del período Tardío. Las edades se encuentran calibradas a años naturales antes del presente (Años cal AP). En la columna paleoambiental el valor representa la diferencia de temperatura promedio pasada con la temperatura promedio actual (Delta °C) (Elaboración propia).

## CAPÍTULO 6: DISCUSIÓN

### i. Acerca de la estrategia y herramientas de Divulgación

La divulgación consiste en hacer accesible el conocimiento científico, tendiendo un puente entre la ciencia y el público no especializado con el objetivo de democratizar el conocimiento de manera universal sin renunciar a la profundidad del contenido científico. Al igual, esta busca ampliar la perspectiva del público interesado, generar un pensamiento crítico y acercar los procesos científicos de generación de conocimiento, discusión, validación y manejo de la incertidumbre en la ciencia.

Por lo anterior, para que el objetivo de divulgar se cumpla apropiadamente se debe tener en cuenta el proceso de Divulgación y sus elementos: Insumo, Herramienta y Estrategia. Estos se relacionan en que, para que la divulgación sea efectiva se debe diseñar una Estrategia de divulgación con la definición de objetivos, plazos y un equipo de trabajo, el cual a su vez define la Herramienta de divulgación apropiada que permite cumplir el objetivo de divulgar y el Insumo científico en el que esta se basa.

Con respecto a este proceso, se hace necesario tener ciertas consideraciones en el método utilizado en esta memoria para obtener el insumo y la eficiencia efectiva de la herramienta de divulgación diseñada dentro de la estrategia divulgativa definida por el CNCR.

En primer lugar, con respecto al método en el que se basa el insumo, existen limitaciones “por arrastre” al realizar una estrategia de recopilación bibliográfica, y estas son las propias limitaciones y alcances de la publicación científica en sí misma. Una de ellas es la desproporcionalidad en la cantidad de estudios realizados, y por ende información disponible, en relación con la ubicación o localidad en estudio, así como en el intervalo temporal a estudiar. Es decir, hay una mayor concentración de investigaciones realizadas por ejemplo, en la zona central del Estrecho de Magallanes (Bahía Inútil, Bahía Gente Grande, Isla Dawson, Punta Arenas, Seno Otway y Península Juan Mazía) pero una menor o de lleno inexistente en otras zonas como el extremo occidental (Cabo Deseado) y oriental (Cabo Virgen) del Estrecho de Magallanes. Esto conlleva a una disminución de los datos disponibles en cuanto a geomorfología, dataciones radiométricas, información paleoambiental, etc. Lo que a su vez menoscaba la discusión científica al no tener una comparación entre estudios y diversidad de datos recolectados. Además, existe una



tendencia temporal en la abundancia de publicaciones geomorfológicas-geológicas y paleoambientales para el intervalo del Pleistoceno pero una carencia para el Holoceno, sobre todo, del Holoceno medio en adelante.

Por otro lado, están las limitaciones del método utilizado en la publicación científica, con énfasis en el método de datación radiométrica seleccionado y la muestra datada. En estos casos, pueden darse complicaciones con el efecto reservorio en la datación de muestras marinas, contaminación en la muestra datada por niveles superiores de sedimentos o agentes naturales, y la curva de calibración utilizada para calibrar las edades. Considerando además que cada publicación tiene sus limitaciones propias por el método empleado en el estudio (desde el tratamiento de imágenes satelitales hasta las dataciones radiométricas) y que para la presente investigación de la historia evolutiva y formación del Estrecho de Magallanes se utilizan variadas fuentes y de distinto tópicos (publicaciones geomorfológicas, paleoambientales y arqueológicas) se genera lo que he denominado anteriormente como “limitaciones por arrastre”.

En segundo lugar, con respecto a la eficacia de la herramienta de divulgación, hay que tener en consideración que el público al que está dirigido no tiene conocimiento arqueológico o geológico, por lo que una contextualización tanto teórica como espacial se hace necesaria como complemento de la información divulgada. Como recomendación, sería provechoso tener tanto en la exposición física como en el portal digital, un soporte visual y textual (glosario simplificado) de los términos y procesos que se mencionan durante la animación y aplicación, donde se presente, por ejemplo, qué es un depósito glacial (morrena), cómo se forma y cómo se ve (acompañado de una imagen) o qué es una punta pediculada, o un bosque *Nothofagus*, considerando además, que la exposición física toma lugar en la Biblioteca Nacional ubicada en Santiago, donde hay una diferencia para un espectador que conoce Magallanes versus uno que reside en la Región Metropolitana cuando se habla de un bosque *Nothofagus* u otros aspectos físicos locales del Estrecho y esto también puede ocurrir cuando el espectador de la exposición digital reside en Arica, etc.

De acuerdo con lo anterior, gran parte de las estrategias y herramientas establecidas por la CNCR son pertinentes a la divulgación requerida, sin embargo y aunque este proceso aún no ha terminado, hay aspectos que podrían mejorar su implementación. En este contexto se aconseja mostrar la exposición en la Región de Magallanes, debido a que este público tendría un mayor

interés en el tema, entendiendo mejor la importancia de estos lugares, de su protección y de su reconocimiento. Además de que esta exhibición puede aportar a las actividades turísticas y otras, de la zona. Asimismo, con el objetivo de mostrar esta exhibición en la Región, se sugiere establecer asociaciones con entidades que trabajan en temas relacionados en Magallanes como, por ejemplo, universidades, bibliotecas u otras instituciones. También, es importante analizar las actividades de divulgación, midiendo afluencia de público y el grado de satisfacción del mismo a través de encuestas, monitoreo de comentarios en redes sociales, así como de instituciones patrocinadoras mediante la retroalimentación, persistencia y solicitud de nuevas actividades desde estas.

Por lo tanto, para que la divulgación se cumpla de la mejor manera posible, en la estrategia de divulgación se debe considerar los alcances y limitaciones del insumo y definir estos al público objetivo, de manera que también se pueda informar acerca del proceso científico y la incertidumbre del conocimiento. Mientras que, en las herramientas divulgativas, se debe tener en cuenta la adaptación del lenguaje científico y otros componentes de apoyo que fortalezcan a la herramienta en esta materia y dejen claro los conceptos y procesos mencionados. También, se recomienda establecer asociaciones con entidades pertinentes al tema para tener un mayor alcance divulgativo y también medir la satisfacción del público.

Finalmente, y en relación con los proyectos de divulgación anteriores realizados acerca de la historia Magallanes o científicos en general, tienen la desventaja de tener un público muy específico, el que corresponde a principalmente a niños y jóvenes de educación básica y media, lo que deja en desmedro al público adulto. Los proyectos de divulgación que tienen como enfoque a un público adulto corresponden a revistas y charlas informativas de temas altamente específicos, lo que genera un menor alcance divulgativo, ya que al tener poca variedad de tópicos estos pueden no ser del interés del público. En cambio, mediante la estrategia de divulgación definida por el CNCR se tienen tres ventajas. La primera de ellas es la amplitud del público objetivo al que está dirigido el contenido, siendo apto para público infantil, juvenil y adulto. En segundo lugar, se destaca la versatilidad de mecanismos de divulgación estando en formato de exposición virtual tanto la animación como la aplicación interactiva, lo que es atractivo especialmente para el público infanto-juvenil con conocimiento tecnológico y la animación se encuentra en formato visual y presencial disponible en la exposición presentada por la Biblioteca Nacional como en los portales estatales, lo que da una variedad de formas de acceder al contenido. Por último, la tercera ventaja

corresponde a la amplitud del tema divulgado, que tiene por un lado un área geológica que es la formación del Estrecho como tal, como por otro lado, existe también el área ambiental y arqueológica, lo que da la posibilidad de atraer más público, ya que si algún espectador no le interesa el tema ambiental, si le puede interesar el aspecto histórico arqueológico del desarrollo humano o el área geológica, por lo tanto, al abarcar más temas, se puede tener una mayor probabilidad de contener un tema de interés para el público objetivo.

- ii. Reconstrucción geomorfológica, paleoambiental y arqueológica: cronología, alcances y limitaciones

La evolución geológica, paleoambiental y arqueológica del estrecho de Magallanes es un proceso complejo, en donde diversos factores tanto globales como locales tuvieron incidencia en la configuración del actual Estrecho, así como en la dinámica de la ocupación humana y la variación de las características ambientales.

Desde la perspectiva geomorfológica, aún no se comprende en detalle los procesos y el orden en que ellos ocurrieron para dar forma al estrecho de Magallanes, lo anterior se evidencia en discrepancias cronológicas existentes para las glaciaciones y desglaciaciones en la Patagonia y en el mismo Estrecho. A continuación, se señalan las principales:

Durante el Último Máximo Glacial, se presentan diferencias en las cronologías obtenidas en el estrecho de Magallanes, Patagonia norte-centro y las edades obtenidas a nivel mundial. Aunque a grandes rasgos se define globalmente el UMG entre los 23.000 y 18.000 años cal AP (Hulton et al., 2002) este ocurre tempranamente en el Estrecho, a los 32.000 años cal AP (McCulloch et al., 2005a) y en Patagonia a los 34.300 años cal AP (Denton et al., 1999; Hughes et al., 2013), iniciando en Magallanes alrededor de 2.000 años después que en Patagonia norte-centro y 9.000 años antes que el promedio global, por lo tanto, el Último Máximo Glacial en Magallanes, marcado por el Avance B, corresponde a las fases tempranas del último período glacial. Al igual, la UMG finaliza tempranamente en Magallanes, alrededor de los 22.000 años cal AP y es seguido por un nuevo avance glacial correspondiente al Avance C entre los 22.400 años cal AP y 20.300 años cal AP (McCulloch et al., 2005a) mientras que en Patagonia la UMG finaliza a los 17.700 años cal

AP (Denton et al., 1999; Hughes et al., 2013) estando en concordancia con el fin de la UMG global a los 18.000 años cal AP (Denton et al., 2010).

Asimismo, mientras en Patagonia norte y centro y en el mundo ocurre una desglaciación sincronizada desde los 17.500 años cal AP, correspondiente al primer paso de calentamiento climático que marca el fin de la era glacial y el inicio del período interglacial que continúa durante el Holoceno sin avances glaciares mayores (McCulloch et al., 2000; Denton et al., 1999); en el estrecho de Magallanes ocurre otro avance glacial denominado Avance D antes de los 17.700 y que culmina a los 16.000 años cal AP (McCulloch et al., 2005a) producto probablemente de una tardía expresión de la desglaciación de los 17.500 que ocurre globalmente y en Patagonia norte-centro, o alternativamente la desglaciación que pone fin al Avance D corresponde al segundo paso de calentamiento climático, correspondiente a la desglaciación que ocurre entre los 15.650-15.530 años cal AP (McCulloch et al., 2000.) También, esta desglaciación es aparentemente diferente en la zona oeste del Estrecho con respecto a la zona central, donde dataciones en Puerto del Hambre correspondientes a 17.580 años cal AP y Estancia Esmeralda II correspondiente a 16.620 años cal AP (McCulloch et al., 2005a) son más antiguas que la datación mínima para el retroceso del sub-avance glacial D4 en Bahía Inútil de 16.000 años cal AP (McCulloch et al., 2005a), lo que indicaría una desglaciación más temprana en la zona oeste del Estrecho.

Mientras la desglaciación continúa en el mundo, en Magallanes ocurre localmente un último avance glacial denominado Avance E entre los 15.100 y 11.700 años cal AP (McCulloch et al., 2005a), el cual aún no se determina si es producto del desplazamiento del núcleo de los Vientos del oeste desde los 45°-50° latitud sur a los 50°-53°S, la sobreimposición de señales climáticas tales como el Younger Dryas del Hemisferio norte o la Reversa Fría de la Antártica del Hemisferio sur, o una combinación de estos factores.

Por otra parte, la variación del nivel relativo del mar a través del tiempo es aún desconocido en Magallanes, por lo que en este trabajo se realiza una estimación utilizando la curva del nivel eustático global del mar (Fleming et al., 1998). El alzamiento eustático continuo del nivel del mar está también acompañado por el alzamiento de las terrazas transicionales y marinas en la zona del Estrecho, donde las terrazas más antiguas correspondientes a niveles marinos más bajos se

encuentran alzadas a mayor altitud que terrazas marinas más jóvenes asociadas a niveles marinos más altos, lo que evidencia la presencia de procesos de alzamiento glacio-isostático y/o tectónico que tienen lugar en la zona, los cuales se han extendido hasta el Holoceno tardío. A continuación, se señalan los principales registros de variaciones:

Entre los 11.700 y 9.700 años cal AP ocurre otra desglaciación que pone fin al Avance E y marca el inicio de la ingresión marina a la zona, principalmente desde la boca occidental del Estrecho, siendo esta registrada entre los 14.500 y 13.500 años cal AP con la apertura de Canal Jerónimo y a los 10.000 años cal AP con la apertura de Canal Gajardo (Kilian et al., 2013b). De lo anterior se sugiere una desglaciación temprana del área oeste del Estrecho que permite la ingresión marina temprana en esta zona, antes que en la zona central. Esta transgresión marina es marcada por terrazas transicionales de primer orden (Brambati et al., 1998) de ambiente glacial a marino, sin embargo, la falta de dataciones radiométricas de estas dificulta enmarcarlas en un período exacto más allá del dado por su interpretación sedimentológica.

Más tarde, hacia los 9.200 años cal AP (Porter et al., 1984; McCulloch et al., 2005b) el agua marina ingresa completamente en el Estrecho (Auer, 1974; McCulloch y Davies, 2001; McCulloch et al., 2004) lo que causa la formación del Estrecho y la separación de la Isla de Tierra del Fuego entre 9.121 y 8.776 años cal AP (Aracena et al., 2015). La apertura e ingresión marina es también marcada por las terrazas transicionales, ya que la única datación de radiocarbono de estas coincide con este período.

Entre los 7.420 y 7.340 años cal AP el nivel del mar alcanza su máxima altura de 3,5m sobre el nivel actual (Porter et al., 1984; McCulloch y Davies, 2001) sin embargo, no hay más información de otros autores que reporten dicho nivel marino. McCulloch et al., (2005b) menciona una paleo costa de 10 a 6m s.n.m en Bahía Inútil, en la cual se observan cambios de las especies marinas bentónicas a plantónicas indicativas de ambientes marinos más profundos (Vos y de Woff, 1993; McCulloch y Davies, 2001) sin embargo, esta información no permite inferir el nivel del mar en este periodo de tiempo. Asimismo, las terrazas marinas de segundo orden que registran este período no son indicadores confiables del nivel del mar debido a su compleja historia de alzamiento glacio isostático y tectónico,

por lo tanto, son necesarios más estudios para determinar el nivel relativo del mar en el Estrecho de Magallanes.

Finalmente, el nivel del mar desciende a su nivel actual entre los 4.443 y 4.286 años cal AP datado por Porter et al., (1984) con el establecimiento de las condiciones actuales, el cual es registrado por terrazas marinas de tercer y cuarto orden que se encuentran alzadas 5m y 1m s.n.m respectivamente y siguen de manera continua las costas del Estrecho, lo que indica que los procesos de alzamiento glacio-isostático y tectónico se han extendido hasta el Holoceno tardío, complejizando la historia evolutiva del estrecho de Magallanes.

Con respecto a la evolución paleoambiental, son escasos los muestreos con fines paleoambientales realizados en la zona de Magallanes, concentrándose principalmente en los trabajos de McCulloch y Davies (2001) en la zona central del Estrecho y de Pisano (1981), Markgraf, (1983), Heusser, (1989b,1998, 1993), Borromei, (1995), McCulloch et al., (2000), Markgraf y Huber, (2010), Premoli et al., (2010), Borromei et al., (2016), Mansilla et al., (2016, 2018) y Musotto et al., (2016a, 2016b) en parte de Tierra del Fuego, escaseando principalmente en la zona este del Estrecho y Tierra del Fuego. Por lo que, la baja cantidad de muestreos y al área reducida de influencia que presenta dicha información, no permite extrapolarla a una escala más regional. En consecuencia, poco se conoce acerca de la distribución y extensión de las variables ambientales en Magallanes durante el Holoceno, así como el origen de los cambios de estas.

En cuanto al desarrollo humano, aún hay aspectos del poblamiento humano que se desconocen, entre estos se encuentran el escaso registro arqueológico de los cazadores-recolectores terrestres nómades de cultura Fell II cuyos edades deberían abarcar entre los 10.300 y los 9.100 años cal AP aproximadamente. Este hiato arqueológico coincide con la ingresión marina que provoca la formación del estrecho de Magallanes, lo que puede haber constituido un obstáculo geológico para el paso de grupos humanos a Tierra del Fuego. Por otra parte, dicha ingresión puede haber borrado registros arqueológicos ubicados en el antiguo puente terrestre entre Primera y Segunda Angostura o en las zonas costeras, las cuales quedan sumergidas durante la apertura del Estrecho.

Por otro lado, no hay una relación clara de interacción entre los cazadores-recolectores terrestres y los cazadores-recolectores marinos, barajándose dos hipótesis a la fecha, la primera

corresponde a que los cazadores-recolectores terrestres habrían desarrollado tecnología marina especializada para la explotación de recursos marinos y para la confección de transporte marítimo. La segunda, presenta la teoría de que los cazadores-recolectores marinos tendrían un origen en el archipiélago pacífico sur, cerca del estrecho de Magallanes asociado a los grupos de la cultura Englenfield, los cuales habrían migrado desde el norte con equipo para transporte marítimo, siguiendo las costas del Océano Pacífico (Legoupil y Fontugne, 1997; Orquera, 2005; Orquera y Piana, 2009).

El posible obstáculo geológico que habría constituido la apertura del estrecho de Magallanes para el desarrollo humano podría haber ayudado a que los grupos cazadores-recolectores terrestres se adaptaran a las nuevas condiciones insulares de su territorio, desarrollando habilidades y herramientas marinas. Sin embargo, como menciona San Román et al., (2016) la especialización de la instrumentación marítima de los sitios de los cazadores-recolectores marítimos más antiguos es muy alta, por lo que todavía falta descubrir restos culturales o instrumentación marítima más básica que permitan pensar que dicho rasgo fue parte de un desarrollo y evolución de una cultura.

También, cabe destacar que los sitios arqueológicos más antiguos de cazadores-recolectores terrestres en Tierra del Fuego después de Cueva Tres Arroyos, correspondientes a Imiwaia 1 y Túnel 1 aparecen posterior al segundo pulso del establecimiento del bosque *Nothofagus*, lo que podría implicar una relación entre la mejora de las condiciones ambientales y el poblamiento humano en la zona.

Por último, con respecto a la arqueología, aún se desconoce la fuente para la obsidiana verde y obsidiana negra usada en la tecnología lítica por los cazadores-recolectores marítimos desde la cultura Englefield hasta el período tardío de San Román et al., (2016)

### iii. Consideraciones y aporte de la memoria

En el contexto anterior acerca de los alcances y limitaciones del trabajo, se concluye que es posible hacer una reconstrucción evolutiva geológica, paleoambiental y arqueológica del estrecho de Magallanes, con fines de divulgación. No obstante, existen ciertas precauciones y consideraciones en su ejecución, las cuales se detallan a continuación:

En primer lugar, se debe seleccionar información publicada relevante mediante una recopilación y revisión de suficientes publicaciones científicas de distinta índole y discriminar las informaciones importantes para el objetivo y aquellas que han sido refutadas o apoyadas por otros autores. Asimismo, debido a que diversos autores han investigado distintos aspectos naturales del estrecho de Magallanes (geología, paleoambiente y desarrollo humano) se debe tener especial cuidado en las discusiones relacionadas a la cronología de distintos procesos o eventos para poder corregir y utilizar las dataciones que otros autores hayan determinado como imprecisas o erróneas (principalmente por contaminación de muestras).

En segundo lugar, se debe tener en consideración la edad de eventos evolutivos importantes, en conjunto con el método de datación y su formato. Es decir, se debe tener claro el método de datación usado por el autor y si la edad se encuentra calibrada o no, de lo contrario, ocurre un desfase temporal entre los eventos que se correlacionan e integran, pudiendo relacionar eventos más jóvenes con otros más antiguos o pasando por alto eventos que son contemporáneos. Debido a lo anterior, si las edades no han sido calibradas o lo han sido con métodos antiguos, deben calibrarse considerando la naturaleza de la muestra (terrestre o marina) mediante una curva de calibración actualizada apropiada para las características de esta. Además, en el caso de muestras marinas se debe considerar el efecto reservorio con el dato local más cercano posible a la proveniencia de la datación, considerando también la precisión del dato de corrección local en el sentido que no se encuentre afectado por la litología de la zona u otros factores.

Por último, en línea con el punto anterior se debe considerar el efecto reservorio a través de la identificación de edades que han sido datadas en muestras de origen marino, compensando el efecto con una curva de calibración apropiada, en este caso la curva Marine20.

Acercas del aporte de la memoria, esta posee dos aspectos: uno divulgativo y uno científico. El primer aporte corresponde a la generación de insumos base para las herramientas divulgativas diseñada por el CNCR, entre estos se encuentran: mapas paleográficos, la historia evolutiva de Patagonia sur y Tierra del Fuego, un esquema evolutivo simplificado y un hilo narrativo divulgativo. En este contexto y mediante una recopilación bibliográfica esta investigación recopila y analiza información de diversos tópicos y autores, compilándola para explicar y presentar la evolución del Estrecho y Tierra del Fuego como un proceso complejo donde diversas variables tanto globales como locales influyeron en la formación del Estrecho. Al mismo tiempo, el



contenido científico es reformulado y contextualizado para presentar al público general los cambios en el territorio desde un paisaje glacial a la actualidad, los cambios en el ambiente, la ingesión marina y variaciones en el nivel del mar como también la relación del desarrollo humano con dichos procesos. De esta forma, se presenta la evolución del Estrecho como un proceso unificado y complejo, haciendo accesible la ciencia al público general y democratizando el conocimiento.

En segundo lugar, en el ámbito científico esta investigación une mediante análisis datos de distintos investigadores y desde distintas disciplinas de la ciencia. Dentro de esto, se realiza un aporte a las distintas disciplinas al calibrar edades que no lo estaban o que lo habían sido con una curva antigua, proveyendo en este estudio edades calibradas actualizadas para datos geológicos, paleoambientales y arqueológicos. Asimismo, se une y clasifica dicha información en distintas etapas que forman una línea temporal de la evolución del Estrecho incluyendo procesos geológicos, ambientales y humanos, la cual puede ser utilizada como información base para distintos estudios de distintas disciplinas. También, este trabajo abre un espacio de discusión acerca de los vacíos en el conocimiento y la sobre especificación de los estudios realizados en la zona, invitando a abordar de una manera científica interdisciplinaria e integrada desde los distintos campos de la ciencia para poder entender de mejor forma los distintos procesos que ocurrieron en Magallanes y que le dieron las características que conocemos hoy en día.

## CAPÍTULO 7: CONCLUSIÓN

7.1.- La historia evolutiva del estrecho de Magallanes y Tierra del Fuego durante el Pleistoceno Tardío y Holoceno, considerando sus aspectos geomorfológicos, paleoambientales y arqueológicos, requiere ser divulgada a la comunidad no científica. Con este fin, en esta memoria se utiliza una estrategia que integra el conocimiento científico existente de distintas disciplinas sin menoscabar el alcance, profundidad y limitaciones de estos; y se realiza la divulgación mediante herramientas previamente propuestas por el CNCR, correspondientes a una animación y una aplicación interactiva.

En este escenario, esta memoria diseñó y creó cuatro insumos para construir la animación y la aplicación interactiva, los que corresponden a: reconstrucciones paleográficas, una historia evolutiva de Patagonia y Tierra del Fuego, un hilo narrativo simplificado y un esquema de la historia evolutiva simplificada.

Del presente trabajo se puede concluir que es posible realizar una reconstrucción de la historia evolutiva y formación del estrecho de Magallanes mediante una recopilación bibliográfica de distintas investigaciones, autores y temas a través de un análisis e integración de la información, incluyendo la calibración de dataciones de distintos sucesos para poder relacionar eventos y procesos temporalmente. La reconstrucción gráfica en mapas a distintas edades, así como la reconstrucción escrita a permitido confeccionar los cuatro productos necesarios para desarrollar las dos herramientas de divulgación requeridas.

Con respecto a la divulgación del conocimiento, este solo ha sido difundido visualmente mediante la animación “Entre grandes hielos y pequeñas hogueras: el nacimiento del estrecho de Magallanes” y tridimensionalmente a través de la exposición presencial “Encuentro de tres mundos: A 500 años de la primera circunnavegación del planeta” de la Biblioteca Nacional. Sin embargo, la aplicación interactiva está actualmente en desarrollo, por lo que aún no ha sido posible realizar su divulgación. Asimismo, cabe destacar que la animación solo se encuentra disponible en la exposición presencial, no obstante, en el futuro ambas herramientas (animación y aplicación) se encontrarán disponibles en el portal de Mapas Patrimoniales de la Biblioteca Nacional Digital (<http://www.bibliotecanacionaldigital.gob.cl/bnd/612/w3-propertyname-699.html>).

7.2.- Para que la divulgación sea eficiente, la estrategia de divulgación debe considerar los alcances y limitaciones del insumo y explicar estos al público objetivo, de manera que puedan conocer más acerca del proceso científico y de la incertidumbre del conocimiento entregado, debido a la escasa densidad de información existente.

En las herramientas divulgativas, se consideró la adaptación del lenguaje científico y deberían considerarse en la aplicación, otros componentes de apoyo que fortalezcan esta herramienta y dejen claro los conceptos y procesos mencionados, como por ejemplo: al interactuar el público con la aplicación se podría implementar “pop up” con explicación escrita y gráfica de conceptos

Para evaluar la eficiencia de las herramientas de divulgación diseñadas, se debería medir el grado de satisfacción del público que asista o interactúe en una plataforma digital, mediante una encuesta u otros mecanismos.

También se sugiere a la CNCR establecer asociaciones con entidades relacionadas al tema para tener un mayor alcance divulgativo, como por ejemplo exponer la animación y aplicación en la Región de Magallanes porque este público tendría un mayor interés y reconocería más fácilmente la importancia de esta información. Siendo esto además un aporte a la actividad turística en la zona.

7.3.- En relación a los alcances y limitaciones de la metodología empleada en esta memoria, es importante destacar la desproporcionalidad en la cantidad de estudios científicos realizados y por ende información disponible, en relación el número y distribución de localidades en que se ha realizado investigación, así como en el intervalo temporal a estudiado y el tema del estudio.

7.4.- Los insumos fueron construidos en base a reconstrucciones paleográficas y una historia evolutiva de Patagonia y Tierra del Fuego, los que sirvieron de base para confeccionar un hilo narrativo y un esquema de la historia evolutiva simplificada. Para la reconstrucción paleográficas se confeccionaron mapas en siete intervalos temporales en donde ocurrieron eventos geológicos, ambientales y/o arqueológicos importantes, que hayan generado cambios mayores en el paisaje o en la relación de los grupos humanos con el entorno natural y su ambiente. El primero de estos corresponde a la Etapa Glacial D4 (16.600 – 16.100 años cal AP) el cual corresponde al último sub-avance del Avance glacial D, posteriormente se desarrolla la Desglaciación D4 (16.100 – 15.300 años cal AP) que coincide con el segundo paso de calentamiento climático en Patagonia entre los 15.650 y 15.350 años cal AP, seguido por la Etapa Glacial E (15.100 – 11.700 años cal

AP) correspondiente al último avance glacial en el Estrecho y que forma un extenso lago proglacial en su frente, con la generación de paleo costas alzadas y que posteriormente drena durante la Desglaciación E e Inicio de Ingresión Marina (11.700 – 9.700 años cal AP) donde se registra un aumento de la temperatura a condiciones similares a las actuales y también marca el inicio de la ingresión marina principalmente desde la boca occidental del estrecho de Magallanes y parcialmente desde el Atlántico, seguida de la Formación del Estrecho de Magallanes (9.500 – 8.200 años cal AP) donde se produce la apertura total del Estrecho y el aislamiento de Tierra de Fuego. Posteriormente, se produce la Ingresión Marina Máxima (7.500 – 5.000 años cal AP) donde el avance de las desglaciaciones a través de la Tierra llevan a un aumento del nivel del mar hasta 3.5m s.n.m en el Estrecho, por último, durante el Establecimiento de condiciones actuales (5.000 – 2.000 años cal AP) el nivel del mar disminuye a su nivel actual y el Estrecho se configura tal y como lo conocemos.

7.5.- Con respecto a la evolución geomorfológica-glaciológica de la zona, esta investigación recalca que aún no se comprende en detalle los procesos y el orden en ocurrieron para dar forma al estrecho de Magallanes, lo anterior se evidencia en las diferencias cronológicas para las glaciaciones y desglaciaciones en la Patagonia y en el mismo Estrecho, donde existen diferencias de hasta 9.000 años cal AP en el evento del Último Máximo Glacial en Magallanes con respecto al promedio global y de 2.000 años cal AP con el UMG en Patagonia. También, hay diferencias en las cronologías de las desglaciaciones en tres eventos importantes de Patagonia y Magallanes, el primero de ellos corresponde con la desglaciación que inicia a los 17.500 años cal AP y que marca el fin del período glacial y el inicio del período interglacial como también constituye el primer paso de calentamiento ambiental para Patagonia, sin embargo, durante dicho intervalo temporal, ocurre un avance glacial en el Estrecho correspondiente al Avance D, el cual culmina a los 16.000 años cal AP. El segundo evento importante corresponde a la Etapa de Desglaciación de D4 cuya edad coincide con el segundo paso de calentamiento climático en Patagonia pero del cual no existe evidencia paleoambiental abundante que lo valide en Magallanes pero es ampliamente registrado en la Región de los Lagos. Por último, mientras la desglaciación después de los 17.000 años cal AP se encuentra avanzada tanto en Patagonia como en el mundo, en Magallanes los hielos persisten y ocurre localmente un último avance glacial denominado Avance E entre los 15.100 y 11.700 años cal AP.

También, la variación del nivel relativo del mar a través del tiempo aún no es comprendido a cabalidad en Magallanes debido al complejo mecanismo de alzamiento eustático continuo del nivel del mar combinado con procesos de alzamiento glacio-isostático y/o tectónico de terrazas marinas en las costas del Estrecho. Lo que provoca que terrazas más antiguas correspondientes a niveles marinos más bajos se encuentran alzadas a mayor altitud que terrazas marinas más jóvenes asociadas a niveles marinos más altos.

7.6.- Por otro lado, la apertura del Estrecho constituye un hecho importante para los grupos humanos que estaban poblando Magallanes y Tierra del Fuego ya que las poblaciones fueron divididas por la ingresión marina, quedando grupos en la zona continental y otros aislados en la Isla Grande de Tierra de Fuego. En estas condiciones, los grupos humanos evolucionaron de manera independiente hasta que retomaron su contacto durante el Holoceno medio mediante cazadores marítimos, cuyo origen aún se encuentra en discusión, que se desarrollaron posterior a la ingresión marina (7500-5000 años cal AP) con una adaptación marítima del estilo de vida y producción de tecnología de navegación. Asimismo, esta investigación acentúa la relación entre la mejora de las condiciones medioambientales con el desarrollo humano, particularmente en la zona sur de Tierra del Fuego con la expansión de los bosques Nothofagus y el poblamiento humano en el área.

7.7.-En relación a la evolución paleoambiental, poco se conoce acerca de la distribución y extensión de las variables ambientales en Magallanes durante el Holoceno, así como el origen de los cambios de estas.

7.8.-Por último, esta memoria es un aporte tanto a la divulgación científica como al conocimiento científico, el primer aporte radica en que mediante la recopilación, análisis e integración de información científica en esta memoria se es posible generar insumos que son base para herramientas divulgativas, las cuales tienen una amplia accesibilidad para el público en su formato tridimensional, virtual y visual y no tiene un rango etario, por lo que es amigable para cualquier espectador, sin embargo, cabe destacar que es necesario recibir retroalimentación del público para asegurar que la información está siendo transmitida correctamente, es decir, falta saber si el público entiende eficazmente el contenido para que el proceso divulgativo esté completo.

El segundo aporte corresponde es del ámbito científico y corresponde a la unión del conocimiento de distintas disciplinas, con una calibración de las edades de los principales eventos geológicos, ambientales y arqueológicos, presentando los eventos que dieron forma al Estrecho en una sola línea temporal y como un proceso complejo, abriendo un espacio de discusión interdisciplinario.

SOLO USO ACADÉMICO

## REFERENCIAS

- Aceituno, P., Fuenzalida, H., & Rosenblüth, B. (1993). Climate along the extra tropical west coast of South America. En H. Mooney, E. Fuentes, & B. Kronberg, *Earth System Responses to Global Change: Contrasts between North and South America* (págs. 61-69). San Diego: Academic Press.
- Aguirre, M. R. (2006). Palaeoenvironments and palaeoclimates of the Quaternary molluscan faunas from the coastal area of Bahía Vera-Camarones (Chubut, Patagonia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 229(4), 251-286.
- Alley, R., Marotzke, J., Nordhaus, W., Overpeck, J., Peteet, D., Pielke, R., . . . Wallace, J. (2002). *Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises*. (N. R. Council, Ed.) Washington, DC: National Academy Press.
- Alley, R., Marotzke, J., Nordhaus, W., Overpeck, J., Peteet, D., Pielke, R., . . . Wallace, J. (2003). Abrupt climate change. *Science*, 299, 2005-2010.
- Amaud, E., & Martini, P. (2009). Glaciations, Pre-Quaternary. En V. Gornitz (eds), *Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments* (págs. 384-388). Dordrecht, Holanda.
- Andersson, G. (1906). Geological fragments from Tierra del Fuego. *Geological Institution Upsala*, 8, 169-183.
- Aracena, C., Kilian, R., Lange, C., Bertrand, S., Lamy, F., Arz, H., . . . Kissel, C. (2015). Holocene variations in productivity associated with changes in glacier activity and freshwater flux in the central basin of the Strait of Magellan. *Palaeo*, 436, 112-122.
- Arnold, J., & Libby, W. (1949). Age Determination by Radiocarbon Content: Checks with Samples of Known Age. *Science*, 110(2869), 678-680.
- Auer, V. (1933). Verschiebungen der Wald-und Steppengebiete Feurland in Postglaziale Zeir. *Act. Geogr*, 2(5), 1-313.
- Auer, V. (1956). The Pleistocene of Fuego-Patagonia. Part I: the ice and interglacial ages. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae*, III(45), 1-222.
- Auer, V. (1958). The Pleistocene of Fuego-Patagonia. Part 2: the history of the flora and vegetation. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae. Series A. 3. Geologica-Geographica*, 50, 1-239.
- Auer, V. (1960). The Quaternary history of Fuego-Patagonia. *Proceedings Royal Society*, 152, 507-516.
- Auer, V. (1974). The isorhythmicity subsequent to the Fuego-Patagonian and Fennoscandian ocean level transgressions and regressions of the latest glaciation. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae Series*, 3(115).

- Barberena, R. (2008). *Arqueología y Biogeografía Humana en Patagonia Meridional*. Buenos Aires, Argentina: Serie Tesis Doctorales, Sociedad Argentina de Antropología.
- Barberena, R., Borrero, L., & Martin, F. (2011). Visits, “Fuegians” and Information Networks. En T. C. archaeology, *Information and its role in hunter-gatherer bands* (págs. 249-296). New Mexico: Editorial board of the Cotsen Institute of archaeology.
- Bard, E. (1988). Correction of accelerator mass spectrometry  $^{14}\text{C}$  ages measured in planktonic foraminifera: Paleooceanographic implications. *Paleoceanographic*, 3(6), 635-645.
- Bartole, R., Colizza, E., De Muro, S., & Colautti, W. (2000). The pacific entrance of the Magellan Strait: Preliminary result of a seismic and sampling survey. *Terra Antartica Reports 2000*, 4, 81-94.
- Belenguer, M. (2003). Información y divulgación científica: dos conceptos paralelos y complementarios en el periodismo científico. *Estudios sobre el mensaje periodístico*(9), 43-53.
- Bentley, M., Sugden, D., Hulton, N., & McCulloch, R. (2005). The landforms and pattern of deglaciation in the Strait of Magellan and Bahía Inútil, southernmost South America. *Geografiska Annaler*, 87, 313-333.
- Berkman, P., & Forman, S. (1996). Pre-Bomb and the reservoir correction for calcareous marine species in the Southern Ocean. *Geophys Res Lett*, 23(4), 363-366.
- Bird, J. (1938). Antiquity and migrations of the early inhabitants of Patagonia. *The Geographical Review*, 28, 250-275.
- Bird, J. (1951). South American radiocarbon dates. *Memories of the Society for American Archaeology*, 8.
- Bird, J. (1983). Enterratorios paleoindios con cremación en las cuevas de Pali Aike y Cerro Sota en Chile meridional. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 14, 55-65.
- Bird, J. (1988). *Travels and Archaeology in South Chile*. Iowa University Press.
- Blackwell, P., & Buck, C. (2008). Estimating radiocarbon calibration curves. *Bayesian Analysis*, 3(2), 225-248.
- Bolet, F. (2015). Difusión y divulgación de la ciencia: orígenes históricos y rasgos discursivos diferenciadores. *Revista Electrónica Latinoamericana de Estudios Sociales, Históricos y Culturales de la Ciencia y Tecnología*(1), 3-32.
- Borremei, A. (1995). Análisis polínico de una turbera holocénica en el Valle de Andorra, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*, 68, 311-319.
- Borrero, L. (1985). *La economía prehistórica de los habitantes del norte de la Isla Grande de Tierra del Fuego Vol. 1*. Buenos Aires: [Tesis para obtener el título de Doctor en la Universidad de Buenos Aires].



- Borrero, L. (1996). The Pleistocene-Holoceno Transition in Southern South America. En L. Straus, B. Eriksen, J. Erlandson, & D. (. Yesner, *Humans at the end of the Ice Age: The Archaeology of the Pleistocene Holocene Transition* (págs. 339-354).
- Borrero, L., Delaunay, A., & Méndez, C. (2019). Ethnographical and historical accounts for understanding the exploration of new lands: The case of Central Western Patagonia, Southernmost South America. *Journal of Anthropological Archaeology*, 54, 1-16.
- Borromei, A., & Quattrocchio, M. (2001). Palynological study of Holocene marine sediments from Bahía Lapataia, Beagle Channel, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología*, 33(1), 61-70.
- Borromei, A., Candel, S., Ponce, J., & Quattrocchio, M. (2007). Late and Postglacial paleoenvironments of Tierra del Fuego: terrestrial and marine palynological evidence. En *Geosur 2007, Libro de Resúmenes*. Santiago: 24.
- Borromei, A., Musotto, L., Coronato, A., Ponce, J., & Pontevedra-Ponbal, X. (2016). Postglacial vegetation and climate changes inferred from a peat pollen record in the Río Pipo valley, Southern Tierra del Fuego. En M. Martínez, & D. Olivera, *Palinología del Meso-Cenozoico de Argentina-Volumen en homenaje a Mirta Elena Quattrocchio* (Vol. 16, págs. 168-183).
- Borromei, A., Ponce, J., Coronato, A., Candel, M., Olivera, D., & Okunda, M. (2014). Reconstrucción de la vegetación posglacial y su relación con el ascenso relativo del nivel del mar en el extremo este del canal Beagle, Tierra del Fuego, Argentina. *Andean Geology*, 41(2), 362-379. doi:doi: 10.5027/andgeoV41n2-a05
- Bowen, D. (2009). Last Glacial Maximum. En V. Gornitz (eds), *Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments* (págs. 493-495). Dordrecht, Holanda.
- Brambati A., D. M. (1993a). Geomorphological and textural map of the coastal area of the Strait of Magellan between Punta Dungeness and Bahía Inutíl (Chile) 1:100.000 scale map. En *Proc. Third International Geomorphology conference (Hamilton Canada)*.
- Brambati A., D. M. (1993b). Geomorphological and textural map of the coastal area of Bahía Inutíl - Strait of Magellan - Chile 1:100 000 scale map. En *Proc. Third International Geomorphology conference (Hamilton - Canada)*.
- Brambati A., D. M. (1995). Distribution of the marine and transitional terraces (Pleistocene? - Holocene) and geomorphological map of the coastal area between Bahía San Felipe and Paso Ancho - Strait of Magellan, Chile - 1:200 000 scale map. En *Proc. Third International Geomorphology conference (Hamilton - Canada)*.
- Brambati, A., De Muro, S., & Di Grande, A. (1998). Marine and transitional Holocene terraces in the eastern area of the Straits of Magellan, Chile. *Bollettino de Geofisica Teorica ed Applicata*, 39(1), 47-76.
- Brassell, S., Eglinton, G., Marlowe, I., Pflaumann, U., & Sarnthein, M. (1986). Molecular stratigraphy: a new tool for climatic assessment. *Nature*, 320, 33-129.
- Briceño, M. (2012). La importancia de la divulgación científica. *Visión Gerencial*(1), 3-4.

- Britannica*. (20 de Febrero de 2020). Obtenido de <https://www.britannica.com/science/climate-meteorology/Zonal-surface-winds>
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. (12 de Agosto de 2021). *Encyclopedia Britannica*. Obtenido de Ecotone: <https://www.britannica.com/science/ecotone>
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. (13 de Agosto de 2021). *Encyclopedia Britannica*. Obtenido de Spit: <https://www.britannica.com/science/spit-coastal-feature>
- Broecker, W. (1987). The great ocean conveyor. *Nat. Hist. Mag*, 97, 74-82.
- Broecker, W., Klas, M., Clark, E., Bonani, G., Ivy, S., & Wolfli, W. (1991). The influence of CaCO<sub>3</sub> dissolution on core top radiocarbon ages for deep sea sediments. *Paleoceanography*, 6(5), 593-608.
- Brumme, J. (2001). "Aseo" y "limpieza". Su significado a partir de algunos textos de divulgación del siglo XIX. *Actas del II Coloquio Internacional. La Historia de los lenguajes de especialidad: la divulgación de la ciencia* (págs. 161-180). Barcelona: Universitat Pompeu Fabra & Vervuert Iberoamericana.
- Bujalesky, G. C. (2004). Littoral evolution in the northern side of the Beagle Channel at Playa Larga, east of Ushuaia. En M. Menichetti, *Field Trip guide of the Tierra del Fuego. Geosur* (Vol. 39, págs. 30-31). Buenos Aires.
- Bujalesky, G., & González, B. (1990). Evidence for stable sea level in the late Holocene in San Sebastian Bay, Tierra del Fuego, southernmost Argentina. *International Symposium of Quaternary Shorelines: Evolution, Processes and Future Changes*, 9. La Plata.
- Caldenius, C. (1932). Las glaciaciones cuaternarias en Patagonia y Tierra del Fuego. *Geografiska Annaler*, 14, 1-164.
- Calkin, P., & Young, G. (2002). Global glacial chronologies and causes of glaciation. En J. Menzies (eds), *Modern and Past Glacial Environments* (págs. 15-52). Butterworth-Heinemann.
- Calvo, M. (1990). Ciencia y periodismo. España: Centro de Estudios para el Fomento de la Investigación.
- Caniupán, A., Lamy, F., Lange, C., Kaiser, J., Arz, H., Kilian, R., . . . Tiedermann, R. (2011). Millennial-scale sea surface temperature and Patagonian Ice Sheet changes off southernmost Chile (53°S) over the past ~60 kyr. *Paleoceanography*, 26.
- Caniupán, M., Lamy, F., Lange, C., Kaiser, J., Kilian, R., Arz, H., . . . Tiedermann, R. (2014). Holocene sea-surface temperature variability in the Chilean fjord region. *Quaternary Research*, 342-353.
- Carrivick, J., & Tweed, F. (2013). Proglacial lakes: character, behaviour and geological importance. *Quaternary Science Reviews*, 78, 34-52.
- Cecioni, G. (1957). I terrazzi marini della Patagonia cilena. *Atti Soc. Tosc. Nat. Pisa.*, 6.

- Centro de Estudios del Cuaternario Fuego-Patagonia y Antártica., Programa EXPLORA CONICYT., The British School . (2012). Guía de trabajo. *Recorriendo el paisaje Glacial de Magallanes*. Punta Arenas, Chile: CEQUA.
- Clapperton, C. (1990). Quaternary glaciations in the southern hemisphere: An Overview. *Quaternary Science Review*, 9, 299-304.
- Clapperton, C. (1992). La Última glaciación y deglaciación en el Estrecho de Magallanes: Implicaciones para el poblamiento en Tierra del Fuego. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 21, 113-128.
- Clapperton, C. (1993). Quaternary Geomorphology and Geomorphology of South America. *Elsevier*, 796.
- Clapperton, C., Sugden, D., Kaufman, D., & McCulloch, R. (1995). The Last Glaciation in the Central Magellan Strait, Southernmost Chile. *Quaternary Research*, 44, 133-148.
- Clark, P., & Mix, A. (2002). Ice Sheets and sea level of the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Review*, 21, 1-7.
- Clark, R. (1975). A calibration curve for radiocarbon dates. *Antiquity*, 49, 251-266.
- Codignotto, J. (1984). Estratigrafía y geomorfología del Pleistoceno-Holoceno costanero entre los paralelos 53 30' Sur y 42 00' Sur, Argentina. *IX Congreso Geológico Argentino*. 3, págs. 513-519. San Carlos de Bariloche: Actas.
- Collins, H., & Pinch, T. (1996). *El gólem. Lo que todos deberíamos saber acerca de la ciencia*. Barcelona: Crítica.
- CONICYT, Ministerio de Educación. (08 de Enero de 2016). *EXPLORA*. Obtenido de Programa Nacional de Divulgación y Valoración de la Ciencia y la Tecnología: <https://www.conicyt.cl/explora/presidenta-michelle-bachelet-visita-campamento-cientifico-explora-de-conicyt/>
- Convenio Andrés Bello. (2008). Política pública en apropiación social de la ciencia y la tecnología de los países signatarios de la organización del Convenio Andrés Bello. *Versión preliminar. Colección Cuadernos CAB, Serie Ciencia y Tecnología(173)*. Colombia.
- Coronato, A., & Rabassa, J. (2007a). Mid-Quaternary Glaciations in the Southern Hemisphere. En S. Elias, *Encyclopedia of Quaternary Science* (Vol. 2, págs. 1051-1056). Amsterdam: Elsevier.
- Coronato, A., & Rabassa, J. (2007b). Late Quaternary glaciations in South America. En S. Elias, *Encyclopedia of Quaternary Science* (Vol. 2, págs. 1101-1108). Amsterdam: Elsevier.
- Coronato, A., Meglioli, A., & Rabassa, J. (2004). Glaciations in the Magellan Straits and Tierra del Fuego, Southernmost South America. *Developments in Quaternary Science*, 2, 45-48.

- Coronato, A., Salemme, A., & Rabassa, J. (1999). Palaeoenvironmental conditions during the early peopling of Southernmost South America (Late Glacial-Early Holocene, 14-8 ka B.P.). *Quaternary International*, 53/54, 77-92.
- Cuffey, K., Clow, G., Alley, R., Stuiver, M., Waddington, E., & Saltus, R. (1995). Large Arctic temperature change at the Wisconsin-Holocene glacial transition. *Science*, 270, 455-458.
- Darwin, C. (s.f.). The geology of the voyage of the Beagle under the command of Capt. Fitzroy R.N. En *Geological observations on South America III*. Londres.
- De Muro S., B. A. (2004). Distribution of the marine and transitional terraces (Pleistocene? - Holocene) and geomorphological map of the coastal area between Punta Dungeness and Bahia San Felipe - Strait of Magellan, Chile - 1:200.000 scale map. En *Proc. Third International Geomorphology Conference (Hamilton - Canada)*.
- De Muro, S. &. (2012). Atlas of the marine and transitional Holocene terraces – Eastern Straits of the Magellan Coasts – Patagonia and Tierra del Fuego (Chile) – 2012 edition. *Publicación presentada en el 34° Congreso Internacional Geológico* (pág. 354). Brisbane: Australia.
- De Muro, S. D. (1996a). Distribution of the marine and transitional terraces (Holocene) and geomorphological map of the coastal area between Punta Paulo and Porvenir - Tierra del Fuego, Straits of Magellan - Chile (1:50,000 scale map) Map 3/12. *Presentado en la XXVII Conferencia Geográfica Italiana*, (págs. 21-25).
- De Muro, S. D. (1996b). Distribution of the Marine and transitional terraces (Holocene) and geomorphological map of the coastal area of Península Juan Mazía, Tierra del Fuego - Straits of Magellan - Chile (1:50,000 scale map) Map 2/12. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, 9(1).
- De Muro, S. D. (1996c). Evoluzione olocenica e aspetti geomorfologici dell'area costiera della Penisola Juan Mazia (Fogli "Puerto Percy", "Bahía Felipe" e "Puerto Sara") - Tierra del Fuego - Stretto di Magellano, Cile. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, 9(1), 405-412.
- De Muro, S., & Di Grande, A. (2004). Distribution of the marine and transitional deposits (Holocene) and geomorphological map of the coastal area between Punta Arenas and Río Quema Angusta - Península Brunswick- Patagonia-Strait of Magellan - Chile (1:50.000). *32° Congresso Internazionale di Geologia*.
- De Muro, S., Brambati, A., Tecchiato, S., Porta, M., & Ibba, A. (2017). Geomorphology of marine and transitional terraces and raised shorelines between Punta Paulo and Porvenir, Tierra del Fuego, Straits of Magellan – Chile. *Journal of Maps*, 13(2), 311-321.
- De Muro, S., Di Grande, A., Brambati, A., & Ibba, A. (2015). Geomorphology map of the marine and transitional terraces and raised shorelines of the Península Juan Mazía, Tierra Del Fuego. Straits of Magellan – Chile. *Journal of Maps*, 11(6), 698-710.
- De Muro, S., Kalb, C., Brambilla, W., & Ibba, A. (2012). Sedimentological, geomorphological and geochemical evidence of the last marine ingression in central Magellan Straits-southernmost Chile. *Rend. Online Soc. Geol. It.*, 20, 33-34.

- De Muro, S., Tecchiato, S., Porta, M., Bousi, C., & Ibba, A. (2018). Geomorphology of marine and glacio-lacustrine terraces and raised shorelines in the northern sector of Península Brunswick, Patagonia, Straits of Magellan, Chile. *Journal of Maps*, 14(2), 135-143.
- De Pol-Holz, R., Santos, G., Ancapichun, S., Collado, S., Aravena, J., Christie, D., . . . Reimer, P. (2017). Radiocarbon content in annual tree-rings from western South America: The "Bomb" period 1950-2015. *14th International AMS Conference, University of Ottawa*, (págs. 14-18). Canada.
- de Vries, H. (1958). Variations in concentration of radiocarbon with time and location on earth. *Koninklijke Nederlandsen Akademie van Wetensch*, 94-102.
- Dehling, H., & van der Plicht, J. (1993). Statistical Problems in Calibrating Radiocarbon-Dates. *Radiocarbon*, 35(1), 239-244.
- Denton, G., & Hughes, T. (1981). *The Last Great Ice Sheets*. Nueva York: Wiley Interscience.
- Denton, G., Anderson, R., Toggweiler, J., Edwards, R., Schaefer, J., & Putnam, A. (2010). The Last Glacial Termination. *Science*, 328, 1652-1656.
- Denton, G., Heusser, C., Lowell, T., Moreno, P., Andersen, B., Heusser, L., . . . Marchant, D. (1999). Interhemispheric linkage of paleoclimate during the last deglaciation. *Geografiska Annaler*, 2(81A), 167-229.
- Di Grande A., D. M. (s.f.). Distribution of the marine and transitional terraces (Pleistocene? - Holocene) and geomorphological map of the coastal area between Provenir and Puerto Yartou - Straits of Magellan, Chile - 1:200 000 scale map. En *Proc. Third International Geomorphology Conference (Hamilton - Canada)*.
- Di Grande, A., De Muro, S., & Brambati, A. (2003). Marine and transitional terraces (Holocene) between Seno Otway and Bahía Shoal Patagonia – Straits of Magellan - Chile (1:50.000).
- Díez de Revenga Torres, P. (2009). El léxico de especialidad en el siglo XIX. *El léxico de especialidad desde una perspectiva histórica. Seminario de lengua española*. Soria, Convento de la Merced, Sede de la Fundación Duques de Soria, Santo Tomé.
- Dillehay, T. (1989). *Monte Verde: A Late Pleistocene Settlement in Chile* (Vol. 1). Washington y Londres: Smithsonian Institution Press.
- Dillehay, T. (1997). *Monte Verde: A Late Pleistocene Settlement in Chile* (Vol. 2). Washington DC: Smithsonian Institution Press.
- Dillehay, T. (2000). *The settlement of the Americas*. Nueva York: Basic Books.
- Dubois, F., & Borrero, L. (2005). Playas de acreción: cronología y procesos de formación del registro arqueológico en la costa central de la Bahía San Sebastián, Tierra del Fuego. *Magallania*.
- Dyke, A., & Prest, V. (1987). Late Wisconsinan and Holocene history of the Laurentide Ice Sheet. *Géographie Physique Quaternary*, 237-263.

- E.N.A.P (Empresa Nacional de Petroleo). (s.f.). Mapa geologica XII Regio Magallanes y Antartica Chilena-Chile. Escala 1:500.000. *Departamento de Exploraciones Chile*.
- Emperaire, J., & Laming, A. (1961). Les gisement de des Iles Englefield et Vivian dans la mer d'Otway Patagonie Australe. *Journal de la Société des Américanistes*, 50, 7-75.
- Farmer, G., & Cook, J. (2013). Pleistocene Glaciations. En *Climate Change Science: A Modern Synthesis* (págs. 407-427). Dordrecht: Springer. doi:[https://doi.org/10.1007/978-94-007-5757-8\\_21](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5757-8_21)
- Feruglio, E. (1933). I terrazzi marini della Patagonia. *Giorn. di Geol.*, 8, 1-288.
- Fesq-Martin, M., Friedmann, A., Peters, M., Behrmann, J., & Kilian, R. (2004). Late-glacial and Holocene vegetation history of the Magellanic rain forest in the southwestern Patagonia, Chile. *Vegetation History and Archaeobotany*, 13(4), 249-255.
- Fleming, K., Johnston, P., Zwartz, D., Yokoyama, Y., Lambeck, K., & Chappell, J. (1998). Refining the eustatic sea-level curve since the Last Glacial Maximum using far-and intermediate field sites. *Earth and Planetary Science Letters*, 163, 327-342.
- Fontana, S., & Bennett, K. (2012). Postglacial vegetation dynamics of westerns Tierra del Fuego. *The Holocene*, 22(11), 1337-1350.
- Garreaud, R., Lopez, P., Minvielle, M., & Rojas, M. (2013). Large-Scale Control on the Patagonian Climate. *Journal of Climate*, 26(1), 215-230.
- GEBCO (General Bathymetric Charts of the Oceans). (10 de Diciembre de 2020). *Gridded Bathymetry Data*. Obtenido de GEBCO Gridded Bathymetry Data Download: <https://download.gebco.net/>
- Glasser, N., & Ghiglione, M. (2009). Structural, tectonic and glaciological controls on the evolution of fjord landscapes. *Geomorphology*, 105, 291-302.
- Glasser, N., Jansson, K., Harrison, S., & Kleman, J. (2008). The glacial geomorphology and Pleistocene history of South America between 38°S and 56°S. *Quaternary Science Reviews*, 27, 365-390.
- González, A. (2007). *Discurso y divulgación científica*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Buenos Aires.
- Gordillo S., B. G. (1992). Holocene raised beaches along the northern coast of the Beagle Channel, Tierra del Fuego, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 99, 41-54.
- Gordillo, S. (1993). Las terrazas marinas holocenas de la region la region del Beagle (Tierra del Fuego) y su fauna asociada. *XII Congr. Geol. Argent. y II Congr. de Explor. de Hydroc Actas*, (págs. 34-39).
- Grill, S., Borromei, A., Quattrocchio, M., Coronato, A., Bujalesky, G., & Rabassa, J. (2002). Palynological and sedimentological analysis of Recent sediments from Río Varela, Beagle

- Channel, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología*, 34(2), 145-161.
- Hagg, R. (1910). Interglaziale und postglaziale Meeresmommusken aus Feuerland und Sudpatagonien as Beweis fur ein warmeres klima als das jetzigev for Zoologi, utgivet af K. Svenska Vetenskapsakademien I, 1(7).
- Haldar, S. (2020). Precipitation systems of major sedimentary bodies—collector rocks for oil and gas. En S. Haldar, *Introduction to Mineralogy and Petrology (Second Edition)* (págs. 291-312). Elsevier.
- Halle, T. (1910). On Quaternary deposits and changes of level in Patagonia and Tierra del Fuego. *Bull. Geol Inst.*, 9.
- Heaton, T. K. (2020). Marine20—The Marine Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55,000 cal BP). *Radiocarbon*, 62(4), 779-820.
- Heaton, T., Blaauw, M., Blackwell, P., Bronk, R., Reimer, P., & Scott, E. (2020b). The IntCal20 approach to radiocarbon calibration curve construction: a new methodology using Bayesian splines and errors-in-variables. *Radiocarbon*, 62(4). doi:10.1017/RDC.2020.46
- Hedges, R., Housley, R., Bronk, C., & van Klinken, G. (1992). Radiocarbon dates from the Oxford AMS System: Archaeometry Datelist. *Archaeometry*, 34, 337-357.
- Heir-Nielsen, S., Heinemeier, J., Nielsen, H., & Rud, N. (1995). Recent reservoir ages for Danish fjord and marine waters. *Radiocarbon*, 37(3), 875-882.
- Hemming, S. (2009). Heinrich Events. En V. Gornitz (eds), *Encyclopedia of Paleo Climatology and ancient enviroments* (págs. 409-413). Dordrecht, Holanda.
- Hendey, N. (1964). *An Introductory Account of the Smaller Algae of British Coastal Waters*. Londrés.
- Heusser, C. (1971). *Pollen and Spores of Chile*. Tucson: The University of Arizona Press.
- Heusser, C. (1989a). Polar perspective of Late Quaternary climates in the Southern Hemisphere. *Quaternary Research*, 22, 60-71.
- Heusser, C. (1989b). Late Quaternary vegetation and climate of Southern Tierra del Fuego. *Quaternary Research*, 31, 396-406.
- Heusser, C. (1993). Late Quaternary Forest-Steppe contact zone, Isla Grande de Tierra del Fuego, Subantartic South America. *Quaternary Science Reviews*, 12, 169-177.
- Heusser, C. (1998). Deglacial paleoclimate of American Sector of the Southern Ocean Canal Beagle. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 118, 1-24.
- Heusser, C. (2003). *Ice Age Southern Andes* (Vol. 3). Amsterdam: Elsevier Science.
- Heusser, C., Heusser, L., & Hauser, A. (1990). A 12.000 yr BP tephra layer at Bahía Inútil (Tierra del Fuego, Chile). *Anales del Instituto de la Patagonia*, 19, 39-49.

- Heusser, C., Heusser, L., Lowell, T., Moreira, M., & Moreira M. (2000). Deglacial palaeoclimate at Puerto del Hambre, subantarctic Patagonia, Chile. *Journal of Quaternary Science*, 15, 101-114.
- Heusser, L., Heusser, C., Mix, A., & McManus, J. (2006). Chilean and Southeast Pacific paleoclimate variations during the last glacial cycle: directly correlated pollen and  $\delta^{18}O$  records from ODP Site 1234. *Quaternary Science Review*, 25, 3404-3415.
- Hoek, W. (2009). Bølling-Allerød interstadial. En V. Gornitz (eds), *Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments* (págs. 100-103). Dordrecht, Holanda.
- Hogg, A., Heaton, T., Hua, Q., Palmer, J., Turney, C., Southon, J., . . . Wacker, L. (2020). SHCal20 Southern hemisphere calibration, 0–55,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 00(00), 1-20.
- Hogg, A., McCormac, F., Higham, T., Reimer, P., Baillie, M., & Palmer, J. (2002). High-precision radiocarbon measurements of contemporaneous tree-ring dated wood from the British Isles and New Zealand. *Radiocarbon*, 44(3), 633-640.
- Hogg, A., Southon, J., Turney, c., Palmer, J., Ramsey, C., Fenwick, P., . . . Hughen, K. (2016a). Decadally resolved lateglacial radiocarbon evidence from New Zealand kauri. *Radiocarbon*, 58(4), 709-733.
- Hogg, A., Southon, J., Turney, C., Palmer, J., Ramsey, C., Fenwick, P., . . . Jones, R. (2016b). Punctuated shutdown of Atlantic Meridional Overturning Circulation during Greenland Stadial 1. *Nature Scientific Report*. doi:10.1038/srep25902
- Hughen, K., Baillie, M., Bard, E., Beck, J., Bertrand, C., Blackwell, P., . . . Weyhenmeyer, C. (2004). Marine04 marine radiocarbon age calibration 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, 46(3), 1059-1086.
- Hughes, P., Gibbard, P., & Ehlers, J. (2013). Timing of glaciation during the last glacial cycle: Evaluating the concept of a global ‘Last Glacial Maximum’ (LGM). *Earth Science Reviews*, 171-198.
- Hulton, N., Purves, R., McCulloch, R., Sugden, D., & Bentley, M. (2002). The Last Glacial Maximum and deglaciation in southern South America. *Quaternary Science Reviews*, 21, 233-241.
- Ingram, B., & Southon, J. (1996). Reservoir ages in eastern Pacific coastal and estuarine waters. *Radiocarbon*, 38(3), 573-582.
- Instituto Antártico Chileno. (2009). Darwin en la Patagonia.
- Instituto Antártico Chileno. (2018). Patagonia Fósil: Introducción del turismo paleontológico en la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena. Chile: OGRAMA.
- Isla, F., & Bujalesky, G. (2008). Coastal geology and morphology of Patagonia and the Fuegian Archipelago. En J. Rabassa, *The Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego: Developments in quaternary science* (págs. 227-239). Ushuaia: CADIC-CONICET, Universidad Nacional de la Patagonia.



- Jessen, K., & Milthers, V. (1928). Stratigraphical and paleontological studies of interglacial freshwater in Jutland and north-west Germany. *Danmarks Geologiske Undersøgelse II*, 48, 380.
- Jouzel, J., Vaikmae, R., Petit, J., Martin, M., Duclos, Y., Stievenard, M., . . . Kotlyakov, V. (1995). The two step and timing of the last deglaciation in Antarctica. *Climate Dynamic*, 11, 151-161.
- Key, R., Kozyr, A., Sabine, C., Lee, K., Wanninkhof, R., Bullister, J., . . . Peng, T. (2004). A global ocean carbon climatology: Results from Global Data Analysis Project (GLODAP). *Global Biogeochemical Cycles*, 18.
- Kilian, R., & Lamy, F. (2012). A review of Glacial and Holocene paleoclimate records from southernmost Patagonia (49-55°S). *Quaternary Science Reviews*, 53, 1-23.
- Kilian, R., Baeza, O., Breuer, S., Ríos, F., Arz, H., Lamy, F., . . . Casassa, G. (2013b). Late glacial and Holocene paleogeographical and paleoecological evolution of the Seno Skyring and Otway fjord systems in the Magellan region. *Anales Instituto Patagonia*, 41(2), 5-26.
- Kilian, R., Baeza, O., Steinke, T., Arevalo, M., Rios, C., & Shneider, C. (2007a). Late Pleistocene to Holocene marine transgression and thermohaline control on sediment transport in the western Magellanes fjord system of Chile (53°S). *Quaternary International*, 161, 90-107.
- Kilian, R., Biester, H., Behrmann, J., Baeza, O., Fesq-Martin, M., Hohner, M., . . . Mangini, A. (2006). Millennium-scale volcanic impact on a superhumid and pristine ecosystem. *Geology*, 34(8), 609-612.
- Kilian, R., Lamy, F., & Arz, H. (2013a). Late Quaternary variations of the southern westerly wind belt and its influences on aquatic ecosystems and glacier extend within the southernmost Andes. *German Journal Geoscience*, 164(2), 279-292.
- Kilian, R., Schneider, C., Koch, J., Fesq-Martin, M., Biester, H., Casassa, G., . . . Behrmann, J. (2007b). Palaeoecological constraints on late Glacial and Holocene ice retreat in the Southern Andes (53°S). *Global and Planetary Change*, 59, 49-66.
- Kingsford, m. (12 de Noviembre de 2018). *Encyclopedia Britannica*. Obtenido de <https://www.britannica.com/science/marine-ecosystem>
- Köhler P, M. R. (2006). A model-based interpretation of low-frequency changes in the carbon cycle during the last 120.000 years and its implications for the reconstruction of atmospheric D14C. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 7.
- Köhler, P., & Fischer, H. (2004). Simulating changes in the terrestrial biosphere during the last glacial/interglacial transition. *Global Planet Change*, 43(1-2), 33-55.
- Köhler, P., & Fischer, H. (2006). Simulating low frequency changes in atmospheric CO2 during the last 740000 years. *Climate of the Past*, 2, 57-78.

- Köhler, P., Fischer, H., Munhoven, G., & Zeebe, R. (2005). Quantitative interpretation of atmospheric carbon records over the last glacial termination. *Global Biogeochemical Cycles*, 19.
- Köhler, P., Nehrbass-Ahles, C., Schmitt, J., Stocker, T., & Fischer, H. (2017). A 156 kyr smoothed history of the atmospheric greenhouse gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O and their radiativa forcing. *Earth System Science Data*, 9, 363-387.
- Kopp, O. (21 de Noviembre de 2018). *Peat*. *Encyclopedia Britannica*. Obtenido de <https://www.britannica.com/technology/peat>
- La Prensa Austral. (1 de Noviembre de 2020). *Cuatro láminas de divulgación científica ofrece desde hoy Par Explora Magallanes*. Obtenido de [https://laprensaaustral.cl/2020/11/01/cuatro-laminas-de-divulgacion-cientifica-ofrece-desde-hoy-par-explora-magallanes/?utm\\_source=pocket\\_mylist](https://laprensaaustral.cl/2020/11/01/cuatro-laminas-de-divulgacion-cientifica-ofrece-desde-hoy-par-explora-magallanes/?utm_source=pocket_mylist)
- Labarca, R., & Prieto, A. (2011). Los sitios arqueológicos del Pleistoceno Final de Fuego-Patagonia austral: nuevos hallazgos, nuevos problemas. *Boletín de Arqueología PUCP*, 15, 357-383.
- Lambeck, K. (2009). Glacial Isostasy. En E. V. (eds), *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments* (págs. 374-380). Dordrecht, Holanda.
- Laming-Emperaire, A. (1967). Cadre cronologique provisoire de la prehistoire de Patagonie et de Terre de Feu Chiliennes. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural*, 30, 221-236.
- Laming-Emperaire, A., Lavallée, D., & Humbert, R. (1972). Le site de Marazzi en Terre de Fue. *Objets et Mondes*, 122, 225-44.
- Legoupil, D. (1989). *Ethno-Archéologie dans les Archipels de Patagonie: les Nomades Marins de Punta Baja* (Vol. 84). Paris.
- Legoupil, D. (1994). Prospección en el archipiélago del Cabo de Hornos y la costa sur de la isla Navarino poblamiento y modelos económicos. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 22, 101-121.
- Legoupil, D. (1995). Le Gisement Archéologique de Ponsonby. *Rapport, Mission Archéologique de Patagonie*.
- Legoupil, D. (1997b). Bahía Colorada (Ile Englefield). Les premiers chasseurs de mammiferes marins de Patagonie australe. *Recherche sur les Civilisations*.
- Legoupil, D. (2003). Cazadores recolectores de Ponsonby (Patagonia Austral) y su paleoambiente desde VI al III milenio A.C. *Magallania*, 31.
- Legoupil, D., & Fontugne, M. (1997). El poblamiento marítimo en los archipiélagos de Patagonia: núcleos antiguos y dispersión reciente. *Anales del Instituto de la Patagonia, Serie Ciencias Humanas*, 25, 75-87.

- Legoupil, D., & Pigeot, N. (2009). Les grandes pointes foliacées du type 'Ponsonby': un traceur culturel en Patagonie australe. *Journal de la société des américanistes*, 92-95.
- Legoupil, D., Bearez, P., Lefèvre, C., San Román, M., & Torres, J. (2011). Estrategias de subsistencia de cazadores recolectores de Isla Dawson (estrecho de Magallanes) durante la segunda mitad del holoceno: prim. *Magallania*, 39(2), 153-164.
- Legoupil, D., Philippe, B., Christensen, M., Langlais, M., Lefèvre, C., Morello, F., . . . San Román, M. (2007). Le faciés culturel des populations á grandes pointes en Patagonie: les sites de l'île Dawson. *Rapport de mission pour le ministère des Affaires étrangères*.
- Lerat, P. (1997). *Las lenguas especializadas*. Barcelona: Ariel.
- Lerman, J., Mook, W., & Vogel, J. (1970). 14C in tree rings from different localities. En I. Olsson (Ed.), *Radiocarbon variations and Absolute Chronology* (págs. 275-301). New York: Wiley.
- Libby, W., Anderson, E., & Arnold, J. (1949). Age Determination by Radiocarbon Content: World-Wide Assay of Natural Radiocarbon. *Science*, 109(2827), 227-228.
- Lovell, H., Stokes, C., & Bentley, M. (2011). A glacial geomorphological map of the Seno Skyring-Seno Otway-Strait of Magellan region, southernmost Patagonia. *Journal of maps*, 7(1), 318-339.
- Lowe, J., & Walker, M. (1997). *Reconstructing Quaternary Environments*. London, Reino Unido: Longman.
- Lowell, T., Heusser, C., Anderson, B., Moreno, P., Hauser, A., Heusser, L., . . . Denton, G. (1995). Interhemispheric correlation of Late Pleistocene events. *Science*, 269, 1541-1549.
- Lustig, L., Dury, G., Schumm, S., & Ritter, D. (13 de Agosto de 2021). *Encyclopedia Britannica*. Obtenido de <https://www.britannica.com/science/river>
- Mangerud, J., Andersen, S., Berglund, B., & Donner, J. (1974). Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. *Boreas*, 3, 109-128.
- Mansilla, C., McCulloch, R., & Morello, F. (2018). The vulnerability of the Nothofagus forest-steppe ecotone to climate change: Palaeoecological evidence from Tierra del Fuego (~53°S). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.
- Mansilla, C., McCulloch, R., & Morello, F. (2016). Palaeoenvironmental change in Southern Patagonia during the Lateglacial and Holocene: Implications for forest refugia and climate reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 447, 1-11.
- Marangunic, C. (1974). Los depósitos glaciales de la Pampa Magallánica. *Revista Geografica de Chile "Tierra Australis"*, 22-23, 5-11.
- Markgraf, V. (1980). New data on the late and Postglacial Vegetational History of La Mission, Tierra Del Fuego, Argentina. *IV International Palynological Conference*, 3, págs. 68-74. Lucknow.

- Markgraf, V. (1983). Late and Postglacial vegetational and palaeoclimatic changes in subantarctic, temperate and arid environments. *Palynology*, 7, 43-70.
- Markgraf, V., & Huber, U. (2010). Late and postglacial vegetation and fire history in Southern Patagonia and Tierra del Fuego. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 297(2), 351-366.
- Marshall, S. (2009). Glaciations, Quaternary. En V. Gornitz (eds), *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments* (págs. 389-393). Dordrecht, Holanda.
- Marshall, S., James, T., & Clarke, G. (2002). North American Ice Sheet reconstruction at the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Review*, 21, 175-192.
- Martin, F., & Borrero, L. (2010). Mundo Subterráneo Regional Taphonomy at the Pali-Aike Lava Field, Santa Cruz, Argentina. *Trabajo presentado al 69th Annual Meeting de la SAA en Montreal, MS*.
- Martin, F., & San Román, M. (2010). Explorando la variabilidad del registro arqueológico y tafonómico en Pali-Aike (Chile) a través de la búsqueda de registros pleistocenos a cielo abierto. *Magallania*, 38(1), 199-214.
- Martin, F., Prieto, A., Morello, F., Prevosti, F., & Borrero, L. (2004). Late Pleistocene megafauna at Cueva del Puma, Pali-Aike Lava Field, Chile. *Current Research in the Pleistocene*, 21, 101-103.
- Massone, M. (1979). Panorama etnohistórico y arqueológico de la ocupación Tehuelche y Prototehuelche en la costa del Estrecho de Magallanes. *Annales del Instituto Patagonia*, 10, 63-107.
- Massone, M. (1981). Arqueología de la región volcánica de Pali Aike (Patagonia Meridional chilena). *Anales del Instituto de la Patagonia*, 12, 95-124.
- Massone, M. (1983). 10400 años de colonización humana en Tierra del Fuego. *Informese*, 14, 24-32.
- Massone, M. (1987). Los cazadores paleoindios de Tres Arroyos (Tierra del Fuego). *Anales del Instituto Patagonia, Serie Ciencias Sociales*, 17, 47-60.
- Massone, M. (2004). *Los cazadores después del hielo*. Santiago: Colección Antropológica VII, Centro de Investigaciones Diego Barros Arana.
- Massone, M., & Morello, F. (2007). Los Cetáceos en el Mundo Selk'nam: una evaluación arqueológica. En F. Morello, M. Martinic, A. Prieto, & G. Bahamonde, *Arqueología de Fuego-Patagonia. Levantando piedras, desenterrando huesos... y develando arcanos* (págs. 709-721). Punta Arenas: CEQUA.
- Massone, M., & Prieto, A. (2004). Evaluación de la modalidad cultural Fell 1 en Magallanes. *Chungara*, 36, 303-315.

- Massone, M., & Torres, J. (2004). Pesas, peces y restos de cetáceos en el campamento de Punta Catalina 3 2.300 años AP. *Magallania*, 32, 143-61.
- Massone, M., Morello, F., Borrero, L., Legoupil, D., Mena, F., Prieto, A., . . . Munita, D. (2016). Cazadores-recolectores en la Patagonia chilena desde el 11.000 a.p. a la colonización occidental. En S. C. Arqueología, *Prehistoria en Chile. Desde sus primeros habitantes hasta los incas* (págs. 443-486). Santiago de Chile: Editorial Universitaria de Chile.
- Massone, M., Prieto, A., Jackson, D., Cárdenas, G., Arroyo, M., & Cárdenas, P. (1998). Los cazadores tempranos y sus fogatas: una nueva historia para la cueva Tres Arroyos 1, Tierra del Fuego. *Boletín de la Sociedad Chilena de Arqueología*, 26, 11-18.
- Massone, M., Prieto, A., Jackson, D., Prieto, X., Rojas, G., Seguel, R., & Borrero, L. (1999). *Hombre Temprano y Paleoambiente en Tierra del Fuego*. Informe Final, Proyecto FONDECYT 1960027.
- Mayhew, S. (2009). *Dictionary of Geography*. Oxford University Press.
- McCormac, F., Hogg, A., Higham, T., Baillie, M., Palmer, J., Xiong, L., . . . Hoper, S. (1998a). Variations of radiocarbon in tree rings: Southern Hemisphere offset preliminary result. *Radiocarbon*, 3, 1153-1159.
- McCormac, F., Hogg, A., Higham, T., Lynch, S., Broecker, W., Baillie, M., . . . Hoper, S. (1998b). Temporal variation in the interhemispheric  $^{14}\text{C}$  offset. *Geophysical Research Letters*, 25(9), 1321-1324.
- McCulloch, R., Clapperton, C., Rabassa, J., & Currant, A. (1997). The natural Setting. The glacial and Post-Glacial environmental history of Fuego-Patagonia. (C. Ewan, L. Borrero, & A. Prieto, Edits.) *Patagonia*, 12-31.
- McCulloch, R. (1994). Palaeoenvironmental evidence for the Late Wisconsin/Holocene transition in the Strait of Magellan, southern Patagonia. [Tesis doctoral Universidad de Aberdeen].
- McCulloch, R., & Bentley, M. (1998). Late glacial ice advances in the Strait of Magellan Southern Chile. *Quaternary Science Reviews*, 17, 775-787.
- McCulloch, R., & Davies, S. (2001). Late-glacial and Holocene palaeoenvironmental change in the central Strait of Magellan, Southern Patagonia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 173, 143-173.
- McCulloch, R., & Morello, F. (2009). Evidencia glacial y paleoecológica de ambientes tardiglaciales y del Holoceno temprano. Implicaciones para el poblamiento temprano de Tierra del Fuego. En M. Salemme, F. Santiago, M. Álvarez, E. Piana, M. Vázquez, & E. Masur, *Arqueología de la Patagonia - Una Mirada desde el último confín* (págs. 115-130). Argentina: Utupias.
- McCulloch, R., Bentley, M., Purves, R., Hulton, R., Sugden, D., & Clapperton, C. (2000). Climatic inferences from glacial and palaeoecological evidence at the last glacial termination, southern South America. *Journal of Quaternary Science*, 15(4), 409-417.

- McCulloch, R., Bentley, M., Tipping, R., & Clapperton, C. (2005b). Evidence for late-glacial ice dammed lakes in the central Strait of Magellan and Bahía Inútil, southernmost South America. *Geografiska Annaler*, 87(2), 335-362.
- McCulloch, R., Fogwill, C., Sugden, D., Bentley, M., & Kubik, P. (2005a). Chronology of the last glaciation in Central Strait of Magallean and Bahía Inútil, Southernmost South America. *Geografiska Annaler*, 87 A(2), 289-312.
- Meglioli, A. (1992). Glacial geology of southernmost Patagonia, the Strait of Magellan and northern Tierra del Fuego (Tesis doctoral). *Lehigh University*. Estados Unidos.
- Meier, M. (20 de Febrero de 2020). *Britannica*. Obtenido de <https://www.britannica.com/science/glacier>
- Menzies, J. (2009). The Earth as a glacial planet. En V. Gornitz (eds), *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments* (págs. 362-363). Dordrecht, Holanda.
- Mercer, J. (1965). Glaciar variations in Southern Patagonia. *Geogr. Rev*, 50(3), 390-413.
- Mercer, J. (1976). Glacial history of Southernmost South America. *Quaternary Research*, 6, 125-166.
- Merino, V. (2017). Edad de reservorio regional pre-bomba (DR) del radiocarbono (14C) a lo largo de la costa Chilena. Concepción, Chile: [Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias con mención en Oceanografía, Universidad de Concepción].
- Mogollón, G. (2015). Discurso de divulgación científica y tecnológica: de la definición al análisis crítico. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V*, 30(1), 15-26.
- Mogollón, I. (2003). Paradigma científico y lenguaje especializado. *Revista de la facultad de Ingeniería de la UCV*, 18(3), 5-14.
- Morello, F., Arroyo-Kalin, L., Borrero, J., Massone, M., Cárdenas, P., & Bahamonde, G. (2009a). Nuevas evidencias de cazadores recolectores terrestres del Holoceno medio y tardío en Tierra del Fuego. *Magallania*, 37(2), 191-203.
- Morello, F., Borrero, L., Massone, M., Stern, C., García-Herbst, A., McCulloch, R., . . . Cárdenas, P. (2012a). Hunter-gatherers, biogeographic barriers and the development of human sttlement in Tierra del Fuego. *Antiquity*, 86(331), 71-87.
- Morello, F., Borrero, L., Torres, J., Massone, M., Arroyo-Kalin, R., McCulloch, R., . . . Bahamonde, G. (2009b). Evaluando el registro arqueológico de Tierra del Fuego durante el Holoceno temprano y medio. En M. Salemme, F. Santiago, M. Alvarez, E. Piana, M. Vázquez, & M. Mansur, *Arqueología de Patagonia: una mirada desde el último confin* (págs. 1075-1092). Ushuaia: Editorial Utopías.
- Morello, F., Contreras, L., & San Román, M. (1999). La localidad de Marazzi y el sitio arqueológico Marazzi 1, una reevaluación. *Anales del Instituto de la Patagonia, Serie Ciencias Humanas*, 27, 183-98.

- Morello, F., San Román, M., & Prieto, A. (2002). Puntas de proyectil lanceoladas en Patagonia meridional y Tierra del Fuego. *Anales del Instituto de la Patagonia, Serie Ciencias Humanas*, 30, 155-166.
- Morello, F., San Román, M., Seguel, R., & Martin, F. (1998). Excavación en el sitio Marazzi 2. Sector 2-Terraza superior (Río Torcido, Bahía Inútil). Primer avance. *Anales del Instituto de la Patagonia, Serie Ciencias Humanas*, 26, 119-26.
- Morello, F., Torres, J., Martínez, I., Rodríguez, K., Arroyo-Kalin, M., French, C., . . . San Román, M. (2012b). Arqueología de la Punta Santa Ana: reconstrucción de secuencias de ocupación de cazadores-recolectores marinos del estrecho de Magallanes, Patagonia austral, Chile. *Magallania*, 40(2), 129-149.
- Morgan, V. (2009). Antarctic Cold Reversal. En V. Gornitz (eds), *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments* (págs. 22-24). Dordrecht, Holanda.
- Mörner, N. (1987). Sea level changes and tectonics in Tierra del Fuego. *Bulletin of the International Union for Quaternary Research Neotectonics Commission*, 10(31).
- Musotto, L., Borromei, A., Bianchinotti, M., & Coronato, A. (2016a). Late Quaternary palaeoenvironmental reconstruction of central Tierra del Fuego (Argentina) based on pollen and fungi. *Quaternary International*, 442, 13-25.
- Musotto, L., Borromei, A., Bianchinotti, M., Coronato, A., Menounos, B., Osborn, G., & Marr, R. (2016b). Postglacial environments in the southern coast of Lago Fagnano, central Tierra del Fuego, Argentina, based on pollen and fungal microfossils analyses. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 238, 43-54.
- Nami, H. (1994). Reseña sobre los avances de la Arqueología finipleistocénica del extremo sur de Sudamérica. *Chungara*, 26, 145-163.
- Naylor, J., & Smith, A. (1988). An archaeological inference problem. *Journal of the American Statistical Association*, 83(403), 588-595.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (09 de Agosto de 2021). *What is the intertidal zone?* Obtenido de <https://oceanservice.noaa.gov/facts/intertidal-zone.html>
- Nordenskjöld, O. (1898). Algunos datos sobre la naturaleza de la region magallanica. *An. Soc. C. Arg*, 44.
- Ocampo, C., & Rivas, P. (2000). Nuevos fechados 14C de la costa norte de la Isla Navarino, costa sur del canal Beagle, provincia Antártica chilena, región de Magallanes. *Anales del Instituto Patagonia*, 197-214.
- Orquera, L. (2005). Mid-Holocene litoral adaptation at the southern end of South America. *Quaternary International*, 132, 107-155.
- Orquera, L., & Piana, E. (1999). Arqueología de la región del canal Beagle (Tierra del Fuego, República Argentina).

- Orquera, L., & Piana, E. (2009). Sea Nomads of the Beagle Channel in Southernmost South America: Over Six Thousand Years of Coastal Adaptation and stability. *The Journal of Island and Coastal Archaeology*, 4, 61-81.
- Orquera, L., Legoupil, D., & Piana, E. (2011). Littoral adaptation at the southern end of South America. *Quaternary International*, 239, 61-69.
- Orquera, L., Sala, A., Piana, E., & Tapia, A. (1977). *Lancha Packewaia: Arqueología de los Canales Fueguinos*. Buenos Aires: Huemul.
- Ortiz-Troncoso, O. (1972). Material lítico de Patagonia austral. Seis yacimientos de superficie. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 3(1-2), 49-82.
- Ortiz-Troncoso, O. (1975). Los Yacimientos de Punta Santa Ana y Bahía Buena (Patagonia Austral). Excavaciones y Fechados Radiocarbónicos. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 7, 93-122.
- Ortiz-Troncoso, O. (1979). Punta Santa Ana et Bahía Buena: deux Gisements sur une ancienne ligne de rivage dans le détroit de Magellan.”. *Journal de la Société des Américanistes*, 60(6), 133-204.
- OxCal. (10 de Agosto de 2021). Obtenido de <https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html>
- Parodi, G. (2005). *Discurso especializado e instituciones formadoras*. Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Pedro, J., Markus, J., Buizert, C., He, F., Barker, S., & Rasmussen, S. (2018). Beyond the bipolar seesaw: Toward a process understanding of interhemispheric coupling. *Quaternary Science Reviews*, 192, 27-46.
- Peltier, W., & Fairbanks, R. (2006). Global glacial ice volume and last glacial maximum duration from an extended Barbados sea level record. *Quaternary Science Review*, 25(23-24), 3322-3337. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.04.010>
- Pérez, P. (2009). El léxico de especialidad. *Cuestiones generales. El léxico de especialidad desde una perspectiva histórica, Seminario de lengua española*. España.
- Petchey, F., Anderson, A., Zondervan, A., Ulm, S., & Hogg, A. (2008). New marine DR values for the south Pacific Subtropical Gyre region. *Radiocarbon*, 50(3), 373-397.
- Peteet, D. (2008). Younger Dryas. En V. Gornitz (eds), *Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments* (págs. 993-997). Dordrecht, Holanda.
- Peterson, L. (2021). (Paleo) Climatology Geochemical Tracers. En *Encyclopedia of Geology (Second Edition)* (págs. 248-257). Academic Press. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102908-4.00128-4>
- Piana, E. (1984). Arrinconamiento o adaptación en Tierra del Fuego. En E. Belgrano, *Ensayos de Antropología Argentina* (págs. 9-110). Buenos Aires: Editorial de la Universidad de Belgrano.



- Piana, E., & Orquera, L. (2009). The southern top of the world: the first peopling of Patagonia and Tierra del Fuego, and the cultural endurance of Fuegian sea-nomads. *Artic Anthropology*, 46(1-2), 103-117.
- Pirazzoli, P. (2013). *Encyclopedia of Quaternary Science* (Segunda Edición).
- Pisano, E. (1977). Fitogeografía de Fuego-Patagonia chilena I. Comunidades vegetales entre las latitudes 52° y 56°S. *Anales del Instituto Patagonia*, 8, 121-250.
- Pisano, E. (1981). Bosquejo fitogeográfico de Fuego-Patagonia. *Anales del Instituto Patagonia*, 159-171.
- Ponce, J., Borromei, A., Rabassa, J., & Martínez, O. (2011). Late Quaternary palaeoenvironmental change in western Staaten Island (54.5°S, 64°W), Fuegian Archipelago. *Quaternary International*, 233, 89-100.
- Porter, S. (1990). Character and ages of Pleistocene drifts in a transect across the Strait of Magellan. *Quaternary of South America and the Antarctic Peninsula*, 7, 35-49.
- Porter, S., Clapperton, C., & Sugden, D. (1992). Chronology and dynamics of deglaciation along and near the Strait of Magellan, southernmost South America. *Sveriges Geologiska Undersokning*, 81, 233-239.
- Porter, S., Stuiver, M., & Heusser, C. (1984). Holocene sea-level changes along the strait of Magellan and Beagle Channel, Southernmost South America. *Quaternary Research*, 22, 59-67.
- Premoli, A., Mathiasen, P., & Kitzberger, T. (2010). Southern-most Nothofagus trees enduring ice ages: Genetic evidence and ecological niche retrodiction reveal high latitude (54°S) glacial refugia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 298(3-4), 247-256.
- Prieto, A., Calás, E., Morello, F., & Torres, J. (2007). El sitio arqueológico Myren 2, Tierra del Fuego, Chile. *Magallania*, 35(2), 89-103.
- Prieto, A., Martín, F., & Arroyo, M. (1997). Excavación del sitio TA-14(30) NE. Chile: Proyecto FONDECYT 1960027.
- Prieto, A., Morello, F., Cárdenas, R., & Christensen, M. (1998). Cañadón Leona: A sesenta años de su descubrimiento. *Anales del Instituto Patagonia*, 26, 83-105.
- Prieto, X., & Winslow, M. (1994). El Cuaternario del Estrecho de Magallanes I: sector Punta Arenas-Primera Angostura. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 21, 85-95.
- Rabassa, J., Heusser, C., & Kenrath, R. (1986). New data on Holocene sea transgression in the Beagle Channel: Tierra del Fuego, Argentina. *Quat. S. Am. Antarct. Penins.*, 4, 291-309.
- Rabassa, J., B. G. (1992). The Quaternary of Tierra del Fuego, Argentina: the status of our knowledge. *Sver. Geolog. Undersn. Ser. ca*, 81, 249-256.
- Rabassa, J. (2008). Cenozoic Glaciations in Patagonia and Tierra del Fuego. *Developments in Quaternary Sciences*, 11, 151-204.

- Rabassa, J. S. (1988). Estructura interna de drumlins, Isla Gable, Canal Beagle, Tierra del Fuego. *Segunda Reunión Argentina de Sedimentología*, 222-226.
- Rabassa, J., & Clapperton, C. (1990). Quaternary Glaciations of the Southern Andes. *Quaternary Science Reviews*, 9, 153-174.
- Rabassa, J., Coronato, A., & Salemme, M. (2005). Chronology of the Late Cenozoic Patagonian glaciations and their correlation with biostratigraphic units of the Pampean region (Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 20, 81-104.
- Rabassa, J., Coronato, A., Bujalesky, G., Salemme, M., Roig, C., Meglioli, A., . . . Quattrocchio, M. (2000). Quaternary of Tierra del Fuego, Southernmost South America: an updated review. *Quaternary International*, 68-71, 217-240.
- Raedeker, L. (1978). Formas del terreno y depósitos cuaternarios, Tierra del Fuego central, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 5, 3-31.
- Rafferty, J. (20 de Febrero de 2020). *Britannica*. Obtenido de <https://www.britannica.com/science/glacial-stage>
- Rasmussen, S., Andersen, K., Svensson, A., Steffensen, J., Vinther, B., Clausen, H., . . . Ruth, U. (2006). A new Greenland ice core chronology for the last glacial Termination. *Journal of Geophysical Research*, 111, 1984-2012.
- Reimer, P., Austin, W., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P., Bronk, R., . . . Talamo, S. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon calibration curve (0-55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62(4), 725-757.
- Reimer, P., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J., Blackwell, P., Bronk, C., . . . van der Plicht, J. (2013). IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55(4), 1869-1887.
- Renfrew, C., & Clark, R. (1973). Tree-ring calibration of radiocarbon dates and the chronology of ancient Egypt. *Nature*, 243, 266-270.
- Rodgers, K., Mikaloff-Fletcher, S., Bianchi, D., Beaulieu, C., Galbraith, E., Gnanadesikan, A., . . . Reimer, P. (2011). Interhemispheric gradient of atmospheric radiocarbon reveals natural variability of Southern Ocean winds. *Climate of the Past*, 7, 1123-1138.
- Roqueplo, P. (1983). *El reparto del saber: ciencia, cultura, divulgación*. Barcelona: Cedisa.
- Rostami, K. P. (2000). Quaternary marine terraces, sea-level changes and uplift history of Patagonia, Argentina: Comparisons with predictions of the ICE-4G (VM2) model of the global process of glacial isostatic adjustment. *Quaternary Science Reviews*, 19(14), 1495-1525.
- Rovere, A. S. (2016). Eustatic and Relative Sea Level Changes. *Curr Clim Change Rep*, 221-231.
- Salemme, M., & Bujalesky, G. (2000). Condiciones para el asentamiento humano litoral entre Cabo San Sebastián y Cabo Peñas (Tierra del Fuego) durante el Holoceno medio. En J. Berladi,

- F. Carballo, & S. Espinosa, *Desde el País de los Gigantes. Perspectivas arqueológicas en Patagonia. Río Gallegos*. Universidad Nacional de la Patagonia Austral.
- Salemme, M., Bujalesky, G., & Santiago, F. (2005). La Arcillosa 2: la ocupación humana durante el Holoceno medio en el Río Chico, Tierra del Fuego, Argentina. En *Libro de resúmenes Sextas Jornadas de Arqueología de la Patagonia* (pág. 82). Punta Arenas.
- Salemme, M., Bujalesky, G., & Santiago, F. (2007). La Arcillosa 2: la ocupación humana durante el Holoceno medio en río Chico, Tierra del Fuego. En F. Morello, M. Martinic, A. Prieto, & G. Bahamonde, *Arqueología de Fuego-Patagonia. Levantando piedras, desenterrando huesos...y develando arcanos* (págs. 723-36). Punta Arenas: CEQUA.
- San Román, M. (2005). Nuevos hallazgos de sitios de cazadores-recolectores marinos tempranos en Isla Englefield, mar de Otway. *Magallania*, 33(2), 173-176.
- San Román, M. (2010). La explotación de recursos faunísticos en el sitio Punta Santa Ana 1: Estrategia de subsistencia de grupos de cazadores marinos tempranos de Patagonia meridional. *Magallania*, 38(1), 183-198.
- San Román, M. (2013). Sitios arqueológicos de isla Englefield, mar de Otway: nuevas evidencias de discontinuidad cultural en el proceso de poblamiento marítimo de Patagonia meridional. En F. Zangrando, R. Barberena, A. Gil, G. Neme, M. Giardina, L. Luna, . . . A. Tivoli, *Tendencias teórico-metodológicas y casos de estudio en la arqueología de la Patagonia*. Buenos Aires.
- San Román, M., Morello, F., & Prieto, A. (2000). Cueva de los Chingues (Parque Nacional Pali Aike), Magallanes, Chile. Historia Natural I. *Anales Instituto Patagonia*, 28, 125-146.
- San Román, M., Morello, F., & Prieto, A. (2002). Nuevos antecedentes sobre la explotación de recursos faunísticos en el mar de Otway y canales adyacentes. *Anales del Instituto de la Patagonia, Serie Ciencias Humanas*, 30, 147-154.
- San Román, M., Reyes, O., Torres, J., & Morello, F. (2016). Archaeology of Maritime Hunter-Gatherers from Southernmost Patagonia, South America: Discussing Timing, Changes and Cultural Traditions during the Holocene. En H. Bjerck, H. Mjelva Breivik, S. Fretheim, E. Piana, B. Skar, A. Tivoli, & F. Zangrando (Edits.), *Marine Ventures-Archaeological Perspectives on Human-Sea Relationships* (págs. 157-174). Reino Unido: Equinox eBooks.
- San Román, M., Salas, K., & Fontugne, M. (2009). Primeros avances en la reconstrucción de secuencias de ocupación de cazadores recolectores marinos en el estrecho de Magallanes, Patagonia meridional. En M. Salemme, F. Santiago, M. Álvarez, E. Piana, M. Vázquez, & M. Mansur, *Arqueología de la Patagonia. Una mirada desde el último confín* (págs. 35-43). Ushuaia: Editorial Ushuaia.
- Sánchez, F., & Roque, G. (2011). La divulgación científica: Una herramienta eficaz en centros de investigación. *Anales de Investigación*(7), 91-94.
- Santiago, F. (2007). Análisis tafonómico en La Arcillosa 2 (Tierra del Fuego, Argentina). *Intersecciones en Antropología*, 8, 301-313.

- Schellmann, G. & (2010). Timing and magnitude of Holocene sea-level changes along the middle and south Patagonian Atlantic coast derived from beach ridge systems littoral terraces and valley-mouth terraces. *Earth Science Reviews*, 103(1), 1-30.
- Schlieder, G., & Evenson, E. (14 de Agosto de 2019). *Encyclopedia Britannica*. Obtenido de Glacial landform: <https://www.britannica.com/science/glacial-landform>
- Schneider, C., Kilian, R., Santana, A., Butorovic, N., & Casassa, G. (2003). Weather observations across the southern Andes at 53°S. *Physical Geography*, 24, 97-119.
- Schneider, R., Bard, E., & Mix, A. (2000). Last Ice Age global ocean and land surface temperatures: The EPILOG initiative. *PAGES News*, 8, 19-21.
- Shackleton, N. (1995). New data on the evolution of Pliocene climatic variability. En E. Vrba, G. Denton, T. Partridge, & L. Burckle, *Paleoclimate and Evolution, with Emphasis on Human Origins* (págs. 242-248). London: Yale University Press.
- Shakleton, N. (1987). Oxygen isotopes, ice volume and sea level. *Quaternary Sciences Reviews*, 6, 183-190.
- Silva, C., & Calderón, J. (2018). *Guía Climática Práctica*. Dirección Meteorológica de Chile.
- Silva, N., Rojas, N., & Fedele, A. (2009). Water masses in the Humboldt Current System: Properties, distribution, and the nitrate deficit as a chemical water mass tracer for Equatorial Subsurface Water off Chile. *Deep-Sea Research II*, 56, 1004-1020.
- Singer, B., Ackert, R., & Guillou, H. (2004). 40Ar/39Ar and K/Ar chronology of Pleistocene glaciations in Patagonia. *Geological Society America Bulletin*, 116, 434-450.
- Soto-Hein, P. (1992). Le peuplement Paléo-Indien et archaïque d'Amérique du sud. Étude anthropologique et analyse comparative avec le peuplement sub-actuel. Museum National d'Histoire Naturelle: [Tesis de Doctorado].
- Southon, J., Kashgarian, M., Metivier, B., & Yim, W. (2002). Marine reservoir corrections for the Indian Ocean and Southeast Asia. *Radiocarbon*, 44(1), 167-180.
- Southon, J., Oakland, A., & True, D. (1995). A comparison of marine and terrestrial radiocarbon ages from Northern Chile. *Radiocarbon*, 37(2), 389-393.
- Stern, I. (1992). Tefrocronología de Magallanes: nuevos datos e implicaciones. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 21, 129-141.
- Stern, C. (2008). Holocene tephrochronology record of large explosive eruptions in the southernmost Patagonia Andes. *Bulletin of Volcanology*, 70(4), 435-454.
- Stuiver, M., & Braziunas, T. (1993). Modeling atmospheric 14C influences and 14C Ages of marine samples back to 10.000 B.C. *Radiocarbon*, 35(1), 137-191.
- Stuiver, M., & Pearson, G. (1986b). High-precision calibration of the radiocarbon time scale, AD 1950-500 BC. *Radiocarbon*, 28(2B), 805-838.

- Stuiver, M., & Reimer, P. (1986). A computer program for radiocarbon age calibration. *Radiocarbon*, 2B, 1022-1030.
- Stuiver, M., & Reimer, P. (1989). Histograms obtained from computerized radiocarbon age calibration. *Radiocarbon*, 31(3), 817-823.
- Stuiver, M., Pearson, G., & Braziunas, T. (1986a). Radiocarbon age calibration of marine samples back to 9000 cal yr BP. *Radiocarbon*, 28(2B), 980-1021.
- Stuiver, M., Reimer, P., & Reimer, R. (2020). *CALIB Radiocarbon Calibration*. Obtenido de <http://calib.org>
- Stuiver, M., Reimer, P., Bard, E., Beck, J., Burr, G., Hughen, K., . . . Spurk, M. (1998). INTCAL98 radiocarbon age calibration. *Radiocarbon*, 40, 1041-1083.
- Suess, H. (1967). Bristlecone pine calibration of the radiocarbon time scale from 4100 B.C to 1500 B.C. En *Proc. Symp. on Radiocarbon Dating and Methods of Low-Level Counting* (págs. 143-151). Vienna: I.A.E.A.
- Suess, H. (1970). Bristlecone pine calibration of the radiocarbon time scale from 5400 B.C. to the present. En I. Olsson (Ed.), *Radiocarbon Variations and Absolute Chronology* (págs. 303-311). Council for British Archaeology.
- Sugden, D., Bentley, M., Fogwill, C., Hulton, N., McCulloch, R., & Purves, R. (2005). Late-glacial glacier event in southernmost South America: a blend of "Northern" and "Southern" hemispheric climatic signals. *Geografiska Annaler*, 87, 273-288.
- Suggate, R. (1965). The Definition of "Interglacial". *The Journal of Geology*, 73(4).
- Sundback, K. (1987). The epissamic marine diatom *Opephora olsenii*, Moller. *Diatom Research*, 2, 241-249.
- Swales, J. (1990). Genre Analysis. *English in academic and research settings*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Takahashi, T. (2001). Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Cycle. . *Academic Press. Columbia University*, 400-407.
- Takahashi, T., Sutherland, S., Sweeney, C., Poisson, A., Metzl, N., Tilbrook, B., . . . Nojiri, Y. (2002). Global sea-air CO<sub>2</sub> flux based on climatological surface ocean pCO<sub>2</sub>, and seasonal biological and temperature effects. *Deep Sea Research II*, 49, 1601-1622.
- Toggweiler, J., Russell, J., & Carson, S. (2006). Midlatitude westerlies, atmospheric CO<sub>2</sub>, and climate change during the ice ages. *Paleoceanography y Paleoclimatology*, 21.
- Ton-That, T., Singer, B., Rabassa, J., & Mörner, N. (1999). Datación de lavas basálticas <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar y geología glacial de la Región del Lago Buenos Aires, provincia de Santa Cruz, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 54(4), 333-352.
- Torres, R., Pantoja, S., Harada, N., González, H., Daneri, G., Frangopulos, M., . . . Fukasawa, M. (2011). Air-sea CO<sub>2</sub> fluxes along the coast of Chile: From CO<sub>2</sub> outgassing in centra

- northern upwelling waters to CO<sub>2</sub> uptake in southern Patagonia fjords. *Journal of Geophysical Research*, 116.
- Toucanne, S., Zaragosi, S., Bourillet, J.-F., & Cremer, M. (2009). Timing of massive 'Fleuve Manche' discharges over the last 350 kyr: insights into the European ice-sheet oscillations and the European drainage network from MIS 10 to 2. *Quaternary Science Reviews*, 28(13-14), 1238-1256.
- Tuhkanen, S., Kuokka, I., Hyvönen, J., Stenroos, S., & Niemelä, J. (1989-1990). Tierra del Fuego as a target for biogeographical research in the past and present. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 19(2), 5-107.
- Ucha, F. (Diciembre de 2010). *Definicionabc*. Obtenido de <https://www.definicionabc.com/geografia/meridional.php>
- United States Department of Agriculture. (Abril de 2017). Mesic habitat conservation planning guide. Estados Unidos.
- Universidad de Magallanes. (Diciembre de 2020). *Dirección de Investigación*. Obtenido de <http://www.umag.cl/investigacion/web/?p=3726>
- Urien, C. (1966). Edad de algunas playas elevadas de la Península de Ushuaia y su relacion con el ascenso costero III. *Jornadas Geologicas Argentinas*, 2, 35-42.
- Vos, P., & de Wolff, H. (1993). Diatoms as a tool for reconstructing sedimentary environments in coastal wetlands; methodological aspects. *Hydrobiologia*, 269-270, 285-296.
- Weaver, A., Saenko, O., Clark, P., & Mitrovica, J. (2003). Meltwater pulse 1A from Antarctica as a trigger of the Bølling-Allerød warm interval. *Science*, 299, 1709-1713.
- Wendt, K., Häuselmann, A., Fleitmann, D., Berry, A., Wang, X., Auler, A., . . . Edwards, L. (2019). Three-phased Heinrich Stadial 4 recorded in the NE Brazil stalagmites. *Earth and Planetary Science Letters*, 510, 94-102.
- Willis, E., Tauber, H., & Munnich, K. (1960). Variations in the atmospheric radiocarbon concentration over the past 1300 years. *Radiocarbon*, 2, 1-4.
- Winslow, M., & Prieto, X. (1991). Evidence of active tectonics along the Strait of Magellan, Chile. *Congr. Geol. Chile. Resum. Expand*, 654-655.

## ANEXO A: CATASTRO DE SITIOS ARQUEOLÓGICOS DE PATAGONIA AUSTRAL

### Y TIERRA DEL FUEGO

| SITIO   | UTM O  | UTM S   | DATACIÓN      | EDAD CALIBRADA           | MUESTRA                                     | REFERENCIA                            |
|---|--------|---------|---------------|--------------------------|---|---------------------------------------|
| <b>B. Buena</b>   | 370661 | 4059403 | 5895 ± 65 AP  | 6490-6846 <sup>a</sup>   | Carbón                                      | Ortiz Troncoso 1975, 1979             |
| <b>B. Buena</b>   | 370661 | 4059403 | 6330 ± 50 AP  | 7014-7406 <sup>a</sup>   | Hueso de Lama guanicoe                      | San Román, 2010                       |
| <b>B. Colorada</b>                                      | 309665 | 4112851 | 5500 ± 70 AP  | 6188-6316 <sup>b</sup>   | Arpón, puntas multidentadas y pesos líticos | Legoupil, 1997                        |
| <b>B. Colorada</b>                                      | 309665 | 4112851 | 5765 ± 20 AP  | 6436-6632 <sup>a</sup>   | Carbón                                      | Legoupil, 1997                        |
| <b>B. Colorada</b>                                      | 309665 | 4112851 | 5210 ± 110 AP | 5658-6200 <sup>a</sup>   | Carbón                                      | Legoupil, 1997                        |
| <b>Bahía<br/>Municipión 3</b>                           | 465430 | 4205578 | 3200 ± 450 AP | 2781-3906 <sup>b</sup>   | Herramientas líticas y restos óseos         | Barberena, 2008                       |
| <b>Bahía<br/>Posesión 3,<br/>nivel 5 base</b>           | 509089 | 4205571 | 2080 ± 200 AP | 1745-2154 <sup>b</sup>   | Carbón vegetal                              | Massone, 1979                         |
| <b>Cabo<br/>Monmouth<br/>20</b>                         | 403003 | 4086175 | 5520 ± 50 AP  | 5529-5748 <sup>c</sup>   | Mytilus sp                                  | Morello et al. 2009a                  |
| <b>Cabo<br/>Monmouth<br/>20</b>                         | 403003 | 4086175 | 5565 ± 40 AP  | 6288-6323 <sup>b</sup>   | Paleosuelo                                  | Morello et al. 2009a                  |
| <b>Cabo<br/>Monmouth<br/>20</b>                         | 403003 | 4086175 | 2410 ± 35 AP  | 2341-2438 <sup>b</sup>   | Hueso Lama guanicoe                         | Morello et al. 2009a                  |
| <b>Cabo San<br/>Vicente I</b>                           | 742723 | 3940562 | 2135 ± 30 AP  | 2038-2094 <sup>b</sup>   | Hueso Lama guanicoe                         | Morello et al 2009b                   |
| <b>Camden 2<br/>(Norte<br/>Península<br/>Brunswick)</b> | 325221 | 4101671 | 3030 AP       |                          | Nichos ecológicos de caza                   | Legoupil 1989; San Román et al. 2002. |
| <b>Cañadón<br/>Cóndor</b>                               | 483052 | 4220529 | 3475 ± 100 AP | 3570-3834 <sup>d</sup>   |   | Massone, 1979                         |
| <b>Cañadón<br/>Cóndor</b>                               | 483052 | 4220529 | 3725 ± 100 AP | 3881-4154 <sup>d</sup>   |   | Massone. 1979                         |
| <b>Cañadón<br/>Leona 5</b>                              | 355740 | 4184012 | 2280 ± 60 AP  | 2147-2258 <sup>b</sup>   | Carbón vegetal                              | Prieto <i>et al.</i> 1998             |
| <b>Cerro Las<br/>Bandurrias</b>                         | 526519 | 4097723 | 5700 ± 180 AP | 5598-6033 <sup>c</sup>   | Mytilus sp                                  | Dubois y Borrero, 2005                |
| <b>Cueva<br/>Cerro Sota</b>                             | 427071 | 4232570 | 3380 ± 70 AP  | 3483-3641 <sup>b</sup>   | Restos óseos humanos                        | Hedges et al. 1992                    |
| <b>Cueva de<br/>los<br/>Chingues</b>                    | 449253 | 4228272 | 11210 ± 50 AP | 13088-13121 <sup>b</sup> | Restos óseos hippidion (mamífero terrestre) | Román <i>et al.</i> 2000              |

|                             |        |         |                 |                          |   |   |
|-----------------------------|--------|---------|-----------------|--------------------------|---|---|
| <b>Cueva del Puma</b>       | 432883 | 4236267 | 10960 ± 78 AP   | 12759-12913 <sup>b</sup> | Restos óseos mamíferos terrestres                 | Martín, <i>et al.</i> 2004                      |
| <b>Cueva Fell</b>           | 427908 | 4233440 | 10600 ± 210     | 12427-12738 <sup>b</sup> | Carbón vegetal                                    | Bird, 1983 y 1988                               |
| <b>Cueva Fell</b>           | 427908 | 4233440 | 11000 ± 170 AP* | 12762-12979 <sup>b</sup> | Carbón vegetal                                    | Bird, 1983                                      |
| <b>Cueva Fell</b>           | 427908 | 4233440 | 10720 ± 300 AP* | 12144-12926 <sup>b</sup> | Carbón vegetal                                    | Bird, 1983                                      |
| <b>Cueva Fell</b>           | 427908 | 4233440 | 10080 ± 160 AP* | 11275-11773 <sup>b</sup> | Carbón vegetal                                    | Bird, 1983                                      |
| <b>Cueva Fell</b>           | 427908 | 4233440 | 9100 ± 150 AP*  | 10141-10505 <sup>b</sup> | Carbón vegetal                                    | Bird, 1983                                      |
| <b>Cueva Fell</b>           | 427908 | 4233440 | 9080 ± 230 AP*  | 9897-10522 <sup>b</sup>  | Carbón vegetal                                    | Bird, 1983                                      |
| <b>Cueva Fell</b>           | 427908 | 4233440 | 8480 ± 135 AP*  | 9275-9546 <sup>b</sup>   | Carbón vegetal                                    | Bird, 1983                                      |
| <b>Cueva Fell</b>           | 427908 | 4233440 | 8180 ± 135 AP*  | 8979-9305 <sup>b</sup>   | Carbón vegetal                                    | Bird, 1983                                      |
| <b>Cueva Fell</b>           | 427908 | 4233440 | 6740 ± 130 AP*  | 7470-7671 <sup>b</sup>   | Carbón vegetal                                    | Bird, 1983                                      |
| <b>Cueva Fell</b>           | 427908 | 4233440 | 6560 ± 115 AP*  | 7406-7511 <sup>b</sup>   | Carbón vegetal                                    | Bird, 1983                                      |
| <b>Cueva Fell</b>           | 427908 | 4233440 | 6435 ± 115 AP*  | 7246-7426 <sup>b</sup>   | Carbón vegetal                                    | Bird, 1983                                      |
| <b>Cueva Fell</b>           | 427908 | 4233440 | 3725 ± 100 AP*  | 3881-4154 <sup>b</sup>   | Carbón vegetal                                    | Bird, 1983                                      |
| <b>Cueva Fell</b>           | 427908 | 4233440 | 3475 ± 100 AP*  | 3570-3834 <sup>b</sup>   | Carbón vegetal                                    | Bird, 1983                                      |
| <b>Cueva Pali Aike</b>      | 451634 | 4226265 | 8639 ± 450      | 9121-10220 <sup>b</sup>  | Restos óseos mamíferos terrestres                 | Bird, 1951                                      |
| <b>Cueva Tres Arroyos 1</b> | 510802 | 4088581 | 10860 ± 185 AP  | 12622-12975 <sup>b</sup> | Restos óseos mamíferos terrestres, carbón vegetal | Massone, 1983, 1987; Massone <i>et al.</i> 1998 |
| <b>Cueva Tres Arroyos 1</b> | 510802 | 4088581 | 10280 ± 110 AP  | 11757-12100 <sup>b</sup> | Restos óseos mamíferos terrestres                 | Borrero, 1996                                   |
| <b>Cueva Tres Arroyos 1</b> | 510802 | 4088581 | 10420 ± 100 AP  | 12081-12473 <sup>b</sup> | Restos óseos mamíferos terrestres                 | Borrero, 1996                                   |
| <b>Cueva Tres Arroyos 1</b> | 510802 | 4088581 | 11880 ± 250 AP  | 13475-14028 <sup>b</sup> | Fogón 1, Restos óseos mamíferos terrestres        | Borrero, 1996                                   |
| <b>Cueva Tres Arroyos 1</b> | 510802 | 4088581 | 10600 ± 90 AP   | 12480-12695 <sup>b</sup> | Fogón 2, carbón vegetal                           | Massone, 1983, 1987; Massone <i>et al.</i> 1998 |
| <b>Cueva Tres Arroyos 1</b> | 510802 | 4088581 | 10580 ± 50 AP   | 12483-12554 <sup>b</sup> | Fogón 3, carbón vegetal                           | Massone, 1983, 1987; Massone <i>et al.</i> 1998 |
| <b>Cueva Tres Arroyos 1</b> | 510802 | 4088581 | 10575 ± 65 AP   | 12478-12631 <sup>b</sup> | Nivel 3, Duscicyon avus                           | Massone, 1983, 1987; Massone <i>et al.</i> 1998 |
| <b>Cueva Tres Arroyos 1</b> | 510802 | 4088581 | 10630 ± 70 AP   | 12607-12686 <sup>b</sup> | Vicugna sp  | Massone, 1983, 1987; Massone <i>et al.</i> 1998 |
| <b>Cueva Tres Arroyos 1</b> | 510802 | 4088581 | 10685 ± 70 AP   | 12620-12726 <sup>b</sup> | Hippidion sp                                      | Massone, 1983, 1987; Massone <i>et al.</i> 1998 |



|                             |        |         |                |                          |                            |   |
|-----------------------------|--------|---------|----------------|--------------------------|----------------------------|---|
| <b>Cueva Tres Arroyos 1</b> | 510802 | 4088581 | 11085 ± 70 AP  | 12921-13083 <sup>b</sup> | Panthera onca mesembrina   | Massone, 1983, 1987; Massone <i>et al.</i> 1998)  |
| <b>Cueva Tres Arroyos 1</b> | 510802 | 4088581 | 10130 ± 210 AP | 11254-11973 <sup>b</sup> | Fogón 4, Carbón vegetal    | Massone, 1983, 1987; Massone <i>et al.</i> 1998)  |
| <b>Cueva Tres Arroyos 1</b> | 510802 | 4088581 | 12540 ± 70 AP  | 14498-14714 <sup>b</sup> | Hippidion saldiasi         | Massone, 2004                                     |
| <b>Cueva Tres Arroyos 1</b> | 510802 | 4088581 | 10855 ± 70 AP  | 12726-12790 <sup>b</sup> | Carbón                     | Massone y Prieto 2004                             |
| <b>Cueva Tres Arroyos 1</b> | 510802 | 4088581 | 10685 ± 50 AP  | 12624-12709 <sup>b</sup> | Hippidion saldiasi         | Massone y Prieto, 2004                            |
| <b>Englefield 1</b>         | 309179 | 4114479 | 6100 ± 110 AP  | 6783-7022 <sup>a</sup>   | Carbón                     | Empeaire y Laming, 1961; Legoupil 1997            |
| <b>Imiwaia 1</b>            | 609412 | 3918414 | 7840 ± 50 AP   | 8518-8641 <sup>b</sup>   | Carbón                     | Orquera y Piana 2009                              |
| <b>Isabel 28</b>            | 390641 | 4144167 | 2545 ± 45 AP   | 1840-2073 <sup>c</sup>   | Tibia de Otaria flavescens | Borrero et al, 2019.                              |
| <b>Isla Dawson 3</b>        | 388824 | 4028314 | 3090 ± 56 AP   | 3206-3347 <sup>b</sup>   | Punta de proyectil         | Legoupil et al 2011                               |
| <b>Islote Offing 2, L1</b>  | 408837 | 4034192 | 3960 ± 50 AP   | 3413-3832 <sup>a</sup>   | Concha                     | Legoupil et al 2007, 2011; Legoupil y Pigeot 2009 |
| <b>Islote Offing 2, L1</b>  | 408837 | 4034192 | 4218 ± 63 AP   | 4528-4858 <sup>a</sup>   | Carbón                     | Legoupil et al 2007, 2011; Legoupil y Pigeot 2009 |
| <b>Juni Aike</b>            | 379569 | 4218756 | 8090 ± 40 AP   | 8975-9024 <sup>b</sup>   | Macrovegetales             | Martín y San Román 2010                           |
| <b>KM 44</b>                | 363689 | 4083083 | 3340 ± 40 AP   | 2745-3056 <sup>a</sup>   | Concha                     | Ortiz-Troncoso 1972; Morello et al. 2002          |
| <b>KM 44, L1</b>            | 363689 | 4083083 | 2960 ± 60 AP   | 2872-3234 <sup>a</sup>   | Carbón                     | Ortiz-Troncoso 1972; Morello et al. 2002          |
| <b>Lago Blanco 1</b>        | 349935 | 4192298 | 3180 ± 40 AP   | 3332-3402 <sup>b</sup>   | Carbón                     | Morello et al. 2012                               |
| <b>Laguna Arcillosa 1</b>   | 563727 | 4063418 | 5410 ± 70 AP   | 5401-5643 <sup>c</sup>   | Concha (Mytilys sp.)       | Salemme & Bujalesky 2000; Salemme et al 2007      |
| <b>Laguna Arcillosa 2</b>   | 563727 | 4063418 | 4440 ± 60 AP   | 4181-4452 <sup>c</sup>   | Mytilus edulis             | Salemme & Bujalesky 2000                          |
| <b>Laguna Arcillosa 2</b>   | 563727 | 4063418 | 3690 ± 70 AP   | 3228-3484 <sup>c</sup>   | Mytilus edulis             | Salemme & Bujalesky 2000                          |
| <b>Laguna Arcillosa 2</b>   | 563727 | 4063418 | 5205 ± 58 AP   | 5190-5444 <sup>c</sup>   | Mytilus edulis             | Santiago, F. 2007                                 |
| <b>Laguna Arcillosa 2</b>   | 563727 | 4063418 | 5508 ± 48 AP   | 5518-5734 <sup>c</sup>   | Mytilus edulis             | Salemme et al., 2005                              |
| <b>Laguna Arcillosa 2</b>   | 563727 | 4063418 | 5205 ± 58 AP   | 5892-5997 <sup>b</sup>   | Costillas humanas          | Salemme et al., 2007                              |
| <b>Laguna Arcillosa 3</b>   | 563727 | 4063418 | 5353 ± 53 AP   | 5353-5565 <sup>c</sup>   | Mytilus edulis             | Salemme y Bujalesky 2000;                         |

|                            |        |         |               |                        |                              |  |
|----------------------------|--------|---------|---------------|------------------------|------------------------------|--|
|                            |        |         |               |                        |                              | Salemme et al. 2007                        |
| <b>Laguna Thomas Gould</b> | 407086 | 4225106 | 4420 ± 90 AP  | 4849-5053 <sup>b</sup> | Herramientas                 | Massone, 1981                              |
| <b>Lago Vergara E23</b>    | 489160 | 4105484 | 2560 ± 140 AP | 2425-2715 <sup>b</sup> | Hueso de Lama guanicoe       | Morello et al. 2012                        |
| <b>Lancha Packewaia</b>    | 554141 | 3929674 | 4020 ± 70 AP  | 4351-4530 <sup>b</sup> | Punta de proyectil           | Orquera et al., 1977                       |
| <b>Lauta</b>               | 587269 | 3911547 | 2780 ± 110 AP | 2068-2423 <sup>b</sup> | Conchal                      | Ocampo y Rivas 2000                        |
| <b>Marazzi 1</b>           | 479885 | 4075130 | 8840 ± 50 AP  | 9692-9911 <sup>b</sup> | Sedimento paleo suelo        | Morello et al. 2009b                       |
| <b>Marazzi 1</b>           | 479885 | 4075130 | 4550 ± 40 AP  | 5053-5189 <sup>b</sup> | Hueso                        | Morello et al. 2012                        |
| <b>Marazzi 1</b>           | 479885 | 4075130 | 6170 ± 50 AP  | 6235-6443 <sup>c</sup> | Concha Mytilus sp            | Morello et al. 2012                        |
| <b>Marazzi 1</b>           | 479885 | 4075130 | 5570 ± 400 AP | 5895-6795 <sup>b</sup> | Carbón                       | Laming-Empeaire et al 1972                 |
| <b>Marazzi 1</b>           | 479885 | 4075130 | 5440 ± 30 AP  | 6193-6280 <sup>b</sup> | Hueso Lama guanicoe          | Morello et al. 1999                        |
| <b>Marazzi 13</b>          | 485565 | 4072745 | 3930 ± 40 AP  | 4289-4410 <sup>b</sup> | Carbón                       | Morello et al. 2009b                       |
| <b>Marazzi 2</b>           | 476215 | 4069126 | 2745 ± 40 AP  | 2762-2808 <sup>b</sup> | Carbón                       | Morello et al 1998; Massone y Morello 2007 |
| <b>Myren 2</b>             | 471049 | 4089083 | 3910 ± 70 AP  | 4232-4412 <sup>b</sup> | Hueso de Lama guanicoe       | Massone et al. 1999                        |
| <b>Myren 2</b>             | 471049 | 4089083 | 4020 ± 35 AP  | 4465-4520 <sup>b</sup> | Vértebra cervical de guanaco | Prieto et al. 2007                         |
| <b>Myren 2</b>             | 471049 | 4089083 | 3820 ± 35 AP  | 4139-4188 <sup>b</sup> | Tarsal IV de guanaco         | Prieto et al. 2007                         |
| <b>Pizzulic 1</b>          | 308633 | 4114533 | 6225 ± 70 AP  | 6986-7166 <sup>b</sup> |                              | San Román 2005                             |
| <b>Pizzulic 1</b>          | 308633 | 4114533 | 5595 ± 45 AP  | 6279-6438 <sup>a</sup> | Concha                       | San Román 2013                             |
| <b>Pizzulic 1</b>          | 308633 | 4114533 | 5945 ± 45 AP  | 6570-6881 <sup>a</sup> | Carbón                       | San Román 2013                             |
| <b>Pizzulic 2</b>          | 308814 | 4114456 | 6055 ± 60 AP  | 6785-6946 <sup>b</sup> | Carbón                       | San Román 2013                             |
| <b>Pizzulic 2</b>          | 308814 | 4114456 | 5900 ± 70 AP  | 6308-6633 <sup>a</sup> | Concha                       | San Román 2013                             |
| <b>Pizzulic 3</b>          | 308814 | 4114456 | 3890 ± 40 AP  | 4101-4414 <sup>a</sup> | Hueso de Lama guanicoe       | San Román 2013                             |
| <b>Ponsonby, capa A</b>    | 332526 | 4155734 | 3700 AP       |                        | Conchal                      | Legoupil 1994                              |
| <b>Ponsonby, capa B</b>    | 332526 | 4155734 | 4210 ± 75 AP  | 4447-4858              | Carbón                       | Legoupil 2003                              |
| <b>Ponsonby, capa C</b>    | 332526 | 4155734 | 5380-4580 AP  |                        | Restos culturales            | Laming-Empeaire 1967                       |
| <b>Ponsonby, capa D</b>    | 332526 | 4155734 | 6690-7450 AP  |                        | Restos culturales            | Laming-Empeaire                            |

|                           |        |         |                |                        |                                 |   |
|---------------------------|--------|---------|----------------|------------------------|---------------------------------|---|
|                           |        |         |                |                        |                                 | 1967; Legoupil 1994, 95, 03                   |
| <b>Porvenir Norte 12E</b> | 403223 | 4100785 | 3850 ± 70 AP   | 3426-3687 <sup>c</sup> | Concha Mytilus sp               | Morello et al. 2009b                          |
| <b>Porvenir Norte 17</b>  | 403223 | 4100785 | 2850 ± 60 AP   | 2202-2478 <sup>c</sup> | Concha Mytilus sp               | Morello et al. 2009b                          |
| <b>Punta Carrera</b>      | 370237 | 4060981 | 5975 ± 50      | 6640-6895 <sup>a</sup> | Hueso de Lama guanicoe          | San Román et al. 2016                         |
| <b>Punta Catalina 3</b>   | 518932 | 4174042 | 2340 ± 40 AP   | 2177-2228 <sup>b</sup> | Carbón                          | Massone y Torres 2004                         |
| <b>Punta Catalina 3</b>   | 518932 | 4174042 | 2380 ± 40 AP   | 2315-2374 <sup>b</sup> | Carbón                          | Massone y Torres 2004                         |
| <b>Punta María 2</b>      | 598142 | 4021357 | 2300 ± 90 AP   | 2136-2280 <sup>b</sup> | Hueso de ballena                | Borrero 1985                                  |
| <b>Punta María 3</b>      | 598142 | 4021357 | 2710 ± 340 AP  | 2347-3176 <sup>b</sup> | Carbón                          | Borrero 1985                                  |
| <b>Punta Sta. Ana 1</b>   | 372523 | 4056493 | 5620 ± 120 AP  | 5588-5896 <sup>c</sup> | Conchas                         | Ortiz Troncoso 1975                           |
| <b>Punta Sta. Ana 1</b>   | 372523 | 4056493 | 6410 ± 70 AP   | 6468-6722 <sup>c</sup> | Conchas                         | San Román et al. 2009                         |
| <b>Punta Sta. Ana 1</b>   | 372523 | 4056493 | 6540 ± 110 AP  | 7315-7508 <sup>b</sup> | Esqueleto humano                | Soto-Heim, 1992                               |
| <b>Punta Sta. Ana 1</b>   | 372523 | 4056493 | 6330 ± 50 AP   | 7014-7406 <sup>a</sup> | Hueso guanaco                   | San Román, 2010                               |
| <b>Punta Sta. Ana 1</b>   | 372523 | 4056493 | 6290 ± 50 AP   | 7001-7272 <sup>a</sup> | Hueso humano                    | San Román, 2010                               |
| <b>Punta Sta. Ana 2</b>   | 372523 | 4056493 | 3280 ± 40 AP   | 2959-3329 <sup>a</sup> | Conchas                         | Morello et al 2012b                           |
| <b>Punta Sta. Ana 2</b>   | 372523 | 4056493 | 2690 ± 50 AP   | 2736-2791 <sup>b</sup> | Carbón                          | San Román et al., 2009                        |
| <b>Punta Sta. Ana 2</b>   | 372523 | 4056493 | 3200 ± 40 AP   | 2680-2877 <sup>c</sup> | Conchas                         | San Román et al., 2009                        |
| <b>Punta Sta. Ana 2</b>   | 372523 | 4056493 | 3170 ± 100 AP  | 2350-2920 <sup>a</sup> | Conchas                         | Morello et al 2012b                           |
| <b>Punta Sta. Ana 2</b>   | 372523 | 4056493 | 3340 ± 40 AP   | 2745-3056 <sup>a</sup> | Conchas                         | Morello et al 2012b                           |
| <b>Punta Sta. Ana 4</b>   | 372523 | 4056493 | 2900 ± 60 AP   | 2290-2557 <sup>c</sup> | Conchas                         | Morello et al 2012b                           |
| <b>Punta Sta. Ana 4</b>   | 372523 | 4056493 | 2870 ± 50 AP   | 2245-2505 <sup>c</sup> | Conchas                         | Morello et al 2012b                           |
| <b>Punta Sta. Ana 5</b>   | 372523 | 4056493 | 3260 ± 50 AP   | 2733-2941 <sup>c</sup> | Conchas                         | Morello et al 2012b                           |
| <b>Río Chico</b>          | 577429 | 4038968 | 2080 ± 80 AP   | 1921-2095 <sup>b</sup> | Materia prima para pintura roja | Massone, 1981                                 |
| <b>Río Chico</b>          | 577429 | 4038968 | 5856 ± 44 AP   | 5900-6116 <sup>c</sup> | Concha Mytilus sp               | Salemme y Bujalesky 2000; Salemme et al. 2007 |
| <b>San Gregorio 2</b>     | 419640 | 4170470 | 2.830 ± 150 AP | 2755-3077 <sup>b</sup> | Muestra de carbón               | Massone, 1979                                 |
| <b>Seno Grandi 1</b>      | 566918 | 3885466 | 6120 ± 80 AP   | 6166-6415 <sup>c</sup> | Conchal                         | Legoupil 1994 y 1995                          |
| <b>Taca Taca Sur</b>      | 462354 | 4059457 | 2970 ± 130 AP  | 2928-3242 <sup>b</sup> | Carbón                          | Morello et al., 2009b                         |

|                        |        |         |               |                        |                        |   |
|------------------------|--------|---------|---------------|------------------------|------------------------|---|
| <b>Tres Arroyos 14</b> | 510802 | 4088581 | 2280 ± 60 AP  | 2190-2264 <sup>b</sup> | Hueso de Lama guanicoe | Prieto et al. 1997                              |
| <b>Túnel 1</b>         | 589119 | 3904431 | 6830 ± 160 AP | 7555-7793 <sup>b</sup> |                        | Orquera y Piana 1999, 2009; Orquera et al. 2011 |
| <b>Túnel 1</b>         | 589119 | 3904431 | 6980 ± 110 AP | 7678-7863 <sup>b</sup> | Carbón                 | Piana 1984; Piana y Orquera 2009                |
| <b>Túnel 1</b>         | 589119 | 3904431 | 6680 ± 210 AP | 7315-7694 <sup>b</sup> | Carbón                 | Piana 1984; Piana y Orquera 2009                |

**Leyenda:** <sup>a</sup>Calibración de San Román *et al.*, (2016) con efecto reservorio considerado, <sup>b</sup>Calibración por esta memoria con curva SHCal20 (Hogg et al., 2020), <sup>c</sup>Calibración con curva Marine20 (Heaton et al., 2020) y efecto reservorio 64 ± 58 años <sup>14</sup>C (Merino, 2017), <sup>d</sup>Calibración con curva SHCal20 (Hogg et al., 2020) asumiendo muestras terrestres