

## TABLA DE CONTENIDO

### CONTENIDO

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE.....	ii
Agradecimientos.....	iv
Tabla de Contenido.....	v
Índice de Tablas.....	vi
Índice de Figuras .....	vi
Índice de Anexos .....	ix
1.- Introducción .....	1
1.1.- Planteamiento del problema .....	1
1.2.- Hipótesis de trabajo .....	1
1.3.- Objetivos .....	2
1.3.1.- Objetivo General .....	2
1.3.2.- Objetivos Específicos.....	2
1.4.- Ubicación y vías de acceso .....	2
1.5.- Metodología .....	4
1.5.1.- Objetivo específico 1: Caracterizar las facies sedimentarias e interpretar sus respectivos ambientes de depositación.....	4
1.5.2.- Objetivo específico 2: Generar nuevos datos geocronológicos e interpretar los datos ya disponibles para el área de estudio. ....	4
1.5.4.- Estructura de la tesis. ....	5
1.6.- Planificación.....	5
2.- Marco Geológico.....	7
2.1- Marco Geodinámico.....	7
2.2.- Marco Tectónico .....	7
2.3.- Geomorfología .....	9
2.4.- Marco litoestratigráfico .....	11
2.4.1.- Rocas estratificadas volcánicas .....	11
2.4.2.- Rocas plutónicas .....	18
2.4.3.- Rocas metamórficas.....	21
2.4.4.- Depósitos sedimentarios Cenozoicos .....	21
3.- Resultados .....	25
3.1.- Geomorfología.....	25
3.2 Sedimentología .....	29
3.2.1.- Facies sedimentarias .....	29
3.2.2.- Asociación de facies. ....	40
3.3.- Sedimentology and geochronology of the Miocene-Pleistocene Horcón and Confluencia Formations, Coastal Cordillera, central Chile (33°S) .....	53
1. Introduction.....	54

2. Methodology.....	56
3. Regional Geology.....	58
4. Results.....	62
5. Discussion.....	78
6. Conclusions.....	86
7. References.....	86
4.- Discusión.....	92
4.1.- Estratigrafía:.....	92
4.2.- Geomorfología.....	96
4.3.- Implicancias paleogeográficas.....	97
5.- Conclusiones.....	102
6.- Recomendaciones.....	102
7.- Bibliografía.....	103
8.- Anexos.....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Planificación y duración de las actividades a realizar.....	6
Tabla 2: Nombre, altura y edades disponibles para las terrazas marinas de: a) Coquimbo (Paskoff, 1999), b) Tongoy (Saillard et al., 2009) y c) Entre los 33-34°S (Rodríguez, 2008).....	10
Tabla 3: Terrazas de abrasión marina, elevaciones y localidades donde se pueden reconocer.....	26
Tabla 4: Resumen de las facies sedimentarias y sus ambientes de formación.....	43
Tabla 5: Litofacies y facies que componen las asociaciones de facies descritas en la sección 3.2.2 y el ambiente depositacional que representan.....	51
Tabla 6: Resumen de las asociaciones de facies identificadas, su ambiente sedimentario, correlación estratigráfica y edad.....	94
Table 1. Location and analysis performed.....	56
Table 2. Regional stratigraphy, intrusive units and main sedimentary provenance.....	61
Table 3: Summary of the lithofacies.....	63
Table 4: Sedimentary units with their facies associations, stratigraphic assignments and age of deposition.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa topográfico y de ubicación. Se destaca el área de estudio en un polígono. Las localidades mencionadas en el texto aparecen indicadas en negro y los principales cauces fluvioaluviales en azul. En puntos rojos se señalan los puntos de control y en líneas rojas se ubican los perfiles geomorfológicos revisados.....	3
Figura 2. Geodinámica del margen occidental de Sudamérica (A) Tasas de convergencia entre las placas Aluk, Farallón y Nazca con la placa Sudamericana, tomadas de Martinod et al (2010). (B) Vectores de convergencia tomados de Charrier et al (2007). .....	8

Figura 3. Mapa geológico regional, modificado del Mapa Geológico de Chile (1:1.000.000) (Hoja 2/3), Versión Digital (2003). Las formaciones que son potencialmente los aportes sedimentarios para los depósitos neógenos y cuaternarios estudiados están descritas en la sección 2.4. Para una mejor resolución visitar <a href="http://www.ipgp.fr/~dechabal/Geol-millon.pdf">http://www.ipgp.fr/~dechabal/Geol-millon.pdf</a> .....	12
Figura 4. Imagen satelital Landsat, modificada de Google Earth con algunas de las principales características geomorfológicas. En amarillo se indican algunas localidades, en azul el principal río de la zona de estudio y en rojo se señalan las distintas facies eólicas identificadas (ver sección 3.2). A) <i>Headland</i> ubicado hacia el sur. B) Bahía, playa y dunas tras playa al norte de un <i>headland</i> y de la desembocadura de un río. C) Repetición a menor escala de la configuración geomorfológica regional. ....	27
Figura 5. Perfiles topográficos AA', BB', CC'. Se indican las alturas de las terrazas reconocidas en el área de estudio.....	28
Figura 6. Facies F1, F2 y E. a) Facies F1 y F2, conglomerados clasto-soportados, oblatos e imbricados y areniscas con laminación cruzada tipo épsilon. b) Detalle de la facies F2, areniscas con laminación cruzada tipo épsilon, laminación de minerales pesados, aglomerados de magnetita detrítica y colores grises, verdosos y anaranjados por efectos diagenéticos. c) Detalle de la facies E, areniscas bien seleccionadas con laminación cruzada en artesa. ....	32
Figura 7. Facies M1, M2, F1 y A1. a) Facies M1, M2, F1 y A1. Notar la laminación horizontal de M1 y la interdigitación de las facies. b) Detalle de la facies M2. Notar la bioturbación de <i>Macaronichnus</i> que perturba la estratificación y la alta cantidad de minerales pesados. c) Detalle de la facies M2. Notar las pequeñas artesas y la alta cantidad de minerales pesados (principalmente magnetita).....	36
Figura 8. Facies A1, A2 y D1. a) Facies A1, A2 y D1 y sus relaciones de contacto. b) Detalle de la facies D1. Notar las intercalaciones de areniscas y limolitas a escalas centimétricas. Las limolitas pueden tener bioturbación de <i>Ophiomorpha</i> como se observa en la foto, sobre el martillo de escala. c) Detalle de la facies D1. Notar la laminación cruzada en artesa a gran escala de las areniscas y limolitas. ....	37
Figura 9. Todas las imágenes corresponden a la facies D2. a) Facies D2. Notar la secuencia grano-decreciente destacada, conglomerados, areniscas y limolitas. Las limolitas presentan fósiles y bioturbación. Se puede observar parte de la bioturbación con colores anaranjados y otros de colores más opacos (verdosos) debido a diferentes efectos diagenéticos. b) Bioturbación del tipo <i>Ophiomorpha</i> de color verde, debido a efectos diagenéticos reductores. c) Bioturbación del tipo <i>Skolithos</i> de color anaranjado debido a efectos diagenéticos oxidantes. d) Fósil de un gastrópodo, alterado. e) Bioturbación del tipo <i>Diplocraterion</i> , destacada en un cuadro rojo. f) Fósil de <i>Turritella</i> . g) “ <i>Rip-up clast</i> ” de limolita inmerso en los conglomerados finos y angulosos de composición intrusiva.....	39
Figura 10. Todas las imágenes corresponden a la facies AD. a) Niveles potentes de conglomerados gruesos, clasto a matriz soportados, con bases erosivas y mala selección. b) Conglomerados mal seleccionados intercalados con areniscas y areniscas limosas. Un lápiz de escala al centro de la imagen. c) Detalle de la composición (intrusiva), selección y la variabilidad que pueden tener los conglomerados, exhibiendo incluso pedreones. d) Conglomerados y areniscas. Notar los diversos canales y cuñas de conglomerados angulosos. e) Areniscas y conglomerados. Notar los altos ángulos en los que se pueden dar los canales y cuñas de conglomerados, areniscas y areniscas limosas con laminación ondulítica.....	41
Figura 11. Facies MD y P. a) Facies MD. Notar la intercalación de areniscas y conglomerados finos. b) Detalle de la facies MD. Notar la estratificación cruzada en artesa a pequeña escala de las areniscas y conglomerados finos. c) Facies P. Notar niveles de areniscas masivas y también con laminación ondulítica. d) Detalle de la facies P con moldes de bivalvos en areniscas masivas. ....	42
Figura 12. Asociaciones de facies 4 y 5. a) AF5. Notar las areniscas masivas de la facies P con canales de conglomerados angulosos de la facies A1. b) AF4. Notar la facies P de areniscas masivas o con laminación ondulítica subyaciendo a las facies eólicas E. Las facies eólicas de las dunas de Concón se encuentran cubiertas por una construcción. ....	47

Figura 13. Perfil esquemático NS del área de estudio de casi 45 km de longitud donde se muestra la distribución de las asociaciones de facies descritas en la sección 3.2.2. La elevación topográfica fue obtenida de Google Earth. Se indica en colores y patrones litológicos las asociaciones de facies mencionadas. En negro se destacan las localidades mencionadas en el texto y ubicadas en la Figura 1. En líneas grises horizontales se observan las terrazas reconocidas en la sección 3.2. La falla más grande reconocida en la zona de estudio (Falla Marga Marga) se ubica como lo indica la figura y se interpreta como de carácter inverso. También se indican los lugares dónde se realizaron dataciones de U/Pb en circones detríticos (Ver sección 3.3), provenientes de las formaciones Horcón y Confluencia y de los depósitos eólicos antiguos o “*paleodunas*”. .....52

Figura 14. Columna estratigráfica de la Formación Horcón, en su localidad tipo de la caleta de Horcón. A la izquierda se observa la leyenda y simbología. A la derecha la columna indica litología, granulometría, espesores, estructuras sedimentarias, contenido fósil y bioturbación.....93

Figura 15. Mapa geológico simplificado del área de estudio, 1:450.000. ....98

Figura 16. Evolución de la depositación y de la línea de costa. En rojo se representan las isócronas de depositación. En t1, durante el Mioceno tardío, la línea de costa se ubicaba cercana al límite entre las capas superiores y frontales del delta de Gilbert. En t2, durante el Plioceno, esta línea de costa se ubica más hacia el E, evidenciado en los depósitos de la AF8 sobre la AF3 en Mantagua. En t3, durante el Plioceno, la línea de costa se encuentra cercana y deposita la AF6 en Mantagua. Luego en t4, durante el Pleistoceno la línea de costa retrocede hacia el mar más allá de la actual y deposita sedimentos aluviales en la localidad de Mantagua. Por último, en t5, la línea de costa se asemejaría a la actual. ....100

Figura 17: Modelo de evolución paleogeográfico. a) Arco Jurásico genera una cubierta de rocas volcánicas y un basamento ígneo. b) Evento de peneplanización, previo a los 10 Ma genera un bajo relieve y eroda gran parte de la cubierta volcánica. c) Subsistencia regional entre el Mioceno tardío y el Plioceno temprano genera una topografía irregular y comienza la depositación de la Formación Confluencia y la Formación Horcón. d) Evento de transgresión marina durante el Plioceno deposita la Formación Horcón en *onlap* sobre la Formación Confluencia. Comienzan a depositarse los sedimentos aluviales antiguos que evidencian el alzamiento desde el Pleistoceno temprano. e) El alzamiento y los cambios eustáticos generan 4 terrazas marinas que son luego disectadas por los cauces fluvio-aluviales actuales. ....101

Figure 1. Location map. The study area is remarked. In red asterisk it is shown the detrital zircon sampling sites. ....55

Figure 2. Simplified geological map. Legend and simbology indicates the rivers, faults and local stratigraphy and igneous basement. Horcón Formation in yellow with a wider extension inland than previously mapped. .... 60

Figure 3. Fluvial Unit 1 and shoreface facies of Unit 4. a) Unit 1. Fluvial facies of imbricated, clast-supported conglomerate (Gcm) and epsilon cross-bedded sandstone (Se). b) Epsilon cross-bedded sandstone (Se). Note the green, grey and brown colors of the sandstone and the black dots corresponding to the detrital blob of magnetite. c) Unit 4. Shoreface facies of low-angle tabular cross-laminated sandstone (Sh), the black bioturbated sandstone (Sbr) and conglomerate (Gmg). d) Black bioturbated sandstone (Sbr). Note the small trough and the sparse bioturbation of *Macaronichnus*. .... 65

Figure 4. Alluvial Unit 2 and prodelta facies of Unit 7. a) Unit 2. Alluvial facies with poorly sorted angular conglomerate (Gmg) and poorly sorted claystone and gravel (Fmg). Note the channel macroform. b) Unit 7. Prodelta facies of angular conglomerate (Gmg), massive and plane-bedded sandstone (Sh and Sm) and fossiliferous and bioturbated siltstone and claystone (Fmb). .....67

Figure 5. a) Unit 3. Eolian deposits of cross-trough sandstone. b) Units 1, 2, 4 and 5. Note the large-scale cross-laminated sandstone and siltstone (Sr and Fr). .... 70

Figure 6. Unit 6. Delta fan environment. a) Matrix-supported conglomerate (Gmg) underlying a clast to matrix-supported conglomerate. b) Angulous conglomerate (Gmg), rippled sandstone and siltstone (Fr and Sr) dipping over 20°. c) Detail of the poorly sorted, pebble to boulder conglomerate. ....72

Figure 7. a) Detail of Unit 5. Large-scale cross-lamination of sandstone intercalated with siltstone with ripple lamination (St, Sr, Ft and Fr). Note some siltstone beds with <i>Ophiomorpha</i> (Fb). b) Detail of <i>Diplocraterion</i> (D) at unit 7, in massive siltstone (Fmb). c) Detail of <i>Ophiomorpha</i> (Oph) at unit 7, in massive siltstone (Fmb). Note the green color due to redactor diagenetic effects. d) Detail of <i>Skolithos</i> (Sk) at unit 7, in massive siltstone (Fmb). Note the brownish color due to oxidizing diagenetic effects.....	75
Figure 8. Frequency histograms and relative probability plots for the detrital zircon samples. Samples HO1 and HO6 are from the Horcón Formation at Horcon, samples SI1, SI3 and MA2 are from the Horcón Formation at Mantagua and sample MA1 is from the old eolian deposits (Confluencia Formation) at Mantagua.....	77
Figure 9. Interdigitation of facies Gcm and Sh (similar of those in the fluvial Unit 1 and the shoreface Unit 4) within facies Ft and St from the Gilbert-type delta foreset, unit 5. Detrital zircon sample MA2 was taken from the red asterisk at facies Sh. ....	79
Figure 10. Schematic representation of the sedimentary succession at Mantagua. Older continental units 1 and 3, fluvial and eolian members of the Confluencia Formation are interdigitated at the base of the succession. Marine (deltaic) Unit 4 overlies continental units. Shoreface Unit 4 erodes Unit 5 and overlies Unit 1. Alluvial Unit 2 is at the top of the succession eroding marine deposits of the Horcón Formation. The succession has a finning upward tendency, shown by the black triangle. Detrital zircon samples SI1, SI3, MA1 and MA2 are shown in red asterisks. Simbology is as shown in Figure 11. ....	79
Figure 11. Stratigraphic logs of the Horcón Formation. a) Simbology and legend. b) Stratigraphic log of the Horcón Formation at the Marga Marga Creek. c) Stratigraphic log of the Horcón Formation at Quintero. d) Stratigraphic log of the Horcón Formation at its type locality, Horcón. Detrital zircon samples HO1 and HO6 are shown in red asterisk.....	80
Figure 12: Schematic evolution of the shore-line since the late Miocene. At t1, during the late Miocene, the shoreline was as shown, depositing continental facies (units 1 and 3 of the Confluencia Formation) at Mantagua. Later, at t2, during the Pliocene, the shoreline was farther inland, depositing the marine Horcón Formation over the continental Confluencia Formation at Mantagua. During the early Pleistocene, at t3, marine deposition was still active at Mantagua. Between t3 and t4, during the Pleistocene, early alluvial systems deposit at Mantagua and then marine terraces are formed and later incised by current fluvial-alluvial systems. ....	84
Figure 13. a) Jurassic rocks represents the magmatic arc. b) Subduction erosion and peneplanation before 10 Ma. c) Regional subsidence and deposition of the Horcón and Confluencia Formations during the Miocene-Pliocene. d) Transgression and deposition of the Horcón and Confluencia Formations and alluvial deposits in the Pliocene-Pleistocene. e) Uplift, marine terraces formation and fluvial incision since the Pleistocene. ....	85

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Datos geocronológicos de U/Pb en circones detríticos. Muestra MA-1. ....	108
Anexo 2: Datos geocronológicos de U/Pb en circones detríticos. Muestra MA-2. ....	112
Anexo 3: Datos geocronológicos de U/Pb en circones detríticos. Muestra HO-1. ....	116
Anexo 4: Datos geocronológicos de U/Pb en circones detríticos. Muestra HO-6B. ....	119
Anexo 5: Datos geocronológicos de U/Pb en circones detríticos. Muestra SI-1. ....	123
Anexo 6: Datos geocronológicos de U/Pb en circones detríticos. Muestra SI-3.....	126