



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA**



**PETROGRAFÍA Y PROVENIENCIA DE LAS  
INTRUSIONES CLÁSTICAS DE LA FORMACIÓN  
RANQUIL (MIOCENO), PENÍNSULA DE ARAUCO,  
REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE**

**Memoria para optar al Título de Geólogo**

**SERGIO IGNACIO MIRANDA SEPÚLVEDA**

**Profesor Patrocinante: Dr. Alfonso Encinas Martín**

**Profesores Comisión : Dra. Verónica Pineda Mascayano  
Msc. Sylvia Palma Heldt**

**Concepción, 2018**



*Dedicado a ti hija, que vienes  
a llenar mi mundo de alegría*

# ÍNDICE

	Página
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.1.1. Objetivo General.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos.....	3
1.2. UBICACIÓN Y ACCESOS.....	4
1.3. METODOLOGÍA.....	5
1.4. TRABAJOS ANTERIORES.....	5
1.5. AGRADECIMIENTOS.....	7
2. MARCO GEOLÓGICO.....	8
2.1. GENERALIDADES.....	8
2.2. FORMACIÓN RANQUIL (MIOCENO TEMPRANO).....	10
3. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN RANQUIL.....	14
3.1. UNIDAD 1.....	15
3.2. UNIDAD 2.....	17
3.3. UNIDAD 3.....	24
3.4. UNIDAD 4.....	25
4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	27
4.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE INTRUSIONES CLÁSTICAS.....	28
4.1.1. Caleta Viel y afloramientos interiores.....	28
4.1.2. Caleta Ranquil.....	29
4.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ARENISCAS CON INTRACLASTOS.....	30
5. PETROGRAFÍA.....	32
5.1. PETROGRAFÍA DE INTRUSIONES CLÁSTICAS.....	32
5.1.1. Caleta Viel y afloramientos interiores.....	32
5.1.2. Caleta Ranquil.....	34
5.2. PETROGRAFÍA DE ARENISCAS VERDES.....	36
5.3. PETROGRAFÍA DE ARENISCAS CON INTRACLASTOS.....	39
6. RELACIÓN ENTRE LAS INTRUSIONES CLÁSTICAS Y LAS UNIDADES DE LA FORMACIÓN RANQUIL.....	41
CONCLUSIONES.....	45
REFERENCIAS.....	47

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. 1. Tipos de intrusiones clásticas.....	2
1. 2. Ubicación Área de Estudio.....	4
2. 1. Perfil esquemático formaciones Península de Arauco.....	10
3. 1. Ubicación afloramientos y muestras asociadas.....	14
3. 2. Columna Estratigráfica Areniscas Verdes.....	15
3. 3. Vista general afloramiento Areniscas Verdes.....	16
3. 4. Detalle litologías afloramiento Arenisca Verdes.....	16
3. 5. <i>Ripples</i> de oleaje, afloramiento Areniscas verdes.....	17
3. 6. Afloramiento en ruta P-40.....	18
3. 7. Afloramiento en camino forestal.....	19
3. 8. Bifurcación dique clástico, acercamiento afloramiento en camino forestal.....	19
3. 9. Lutitas con intrusiones clásticas, Caleta Viel.....	20
3.10. Zona intermareal expuesta en Caleta Viel.....	21
3.11. Vista general afloramiento Caleta Ranquil.....	22
3.12. Intraclastos de lutita en arenisca, Caleta Ranquil.....	22
3.13. Contacto lutitas con diques – Sill.....	23
3.14. Secuencia de areniscas con niveles de intraclastos.....	24
3.15. Columna Estratigráfica Punta Huentehuapi.....	26
4. 1. Clasificación textural inyectitas Caleta Viel y afloramientos interiores.....	28
4. 2. Detalle ubicación muestras U2 en Caleta Ranquil.....	29
4. 3. Clasificación textural inyectitas Caleta Ranquil.....	30
4. 4. Nivel de arenisca con intraclastos, Punta Huentehuapi.....	31
5. 1. Clasificación composicional inyectitas Caleta Viel y afloramientos interiores.....	33
5. 2. Clasificación composicional inyectitas Caleta Ranquil.....	35
5. 3. Fotomicrografía RAN-15.....	36
5. 4. Fotomicrografía RAN-4.....	37
5. 5. Fotomicrografía RAN-6.....	38
5. 6. Fotomicrografía RAN-9.....	40
6. 1. Inyectita cortando secuencia de areniscas verdes.....	43

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
2. 1. Estratigrafía de las unidades sedimentarias de la Cuenca de Arauco.....	8
4. 1. Resumen resultado análisis granulométrico utilizando GRADISTAT.....	27

## RESUMEN

La Formación Ranquil (Mioceno inferior), aflora en la parte suroriental de la Península de Arauco. En esta formación se diferencian cuatro unidades, que se distribuyen de base a techo de la siguiente manera: conglomerado basal, luego una secuencia de areniscas verdes fosilíferas; una potente secuencia de lutitas afectadas por múltiples intrusiones clásticas en diversas direcciones rellenas de arena; sobreyace a esta una secuencia de areniscas amarillentas con niveles de intraclastos de lutitas; y finalmente una capa de arenisca calcárea fosilífera.

La generación de inyectitas en unidades sedimentarias ha sido ampliamente estudiada y asociada a diversos ambientes geológicos, gracias a la investigación principalmente asociada a la extracción de hidrocarburos, llegando a definirse principalmente dos mecanismos para su formación. Intrusiones ascendentes que se generan debido a la sobrecarga que implica la sedimentación de potentes capas de sedimento sobre areniscas sobresaturadas en agua, las cuales aprovechan las fracturas de la roca sobreyacente para generar diques y sill de arena. En el caso de intrusiones descendentes, importantes volúmenes de arena son depositados violentamente en sectores profundos de la cuenca sobre las capas de lutita, por las cuales se inyecta la arena fluidizada a través de los planos de debilidad existentes.

En el presente estudio se han comparado mediante la observación al microscopio y análisis granulométrico muestras obtenidas en diferentes localidades, correspondientes a inyectitas y capas de sedimento de las unidades que conforman la Formación Ranquil, a fin de establecer similitudes o diferencias entre los diques de arena. Además se pretende determinar si el relleno de las intrusiones clásticas corresponde a alguna de las unidades de la Formación Ranquil.

Como resultado se ha logrado determinar que las inyectitas provienen de una fuente común, la que probablemente corresponde a la unidad “Arenisca Huentehuapi”, sin embargo esto aún no es posible confirmar. Además se establece, la posibilidad de que las areniscas con intraclastos que afloran en Caleta Ranquil (localidad tipo de la Formación homónima) correspondan a un potente sill y no a una capa como se tenía entendido, debido a la forma y tamaño de los intraclastos presentes en la arenisca y a relaciones de contacto que muestran a este gran sill cortando un dique de menor tamaño que antes intruyera las lutitas.

## 1. INTRODUCCIÓN

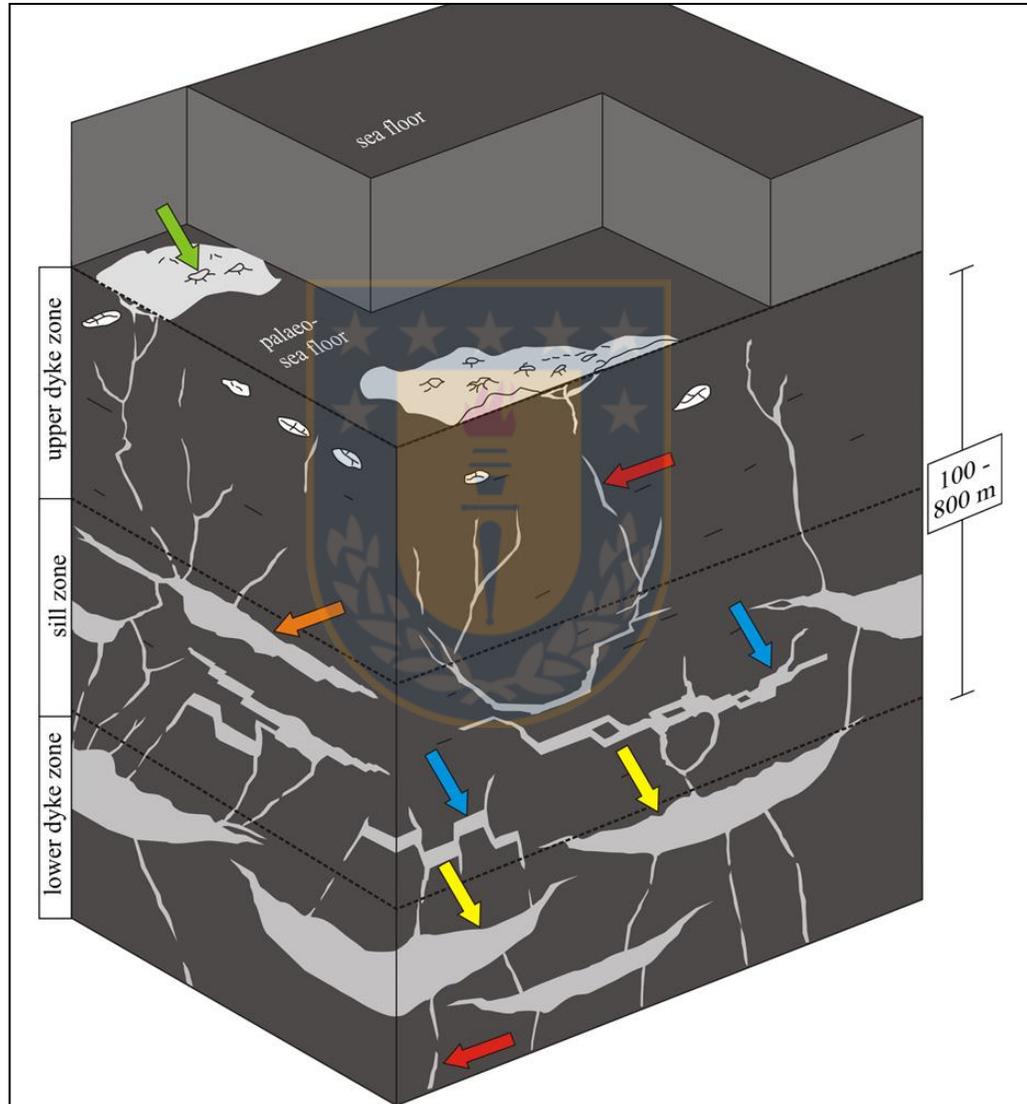
La Formación Ranquil corresponde a la unidad sedimentaria del Mioceno inferior (Finger, 2013) depositada en la cuenca de Arauco y que aflora en la costa de la parte sur de la Península del mismo nombre. Ésta se correlaciona con otras formaciones costeras de edad similar como la Formación Navidad al sur de Santiago o la Formación Lacui en Chiloé (Finger, 2013). Está formada por una unidad de areniscas verdosas que se encuentra bajo una sucesión de lutitas, y sobre las cuales se disponen capas de arena. Una de sus características principales es la presencia de diques de arena emplazados en las rocas de grano fino, los que intruyen vertical y horizontalmente las potentes secuencias de lutitas, con extensiones de varias decenas de metros y espesores que varían desde algunos centímetros hasta cerca de un metro.

Las intrusiones clásticas han sido estudiadas principalmente por las implicancias que poseen en la explotación de hidrocarburos, ya que en algunos casos pueden constituir importantes reservorios. Las inyectitas de arena han sido reconocidas en diferentes ambientes geológicos a nivel mundial, estando constituidas principalmente por areniscas silíceas de grano medio y en algunos casos areniscas calcáreas (Hurst y otros, 2011).

La morfología de las intrusiones clásticas presenta varias formas, las cuales se pueden agrupar en 5 categorías como se aprecia en la figura 1.1, cada una con características particulares, las cuales son explicadas en detalle en la publicación de Hurst y otros (2011) *“Physical characteristics of sand injectites”*

Para generar estas estructuras se requiere un aumento en la presión de poros a valores muy cercanos a la presión litostática, sedimento fluidizado y una roca huésped fracturada (Vigorio y Hurst, 2010). Esto puede ocurrir al depositarse una capa potente de arcillas sobre una arenisca semiconsolidada que aún contiene agua, arcillas que por procesos diagenéticos se transforman en lutitas, las cuales productos de la misma diagénesis u otros factores son fracturadas, lo que generará el ascenso del fluido arenoso por las fracturas de la roca, generando diques, sill y otras de las estructuras presentes en la figura 1.1. Otro mecanismo para generar inyectitas implica una gran masa de arena fluidizada, la cual es depositada abruptamente sobre la capa de roca mediante procesos que logren movilizar tal volumen de sedimento, como corrientes de turbidez o tsunamis

generados por ejemplo por eventos sísmicos de gran magnitud. Esta última situación es la que plantean Le Roux y otros (2008), quienes atribuyen la generación de las intrusiones clásticas de la Formación Ranquil a grandes terremotos, los que generaron tsunamis que a su vez, movilizaron grandes cantidades de arena y la depositaron sobre las lutitas que afloran en Caleta Ranquil y sus alrededores, generándose así la unidad que denominan “Areniscas Huentehuapi”, unidad que atribuyen como fuente para el sedimento que rellena las inyectitas.



**Figura1.1** Tipos de intrusiones clásticas. Unidades parentales remobilizadas (flechas amarillas); diques (flechas rojas); sill (flechas azules); intrusiones irregulares (flecha anaranjada); extruditas (flecha verde). Extraída de Hust y otros (2011)

Sin embargo, existen dudas con respecto a este planteamiento, dado que la potencia y extensión de las intrusiones clásticas de la Formación Ranquil (cientos de metros en algunos casos) implicaría uno o una serie de eventos que movilizasen un volumen importante de arena, que tendría que mantenerse saturada de agua para fluir hacia abajo entre las fracturas de las lutitas y generar las inyectitas. En este caso, podría ser más factible proponer que estas estructuras han sido generadas mediante el ascenso de material clástico, generado por la depositación de una potente secuencia de lutitas sobre una capa de arena saturada de agua depositada anteriormente, la que intruye las lutitas de forma ascendente luego de que estas últimas se fracturasen por diagénesis, tectonismo u otros procesos. Este último planteamiento tampoco puede ser confirmado ya que no se ha encontrado aún una capa de arenisca subyaciendo las lutitas de la Formación Ranquil.

A través del presente trabajo, se pretende establecer mediante la comparación de litologías, análisis granulométricos y observación de láminas delgadas, la relación entre el material de relleno de las inyectitas y las rocas sedimentarias halladas en los afloramientos cercanos, todos pertenecientes a la Formación Ranquil.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo general**

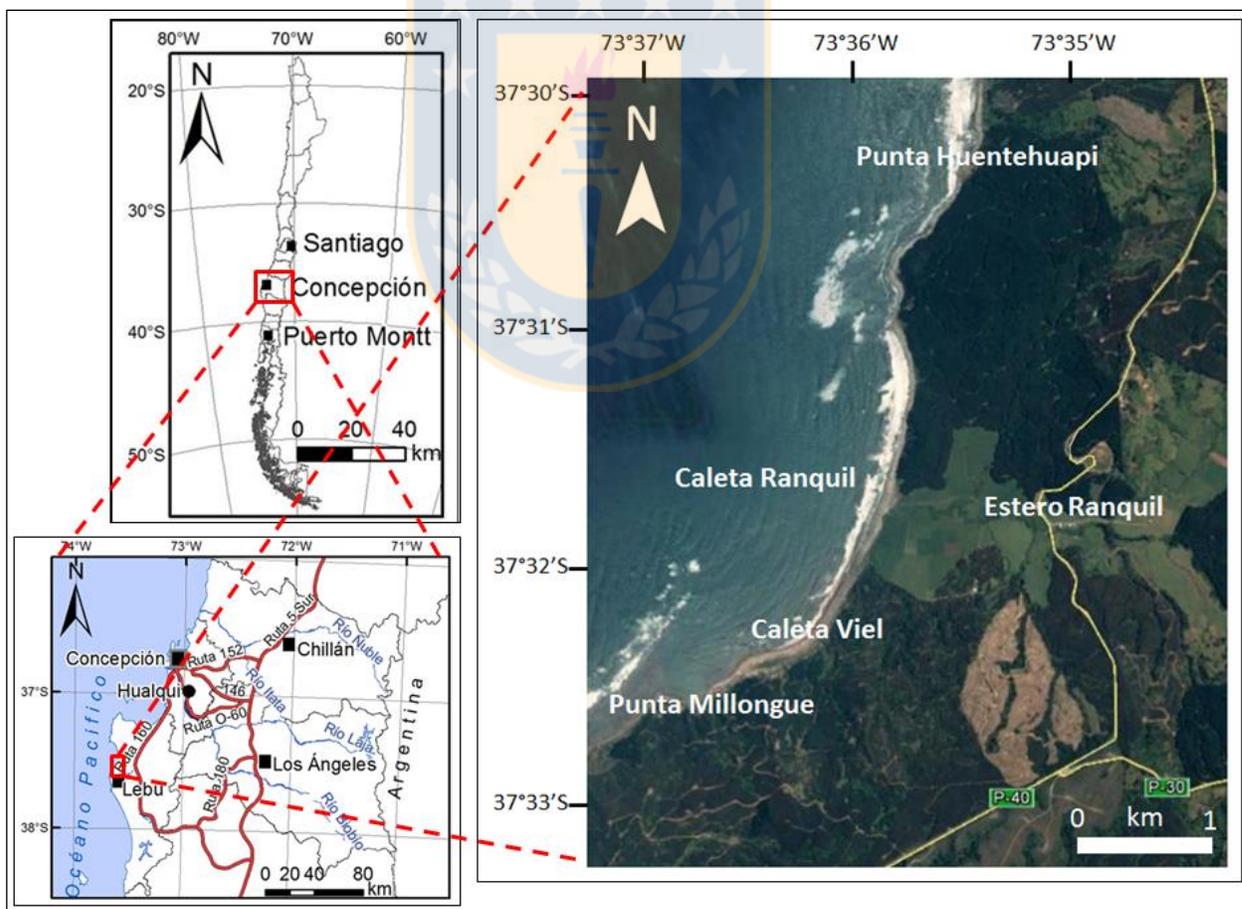
- Determinar el o los estratos alimentadores de las intrusiones clásticas existentes en la Formación Ranquil.

### **1.1.2. Objetivo Específico**

- Establecer la petrografía de las intrusiones clásticas y secuencias sedimentarias de la Formación Ranquil.
- Establecer la granulometría de las intrusiones clásticas y secuencias sedimentarias de la Formación Ranquil.
- Caracterizar y ordenar estratigráficamente las unidades que conforman la Formación Ranquil.

## 1.2. UBICACIÓN Y ACCESOS

El área de estudio corresponde a una porción de la zona costera de la Península de Arauco, en la provincia homónima de la Región del Biobío. Específicamente, la zona donde desemboca el Estero Ranquil (que da nombre a la formación que se observa en el lugar) alrededor de 10 Km al norte de la ciudad de Lebu, entre los  $37^{\circ}30'$  y  $37^{\circ}33'S$  y los  $73^{\circ}34'$  y  $73^{\circ}37'E$ . La zona se extiende alrededor de 5 Km, desde el sector Caleta Viel en la parte sur, hasta Punta Huentehuapi en el norte (figura 1.2). Los afloramientos se encuentran principalmente en la playa, consignándose algunos en la carretera y en caminos forestales. Para llegar al lugar se debe seguir la ruta 160 desde Concepción al sur hasta Lebu y luego avanzar hacia el norte unos 10 Km por la ruta P-40. El acceso a la playa es a través de caminos forestales, pudiéndose acceder en vehículo si el estado de estos lo permite, en caso contrario se debe caminar por la vega aledaña al estero 2 Km hasta llegar a la playa.



**Figura 1.2** Ubicación Área de Estudio

### 1.3. METODOLOGÍA

En este apartado se describen las actividades y procedimientos llevados a cabo a fin de concretar los objetivos trazados para este estudio. Considerando las condiciones de acceso, abundancia y conservación de los afloramientos en el área de interés, se realizan las siguientes tareas.

- Recopilación y revisión de bibliografía, referente tanto a la o las formaciones definidas para la zona, como a los procesos mediante los cuales se generan las intrusiones clásticas, foco central del presente trabajo.
- Recolección de muestras de sedimento y roca, para realizar tamizajes y cortes transparentes. En el caso de las muestras de sedimento, también se han hecho láminas delgadas, previa preparación de briquetas.
- Análisis de los datos entregados por el tamizaje para determinar las características del sedimento sometido a dicho proceso. Esto mediante la aplicación de la planilla de cálculo previamente programada para análisis estadísticos GRADISTAT. El funcionamiento y parámetros utilizados por el programa son explicados en el documento *Gradistat: A Grain Size Distribution And Statistics Package For The Analysis Of Unconsolidated Sediments* (Blott y Pie, 2001)
- Descripción microscópica de los cortes transparentes mediante fichas estandarizadas. Se usa como referencia la clasificación de Folk (1980) para asignar nombres a las muestras según su composición.

El trabajo en terreno para este estudio se extiende por 10 días entre marzo y noviembre de 2016.

### 1.4. TRABAJOS ANTERIORES

El estudio de la Formación Ranquil como tal es más bien restringido, remitiéndose a lo realizado por Tavera (1942), quien define los Pisos Navidad y Ranquil, asignándolos al Mioceno inferior y Mioceno medio respectivamente, correlacionando el primero con la Formación Navidad, ubicada en la costa de la Región de O'Higgins por medio de asociaciones faunísticas. García en 1968, define formalmente las formaciones Ranquil y Tubul, asignándolas al Mioceno y plioceno respectivamente. En 1983, Pineda realiza una descripción de columnas y perfiles representativos

de las unidades que afloran en la península de Arauco, para plantear la evolución paleogeográfica de la zona.

Los trabajos posteriores, como el de Álvarez (2006) o Melnick y otros (2009), se dedican principalmente a entender la tectónica y los mecanismos mediante los cuales se generan los depósitos de la cuenca de Arauco.

Henríquez (2006) relaciona las secuencias sedimentarias neógenas de Caldera y Arauco, con las tasas de alzamiento y subsidencia de estos mismo sectores.

Le Roux y otros (2008) asocia la generación de las intrusiones clásticas presentes en el área a un evento de mega-tsunami, además de poner énfasis en la relación entre depósitos con intrusiones de arena y reservorios de hidrocarburos. En ese mismo año determinan que “La sedimentología, junto con los micro- y microfósiles y la asociación de trazas fósiles, indican que la sucesión fue depositada en la parte exterior de la plataforma continental hasta el talud continental en aguas subtropicales a tropicales”.

Con respecto a la edad de la Formación Ranquil, Finger (2007) señala con base en el estudio de foraminíferos plantónicos, que la edad de las formaciones Navidad, Ranquil y Lacui de la costa chilena corresponden al intervalo Mioceno superior – Plioceno, además de relacionar su depositación a ambientes marinos profundos.

Nielsen y Glodny (2009) obtienen edades de Sr  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en fósiles de moluscos y otros organismos correspondientes al Mioceno inferior e interpretan estos fósiles como retrabajados a raíz de los datos entregados por Finger en 2007.

Nielsen (2013) describe macrofauna fósil (moluscos) del Plioceno (3.4 Ma), proveniente de la Península de Mejillones (norte de Chile) y la compara con especies de la Formación La Cueva (presente en la costa de la región de O'Higgins) y de la Formación Ranquil en la Península de Arauco. Mediante asociaciones faunísticas y basado en estudios anteriores asigna para las unidades de la Formación Ranquil las siguientes edades: Mioceno superior a lutitas y areniscas verdes (RQT y RAN respectivamente), Plioceno inferior para las areniscas calcáreas (RQK) que sobreyacen a la Arenisca Huentehuapi (RQS), estableciendo una edad entre el Mioceno superior y el Plioceno inferior para esta última.

Finalmente, Finger (2013) realiza un nuevo estudio de foraminíferos, esta vez abarcando alrededor de 1000 Km de costa entre San Sebastián (al norte de San Antonio) y el Archipiélago de Chiloé, incluyendo los depósitos de Navidad, Ranquil y Santo Domingo (cercano a Valdivia).

En este estudio concluye que la mayor parte de las especies corresponden al Mioceno, y específicamente al Mioceno inferior, corrigiendo así las edades de las formaciones del Grupo Navidad y acotándolas al Mioceno inferior.

## **1.5. AGRADECIMIENTOS**

En este apartado quisiera ofrecer un reconocimiento a todos aquellos quienes de una u otra manera han contribuido a la realización de este trabajo.

Al profesor guía Alfonso Encinas, por darme la oportunidad de realizar este trabajo.

A la profesora Verónica Pineda y al profesor Ramiro Bonilla, quienes facilitaron material bibliográfico y aportaron información relevante.

A Pedro Bravo, laborante del Departamento de Ciencias de la Tierra, quien realizara los tamizajes de las muestras utilizadas en este trabajo.

A mis amigos Lucia Díaz y Dante Riquelme, y compañeros de carrera Phillippe Giroux y Camila Soto entre otros, quienes me ayudaron cada vez que lo necesité, acompañando en terreno, recolectando muestras o facilitando información para lograr llevar a buen término este estudio.

Finalmente agradecer a mi familia, a mi madre, mi padre y mis hermanos, cuyo apoyo incondicional ha sido siempre fundamental para lograr aquello que he anhelado.

## 2. MARCO GEOLÓGICO

### 2.1. GENERALIDADES

La Península de Arauco corresponde la parte sur de lo que se ha denominado Cuenca Arauco-Itata, que corresponde a una cuenca marina de antearco, ubicada entre los 36° y 38° S y que se extiende desde la Cordillera de la Costa hasta el borde de la plataforma continental (Álvarez y otros, 2006). Los depósitos que rellenan la Cuenca de Arauco comprenden nueve unidades, con edades que van desde el Triásico Superior al Pleistoceno, las que sobreyacen al Basamento Paleozoico y a su vez están cubiertas por los sedimentos no consolidados del Holoceno (Tabla 2.1).

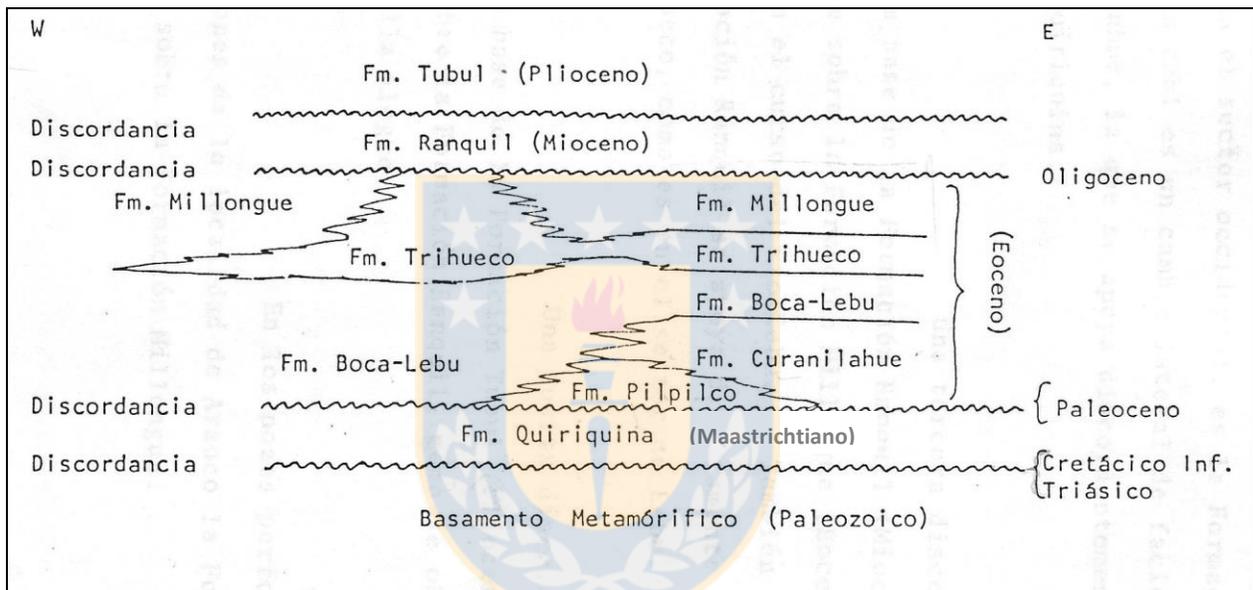
<b>Estratigrafía de las unidades sedimentarias de la Cuenca de Arauco</b>	
<b>Unidad</b>	<b>Edad</b>
<b>Dunas, etc.</b>	Holoceno (<0.0117 Ma)
<b>Formación Tubul</b>	Plioceno superior–Pleistoceno inferior (3.6–0.78 Ma)
<b>Formación Ranquil</b>	Mioceno inferior (23–15.97 Ma)
<b>Grupo Lebu</b>	
<b>Formación Millongue</b>	Bartoniano–Priaboniano (Eoceno superior) (41.2–33.9 Ma)
<b>Formación Trihueco</b>	Lutetiano (Eoceno inferior) (47.8–41.2 Ma)
<b>Formación Boca Lebu</b>	Ypresiano (Eoceno inferior) (56–47.8 Ma)
<b>Formación Curanilahue</b>	Paleoceno–Eoceno inferior (66–41.2 Ma)
<b>Formación Pilpilco</b>	Paleoceno–Eoceno inferior (66–41.2 Ma)
<b>Formación Quiriquina</b>	Maastrichtiano (Cretácico Superior) (72.1–66Ma)
<b>Estratos Santa Juana</b>	Triásico Superior (237–201Ma)
<b>Basamento Paleozoico</b>	Paleozoico (>251 Ma)
<i>Edades de acuerdo al Cuadro Cronoestratigráfico Internacional, de la Comisión Internacional de Estratigrafía (2017)</i>	

**Tabla 2.1** Estratigrafía de las unidades sedimentarias de la Cuenca de Arauco, modificado de Le Roux, 2008

El relleno de la cuenca de Arauco responde a la acción de continuas transgresiones y regresiones marinas, lo que se traduce en constantes variaciones en el ambiente de sedimentación, pasando de continental a marino costero y marino profundo y viceversa. A continuación se realiza una breve descripción de estas unidades, salvo la Formación Ranquil, la que por ser objeto del presente estudio se describe en detalle en un apartado posterior.

- **Estratos Santa Juana:** Secuencias de areniscas depositadas en ambientes continentales que varían entre fluviales, deltaicos y lacustres. Sobreyacen secuencias de lutitas correspondientes ambientes deltaicos mixtos con señales de transgresiones y regresiones marinas. Además se identifica una secuencia volcánica intermedia con depósitos de caída.
- **Formación Quiriquina:** Corresponde a una secuencia sedimentaria marina fosilífera, constituida de base a techo por un conglomerado basal, areniscas amarillas, coquinas y areniscas-limolitas verdes con concreciones calcáreas (Muñoz y otros, 2007). Salazar (2004) sugiere un ambiente de depositación típico de una secuencia siliciclástica transgresiva con influencia de tormentas, desde el intermareal al submareal relativamente profundo.
- **Formación Pilpilco:** Areniscas verdosas de grano fino con intercalaciones de finas capas de arcilla y conglomerados en algunos casos, depositados en ambientes marinos costeros con aportes fluviales (Muñoz-Cristi, 1968).
- **Formación Curanilahue:** Compuesta por dos miembros continentales y uno marino, que de base a techo se posicionan como sigue.
  - *Miembro Lota:* Constituida completamente por sedimentos continentales, areniscas de grano fino a grueso, conglomerática en algunos sectores además de niveles arcillosos. Presencia mantos de carbón (Muñoz-Cristi, 1968).
  - *Miembro Intercalación:* Areniscas verdes fosilíferas asociadas a ambientes marinos costeros (Muñoz-Cristi, 1968).
  - *Miembro Colico:* Areniscas finas a gruesas, conglomerados y lutitas con intercalaciones de mantos de carbón. Ambiente de sedimentación continental (Muñoz-Cristi, 1968).
- **Formación Boca Lebu:** Arenisca gris verdosa con fósiles que indican ambientes de depositación marinos.
- **Formación Trihueco:** De ambientes continental con intercalaciones marinas, está compuesta por areniscas con niveles de arcillolitas, además de algunos mantos de carbón (García, 1968).
- **Formación Millongue:** Rocas sedimentarias de grano fino con intercalaciones de areniscas finas glauconíticas y presencia de fósiles marinos e impresiones de hojas. Corresponde a un proceso transgresivo, variando desde un ambiente principalmente continental (Formación Millongue), hasta uno completamente marino (Formación Ranquil) (García, 1968).
- **Formación Tubul:** Intercalaciones de limolitas y areniscas. Ambiente de sedimentación marino costero.

La continuidad de la sedimentación en esta cuenca se ha visto interrumpida en cuatro ocasiones, provocando las discontinuidades que se esquematizan en la figura 2.1. Pineda (1983) explica que la primera corresponde al contacto entre el Basamento Paleozoico y la Formación Quiriquina. La segunda a la base de las formaciones Curanilahue, Pilpilco y Boca Lebu, que se apoyan sobre el Basamento Paleozoico y/o la Formación Quiriquina. Una tercera se reconoce en la base de la Formación Ranquil, en contacto con el techo de las formaciones Millongue y Trihueco. Finalmente se reconoce una cuarta discordancia entre las formaciones Tubul y Ranquil, observable en el sector de Villa Alegre.



**Figura 2.1** Perfil esquemático formaciones Península de Arauco, modificado de Pineda (1983)

## 2.2. FORMACIÓN RANQUIL (MIOCENO INFERIOR)

La Formación Ranquil, definida por García (1968), corresponde a las unidades que Tavera (1942) nombrara como Piso Navidad y Piso Ranquil, correlacionando el Piso Navidad con la Formación homónima que aflora en la costa de la Región de O'Higgins. Tavera (1942) define el Piso Ranquil como una sucesión sedimentaria de aproximadamente 100 m de espesor, que aflora entre Caleta Ranquil y Quiapo, caracterizada por la presencia de diques de areniscas, que corresponderían al relleno de fracturas. Mediante el estudio de macrofauna además, asigna los pisos Navidad y Ranquil al Mioceno.

Muñoz-Cristi (1946) sitúa la Formación Ranquil en discordancia angular sobre la Formación Millongue, aunque también ha sido reportada sobre la Formación Trihuco (Muñoz-Cristi, 1956). Infrayace en discordancia angular a depósitos pliocenos correspondientes a la Formación Tubul (García, 1968). Pineda (1983) señala que post-Eoceno “la cuenca de Arauco es afectada por la Fase Incaica, que se manifiesta con movimientos epirogénicos que conducen a un nuevo solevantamiento del área. Esta emersión es responsable del hiato del Oligoceno y de la discordancia existente entre Eoceno y Mioceno. A fines del Mioceno la cuenca es afectada por la Fase Quechua o Diaguita, la cual produce un suave plegamiento en los depósitos miocénicos y el área es solevantada quedando expuesta a la erosión, esto hace que el Plioceno se disponga discordante sobre el Mioceno”.

La localidad tipo de la Formación Ranquil se encuentra en el sector de Caleta Ranquil, en la desembocadura del río homónimo, aproximadamente a 10 Km al norte de Lebu, donde Pineda (1983) menciona que “presentaría una disposición homoclinal, con un espesor aproximado de 130 m, y representaría una sucesión transgresiva que se deposita sobre diferentes rocas eocenas”.

En cuanto a las condiciones y ambiente de sedimentación, Pineda (1983) hace referencia a un proceso de transgresión marina durante el Mioceno, que cubre las unidades eocenas de la zona. Además, indica que la base de las secuencias miocénicas que afloran en la costa presentan facies litorales, las que ascendiendo estratigráficamente varían a facies más profundas como es el caso del afloramiento de Caleta Ranquil y las secuencias al norte de este, sosteniendo que “la presencia de niveles fosilíferos (pelecípodos, gastrópodos y escafópodos) son indicadores de facies costaneras, las cuales se alternan con facies algo más profundas de sedimentación”. Actualmente, se tiene conocimiento de que al menos parte de la Formación Ranquil responde a un ambiente de depositación marino profundo, gracias al hallazgo de foraminíferos bentónicos y gastrópodos relacionados con este tipo de ambientes en los estudios de Finger (2007, 2013) y Nielsen (2009, 2013) entre otros.

Estudios más recientes permiten acotar además, a través del estudio de foraminíferos realizado en localidades coincidentes con las de este estudio, la edad de la Formación Ranquil. Finger y otros (2007) señalan que “Las formaciones Navidad, Ranquil y Lacui contienen fauna micro y microfósil muy similar. Los foraminíferos plantónicos revelan una edad que va entre el Mioceno Superior y el Plioceno inferior”. En este estudio los autores diferencian una serie de unidades que

serán tomadas como base para los estudios posteriores. En primer lugar una secuencia de lutitas con inyectitas (RQT), segundo una capa de areniscas verdes fosilíferas (RAN) y finalmente un estrato de areniscas calcáreas anaranjadas (RQK). Además, se logra determinar la edad de cada unidad, siendo asignadas de la siguiente manera: RQT-Tortoniano; RQK-Zancleano y RAN-Mioceno superior al Plioceno inferior.

Posteriormente, Nielsen y Glodny (2009) realizan dataciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , obteniendo para las localidades de la Formación Ranquil las siguientes edades (en millones de años): RQT-20,35 (Burdigaliano); RQK-16,10 (Burdigaliano) y RAN-21,82 a 19,43 (Aquitano-Burdigaliano).

Nielsen (2013), mediante la comparación de moluscos vuelve a asignar edades a las diferentes unidades de la Formación Ranquil, incluyendo esta vez la unidad Areniscas Huentehuapi (RQS). Las secuencias de lutitas y areniscas verdes (RQT y RAN) son asignadas al Mioceno superior por la ocurrencia de *Neogloboquadrina continua* y *N. pachyderma*. Las areniscas calcáreas (RQK) que se encuentran sobre la Arenisca Huentehuapi (que a su vez sobreyace las unidades anteriores) corresponden al Plioceno inferior, ya que se encuentra en estas *Globorotalia puncticulata*, por lo que la Arenisca Huentehuapi (RQS) debe necesariamente ser de una edad intermedia. “La aparición de *Stramonita zinsmeisteri* tanto en la Formación La Cueva y Arenisca Huentehuapi con *Nacella intiforma* sugiere una edad pliocena para esta última”.

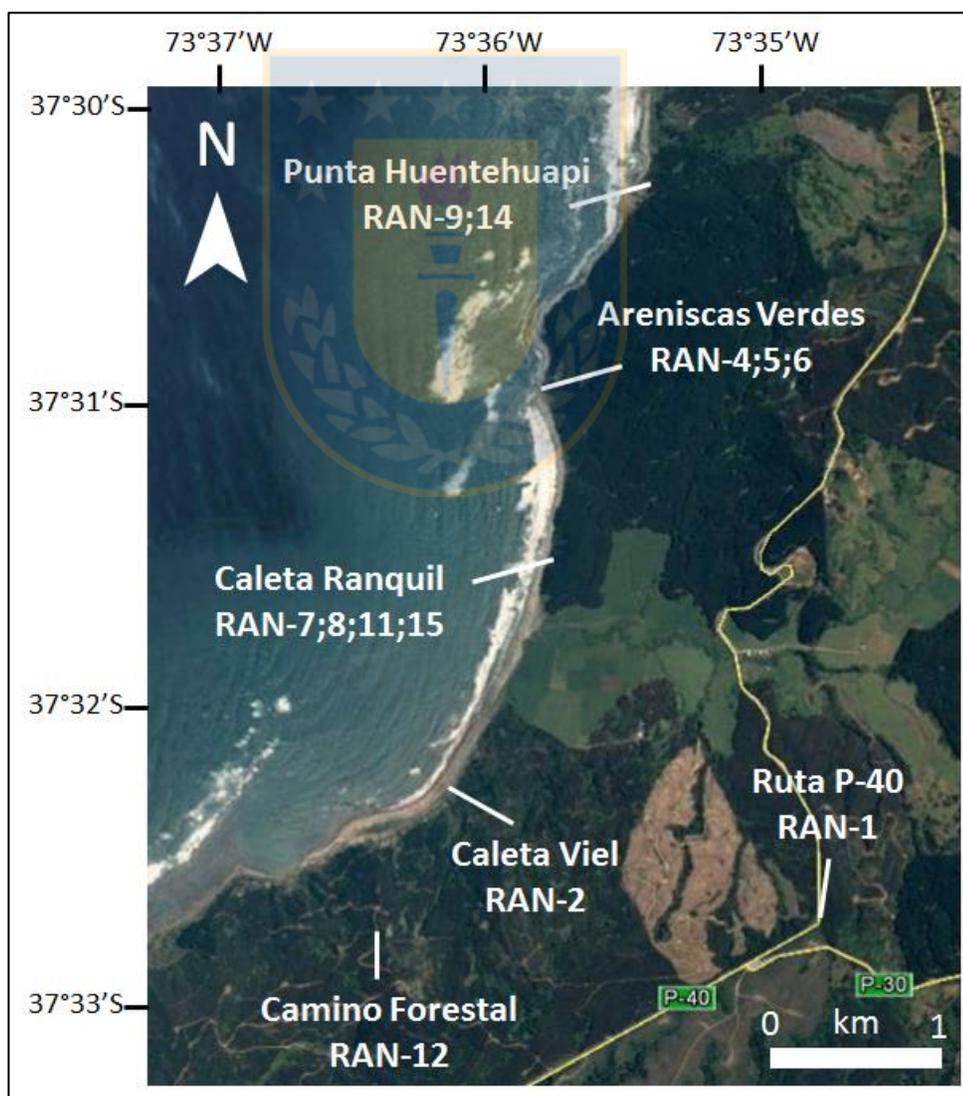
Sin embargo, Finger (2013) corrige las edades planteadas por Finger y otros (2007) y en estudios posteriores, revisando nuevamente los foraminíferos hallados en las formaciones costeras relacionadas al Neógeno. En esta nueva revisión se establece que la mayor parte de las asociaciones faunísticas corresponden al Mioceno Inferior, corrigiéndose así la edad de la Formación Ranquil. De esta manera las unidades RAN, RQT y RQS son asignadas al Mioceno inferior, mientras que RQK es asignada al Mioceno medio, gracias a una datación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Sin embargo, “los foraminíferos bentónicos de las formaciones Navidad, Ranquil, Santo Domingo y Lacui (el Grupo Navidad) no son distinguibles unos de otros por las similitudes en edad geológica, historia deposicional y composición de especies. La mayoría de las especies (excluyendo algunas muy raras) se repiten en dos o más de estas unidades”. El no poder separar por especie estos ejemplares de manera confiable no permite en este caso su utilización para datar las unidades a las cuales corresponden, por lo que finalmente concluye “que todas las formaciones del Grupo Navidad son Mioceno Inferior, basado principalmente en la presencia de

las especies plantónicas *Catapsydrax dissimilis*, *Globigerinoides primordius*, *Paragloborotalia bella*, y *Paragloborotalia zealandica s.l.*, así como la cronoestratigrafía de isótopos de estroncio y la bioestratigrafía de moluscos”.



### 3. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN RANQUIL

El presente capítulo tiene por objetivo describir las diferentes unidades que componen la Formación Ranquil, a fin de relacionarlas con las sucesiones presentes en las diferentes localidades consideradas en este estudio. Además, dichas unidades serán ordenadas cronológicamente con base en los estudios realizados durante los últimos años en la zona. Si bien no se conoce la totalidad de las relaciones de contacto entre las diferentes unidades, dado que probablemente existen fallas cubiertas entre los afloramientos, existen evidencias que permiten otorgarles una temporalidad relativa entre ellas. La figura 3.1 muestra el área de estudio, señalando las distintas localidades y las muestras asociadas a cada afloramiento.



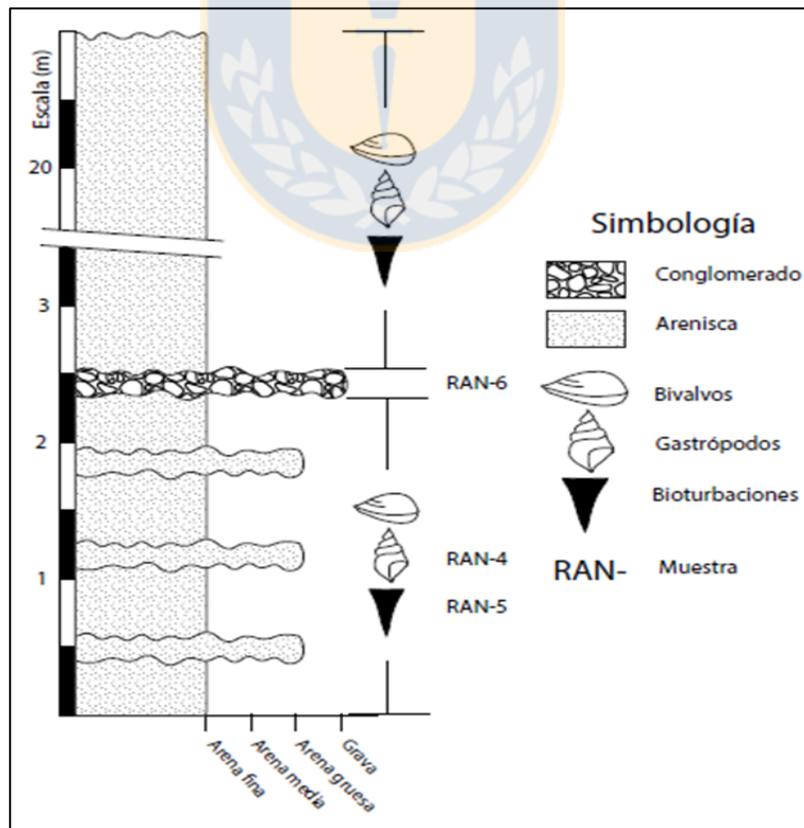
**Figura 3.1** Ubicación afloramientos y muestras asociadas

A cada unidad caracterizada le será otorgado un número según su posición relativa al orden propuesto para la Formación Ranquil, además cada unidad se relacionará con las unidades individualizadas en Finger (2013).

Fuera del sector considerado en este trabajo, en la parte norte de la ciudad de Lebu existen pequeños afloramientos donde se puede observar un conglomerado o arenisca conglomerática basal de la Formación Ranquil (Finger, 2013).

### 3.1. UNIDAD 1

La primera unidad a describir (en adelante Unidad 1 o U1), se encuentra aproximadamente 2 Km al norte del Estero Ranquil (afloramiento Areniscas Verdes), donde aflora una secuencia de arenisca fina gris verdosa que presenta intercalaciones centimétricas a decimétricas de arenisca media a gruesa color verde oscuro, muy bioturbada y con abundantes restos fósiles. Aproximadamente a 2,5 m de la base de la secuencia se observa una capa de conglomerado fino muy consolidado y con alto contenido de cuarzo (figura 3.2).

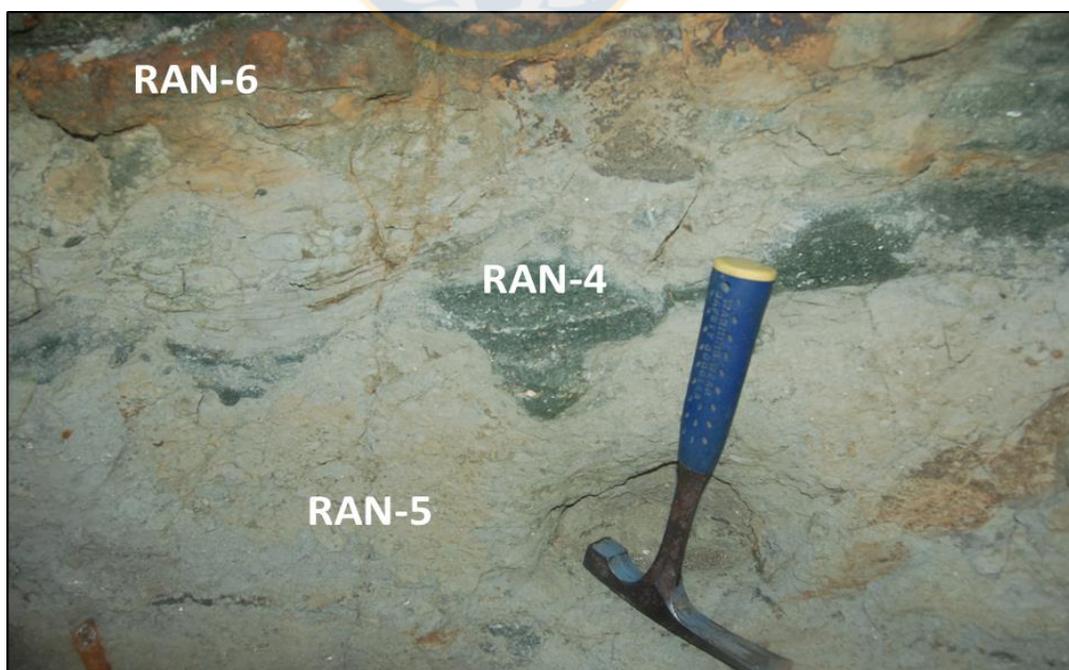


**Figura 3.2** Columna Estratigráfica Areniscas Verdes (U1. RAN)

La figura 3.3 corresponde una sección representativa de este afloramiento, en la que se aprecian las intercalaciones de areniscas verdes y conglomerado, mientras que en la figura 3.4 se pueden ver con mayor detalle las diferentes litologías encontradas, la gran abundancia de fósiles en las arenas verdes (RAN-4) en relación a las arenas grisáceas (RAN-5) y la capa de conglomerado (RAN-6) mucho más competente que el resto del sedimento.



**Figura 3.3** Vista general afloramiento Areniscas Verdes



**Figura 3.4** Detalle litologías afloramiento Arenisca Verdes

Respecto a las condiciones en las cuales se depositaron estos sedimentos la presencia de *ripples* de oleajes y la abundante bioturbación presentes en esta secuencia (figura 3.5) es característica en un ambiente de *shoreface* inferior. Finger y otros (2007) señalan la presencia de fósiles de gastrópodos restringidos a aguas someras en esta unidad, a la que asigna la sigla RAN. Además, la fauna encontrada en esta unidad se relaciona directamente con los fósiles provenientes de la Formación Navidad, por lo que se puede decir que U1 (RAN) corresponde al Mioceno inferior, como señala Finger (2013).



**Figura 3.5** *Ripples* de oleaje, afloramiento Areniscas verdes

### 3.2. UNIDAD 2

Corresponde a una potente secuencia que presenta un espesor mínimo de 100 m de lutitas grises, cuya característica principal es la presencia de múltiples intrusiones clásticas, las cuales ha sido identificada en las localidades de Punta Huentehuapi, Caleta Ranquil, Caleta Viel y los afloramientos interiores correspondientes a la Ruta P-40 y caminos forestales (ver figura 3.1). Los afloramientos de esta unidad serán descritos en el siguiente orden: ruta P-40, camino forestal, Caleta Viel y Caleta Ranquil. Estos constan de lutitas grises masivas muy fracturadas. Presentan

inyectitas verticales y horizontales o subhorizontales rellenas de arenisca (con presencia de grava en algunos sectores) de color gris claro a blanquecina, de espesores centimétricos a decimétricos y extensiones que en algunos casos llegan a varias decenas de metros. La figura 3.6 corresponde al afloramiento en la ruta P-40, donde se puede identificar claramente una inyectita intruyendo las lutitas, que a su vez se ve afectada posteriormente por una falla.

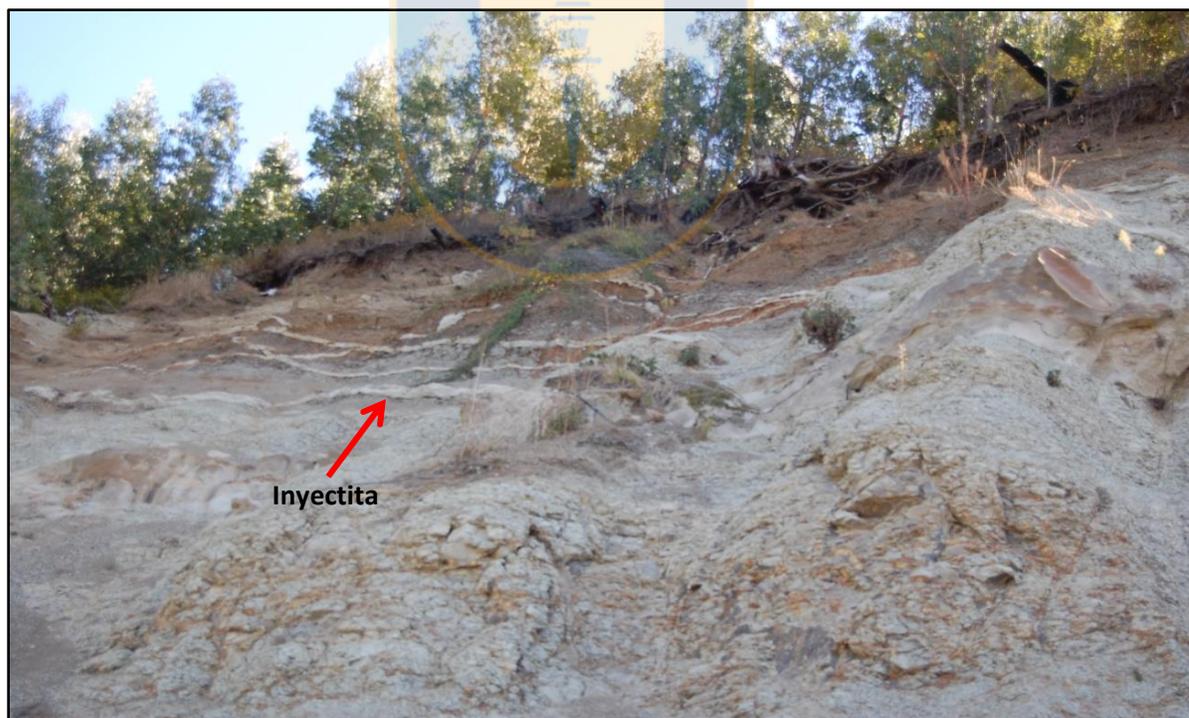


**Figura 3.6** Afloramiento en ruta P-40

En el afloramiento encontrado en el camino forestal (figura 3.1) se observa una estructura subhorizontal rellena de arenisca amarillenta que corta una potente capa de lutitas (figura 3.7). Algunos metros al este, en el mismo afloramiento, se observa como la inyectita se ramifica en varias de menor potencia (figura 3.8).



**Figura 3.7** Afloramiento en camino forestal



**Figura 3.8** Bifurcación dique clástico, acercamiento afloramiento en camino forestal.

El afloramiento de Caleta Viel (figura 3.9) ubicado a 1,5 Km al sur del Estero Ranquil, corresponde al escarpe natural generado por erosión física de los cerros del sector, un acantilado de aproximadamente 50 m donde quedan expuestas capas de lutitas grises cortadas en todas direcciones por diques y sill de arena blanquecina a grisácea. Cabe mencionar que, durante las horas de baja marea quedan descubiertas las mismas lutitas con intrusiones clásticas en la zona intermareal (figura 3.10), lo que sugiere una potencia aún mayor para esta unidad.



**Figura 3.9** Lutitas con intrusiones clásticas, Caleta Viel

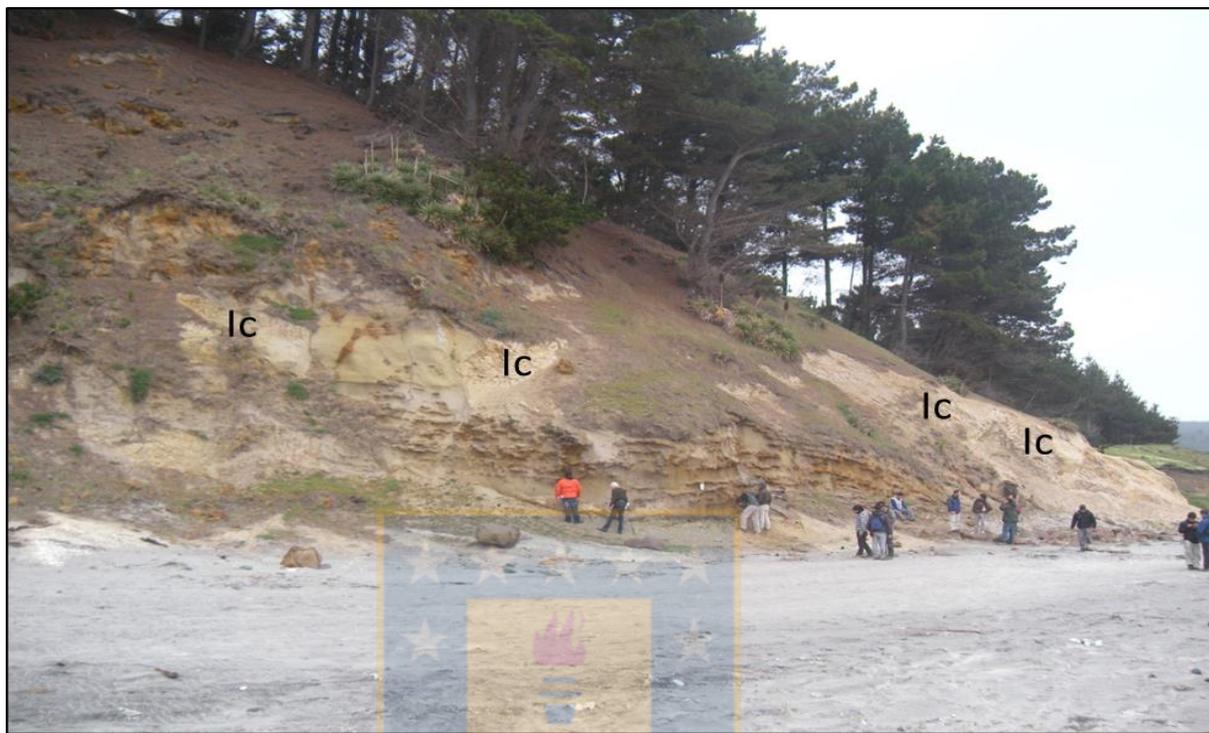
Al norte del estero que da nombre a la localidad de Caleta Ranquil (figura 3.1) se observa un afloramiento que se extiende paralelo a la línea de costa alrededor de 120 m en la horizontal, con una altura cercana a los 30 m. En este se pueden apreciar dos capas de lutitas grises, separadas por lo que se interpreta como un gran sill de arenisca gris con intraclastos de lutita de hasta 5 m (figura 3.11). En la figura 3.12 se muestra un acercamiento a los intraclastos de lutita, bajo los cuales se pueden apreciar numerosas concreciones alineadas horizontalmente.



**Figura 3.10** Zona intermareal expuesta en Caleta Viel

Este gran sill presenta internamente una tendencia granodecreciente, encontrándose un conglomerado fino en la base que disminuye hasta sedimento tamaño arena media hacia techo. Un contacto erosivo bien definido marca los límites inferior y superior entre la inyectita y las capas de lutita, con una potencia aproximada de 20 metros. Es relevante el hallazgo de un pequeño dique de arena en la capa inferior de lutitas, el cual a primera vista parece provenir de la arenisca suprayacente, sin embargo, como se observa en la figura 3.13, existe una diferencia considerable en el tamaño de grano de ambas estructuras (también se observa diferencia de composición, lo que se explica en el capítulo de Petrografía) lo que implicaría que, contrario a lo que plantean Le Roux y otros (2008) los diques como el de la figura 3.13 registrados en esta localidad, no están genéticamente relacionados a la “capa” de arenisca ubicada encima, además no sería una capa depositada en el lugar sino que una intrusión horizontal muy potente y por lo tanto no correspondería a la unidad Arenisca Huentehuapi (RQS, ver Finger, 2013) como también plantean Le Roux y otros (2008). Si bien han sido reportadas varios diques que “nacieron de esta

capa” en estudios anteriores, debido a la constante caída de material en esta ocasión solo ha podido registrarse el que se muestra en la figura 3.13.

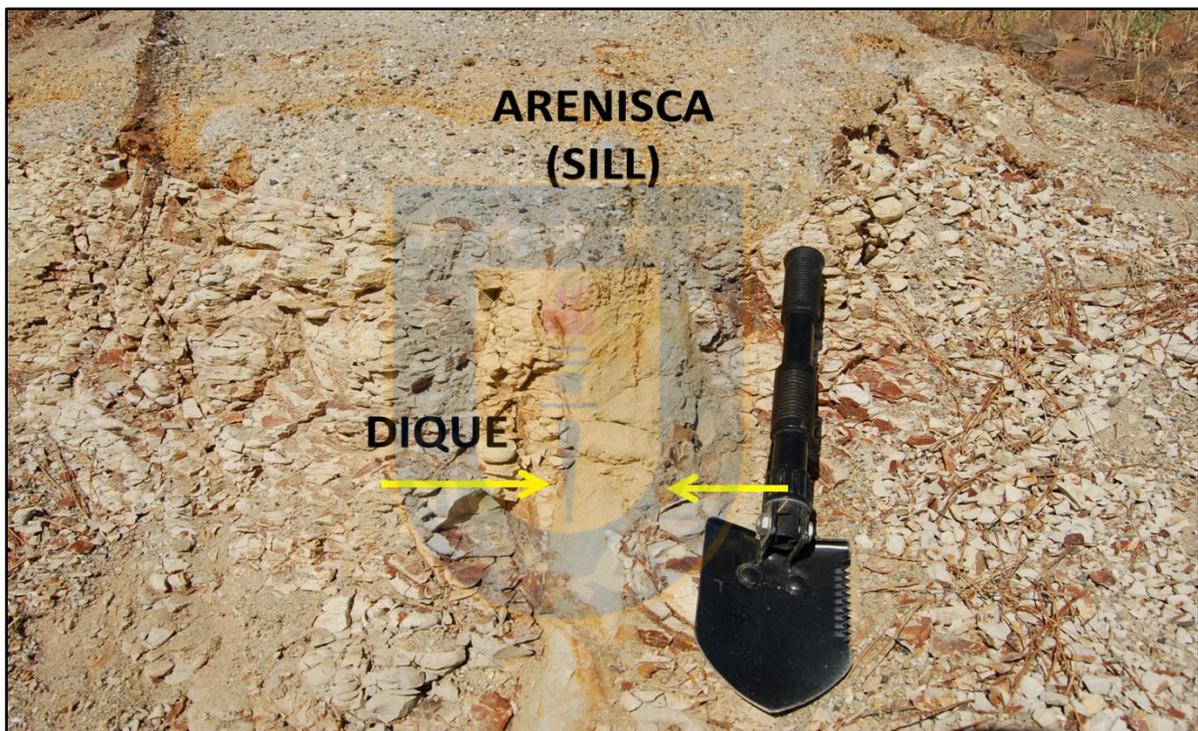


**Figura 3.11** Vista general afloramiento Caleta Ranquil. Ic = Intraclastos.



**Figura 3.12** Intraclastos de lutita en arenisca, Caleta Ranquil. Ic = Intraclastos.

Los intraclastos de lutitas presentes en la parte superior de este sill complementan el planteamiento realizado en este trabajo referente a que la arenisca presente en el afloramiento de Caleta Ranquil no corresponde a la unidad Arenisca Huentehuapi, sino que a un sill de gran potencia, dado que el gran tamaño, bordes angulosos y forma ameboidea de dichos intraclastos, además de la presencia de micro inyecciones de arena en los mismos, sugieren que serían bloques *in situ* (figura 3.12). Otra característica de esta localidad son las concreciones rojizas que se distribuyen en franjas paralelas a la base en la parte media del sill, las que claramente se aprecian en la figura 3.11 bajo los intraclastos de lutita.



**Figura 3.13** Contacto lutitas con diques - Sill, Caleta Ranquil

La última localidad comprendida en el área de estudio donde aflora la Unidad 2 (RQT en Finger y otros, 2007) corresponde a Punta Huentehuapi, donde las lutitas grises con inyectitas afloran en la actual plataforma de abrasión y en la base del acantilado costero. Esta unidad subyace a la Arenisca Huentehuapi (correspondiente en este estudio a U3 y de la cual se hablará a continuación), pero el contacto está cubierto. En cuanto a la edad de las lutias, se ha registrado la presencia de fauna (gastrópodos y foraminíferos) típica de la Formación Navidad (Mioceno

inferior según Finger, 2013), la cual indica además un ambiente de depositación marino profundo (ver especies asociadas a RQT en Finger y otros, 2007).

### 3.3. UNIDAD 3

Sobreyace a las lutitas con intrusiones clásticas la unidad Arenisca Huentehuapi (U3), la que aflora en la localidad del mismo nombre en un acantilado de aproximadamente 50 m (figura 3.14). Compuesta de areniscas amarillentas o anaranjadas no consolidadas, presenta varios niveles de potencias decimétricas a métricas, con abundantes intraclastos de lutitas, los que alcanzan los 50 cm de diámetro. Consignada como RQS por Nielsen (2013), la que será denominada Unidad 3 para el presente trabajo contiene una variedad menor de fósiles en relación a las unidades anteriores. Nielsen (2013) sugiere, por la presencia de *Stramonita zinsmeisteri* y *Nacella intiforma* relacionar esta secuencia con la Formación La Cueva, situándolas temporalmente en el Plioceno y mencionando que “la Formación Navidad y sus equivalente infrayacen a la Arenisca Huentehuapi e indirectamente a la Formación La Cueva”. Menciona también que espera que al continuar con el estudio de la Arenisca Huentehuapi, se encuentren más especies que acentúen las similitudes entre ambas formaciones.



**Figura 3.14** Secuencia de areniscas con niveles de intraclastos (U3), Caleta Villarrica

### 3.4. UNIDAD 4

La última unidad perteneciente a la Formación Ranquil (Unidad 4 para este estudio), aflora en la cima del acantilado existente en Punta Huentehuapi. Corresponde a una secuencia de areniscas anaranjadas fosilíferas (RQK en Finger y otros, 2007), la que es asignada al Plioceno inferior por Nielsen (2013), basándose en la presencia de *Globorotalia puncticulata* hallada por Finger (2007). Sin embargo, Finger (2013) corrige las edades de las unidades asociadas a la formación Navidad concluyendo que todas corresponden al Mioceno inferior, mientras que para RQK en particular, se obtiene una edad isotópica ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) correspondiente al Mioceno medio.

A partir de observaciones realizadas en terreno y trabajos previamente realizados en la zona, se construye la columna Punta Huentehuapi (figura 3.15), la cual representa las características y relaciones de contacto de las unidades U2, U3 y U4. En cuanto a la posición relativa de U1 con respecto al resto de las unidades, se asume como anterior a éstas ya que U1 y U2 contienen fauna típica de la Formación Navidad, mientras que U3 y U4 tienen fósiles más jóvenes. Además U1 aflora inmediatamente al sur de Punta Huentehuapi, con capas subhorizontales que terminan de forma abrupta, probablemente producto de una falla cubierta entre ambas localidades, por lo que es lógico suponer que estratigráficamente U1 yace bajo U2, la que representa facies marinas más profundas.

En resumen, la Formación Ranquil consta (ascendiendo estratigráficamente) de un conglomerado basal que aflora en las cercanías de la localidad de Lebu; una secuencia de areniscas verdes fosilíferas (U1); una potente capa de lutitas grises, con 100 m de potencia mínima, afectada por múltiples intrusiones clásticas (U2) que aflora desde Caleta Viel por el sur hasta Punta Huentehuapi por el norte; una capa de arenisca amarillenta con intraclastos de lutita en algunos niveles (U3) y por último una capa de areniscas anaranjadas con fósiles (U4). Todas las unidades corresponden al Mioceno inferior, salvo U4, que ha sido datada como Mioceno medio (Finger 2013).

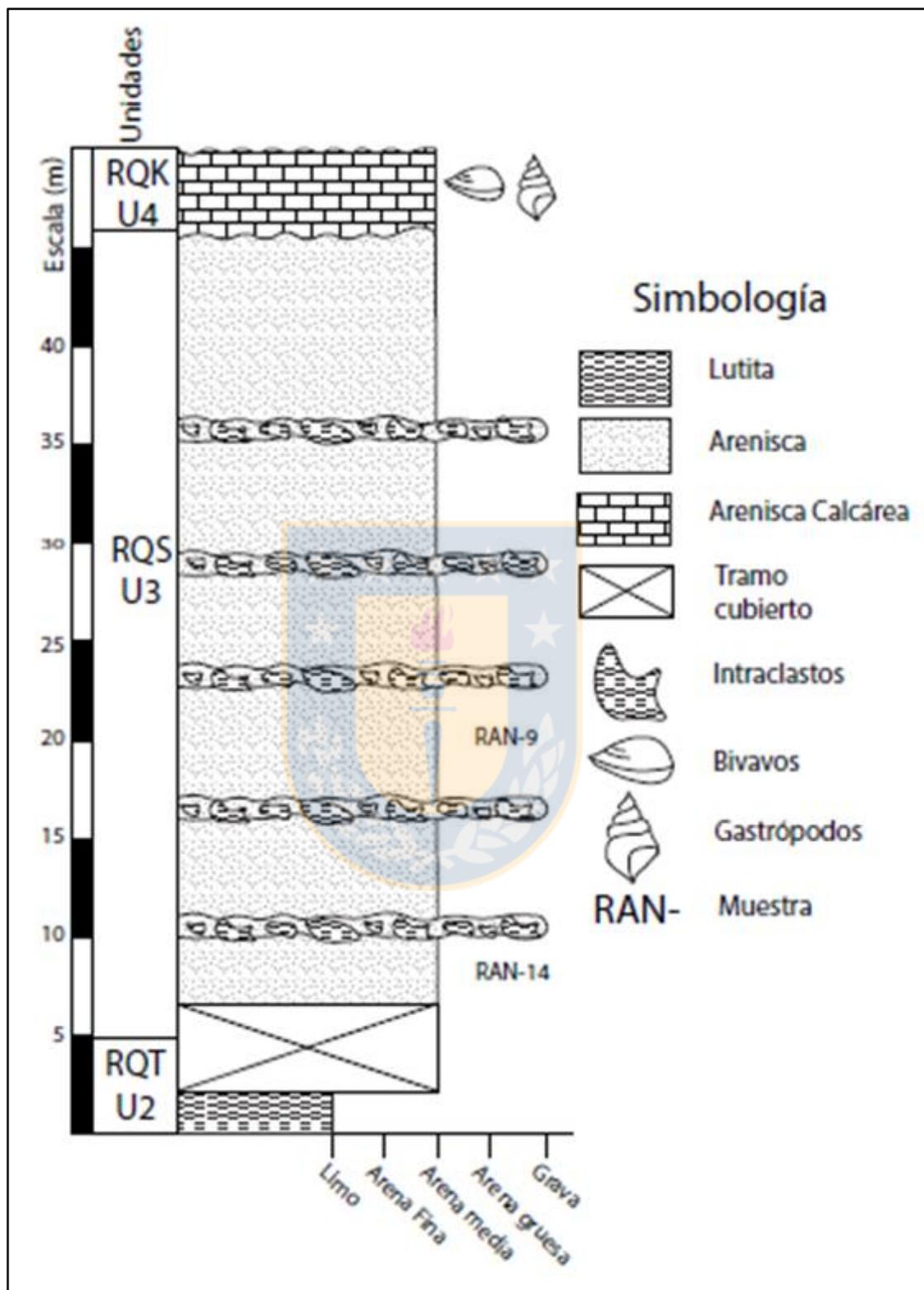


Figura 3.15 Columna Estratigráfica Punta Huentehuapi

#### 4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

A continuación se exponen e interpretan de los resultados del análisis granulométrico realizado luego del proceso de tamizaje al cual fueron sometidas las muestras de sedimento obtenidas. Para facilitar la comparación de las muestras, los datos se presentan según la unidad a la que correspondan. En el caso de las intrusiones clásticas, por ser el foco principal de este estudio se abordarán según el afloramiento del cual fueron recogidas.

La tabla 4.1 contiene el resumen de los datos entregados por el programa utilizado para realizar el análisis granulométrico (GRADISTAT).

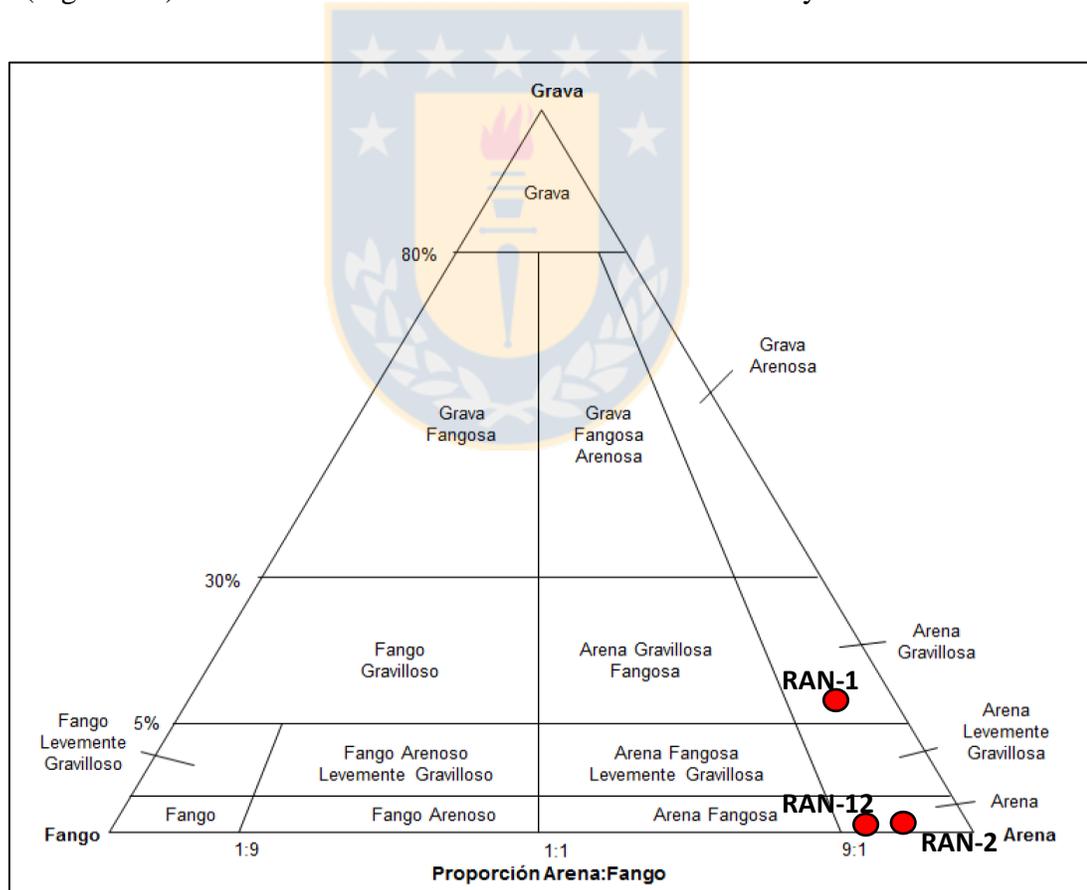
MUESTRA	RAN-1	RAN-2	RAN-7	RAN-8	RAN-9	RAN-11	RAN-12
<b>GRUPO TEXTURAL</b>	Arena Gravosa	Arena	Arena	Grava Arenosa	Arena	Arena Fangosa	Arena
<b>TAMAÑO PROMEDIO</b>	Arena Media	Arena Media	Arena Fina	Arena Muy Gruesa	Arena Gruesa	Arena Media	Arena Media
<b>SELECCIÓN</b>	Buena	Muy Buena	Muy Buena	Media	Muy Buena	Buena	Muy Buena
<b>% GRAVA</b>	<b>10.2%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>42.1%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>
<b>% ARENA</b>	<b>84.5%</b>	<b>95.9%</b>	<b>94.2%</b>	<b>54.2%</b>	<b>98.0%</b>	<b>88.3%</b>	<b>92.8%</b>
<b>% FANGO</b>	<b>5.3%</b>	<b>4.1%</b>	<b>5.8%</b>	<b>3.7%</b>	<b>2.0%</b>	<b>11.7%</b>	<b>7.2%</b>
%G. MUY GRUESA	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
%G. GRUESA	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
%G. MEDIA	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
%G. FINA	0.5%	0.0%	0.0%	13.4%	0.0%	0.0%	0.0%
%G. MUY FINA	9.6%	0.0%	0.0%	28.7%	0.0%	0.0%	0.0%
%A. MUY GRUESA	18.1%	5.5%	0.9%	18.1%	28.2%	3.5%	4.5%
%A. GRUESA	20.8%	22.9%	1.2%	10.9%	31.7%	26.0%	14.4%
%A. MEDIA	23.7%	31.2%	2.8%	12.1%	23.6%	29.7%	37.4%
%A. FINA	15.9%	27.5%	54.3%	9.3%	12.0%	20.4%	29.1%
%A. MUY FINA	5.9%	8.9%	35.0%	3.8%	2.6%	8.7%	7.4%
%LIMO Y ARCILLA	5.3%	4.1%	5.8%	3.7%	2.0%	11.7%	7.2%

**Tabla 4.1** Resumen resultados análisis granulométrico utilizando GRADISTAT

## 4.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE INTRUSIONES CLÁSTICAS

### 4.1.1. Caleta Viel, ruta P-40 y camino forestal

El material recolectado proviene de depósitos ubicados en el sector de Caleta Viel y los afloramientos ubicados en la Ruta P-40 y el camino forestal (figura 3.1). Se ha tomado una muestra por localidad. Las muestras RAN-1, RAN-2 y RAN-12 corresponden a inyectitas (U2), y son comparadas para determinar si existen similitudes respecto a los parámetros de tamaño y selección del material. Los resultados expuestos en la tabla 4.1 indican que las tres muestras están compuestas en su mayoría por partículas tamaño arena, con un contenido de fango que varía de 4% a 7% y nulo porcentaje de grava, salvo por RAN-1 que con un 10% de esta es clasificada como arena gravillosa, mientras que RAN-2 y RAN-12 ocupan el campo arena según el diagrama de Folk (Figura 4.1). La selección del sedimento varía de buena a muy buena.

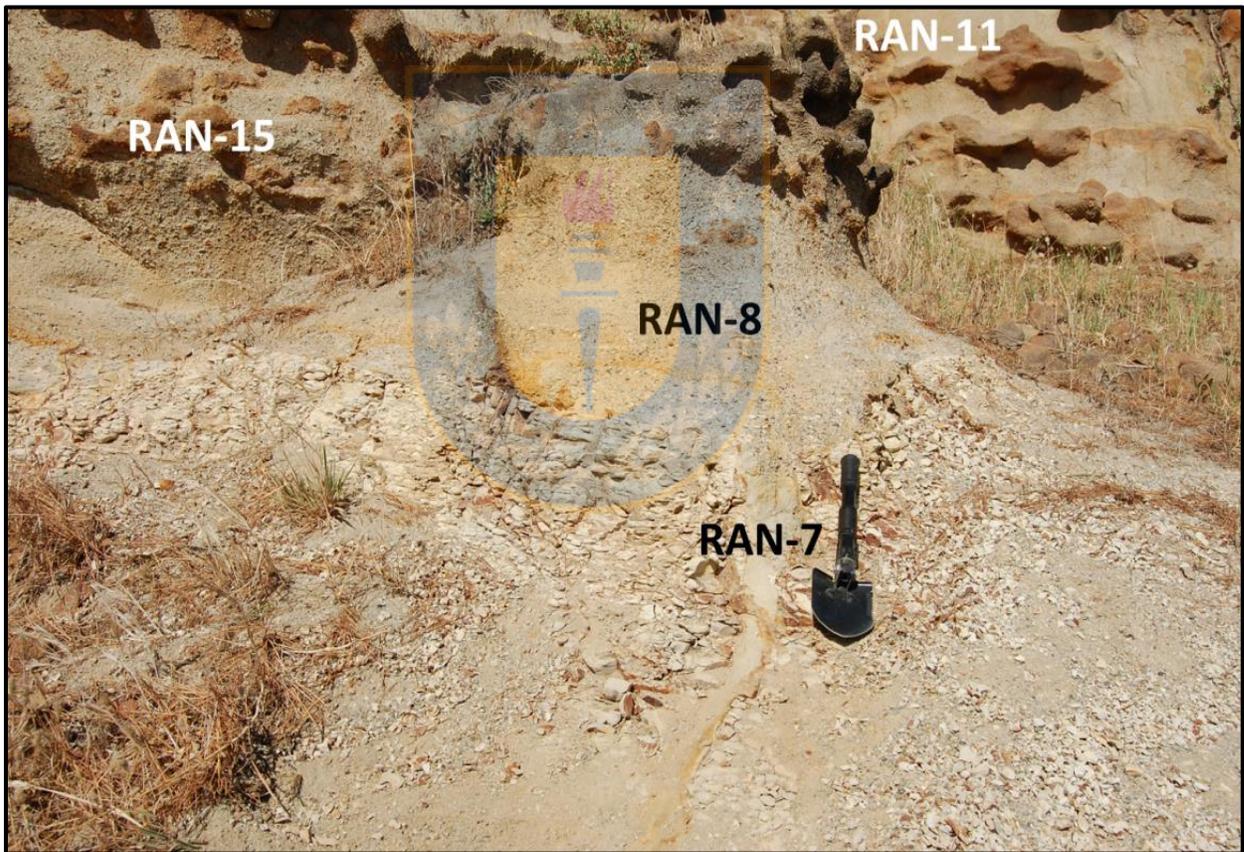


**Figura 4.1** Clasificación textural inyectitas Caleta Viel, ruta P-40 y camino forestal (U2).

Modificado de Folk (1980)

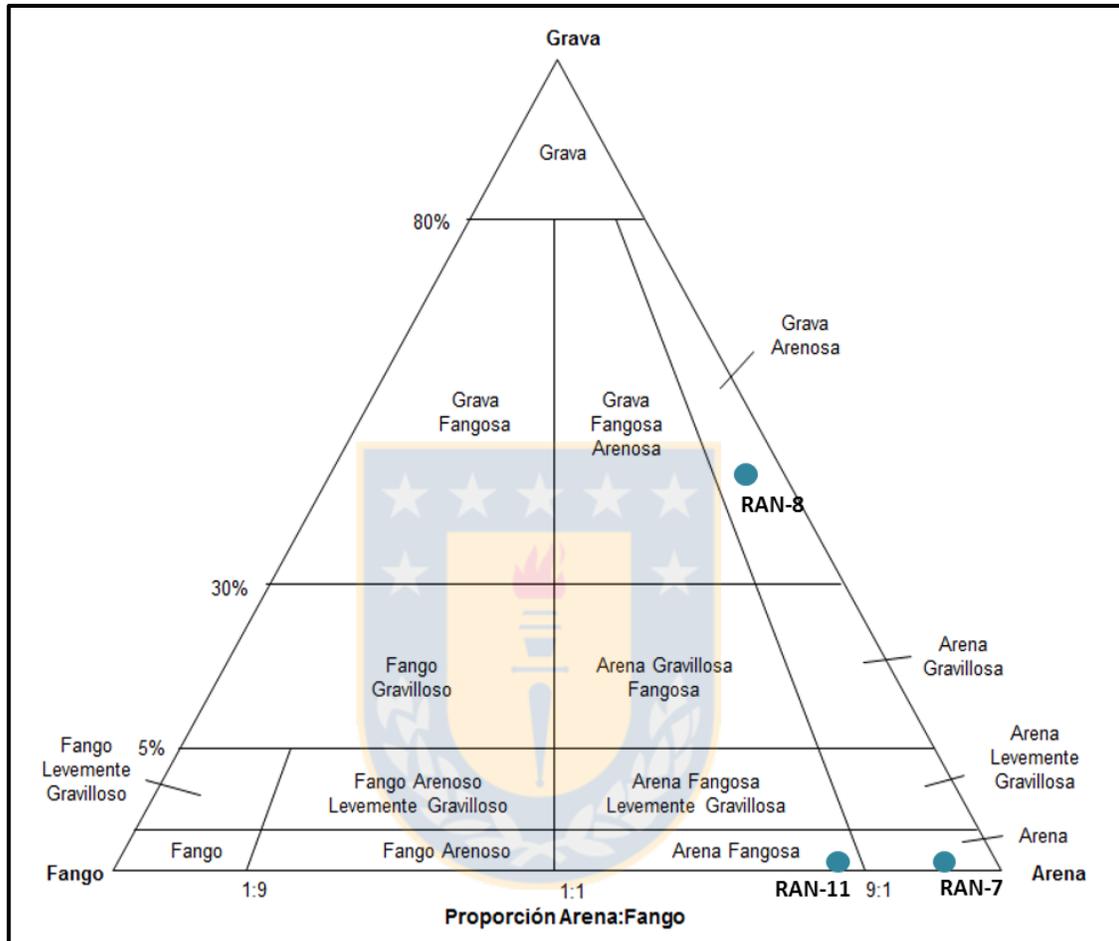
#### 4.1.2. Caleta Ranquil

Las muestras RAN-7; RAN-8 y RAN-11, provienen de diferentes sectores del afloramiento de Caleta Ranquil, correspondiente a U2 (figura 4.2). RAN-8 y RAN-11 representan distintas secciones de un potente sill presente en esta localidad y muestran una variación textural de grava arenosa a arena fangosa (figura 4.3), lo que se condice con la tendencia granodecreciente observada en terreno. Coincidentemente éstas contienen los porcentajes más altos de psefitas (42% en RAN-8) y pelitas (12% en RAN-11) entre todas las muestras tamizadas. El alto contenido de material fino podría estar relacionado con la presencia de grandes intraclastos de lutita contenidos en la parte superior de la gran inyectita que se encuentra en este afloramiento (figuras 3.11 y 3.12).



**Figura 4.2** Detalle ubicación muestras en afloramiento Caleta Ranquil (U2)

RAN-7 corresponde a un pequeño dique cortado por el sill mencionado anteriormente. Ocupa el campo arena en el diagrama de Folk (figura 4.3) y posee muy buena selección, con un 94,2% de arena y un 5,8% de fango (tabla 4.1).



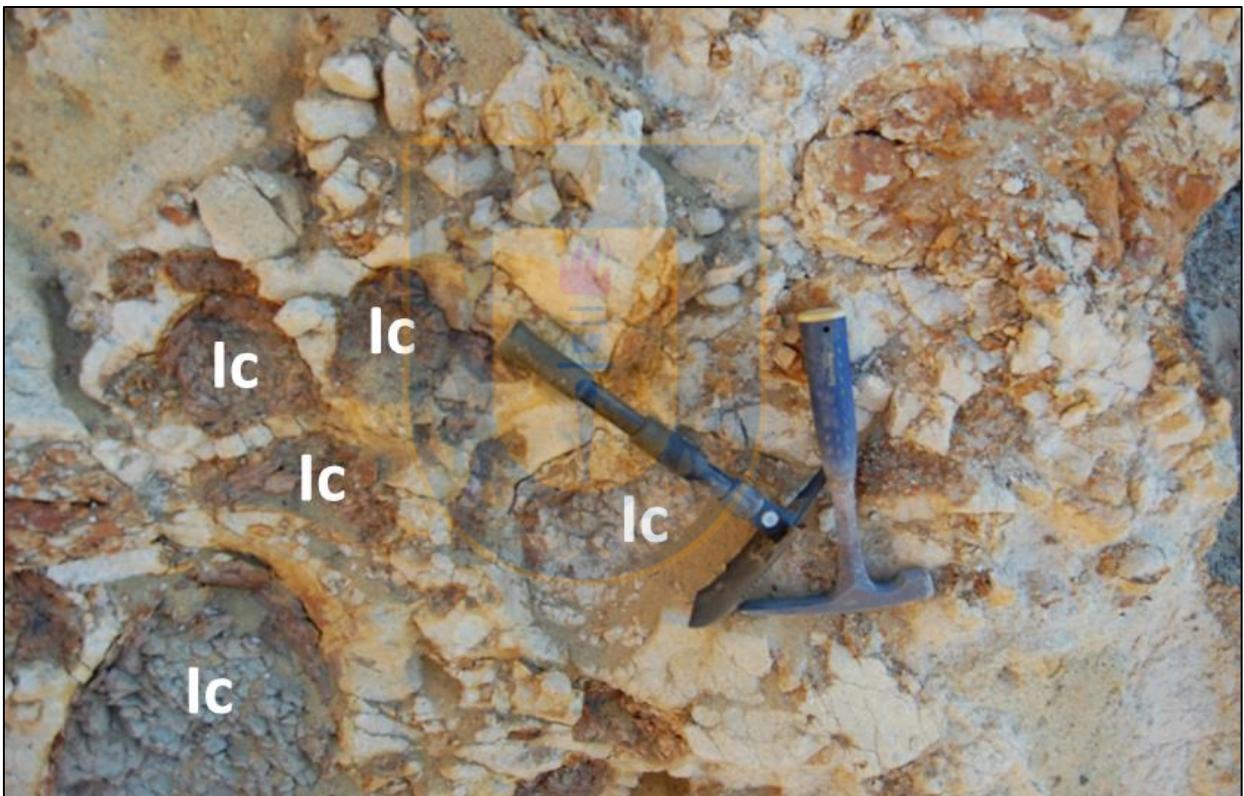
**Figura 4.3** Clasificación textural inyectitas Caleta Ranquil (U2). Modificado de Folk (1980)

## 4.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ARENISCAS CON INTRACLASTOS

En el caso de la Unidad 3 solo ha podido someterse a este análisis la muestra RAN-9, ya que la otra muestra de esta localidad (RAN-14) corresponde a sedimento muy compacto, lo que no permite su tamizaje. Las zonas del afloramiento de donde fueron extraídas las muestras son indicadas en la figura 3.14. El análisis de RAN-9 (tabla 4.1) indica que texturalmente se trata de arena (Folk, 1980) con muy buena selección, casi el total de sus partículas poseen tamaños dentro del rango arena (98%). Debido a la presencia de niveles con intraclastos de lutitas se podría

pensar que las muestras de esta localidad debían contener una proporción mayor de material fino (como sucede en el sill de Caleta Ranquil), sin embargo esto no sucede, situación que se podría explicar al considerar que RAN-9 fue tomada en un nivel sin intraclastos y que en esta unidad dichos intraclastos son mucho más pequeños que los encontrados en Caleta Ranquil, lo que debiese disminuir su influencia en cuanto al contenido de material fino del sedimento.

Los intraclastos contenidos en algunos niveles de U3 se presentan redondeados y mal seleccionados en una matriz de arena gruesa amarillenta que corresponde a la misma presente en el resto de la secuencia, tal y como se puede apreciar en la figura 4.4.



**Figura 4.4** Nivel de arenisca con intraclastos, Punta Huentehuapi. Ic = Intraclastos

## 5. PETROGRAFÍA

En el presente capítulo se presentan los resultados de la observación bajo microscopio de las láminas delgadas generadas a partir de las muestras obtenidas en el área de estudio. La descripción y análisis de éstas se realizaron asociándolas a la unidad estratigráfica a la que correspondan, en el caso de las muestras relacionadas a diques y sill, estas serán tratadas en un mismo apartado aun habiéndose recogido en lugares diferentes, dado que la comparación de estos materiales es fundamental para los objetivos del estudio. Las fichas correspondientes a cada muestra se encuentran en el anexo A.

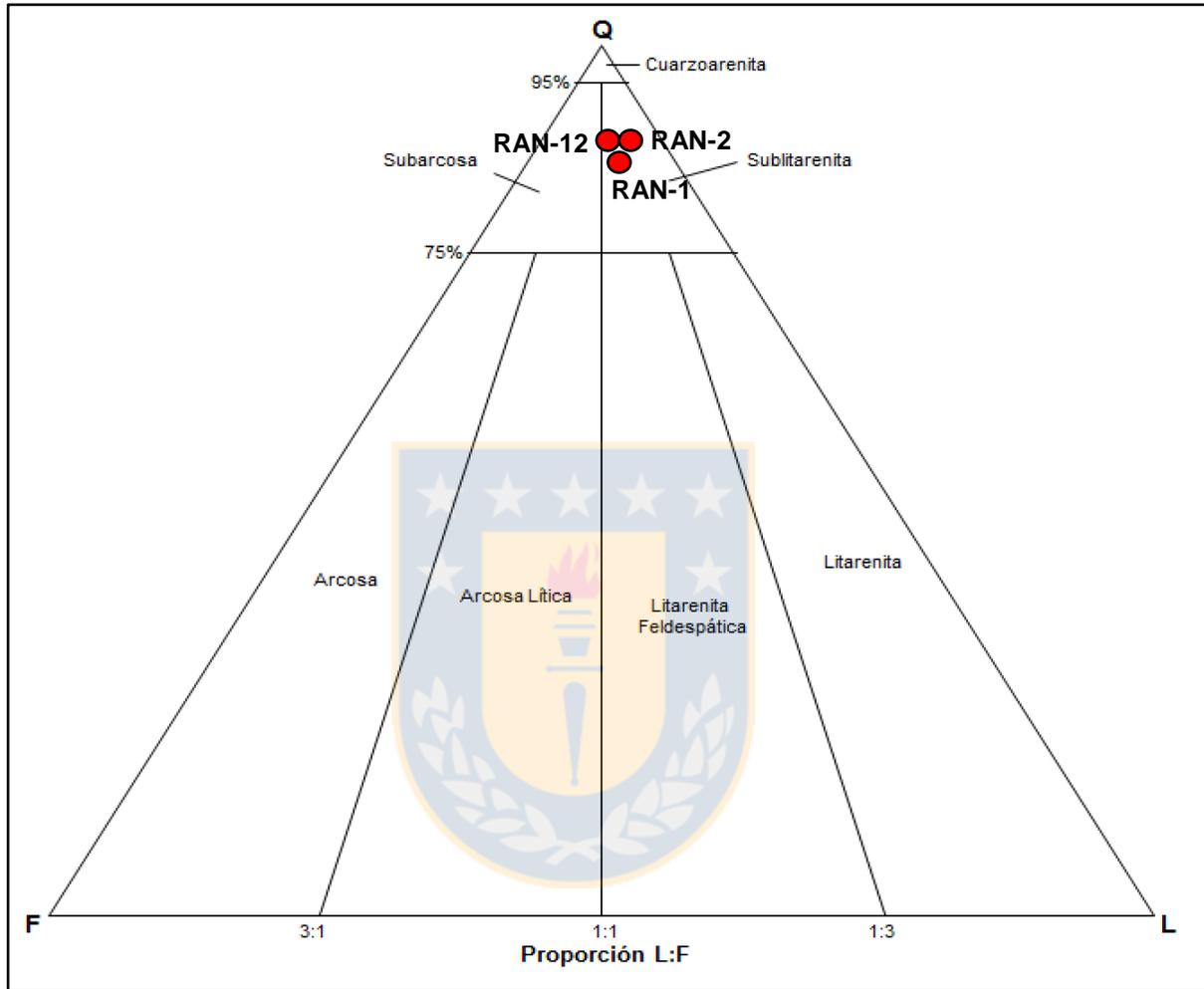
### 5.1. PETROGRAFÍA DE INTRUSIONES CLÁSTICAS

#### 5.1.1. Caleta Viel, ruta P-40 y camino forestal

La presente sección comprende el análisis de las muestras obtenidas a partir de diques y sill presentes en los afloramientos al sur del Estero Ranquil, específicamente los que se encuentran en la ruta P-40 (RAN-1); Caleta Viel (RAN-2) y un afloramiento correspondiente a un camino forestal ubicado entre los dos primeros (RAN-12). Todos los afloramientos poseen características comunes, presentan lutitas grises (algo amarillentas en sectores mayormente afectados por meteorización) cortadas por intrusiones de arenas grises muy claras sin cementar dispuestas de forma horizontal, vertical y oblicua, lo que corresponde a la Unidad 2. Dado que el material de relleno de las estructuras no está consolidado ha sido necesario generar briquetas para luego obtener las láminas delgadas.

De la observación bajo el microscopio se obtienen resultados similares para todas las láminas delgadas, la forma de los granos según parámetros de redondez y esfericidad es subangular y subprismoidal respectivamente. En relación a la composición del sedimento, los datos obtenidos también coinciden entre las muestras, siendo el mineral predominante el cuarzo, con abundancia entre 75% y 80%. Los fragmentos líticos suman entre 10% y 15%, encontrándose granos de rocas principalmente volcánicas (andesitas) y volcanosedimentarias (toba), sedimentarias (lutitas) e ígneas (granitoides) en menor medida. Los feldespatos (ortoclasa y plagioclasa) aportan entre 5% y 10%, mientras que micas y anfíboles no superan el 4% cada una. Al llevar estos valores al diagrama de Folk (1980) todas las muestras caen en el campo sublitarenitas muy cerca del límite

del campo subarcosa, mostrando una proporción feldespato – lítico muy cercana a 1:1 (figura 5.1).



**Figura 5.1** Clasificación composicional inyectitas Caleta Viel, ruta P-40 y camino forestal. Modificado de Folk (1980)

La relación entre el contenido de sílice y los otros componentes (Feld. + Líticos), indica un sedimento con una madurez composicional alta. En cuanto a la madurez textural, al presentar selección buena a muy buena, granos tendientes a ser más angulosos que redondeados y un contenido de arcillas o fango algo superior al 5%, el sedimento se considera maduro.

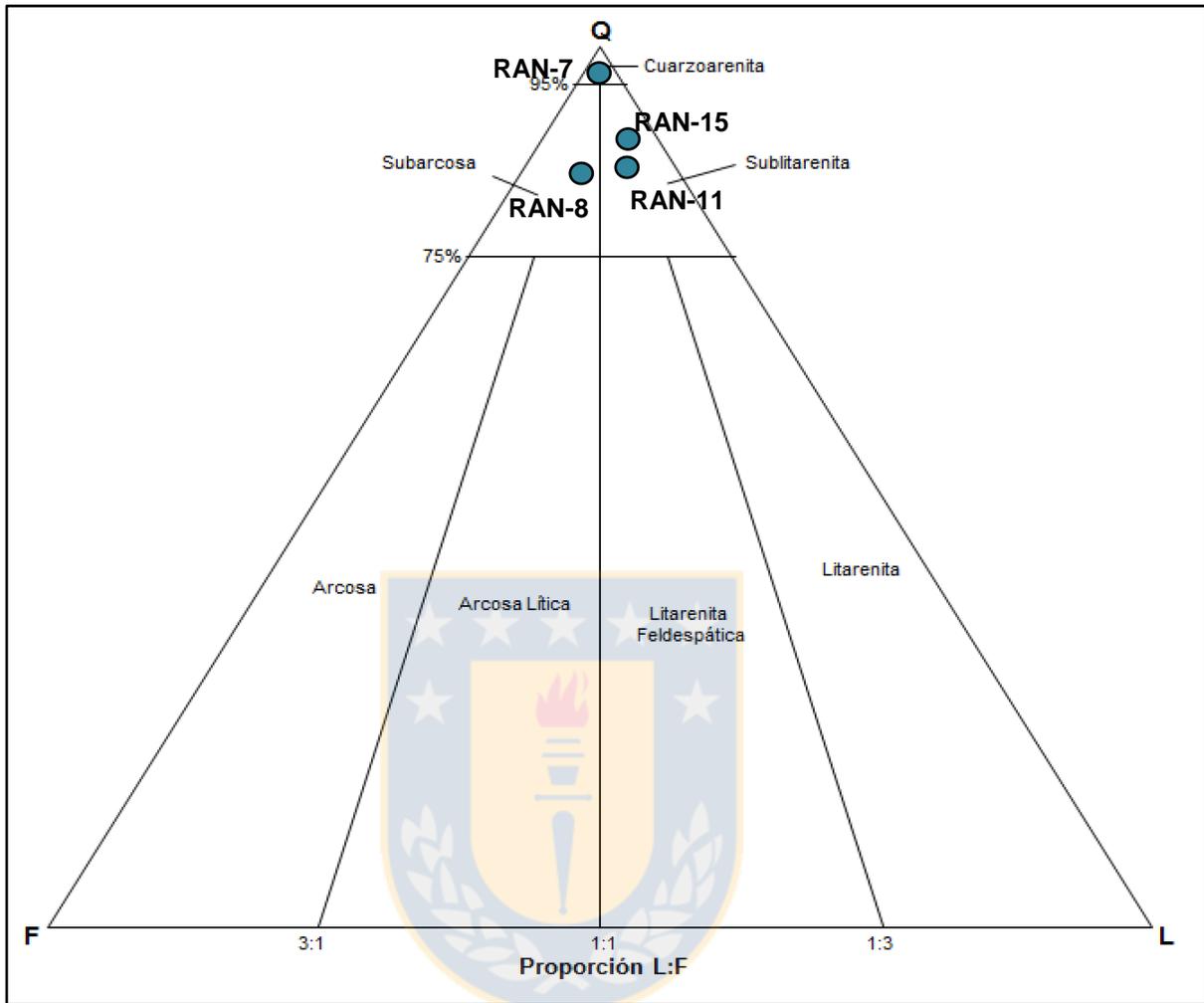
### 5.1.2. Caleta Ranquil

Las muestras obtenidas de este afloramiento provienen principalmente de las areniscas con intraclastos que se disponen horizontalmente entre dos capas de lutitas y que en este estudio son interpretadas como un sill de gran potencia correspondiente a U2, situación que será profundizada en posteriores capítulos. Las muestras RAN-8 y RAN-11 corresponden a sedimentos no consolidados de los tramos inferior y superior del sill, RAN-15 por su parte proviene de las concreciones que se ubican en la parte media de dicha estructura. RAN-7 corresponde a un pequeño dique que intruye las lutitas que se disponen bajo la arenisca con intraclastos (figura 4.2). Salvo RAN-15, todas las muestras corresponden a sedimento sin consolidar, por lo que las láminas delgadas utilizadas para su estudio provienen de briquetas fabricadas.

Los resultados de la observación al microscopio dan cuenta de contenidos de cuarzo superiores al 70% para todas las muestras correspondientes a este sector, lo que se traduce en una alta madurez composicional.

Por otra parte, los porcentajes de feldespatos y líticos varían entre cada muestra, de tal manera que el material de la base (RAN-8) se clasifica como subarcosa, mientras que en la sección superior (RAN-11) así como en las concreciones (RAN-15) se da una composición de tipo sublitarenita (figura 5.2), siendo preciso mencionar que en RAN-15 disminuye la cantidad de mica observada en relación a las otras muestras del sector. Así mismo, se observan en esta muestra diferentes fragmentos líticos, hallándose además de granos de andesita, granos de arenisca, lutita y toba, a diferencia de las muestras RAN-8 y RAN-11, donde solo se observan fragmentos de andesita. Además, RAN-15 contiene cerca de un 10% de cemento, que presenta dos tipos fácilmente diferenciables, el primero es calcáreo, muy similar al de RAN-14 (expuesta más adelante en este capítulo), el segundo corresponde al material rojizo presente entre los granos como se observa en la figura 5.3, lo que puede corresponder a un cemento de composición hematítica o a algún producto de alteración impregnado en el cemento calcáreo.

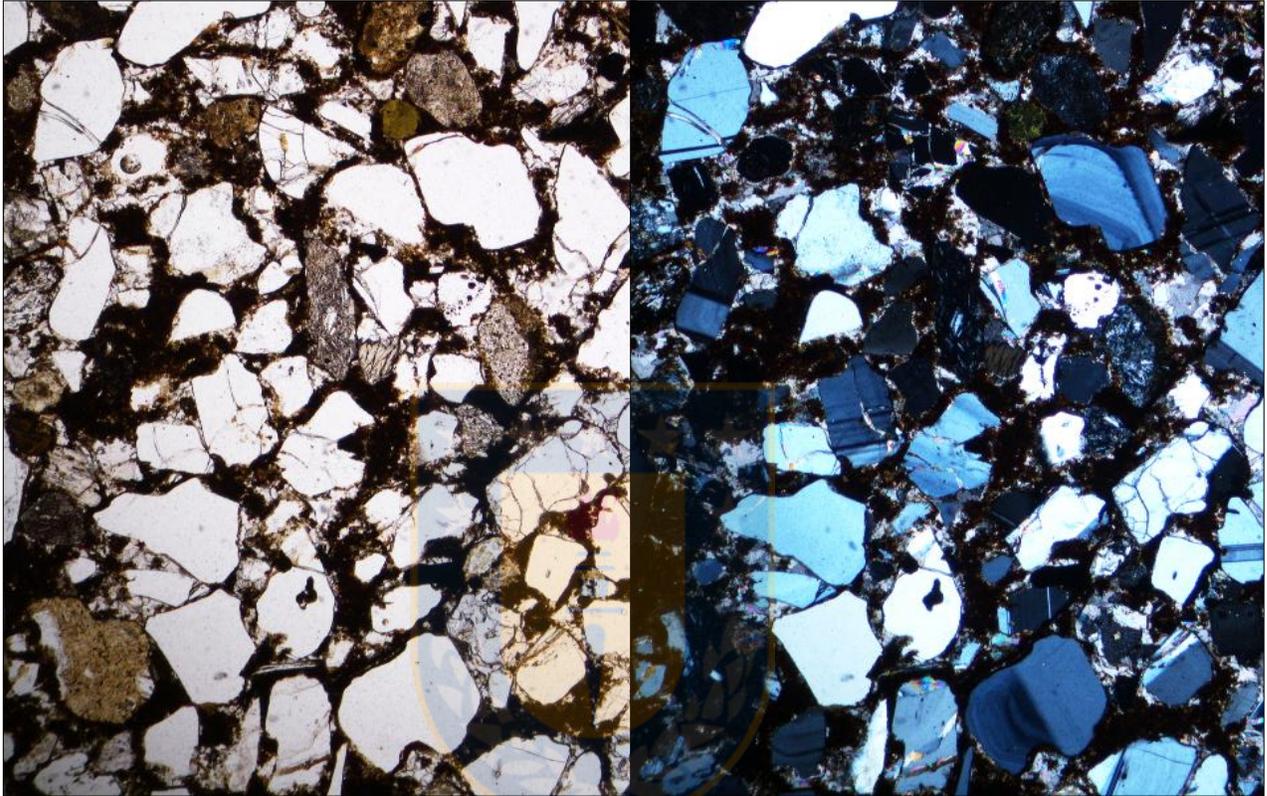
Texturalmente hablando, los granos en general poseen una forma subangular en cuanto a redondez y subdiscoidal a subprismoidal si se trata de esfericidad, mientras que la selección pasa de media a buena a medida que disminuye el tamaño de grano.



**Figura 5.2** Clasificación composicional inyectitas Caleta Ranquil. Modificado de Folk (1980)

RAN-7 muestra una selección muy buena, no contiene partículas tamaño grava y presenta cerca de un 6% de fango, lo que resulta en una clasificación arena según Folk (1980) como se ve en la figura 5.3. En cuanto a composición, difiere de las demás de este depósito debido a la presencia de un mineral verdoso indeterminado (10%), su bajo contenido de feldespatos (<5%) y la nula presencia de fragmentos líticos, lo que llevado al diagrama QFL corresponde a una cuarzo arenita (Figura 5.2). La presencia del mineral verdoso indeterminado hace posible sugerir que la secuencia de areniscas verdes podría aportar sedimento a algunas inyectitas, lo que será discutido en el siguiente capítulo.

Al evaluar los parámetros de forma, el material de relleno de este dique presenta granos subangulosos lo que podría indicar un sedimento súper maduro texturalmente, aún con presencia de material fino por sobre el 5%, mientras que, composicionalmente se observa claramente una madurez alta, incluso mayor al resto las muestras de este afloramiento.



**Figura 5.3** Fotomicrografía RAN-15. Objetivo 4x, Izq. LPP, Der. NC

## 5.2. PETROGRAFÍA DE ARENISCAS VERDES

De la observación en terreno se puede inferir, tanto por el color como por el tamaño de grano, que el afloramiento Areniscas Verdes presenta 3 tipos de sedimento bien diferenciados correspondientes a la Unidad 1, hipótesis que se comprueba al observar los cortes transparentes. Se ha utilizado el diagrama ternario de Folk (1980) que compara los contenidos de cuarzo, fragmentos líticos y feldespatos, sin embargo el contenido sumado de estos componentes no supera el 20% en las areniscas del sector, predominando en ellas un mineral verdoso no identificado (75%), por lo que en estos casos se hablará de “areniscas verdes”, mientras que el conglomerado cae en el campo de las cuarzo ruditas con un 90% de este mineral.

En relación a esta unidad, es preciso tomar en cuenta el trabajo realizado por Dröellner (2017), el cual ha utilizado las mismas muestras que las de este estudio, utilizando microsonda electrónica y análisis de minerales pesados entre otros métodos, con el fin de hallar pruebas que avalen o refuten la hipótesis expuesta por Le Roux y otros (2008) acerca de la generación de los diques de arena de la Formación Ranquil. Gracias a este trabajo, se ha podido verificar que el mineral verdoso presente en las rocas de este sector no corresponde a glauconita como en primera instancia se pensó, sino que a “una estructura policristalina con una variedad de pequeños granos minerales. No puede determinarse una razón clara para la coloración verdosa sin un análisis adicional” (Schmid-Beurmann, comunicación personal, en Dröellner, 2017). Por este motivo, en lo sucesivo este tipo de granos serán referidos como “mineral verdoso no identificado”.

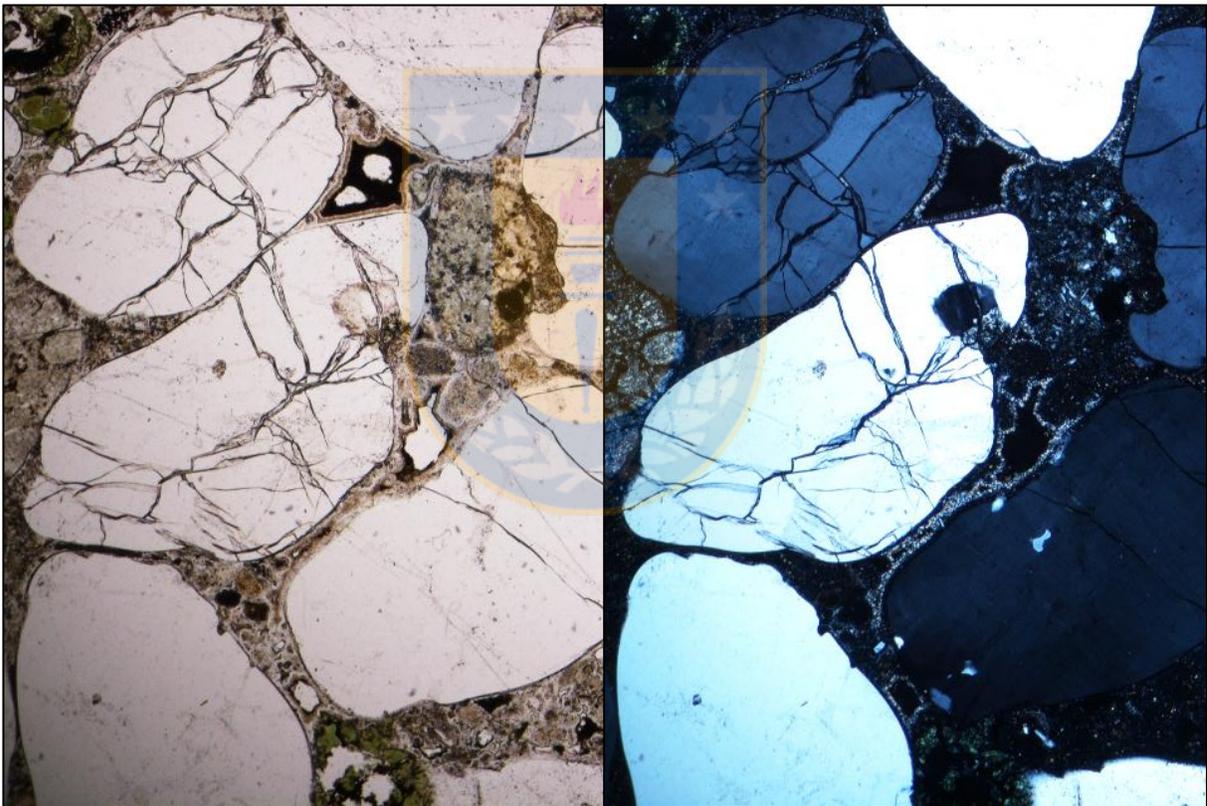
En el caso de RAN-4, esta contiene restos esqueléticos de bivalvos, gastrópodos y foraminíferos junto a granos de “mineral verdoso no identificado” y algunos granos de cuarzo, además de algunas zonas rellenas de material muy fino, a causa de posteriores bioturbaciones que afectan a la roca, lo cual se puede apreciar a la izquierda de la figura 5.4, mientras que a la derecha se observa la roca original con grandes granos redondeados verdes y amarillentos de mineral no identificado.



**Figura 5.4** Fotomicrografía RAN-4. Objeto 4x, luz polarizada plana

La muestra RAN-5, que debió prepararse como briqueta al presentarse en forma disgregada, es matriz soportada, de selección moderada, granos de forma subredondeada y subprismoidal. Está conformada por 15% cuarzo, micas, líticos volcánicos (3% cada uno) y un 76% de “mineral verdoso no identificado”, sin que se encontrasen restos esqueléticos en el sedimento.

Por su parte, RAN-6 corresponde a una capa de conglomerado fino, conformada casi en su totalidad por granos de cuarzo de bordes redondeados, acompañados por algunos cristales del “mineral verdoso no identificado” y algunos fragmentos de arenisca muy fina de matriz arcillosa. El espacio intergranular es rellenado por material fino y en algunos bordes se aprecia el desarrollo de cemento calcáreo, todo lo cual se puede ver en la figura 5.5.



**Figura 5.5** Fotomicrografía RAN-6. Objetivo 4x, Izq. LPP, Der. NC

En síntesis, U3 cuenta con 3 facies en las cuales se presentan en su mayoría un “mineral verde no identificado” y cuarzo. Estas litologías se intercalan entre sí, como se observa en la columna estratigráfica Areniscas Verdes (figura 3.2), situación que es apreciable en terreno, dada la diferencia tanto en el tamaño de grano como en la coloración de los diferentes sedimentos. La

facies predominante corresponde a la representada por RAN-5, una arenisca grisácea algo verdosa de grano fino.

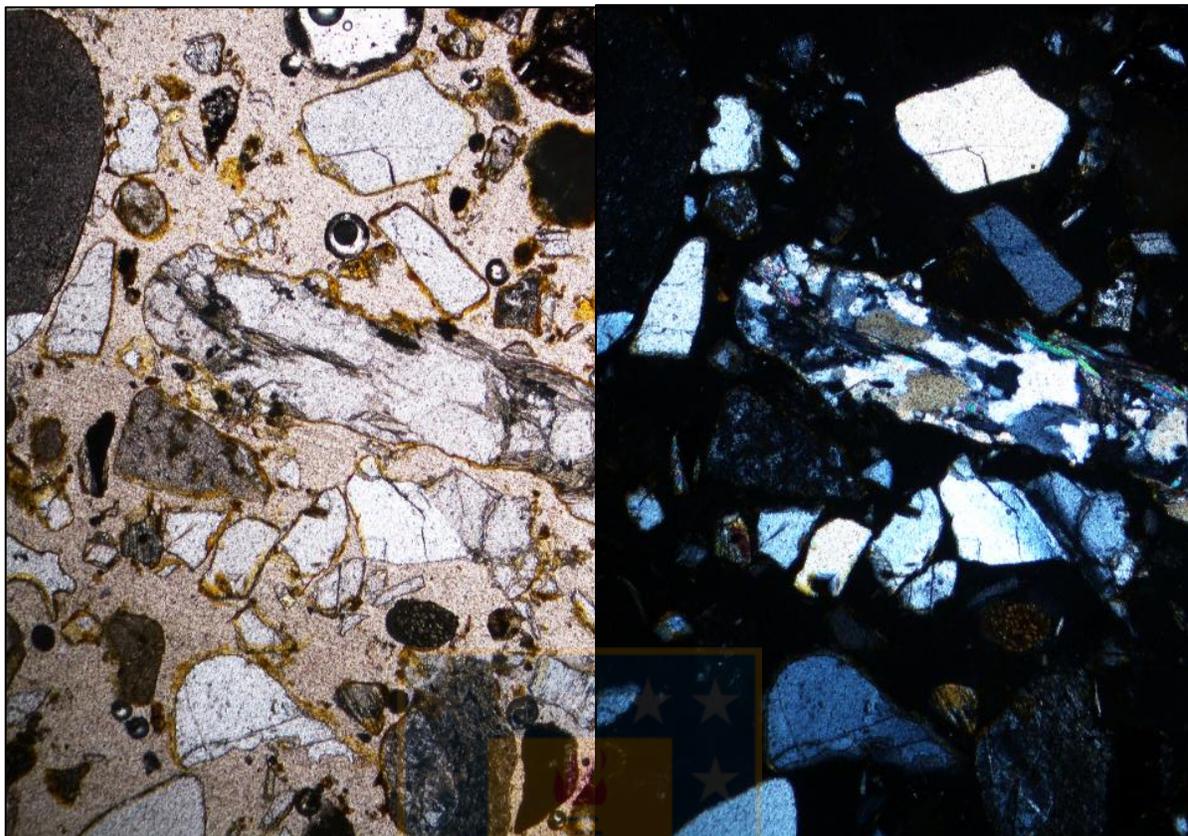
### **5.3. PETROGRAFÍA DE ARENISCAS CON INTRACLASTOS**

Corresponden a la Unidad 3 las muestras RAN-9 y RAN-14, ubicadas en la columna Punta Huentehuapi (figura 3.15). Ambas pertenecen a la misma secuencia de areniscas amarillentas masivas con niveles de intraclastos de lutitas. RAN-9 corresponde a sedimento disgregado, mientras que RAN-14 a roca consolidada debido a que se encuentra cementada por carbonato.

De la observación de los cortes transparentes se obtiene para ambas muestras un alto contenido de cuarzo (80%), 10% de fragmentos líticos y 5% de plagioclasas, lo que constituye una sublitarenita según el diagrama de Folk (1980). Las diferencias entre ambas muestras en cuanto a composición son bastante sutiles, centrándose solo en la composición de los fragmentos líticos que en el caso de RAN-9 corresponden a andesitas (5%), granitoides (2%) y granos de arenisca (3%), mientras que RAN-14 contiene además de andesitas (5%) y granos de arenisca (2%), algunos fragmentos de rocas volcanoclásticas (3%, probablemente toba).

En este caso, la mayor diferencia entre ambas muestras, radica en la presencia de cemento calcáreo en RAN-14, que corresponde a la parte inferior del afloramiento y que mantiene la roca consolidada, a diferencia de RAN-9 la cual se encuentra disgregada y que además presenta alrededor de la mayoría de los granos bordes de alteración, probablemente compuestos de arcilla, lo que le otorga el color amarillento al afloramiento (figura 5.6).

Finalmente, la baja cantidad de sedimento tamaño arcilla, la forma subredondeada de los clastos y la buena selección permite hablar de un sedimento maduro a súper maduro texturalmente hablando. Composicionalmente por otro lado, la relación cuarzo/líticos +feldespatos, indica una madurez alta.



**Figura 5.6** Fotomicrografía RAN-9. Objetivo 4x, Izq. LPP, Der. NC

## 6. RELACIÓN ENTRE LAS INTRUSIONES CLÁSTICAS Y LAS UNIDADES DE LA FORMACIÓN RANQUIL

A partir de los datos entregados en los capítulos anteriores, se establecen a continuación las relaciones correspondientes entre los distintos depósitos considerados para este estudio.

Las muestras RAN-1, RAN-2 y RAN-12, correspondientes a inyectitas (U2), presentan una gran similitud composicional, por lo que se le puede atribuir una fuente común al sedimento que rellena las inyectitas presentes en los afloramientos de Caleta Viel, la Ruta P-40 y el camino forestal que conecta ambos sitios (Figura 3.1). La relación se establece gracias a la gran proporción de cuarzo presente en las muestras, además de la similitud en la composición de los fragmentos líticos encontrados, hallándose granos de andesita, toba y lutita en cada corte transparente. Esto es corroborado por Dröllner (2017) quien, basado en el análisis de minerales pesados y observación de láminas delgadas bajo el microscopio, obtenidas de las mismas localidades consideradas en este estudio, señala en sus conclusiones que “RAN-1, RAN-2 y RAN-12 son muy similares, considerándose una roca fuente común para ellas, la cual aún es desconocida”. Junto a esto, el análisis granulométrico entrega resultados similares, clasificando como arena las muestras RAN-2 y RAN-12, mientras que RAN-1, aunque se encuentra en el campo arena gravosa (figura 4.2), cuenta con un altísimo porcentaje de partículas tamaño arena (tabla 4.1).

Le Roux y otros (2008) proponen que las intrusiones clásticas presentes en la Formación Ranquil han sido gatilladas por fuertes movimientos sísmicos que fracturaron las lutitas mientras las areniscas (denominadas Areniscas Huentehuapi) aún se mantenían saturadas en agua, lo que permitió la inyección de estas y la generación de diques y sill en la roca subyacente. Además, sugieren que las areniscas que afloran en Caleta Ranquil corresponden a una capa de las Areniscas Huentehuapi. Sin embargo, las areniscas de Caleta Ranquil, poseen grandes intraclastos de lutita y se encuentran limitadas en base y techo por capas de lutitas con contactos muy irregulares, lo que sumado al tamaño y forma de los bloques incorporados, permite suponer que no se trataría de una capa como tal, sino de una gran intrusión horizontal (sill), la cual si bien podría alimentar otras estructuras menores, no sería la fuente primaria del sedimento (ver capítulo

3). La figura 3.13 muestra el contacto erosivo entre este potente sill y una capa subyacente de lutita con una inyectita subvertical que corresponde a RAN-7. Al comparar esta con las muestras provenientes del sill (RAN-8 y RAN-11), además de la diferencia notoria de tamaño del sedimento (tabla 4.1) se observa que las composiciones no coinciden, encontrándose en RAN-7 una 10% de un mineral verdoso no identificado, el que no se encuentra en las muestras correspondientes al sill. Con estos datos se puede interpretar que la estructura horizontal no solo corta las lutitas, sino que también a la inyectita, la que anteriormente ya habría intruido al sedimento de grano fino.

Esto permite plantear que el sedimento que rellena este sill (RAN-8; RAN-11) fue movilizado hasta ese lugar posterior a la inyección del dique (RAN-7), lo que implicaría distintas generaciones de inyecciones de arena en la lutita, además de más de una fuente para el sedimento que rellena estas estructuras. En cuanto a la gradación normal observada entre RAN-8 y RAN-11 correspondientes a la parte basal y superior respectivamente, Hurst (2011) señala que las estructuras sedimentarias presentan procesos internos sedimentación, mientras que ante el aumento en la proporción de fango hacia techo, menciona que “los clastos erosionados son desintegrados y retrabajados generando capas fangosas, lo que sumado a la decantación de las fracciones más gruesas puede generar la gradación normal”.

Con respecto a las areniscas verdes (U1) situadas entre Caleta Ranquil y Punta Huentehuapi (RAN-4; RAN-5 y RAN-6), la descripción de estas coincide con lo descrito por Finger (2013), que habla de “RAN: Areniscas masivas cafés con capas intermitentes de arenisca glauconítica”. Sin embargo, tal y como lo detalla Dröllner (2017) el mineral que le otorga la coloración verde a estas areniscas no es glauconita, sin que se lograra determinar a qué mineral corresponde.

La presencia del mineral verdoso no identificado en RAN-7, correspondiente un dique de arena de Caleta Ranquil (ver figura 4.2), marca una importante diferencia composicional tanto con las otras muestras de Caleta Ranquil, como con las muestras de los diques de arena de las otras localidades (RAN-1; RAN-2 y RAN-12) estudiadas en este trabajo y abre la discusión sobre la posibilidad de que las areniscas verdes (U3) actúen como roca fuente que provea el sedimento para algunas de las intrusiones clásticas (RAN-7 al menos), o que el paso de estas inyectitas a través de la unidad de areniscas verdes, como se observa en la figura 6.1 tomada del trabajo de Henríquez (2006) (y que corresponde precisamente a un dique de arena que corta las de areniscas

verdes) podría arrastrar este mineral verdoso y hacerlo parte de los flujos que transportan el material hasta las lutitas.



**Figura 6.1** Inyectita cortando secuencia de areniscas verdes (U3). Tomada de Henríquez, 2006.

El problema en este caso ha sido la imposibilidad de encontrar un afloramiento donde se vea claramente el lugar donde comienzan a intruir estos diques las lutitas, debido a que gran parte del acantilado costero se encuentra cubierto por vegetación o por el derrumbe de los cerros aledaños, lo que deja expuesta solo una parte de la secuencia miocena, además de que las distintas unidades de la Formación Ranquil parecen estar en contacto por falla, han dificultado incluso el revisar estructuras descritas por autores que anteriormente trabajaron en el área. Para aclarar esta situación es necesario continuar trabajando en la zona, con el fin de encontrar el contacto entre las lutitas y alguna o algunas capas de arenisca desde la cual comiencen a intruir las inyectitas, así como lograr determinar en terreno las relaciones de contacto de la unidad que contiene las areniscas verdes, datos con los cuales se podría establecer el orden en el cual se depositaron las diferentes unidades de la Formación Ranquil.

Al revisar las sublitarenitas de Punta Huentehuapi (RAN-9), correspondientes a la Unidad 3, se puede establecer una similitud importante entre estas y el sill de areniscas con intraclastos de Caleta Ranquil (RAN-8, RAN-11), principalmente por los contenidos de cuarzo y líticos andesíticos. La relación entre ambas areniscas es corroborada por el trabajo de Dröllner (2017) quien al trabajar con las mismas muestras utilizadas para este trabajo concluye que “Las muestras RAN-11 y RAN-9 están correlacionadas. Pero no hay evidencia definitiva para confirmar a RAN-9 como roca fuente para el sill de RAN-11, probablemente se necesite más trabajo de campo”. De esta forma, aun cuando es posible relacionar la arena de los diques de U2 entre ellos (RAN-1; RAN-2; RAN-12), las muestras de Caleta Ranquil (U2) con las de Punta Huentehuapi (U3) y entre estos dos grupos de muestras se aprecia una similitud importante dada por el porcentaje de cuarzo y el tipo de fragmentos líticos que contienen (principalmente andesitas), no se puede por el momento establecer relación directa entre ellos, ni una fuente determinada para las inyectitas de la Formación Ranquil.



## CONCLUSIONES

El análisis, tanto granulométrico como mineralógico de las muestras obtenidas entrega información bastante útil para caracterizar el material que conforma las intrusiones clásticas de la Formación Ranquil y las unidades cercanas pertenecientes a ésta.

En cuanto a la granulometría, el sedimento si bien no es homogéneo en toda el área, si presenta características muy similares, tanto entre los diques como al comparar estos con los depósitos aledaños. El tamaño de grano predominante es el tamaño arena, mientras que el tamaño promedio en 4 de 7 muestras tamizadas corresponde a arena media. Los resultados del análisis granulométrico mediante tamizaje (tabla 4.1), indican que la selección es buena o muy buena en el total de ejemplares, salvo en el obtenido en la parte inferior del sill presente en Caleta Ranquil (RAN-8), el cual presenta una selección moderadamente buena y un tamaño promedio grava arenosa, lo que contrasta fuertemente con el dique RAN-7, de tamaño arena fina y muy buena selección, y que a todas luces es cortado por la estructura horizontal.

Composicionalmente se diferencian 2 tipos de sedimento dentro de la zona abarcada por el estudio, además de las lutitas que contienen las inyectitas. El primero se define por su alto porcentaje de cuarzo (70-80%), acompañado principalmente por fragmentos líticos (andesitas principalmente) y algunos feldespatos, con minerales “accesorios” como biotita, anfíbol o piroxenos. Esta composición permite clasificarlo como sublitarenita volcánica, quedando muy cerca del campo de la subarcosa, en el cual se encuentra RAN-8. El Segundo corresponde a sedimentos compuestos casi exclusivamente por un mineral verdoso indefinido, el cual en primera instancia ha sido identificado como glauconita, con cuarzo subordinado y abundante contenido fósil. Este corresponde al afloramiento “Areniscas Verdes” (Unidad 3), ubicado entre Caleta Ranquil y Punta Huentehuapi.

Pese a que la mayor parte de las muestras es clasificada como sublitarenita y comparte características como un elevado porcentaje de cuarzo, no se ha podido confirmar que todas las muestras respondan a una fuente común, lo que apoyado por los resultados de Dröllner (2017), permite concluir lo siguiente:

- 1) .Las intrusiones clásticas de la Formación Ranquil (incluido el sill que aflora en Caleta Ranquil), responden a una litología común, correspondiente a Sublitarenitas volcánicas mal seleccionadas. Así mismo, las inyectitas poseen una composición muy similar a la Unidad 3 de areniscas con intraclastos o Arenisca Huentehuapi.
  
- 2) Se ha logrado establecer una gran similitud entre el material de relleno de las intrusiones clásticas y el sedimento que conforma tanto las capas que afloran en el sector de Punta Huentehuapi como las areniscas con intraclastos ubicadas en Caleta Ranquil. Esto permite decir que la roca fuente de las intrusiones clásticas podría corresponder a las Areniscas Huentehuapi como señalan Le Roux y otros (2008). Sin embargo hace falta mayor trabajo de terreno para poder determinar si efectivamente las inyectitas de la Formación Ranquil provienen de esta capa o si existe otra capa de arenisca en contacto con las lutitas intruidas que cumpla la función de capa alimentadora.

Adicionalmente se plantea, con base en las observaciones de terreno y posteriores análisis, que el depósito de arenisca de Caleta Ranquil pueda corresponder a una gran inyección clástica y no un estrato de la Arenisca Huentehuapi como ha sido definido anteriormente, basándose en las relaciones de contacto, ya que corta un dique más pequeño (RAN-7), en su base y techo está en contacto con lutitas, y los grandes e irregulares intraclastos de lutitas que contiene. Además la presencia del “mineral verde no identificado” en el dique RAN-7, permite suponer que la unidad areniscas verdes puede actuar como roca fuente para algunas inyectitas, o que algunos diques atravesaron la Unidad 3 e incorporaron parte del sedimento de esta a algunos diques emplazados finalmente en las lutitas de la Unidad 2.

## REFERENCIAS

- ALVAREZ, P.; RADIC, J. y ROJAS, L. 2006. Evolución tectonosedimentaria de la cuenca de antearco Arauco Itata, Chile Central. XI Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile.
- BLOTT, S. y PYE, K. 2001. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* N° 26: 1237–1248. Londres.
- DRÖLLNER, M. 2017. Vergleichende Analyse der Leicht- und Schwermineral-Führung in klastischen Gängen sowie unter- und überlagernden Sedimenten der Ranquil Formation (11,6 - 1,8 Ma), Arauco Halbinsel. Tesis de licenciatura dentro del programa de grado de geociencias. Zentralchile. Institut für Geologie und Paläontologie der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät. 57 pp. Münster.
- FINGER, K. 2013. Miocene foraminifera from the south-central coast of Chile. University of California Museum of Paleontology. 152pp. Berkeley.
- FINGER, K.; NIELSEN, S.; DEVRIES, T.; ENCINAS, A. y PETERSON, D. 2007. Paleontologic evidence for sedimentary displacement in Neogene Forearc Basins of Central Chile. *Palaios* N° 22: 3–16.
- FOLK, R. 1980. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company. 182 pp. Austin.
- GARCÍA, F. 1968. Estratigrafía del Terciario de Chile central. Simposio sobre el Terciario de Chile, Zona Central. Andrés Bello, Santiago, 25-57.
- HENRÍQUEZ, A., 2006. Variaciones locales del nivel del mar en las cuencas neógenas de Caldera, III Región y Arauco, VIII Región: deducción de tasas de alzamiento y subsidencia tectónica. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias, mención Geología. Universidad de Chile, Departamento de Geología. 186 pp., Santiago.
- HURST, A.; SCOTT, A. y VIGORITO, M. 2011. Physical characteristics of sand injectites. *Earth-Science Reviews*. N° 106: 215-246.

- LE ROUX, J.; NIELSEN, S.; KEMMITZ, H. y HENRÍQUEZ, A. 2008. A Pliocene megatsunami deposit and associated features in the Ranquil Formation, southern Chile. *Sedimentary Geology* N° 203: 164-180.
- MELNICK, D.; BOOKHAGEN, B.; STRECKER, M. y ECHTLER, H. 2009. Segmentation of megathrust rupture zones from fore-arc deformation patterns over hundreds to millions of years, Arauco peninsula, Chile. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 114.
- MUÑOZ CRISTI, J. 1946. Estado actual del conocimiento sobre la geología de la Provincia de Arauco. Anales de la Facultad de Ciencias Matemáticas. Universidad de Chile. Vol. 3: 30-63. Santiago.
- MUÑOZ-CRISTI, J. 1956. Handbook of South American Geology. Tomo 65: 187–214.
- MUÑOZ-CRISTI, J. 1968. Contribución al conocimiento geológico de la region situada al sur de Arauco y participación del material volcánico en los sedimentos eocenos. Simposio sobre el Terciario de Chile, Zona Central. Andrés Bello, Santiago, 63–94.
- MUÑOZ, C.; ZAMBRANO, P.; MONTOYA, G. y MOYANO, H. 2007. Dientes de tiburones y rayas (chondrichthyes elasmobranchii) de la Formación Quiriquina aflorante en Talcahuano, Chile central. Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción. Tomo 78: 7–22.
- NIELSEN, S. 2013. A new Pliocene mollusk fauna from Mejillones, northern Chile. *Paläontologische Zeitschrift*. Vol. 87 N° 1: 33-66.
- NIELSEN, S. y GLODNY, J. 2009. Early Miocene subtropical water temperatures in the southeast Pacific. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* N° 280: 480–488.
- PINEDA, V. 1983. Evolución Paleogeográfica de la Península de Arauco durante el Cretácico Superior - Terciario, Tesis de grado para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica. Santiago.
- SALAZAR, C. 2004. Ammonites del Maastrichtiano de la Formación Quiriquina, VIII Región del Biobío, Chile: Sistemática, bioestratigrafía y afinidades paleobiogeográficas. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra. Concepción.

TAVERA, J. 1942. Contribución al estudio de la estratigrafía y paleontología del Terciario de Arauco. Congreso Panamericano de Ingeniería en Minas y Geología No 1. Actas 1-2: 580-632.

VIGORITO, M. y HURST, A. 2010. Regional sand injectite architecture as a record of porepressure evolution and sand redistribution in the shallow crust: insights from the Panoche Giant Injection Complex, California. *Journal of the Geological Society*, Londres, Vol. 167: 889–904.

