



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



ESTUDIO DEL POTENCIAL GEOLÓGICO Y ECONÓMICO PARA DESARROLLO PRODUCTIVO DE PEQUEÑA MINERÍA DEL PROSPECTO POÑÉN, REGIÓN DEL BIOBÍO.

Memoria para optar al Título de Geóloga

María-Fernanda Freedman Pacheco

Profesor Patrocinante: Dr. Marcos Javier Pincheira Núñez

Profesional Guía: Sr. Pablo Tomás Bobadilla Osorio

Profesores comisión: MSc. Liubow Nikolaiivna González Martínez
MSc. Abraham Elías González Martínez

Concepción, 2018



A mi madre.

ÍNDICE

Página

RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	1
1.1.1. Objetivo general	1
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.2. Ubicación y accesos	2
1.3. Metodología	2
1.3.1. Etapa de gabinete I	3
1.3.2. Etapa de gabinete II	4
1.3.2.1. Metodología de muestreo de pozos auríferos	4
1.3.2.2. Metodología de muestreo litogeoquímico - mineralógico	5
1.3.2.3. Metodología de análisis de muestras de pozos auríferos	5
A. Análisis de Au por ensayo al fuego y espectroscopía de absorción atómica (AAS)	5
B. Análisis de Ag por digestión en HF-HNO ₃ -HClO ₄ , lixiviación con HCl y espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado por inducción (ICP-AES)	6
C. Análisis de elementos traza por digestión de agua regia e ICP-AES	7
D. Análisis de elementos mayores y menores por Fluorescencia de rayos X (FRX)	7
E. Análisis de tierras raras por espectroscopía de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)	8
1.3.2.4. Metodología de cálculo de ley media	8
1.3.3. Etapa de terreno	10
1.3.3.1. Etapa de reconocimiento	10
1.3.3.2. Etapa de muestreo	10
1.3.4. Etapa de gabinete III	10
1.4. Geomorfología	11
1.4.1. Drenaje	13
1.5. Clima	13
1.6. Trabajos anteriores	16
1.7. Agradecimientos	18
2. MARCO GEOLÓGICO	20
2.1. Generalidades	20
2.2. Rocas metamórficas	20
2.2.1. Serie Occidental	20
2.2.2. Serie Oriental	22

2.3. Rocas intrusivas	22
2.3.1. Plutonismo Paleozoico	22
2.3.1.1. Batolito Costero Sur	22
2.3.2. Plutonismo Triásico	23
2.3.3. Plutonismo Jurásico	23
2.4. Rocas estratificadas	24
2.4.1. Formación Quiriquina	24
2.4.2. Formación Curanilahue	25
2.4.3. Formación Andalién	26
2.4.4. Formación Huachipato	27
2.4.5. Depósitos semi consolidados y no consolidados	27
2.5. Marco tectónico	28
3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE PLACERES DE ORO	31
3.1. Generalidades	31
3.2. Tipos de placeres	33
3.2.1. Placeres residuales	33
3.2.2. Placeres eluviales	33
3.2.3. Placeres aluviales	34
3.2.3.1. Mecanismo de depositación	35
3.2.4. Placeres eólicos	37
3.2.5. Placeres de playa	37
3.2.5. Paleoplaceres	38
3.3. Caracterización de placeres de oro	39
3.3.1. Reseña histórica y distribución en Chile	39
3.3.2. Caracterización geológica de placeres en Chile	42
3.3.3. Reseña histórica y distribución en la Región del Biobío	42
3.3.4. Caracterización geológica de placeres en la Región del Biobío	43
3.4. Zona de estudio: Prospecto Poñén	45
3.4.1. Propiedad minera	46
3.4.2. Geología del Prospecto Poñén	46
3.4.2.1. Subunidad Granitoides de Concepción	46
3.4.2.2. Litología y estructuras	48
3.4.3. Morfología de los depósitos	50
3.4.4. Caracterización de los sedimentos del Prospecto Poñén	52
3.4.4.1. Mineralogía	52
3.4.4.2. Morfología	52
3.4.4.3. Mineralogía metálica	53
3.5.4. Proveniencia de mineralización metálica	54
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	55
4.1. Interpretación resultados de laboratorio	55
4.1.1. Elementos mayores y menores	55
4.1.2. Elementos traza	59
4.1.3. Elementos de tierras raras	62

4.1.4. Concentraciones de oro y plata	64
4.2. Cálculo ley media de oro	67
4.2.1. Método de los polígonos	68
4.2.1.1. Cálculo ley media del prospecto	69
5. PRE-FACTIBILIDAD Y POTENCIAL DE EXPLOTACIÓN DEL PROSPECTO POÑÉN	72
5.1. Pre-factibilidad de explotación del Prospecto Poñén	72
5.1.1. Potencial de negocio	74
5.1.2. Factibilidad técnica económica	75
5.1.3. Otros y viabilidad de explotación	75
5.1.4. Impacto del negocio	76
5.2. Potencial de explotación del Prospecto Poñén	76
5.3. Escala de explotación	77
6. DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES	79
6.1. Discusión	79
6.2. Recomendaciones finales	80
7. CONCLUSIONES	82
7.1. Metodología de muestreo	82
7.2. Caracterización de depósitos y litologías muestreadas	82
7.3. Cálculo ley media de oro	83
7.4. Conclusiones de análisis químicos	83
7.5. Potencial de explotación	84
8. REFERENCIAS.....	85
ANEXOS	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. 1. Mapa ubicación del área de estudio	3
1. 2. Mapa geomorfológico de la Región del Biobío	11
1. 3. Mapa elevaciones del área de estudio	12
1. 4. Mapa drenaje del área de estudio Estero Lajuela – Retamo	14
1. 5. Mapa de climas de la Región del Biobío	15
2. 1. Mapa geología regional	21
3. 1. Placeres residuales y eluviales	34
3. 2. Trampas de sedimentos en ríos	36

3. 3.	Mapa de placeres de oro, Región del Biobío, Chile	44
3. 4.	Mapa de propiedades mineras del Prospecto Poñén	46
3. 5.	Mapa geológico del Prospecto Poñén	48
3. 6.	Litologías del prospecto	49
3. 7.	Estructuras del prospecto	49
3. 8.	Trampas de minerales pesados muestreadas	50
3. 9.	Barra central	51
3.10.	Marmita	51
3.11.	Mineralogía muestra de mano	52
3.12.	Morfología de los sedimentos del prospecto	53
3.13.	Oro en pulido transparente	53
4. 1.	Mapa puntos de muestreo FRX	58
4. 2.	Diagrama multielemental resultados de FRX	59
4. 3.	Clasificación de sedimentos	57
4. 4.	Mapa puntos de muestreo para ICP	59
4. 5.	Diagrama multielemental concentración de Tierras raras e Y	63
4. 6.	Mapa de concentraciones de oro en Prospecto Poñén	66
4. 7.	Rocas competentes sector atractivo	67
4. 8.	Construcción de polígonos	68
5. 1.	Árbol de jerarquía	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
3. 1.	Minerales típicos en placeres	32
3. 2.	Producción de oro según Plan Aurífero Nacional	40
3. 3.	Listado de recursos mineros aluviales en Chile	41
3. 4.	Nuevos prospectos de mayor interés económico de aluviales de oro	45
3. 5.	Características geológicas de Subunidad Granitoides de Concepción	47
4. 1.	Resultados elementos mayores y menores por Fluorescencia de rayos X (FRX)	57
4. 2.	Resultados elementos trazas mediante espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo (ICP)	60
4. 3.	Resultados de concentraciones de tierras raras	62
4. 4.	Comparación de concentración de tierras raras total	64
4. 5.	Resultados concentraciones de Au y Ag	65
4. 6.	Cálculo ley media del área muestreada	71
4. 7.	Potencial de negocio del Prospecto Poñén	73
5. 1.	Tabla de puntajes para cada atributo	73
5. 2.	Tabla de valores para calcular potencial de explotación	77
5. 3.	Criterios para definir escala de explotación de un placer	77

RESUMEN

Históricamente la Región del Biobío ha sido explotada por sus abundantes depósitos de placeres de oro. En esta memoria se estudia el Prospecto Poñén, identificado como uno de los depósitos aluviales de oro con mayor interés económico para el desarrollo de la pequeña minería en la región y propuesto a ENAMI en 2016 (Lagos y otros, 2015). La zona de estudio se encuentra al NW de la comuna de Florida en el flanco occidental de la Cordillera de la Costa siguiendo las cuencas de los esteros Retamo y Lajueta. La litología predominante es de granodioritas de biotita y anfíbol, con mineralización metálica de óxidos de hierro y oro.

La evaluación económica del sector se realiza mediante el cálculo de sus recursos, para esto se identifican fotogeológicamente 32 puntos de interés los que fueron corregidos mediante una etapa de reconocimiento en terreno y convertidos en 24 puntos finales de muestreo. Este es realizado cavando en cada punto tres pozos con 50 cm de profundidad y 50 cm de diámetro, separados a una distancia de 5 m, de cada uno de ellos se tomó una muestra de 3,7 l. La mayoría de las muestras fueron enviadas al laboratorio ALS Santiago y analizadas mediante ensayo al fuego y espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo (ICP), el resto fueron analizadas en el Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA) de la Universidad de Concepción por fluorescencia de rayos X (FRX), donde también se calculó la densidad de la arena del estero.

Los resultados se interpretan clasificando los elementos en cuatro grupos. Los elementos mayores y menores analizados mediante FRX presentan una variación errática y no se identifica relación con el oro. Los elementos trazas, estudiados con ICP, tampoco arrojan una relación notoria con las concentraciones de oro, solamente el Mn disminuye en lugares donde hay mayor cantidad de oro. Las tierras raras, también analizadas mediante ICP, se encuentran en altas concentraciones sobretodo las tierras raras livianas. Se observa un leve aumento de estas en puntos con altas concentraciones de oro. El oro, medido mediante ensayo al fuego, se encuentra en altas concentraciones en la zona central de estudio lo que se relaciona a un mayor tamaño de grano en ese sector, clastos de cuarzos y plagioclasas de entre 2–10 cm y una mayor proximidad a la circa. La plata se descarta como mineral de interés ya que sólo se encuentra un punto sobre el límite de detección.

Se calculan las reservas del prospecto mediante el método de los polígonos, dando como resultado una ley media de 0,268 ppm para el área muestreada.

Con los datos obtenidos se realiza un estudio preliminar de pre-factibilidad de explotación del prospecto considerando el potencial de negocio, la factibilidad técnica económica, la viabilidad de explotación y el impacto del negocio, este arroja un bajo potencial del prospecto por lo que no se recomienda la explotación de este. Este estudio entrega como resultado un medio potencial de explotación del prospecto con un puntaje de 0,57 según criterios definidos por Lagos y otros (2015).

Se sugiere realizar análisis químicos a las rocas del sector Poñén - Lajueta para determinar la fuente del oro y elementos de tierras raras de alta concentración encontrados en el muestreo, así como también realizar una campaña de exploración con mayor maquinaria para llegar a la circa donde se encontrarían las mayores concentraciones de minerales pesados de interés económico.

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio ha sido solicitado por el Jefe de desarrollo minero de ENAMI, Don Miguel Moreno con el fin de valorizar los depósitos de placeres auríferos económicamente más rentables de la Región del Biobío.

La región ha sido históricamente productora de oro, conocidos son los lavaderos de Florida, Talcamávida, Quilacoya, Rere y Butamalal, los cuales se encuentran geomorfológicamente localizados en los flancos de la Cordillera de la Costa. Estos depósitos han sido identificados y estudiados gracias a la acción del Segundo Plan Aurífero Nacional (ENAMI, 1983-1986) y estudios regionales de autores como Greiner (1991) quien describe y relaciona los depósitos de oro con esquistos micáceos y/o cuerpos intrusivos graníticos paleozoicos, Pincheira y otros (1991) quien evalúa de forma preliminar los placeres de la región en cuanto a su factibilidad de explotación, Collao y otros (2000) clasifica los aluviales según su atractivo económico basándose en la ley media y Stange (2011) quien estudia la proveniencia del oro detrítico encontrado en los depósitos.

Entre los años 2015 – 2016 se realiza un estudio de valorización e identificación de recursos mineros aluviales de oro en Chile en conjunto entre el Departamento de Ingeniería en Minas de la Pontificia Universidad Católica de Chile y ENAMI. Bajo el marco de este estudio se identifica el Prospecto Poñén, como uno de los placeres de oro con mayor interés económico para el desarrollo de pequeña minería. El alcance principal de esta memoria consiste en el estudio de la distribución del oro aluvial, mediante una metodología de muestreo que permita calcular leyes media de oro. Una caracterización geomorfológica y mineralógica del sector para la realización de modelos de distribución del oro. Además de un estudio geoquímico de plata y tierras raras por su alto interés económico.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Realizar un estudio geológico, mineralógico y económico del prospecto aurífero Poñén para la pequeña minería.

1.1.2. Objetivos específicos

- Establecer una metodología adecuada de muestreo de placeres de oro.
- Caracterizar la geomorfología y mineralogía de los depósitos mediante cortes transparentes y observaciones macroscópicas.
- Calcular la ley media de oro del área muestreada del Prospecto Poñén.
- Describir otros elementos de interés económico asociados al oro.
- Generar propuestas para futuros estudios o potencial explotación.

1.2. Ubicación y accesos

El área de estudio se encuentra a 47 km al E de Concepción, en la comuna de Florida, Provincia de Concepción, Región del Biobío, Chile. En la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa Sur siguiendo las cuencas de los esteros Retamo y Lajueta al NW de Florida entre las coordenadas 36°79'-36°75' Latitud S y 72°74'-72°64' Longitud W (Figura 1.1).

Para acceder al prospecto Poñén desde Concepción se toma la ruta 146 camino a Cabrero hasta el desvío con la ruta 148 hacia Florida por la cual se continúa por 28 km hasta la bifurcación hacia la localidad de Roa por donde se continúa finalmente 5 km hacia el N. Los caminos principales y vías de acceso están en su mayoría asfaltados y en buenas condiciones, los caminos secundarios dentro del área del prospecto son principalmente de ripio y su estado se encuentra condicionado a las condiciones meteorológicas.

1.3. Metodología

La presente memoria se realizó entre los meses de enero y septiembre de 2017 con la ayuda de personal de ENAMI: el geólogo Pablo Bobadilla, Diego Neira ayudante geólogo y el memorista Daniel Carvajal.

Las etapas de trabajo se dividieron en cuatro: Etapa de gabinete I, Etapa de gabinete II, Etapa de terreno y Etapa de gabinete III. La división se hizo con el fin de planificar el trabajo de manera correcta. Se recopiló información necesaria para la apropiada ejecución de las actividades de

salida a terreno, la recopilación de muestras y el posterior análisis de estas. A continuación se explica cada etapa en detalle.

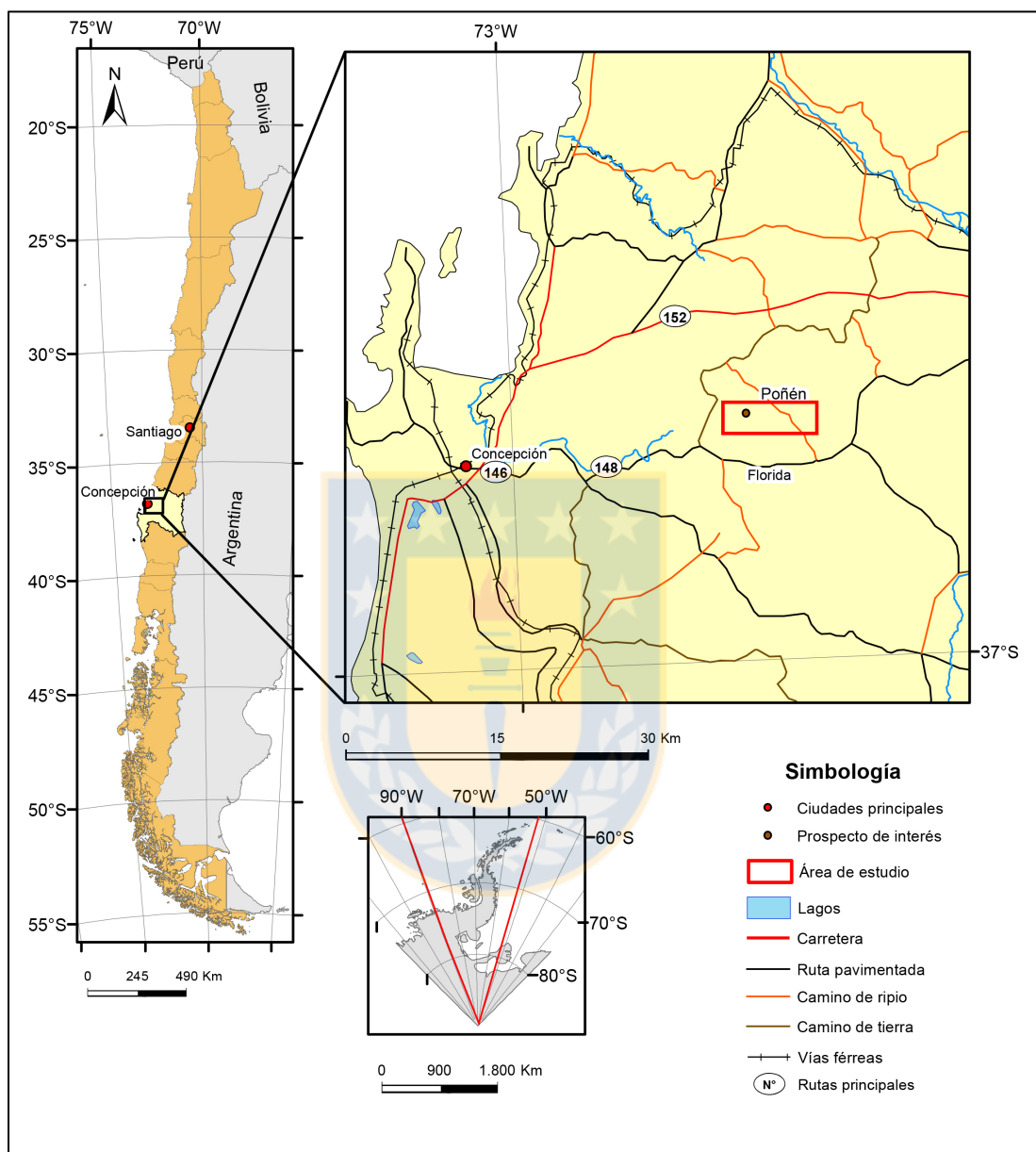


Figura 1.1: Mapa ubicación del área de estudio. Elaboración propia.

1.3.1. Etapa de gabinete I

Se realiza una recopilación bibliográfica y estudio de imágenes satelitales entre enero – mayo de 2017. La información bibliográfica estudiada se obtiene de memorias y publicaciones de la Universidad de Concepción, informes del SERNAGEOMIN, de la Pontificia Universidad

Católica de Chile y de ENAMI. Esta apunta a la caracterización de placeres de oro tanto en Chile como en la Región del Biobío, además de información respecto a la geología regional y económica de la región.

Se estudia satelitalmente el área del Estero Retamo-Lajuella con los programas *Google Earth* y *ArcGIS* 10.3 con el objetivo de identificar posibles trampas a gran escala de minerales pesados, en esta primera etapa se marcaron 32 posibles puntos de muestreo.

1.3.2. Etapa de gabinete II

La etapa de gabinete II se realiza entre marzo – mayo de 2017 y tiene como objetivo principal realizar protocolos de muestreo y determinar qué tipo de análisis son necesarios para las muestras de sedimentos.

1.3.2.1. Metodología de muestreo de pozos auríferos

Para lograr un correcto muestreo de los sedimentos del Estero Retamo – Lajuella se realizó una ficha de terreno (Anexos) que se utilizó en cada punto visitado, las actividades que se realizaron sistemáticamente se detallan a continuación:

- a. Identificación mediante GPS de los puntos muestrear.
- b. Medición de ancho y largo de trampa de minerales pesados a muestrear.
- c. Con la información del largo de la trampa e interpretación en terreno se define el método con el que se muestreará:
 - Si la trampa es mayor a seis metros se realizarán tres pozos de 50 cm de profundidad y 50 cm de diámetro separados a 5 m uno del otro.
 - Si la trampa es menor a seis metros se realizará sólo un pozo de 50 cm de profundidad y 50 cm de diámetro.
- d. Se identifican los puntos anteriores y se mide con huincha su separación. Se anota la ubicación en el GPS y en la ficha.
- e. Se cavan los pozos hasta obtener la profundidad y diámetro deseado. Se observa el perfil del pozo y se identifican niveles de sedimentos más oscuros o de gravas para muestrear. En el caso que no se encuentren estos niveles se muestrea directamente desde el fondo del pozo.

- f. Descripción macroscópica y microscópica del perfil muestreado con anotación de la profundidad en la que se toma la muestra. Con una pala de acero inoxidable se extrae el sedimento y se mide en un recipiente de 3,7 l para tener un mismo volumen en cada pozo. Entre cada pozo la pala y el recipiente se lavan para evitar contaminación.
- g. Sellado y etiquetado de cada muestra.

1.3.2.2. Metodología de muestreo litogeoquímico – mineralógico

Este muestreo se realiza para describir la variación composicional del estero. Esta técnica entrega concentración de los elementos mayores y menores de los sedimentos, que brindan información acerca de la mineralogía o contaminaciones presentes. Al observar un cambio en la litología dada por los minerales formadores de rocas presentes en los pozos se toman muestras separadas para someterla a ensayos de fluorescencia por rayos X (FRX). Para estos análisis sólo se necesitan 50 g de sedimentos por lo que se toma una palada que son aproximadamente 1,5 l de sedimento, se almacenan y rotulan en bolsas de muestreo y se anota el punto GPS de la muestra.

1.3.2.3. Metodología de análisis de muestras de pozos auríferos

A. Análisis de Au por ensayo al fuego y espectroscopía de absorción atómica (AAS)

El análisis de las concentraciones de metales preciosos como el oro por ensayo al fuego es el más común y puede estar ligado a la espectroscopía de absorción atómica de los elementos formadores de minerales, debido a que si el resultado del ensayo al fuego se encuentra bajo el límite de detección de la balanza se recurre a un análisis por espectroscopía de absorción atómica.

El método se basa en la fusión de la muestra con reactivos y fundentes que permitan la formación de una escoria, el reactivo usado más común es el óxido de plomo. Con la fusión se generan dos fases líquidas, los metales preciosos presentan una alta afinidad por el plomo fundido por lo que forman con él una fase líquida metálica y por otro lado se encuentra ganga constituida principalmente por silicatos complejos.

Para proceder con el ensayo a fuego las muestras se deben pulverizar completamente y tamizar para luego pasar por el proceso de tostación donde se eliminan todos los volátiles a una temperatura controlada (750°C) dentro de una mufla en un horno. Cuando los volátiles se han ido, la muestra cambia de color. La muestra restante se pesa y mezcla con el fundente a 1000°C para que su temperatura aumente sin subir la del horno y posteriormente homogenizar y estabilizar la mezcla. Luego de esto se prosigue con la etapa de fundición con el fin de obtener las fases de ganga y metálica. Estas se logran debido a su inmiscibilidad y gran diferencia de densidad, al solidificarse se procede a separación física con un martillo. Una vez obtenido el botón de plomo rico en metales preciosos se procede a la etapa de copelación, donde se funde el botón en una copela hecha de magnesia porosa a 1000°C para eliminar el Pb. El 98,5 % de este elemento queda atrapado en la copela en forma de óxido mientras que el 1,5% se libera en forma de gas. Posteriormente se traspasa el gránulo a un crisol de porcelana, procedimiento que debe ser realizado bajo una lupa. Finalmente se pesa en una balanza con límite de detección de hasta 2 mg, si la masa es menor a esta cantidad se continúa con otra técnica.

Si no es posible pesar la muestra en las balanzas se les realiza AAS, el cual es un método bastante confiable cuando la concentración de oro está en partes por millón o billón. La técnica se basa en que un átomo podrá absorber solamente radiación de una longitud de onda determinada por lo que se mide la absorción de esta radiación de resonancia al hacerla pasar a través de una población de átomos libres en estado fundamental, estos absorberán parte de ella en forma proporcional a su concentración atómica. Para realizar esto se agrega 0,5 ml de ácido nítrico concentrado y 0,5 ml de ácido clorhídrico concentrado a la muestra, de esta forma se digiere la muestra para facilitar su lectura mediante el espectrómetro. Posterior a esto se eliminan los volátiles mediante una placa calefactora y luego se enfría la solución diluida a un total de 4 ml con agua desmineralizada para finalmente ser inyectada al instrumento donde el oro pasa por un atomizador de llama, cuya energía que absorbe a una longitud de onda determinada es proporcional a su concentración.

B. Análisis de Ag por digestión en HF-HNO₃-HClO₄, lixiviación con HCl y espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado por inducción (ICP-AES)

Para el análisis del contenido de Ag en niveles trazas se necesita un método de alta sensibilidad y precisión, para esto se pre-trata la muestra con digestión y lixiviación por multiácidos que consiste en una combinación de HCl (ácido clorhídrico) que se disocia formando complejos insolubles con Ag, HNO₃ (ácido nítrico) el cual es un ácido fuerte y oxidante que en caliente disuelve todos los metales comunes a excepción del Al y Cr, HClO₄ (ácido perclórico) que en disolución acuosa forma complejos insolubles con Ag y HF (ácido fluorhídrico). Debido a que el HF disuelve los silicatos a menudo se hace referencia a esa técnica como una absorción “casi total”.

Luego del tratamiento de digestión la muestra se encuentra en solución y se emplea la espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inducción (ICP-AES) que se basa en la radiación emitida por un átomo excitado al absorber energía desde una fuente caliente, en este caso un plasma de Ar a 10.000 ° K, se relaja a su estado fundamental. La cantidad de energía emitida, por lo tanto la energía que se medirá, corresponde y depende de la cantidad de átomos presentes de Ag, en este caso. La muestra se atomiza y luego se excitan con el plasma, mediante un nebulizador se consigue un aerosol de partículas y gracias a un atomizador se producen átomos o iones independientes que posteriormente según la intensidad con que emitan sus longitudes de onda determinarán el elemento y su cantidad.

C. Análisis de elementos traza por digestión de agua regia e ICP-AES

Además del estudio de Au y Ag se procede al análisis multielemental de las muestras. Para cuantificarlos se usa el ICP-AES explicado anteriormente para el Ag. Sin embargo en este caso la muestra se disgrega y luego se vuelve una solución con agua regia, mezcla de HNO₃ + HCl altamente concentrados en proporción de 1:3, esta provocará una digestión fuerte o total de la muestra. Las digestiones se realizan en reactores abiertos o a presión, en hornos, estufas, baños de arena o placas calefactoras.

D. Análisis de elementos mayores y menores por Fluorescencia de rayos X (FRX)

El análisis por FRX es un método útil y rápido para medir concentración de elementos mayores y menores y es la segunda técnica multielemental utilizada en esta memoria. Con ella se analizan elementos entre el F y el U en muestras principalmente sólidas y líquidas ya que no requieren

preparación. La fluorescencia de rayos X utiliza la emisión secundaria generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X que expulsa los electrones de capas interiores del átomo permitiendo a los de capas más externas ocupar los lugares vacantes y liberar fotones, radiación X, fluorescente o secundaria con una longitud de onda característica y una intensidad directamente relacionada con la concentración de los elementos. Para este ensayo los sedimentos se deben moler y pulverizar a una malla de 200 μm , luego se compactan en una máquina de ensayo de compresión a 20 ton/m^3 por 30 segundos, de esta forma se consigue el disco que se introduce en el instrumento.

E. Análisis de tierras raras por espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)

La espectroscopía de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) presenta variadas ventajas, entre ellas están su alta precisión, bajos límites de detección, bajo costo económico, falta de interferencia interelemental y simplicidad en la preparación, haciendo un análisis multielemental rápidamente. Muchos elementos de tierras raras se encuentran en minerales de óxido y silicato, especialmente resistentes a la digestión con ácido, por lo que se prefiere la fusión para descomponerlos. Es por esto que se utiliza en este caso para el análisis de tierras raras en la muestras de sedimentos. Es una técnica mediante la cual los componentes de la muestra se ionizan por efecto de un plasma de Ar. Los iones que se producen se separan en base a su relación masa/carga en un espectrómetro de masas y luego se cuantifican en un detector.

1.3.2.4. Metodología de cálculo de ley media

Generalmente los depósitos de tipo placeres de oro se representan con leyes en unidades de g/cm^3 , kg/cm^3 , g/m^3 o kg/m^3 , sin embargo para fines comerciales de minería este tipo de ley no es atractiva por lo que el cálculo final se realiza en g/ton.

Para esto es necesario medir la densidad del medio en el que se trabaja. En conjunto con personal del Instituto de Geología Económica (GEA) de la Universidad de Concepción se lleva acabo el cálculo de la densidad. Se obtuvo en terreno una muestra de arena con granulometría y mineralogía representativa del Estero Retamo – Lajuela la cual se cuartea y seca en los laboratorios para su posterior medición siguiendo los pasos a continuación:

1. Se pesa un matraz aforado en una balanza con precisión mínima de 0,01 g. Se anota este peso en gramos (P).
2. Se pesa el matraz aforado con el sólido seco en una balanza con precisión mínima de 0,01 g. Se anota este peso en gramos (M).
3. Se llena con agua hasta el enrase el matraz aforado que contiene el sólido seco y se pesa en una balanza con precisión mínima de 0,001 g. Se anota este peso en gramos (S).
4. Se descarta el material con el que se trabajó anteriormente y se lava el matraz aforado para posteriormente llenarlo solamente de agua hasta el enrase y pesarlo en una balanza con precisión mínima de 0,01 g. Se anota este peso en gramos (W).
5. Finalmente se calcula la densidad siguiendo la fórmula:

$$G = \frac{M - P}{W + M - P - S}$$

Para el cálculo de la ley media se trabaja con los datos de concentraciones entregados por el laboratorio. Se usa el método de los polígonos para obtener la ley media de cada polígono confeccionado en cada pozo del área de muestreada. Se siguen una serie de pasos descritos a continuación:

- Se confeccionan polígonos utilizando el punto central de cada pozo muestreado.
- Se calcula el área de cada polígono en el programa *ArcGIS* 10.3 utilizando la herramienta “Calcular geometría”.
- Con el programa *Excel* se confecciona una planilla para agilizar el cálculo de la ley media. En ella se disponen los datos de área del polígono y espesor del pozo para cada polígono.
- Se multiplica el área (m²) por el espesor (m) para conseguir el volumen (m³) del pozo muestreado.
- Posteriormente se añade la columna de peso específico del sedimento muestreado y se multiplica por el volumen del pozo obtenido para conseguir las toneladas.
- Las toneladas se multiplican por la ley de Au en ppm para cada polígono y se realiza la sumatoria para el área muestreada.
- Esta sumatoria se divide por las toneladas totales del área y se obtiene la ley de Au en ppm.

- Para el cálculo de la ley en g/ton se convierte con una razón de 1:1 ya que 1 ppm = 1 g/ton.

1.3.3. Etapa de terreno

1.3.3.1. Etapa de reconocimiento

El reconocimiento se realiza durante los días 19 y 20 de mayo de 2017. El objetivo es corroborar la ruta trazada con las imágenes satelitales en la etapa de gabinete I, revisar la propiedad superficial del área y los caminos y accesos al estero.

En terreno de reconocimiento se obtienen 83 puntos de posible concentración de minerales pesados los cuales se traslapan con los 32 anteriores y se generan finalmente 25 puntos para la etapa de terreno de muestreo.

Se observa que el estero se encuentra rodeado por propiedades privadas, en su mayoría casas y parcelas, los habitantes no tienen reparos en permitir el acceso. Los caminos se encuentran en buenas condiciones exceptuando aquellos que fueron afectados directamente por incendios de enero del 2017 los cuales se encuentran tapados por árboles caídos. Algunos accesos al estero también se encuentran cubiertos por estos árboles quemados que en general se pueden esquivar.

1.3.3.2. Etapa de muestreo

La etapa de terreno de muestreo se llevó a cabo entre el 12 y 17 de junio de 2017, para esto se contó con la ayuda de personal de ENAMI: el geólogo Pablo Bobadilla, el ayudante de geólogo Diego Neira y el memorista Daniel Carvajal. Debido a las inclemencias del clima se trabajó en muestreo en el estero solamente los días 12, 13, 14 y 17 de junio, los días 15 y 16 de junio se utilizaron para ordenar las muestras en sacos por punto y realizar informe de terreno para ENAMI. Durante la salida a terreno se tomó un total de 95 muestras para análisis en laboratorio y en paralelo se realizó un mapeo del sector describiendo su litología y geomorfología.

1.3.4. Etapa de gabinete III

Dentro de esta etapa se contempla el envío de muestras al laboratorio ALS Santiago para ser analizadas las concentraciones de oro, plata, elementos trazas y tierras raras, además del estudio

de elementos mayores y menores mediante FRX desarrollado en conjunto con el Instituto de Geología Económica Aplicada de la Universidad de Concepción. Con los resultados de las concentraciones, se procede a la confección de mapas de muestreo y leyes, comparación y descripción de los análisis y al cálculo de la ley de oro media de los placeres del prospecto. De esta manera se pretende lograr una estimación al potencial de explotación del sector, considerando su escala e índices económicos. Paralelo a este se redactan informes de avance para la Empresa Nacional de Minería.

1.4. Geomorfología

Los principales relieves del país son de W a E las Planicies Costeras, Cordillera de la Costa, Depresión intermedia y Cordillera de los Andes. En la Región del Biobío es posible observar estas cuatro geoformas además de cuencas intermontanas, llanos de sedimentos fluviales y aluvionales y la precordillera andina (Figura 1.2). El Prospecto Poñén se sitúa en el flanco occidental de la Cordillera de la Costa de la región.

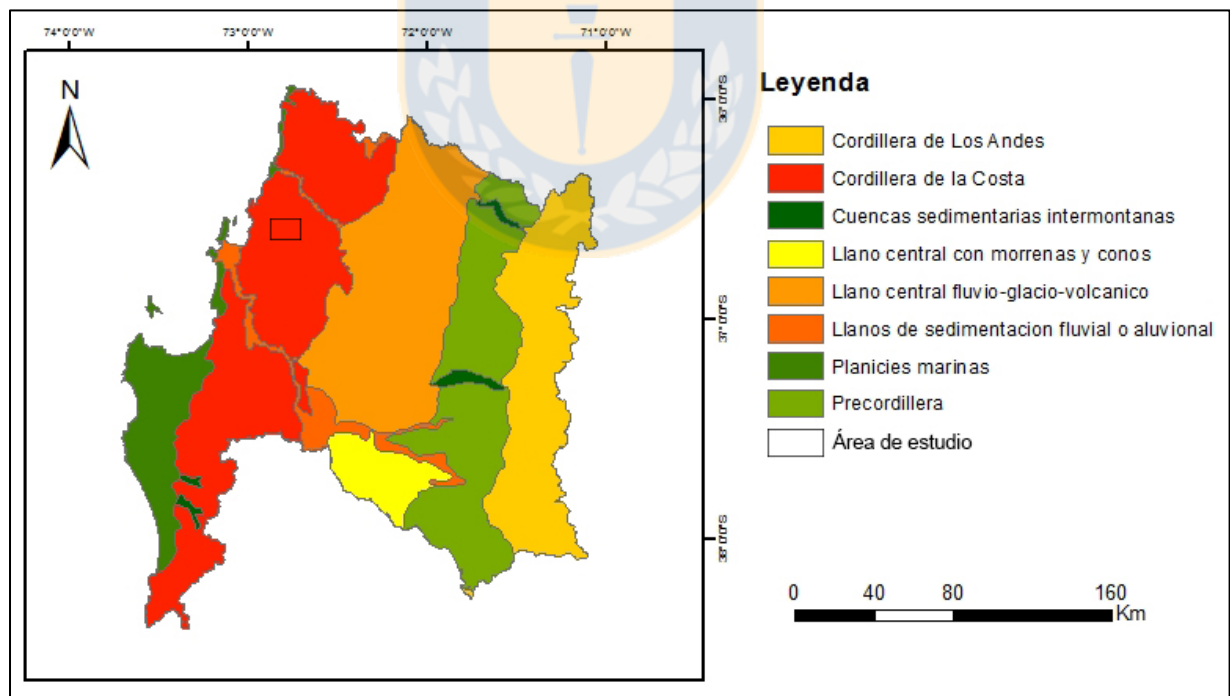


Figura 1.2: Mapa geomorfológico de la Región del Biobío. Modificado de Börgel (1983).

La Cordillera de la Costa presenta diferentes morfologías al N y al S del Río Biobío. Hacia la parte N de la región no presenta mayores altitudes alcanzando escasamente los 550 m s.n.m., por

lo que se asemeja a suaves colinas que originan cuencas y valles como la cuenca de Quirihue. Hacia el S se comienza a denominar Cordillera de Nahuelbuta y se extiende por aproximadamente 190 km alcanzando mayores alturas cercanas a los 1400 m s.n.m. Está constituida principalmente por rocas graníticas y metamórficas pertenecientes al basamento cristalino regional que presentan una intensa meteorización y erosión generando el relieve característico de lomas y la escasa presencia de afloramientos frescos de las rocas que lo constituyen.

El sector del Estero Lajuela – Retamo que es muestreado en este estudio presenta un relieve suave con cotas que no sobrepasan los 290 m s.n.m. y no disminuyen de los 120 m s.n.m. (Figura 1.3) por lo que demuestra una geomorfología representativa de la Cordillera de la Costa al N del Río Biobío, con montes bajos y rocas graníticas muy meteorizadas generando el denominado maicillo.

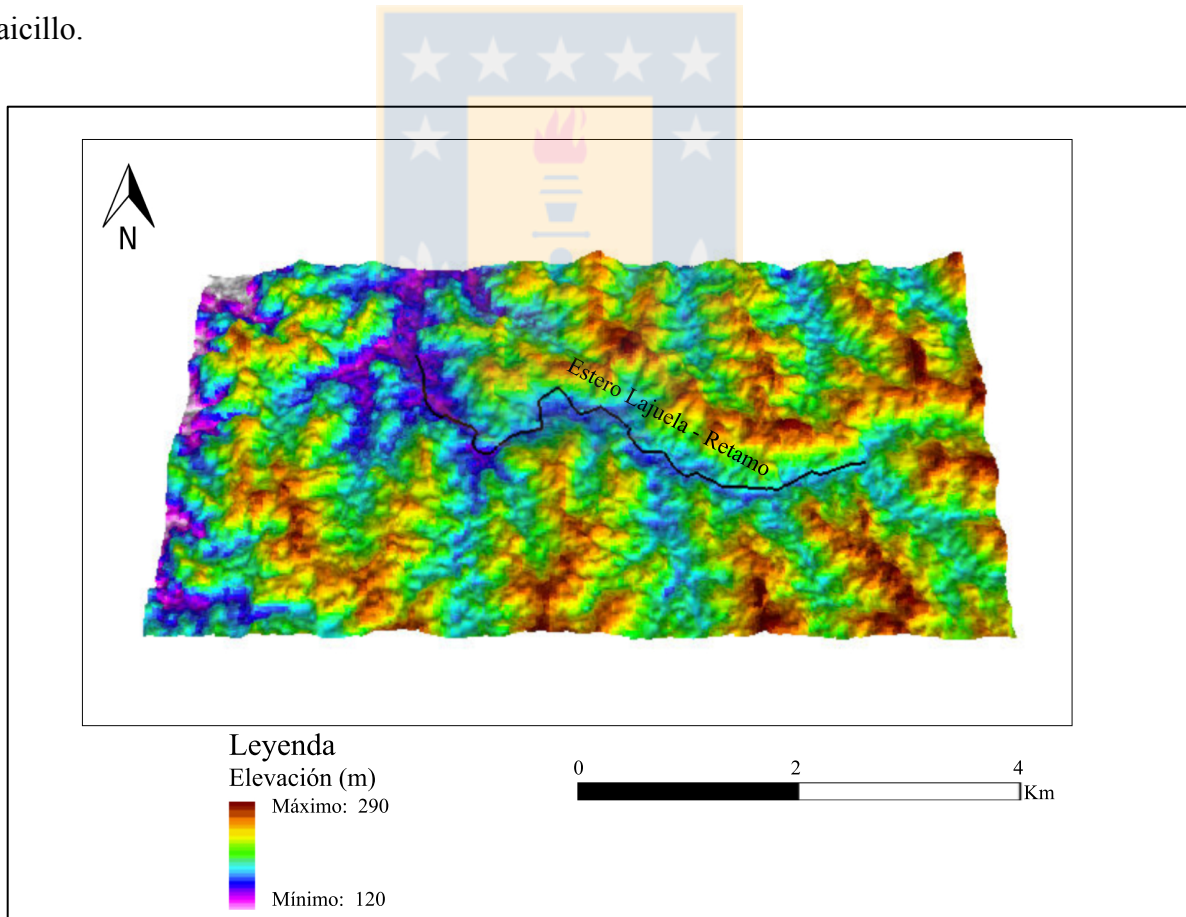


Figura 1.3: Mapa elevaciones del área de estudio. Se muestran las alturas máximas y mínimas del Prospecto Poñén.

1.4.1. Drenaje

El drenaje del sector a gran escala ocurre por el Río Andalién, el cual nace de la unión de los esteros Curapalihue por el S y Poñén por el N, recorre la Cordillera de la Costa y desemboca en la comuna de Penco. Posee una longitud de 36 km y presenta una orientación general de SE – NW, su hoya hidrográfica es de unos 600 km² y su caudal fluctúa entre los 10 m³/s en los meses más secos del verano y alcanzando 1.500 m³/s en las mayores crecidas. El Estero Poñén por su parte, nace de la unión de los esteros Trecacura por el N y Lajuela – Retamo por el S, conectándose de esta manera con el área de estudio.

El Estero Lajuela – Retamo recorre cerca de 10 km con orientación preferencial NW – SE, tiene un caudal constante mayor en los meses de invierno. Presenta una forma dendrítica de mediana densidad con desarrollo de meandros (Figura 1.4), genera un valle estrecho de entre 10 – 20 m, con poca incisión en el área oriental de muestreo, hacia el W este se ensancha alcanzando los 30 m y profundiza siendo posible observar afloramientos de la roca granítica del sector. En los lugares en que el estero provoca mayor incisión es posible observar mayores velocidades y energía del sistema fluvial. Se generan caídas de agua y relieves de erosión como marmitas. En los sectores occidentales, en cambio, se genera una mayor cantidad de relieves de acumulación como barras y *point bars* en meandros.

1.5. Clima

La región corresponde a una zona de transición entre el clima templado seco del centro del país y del templado lluvioso del sur. En específico se pueden encontrar cinco tipos de clima (Figura 1.5) en la región: Templado cálido con lluvias invernales y gran humedad atmosférica en la zona costera y norte, Templado cálido lluvioso con influencia mediterránea en la costa sur y en el sector de Los Ángeles al interior, Templado frío lluvioso con influencia mediterránea hacia la zona de la Precordillera andina, Tundra en la Cordillera de los Andes y Templado cálido con lluvias invernales en la zona de estudio y centro de la región.

El clima es un factor importante a considerar en cualquier trabajo de campo geológico ya que este influirá en el tiempo que se destine a los trabajos tanto como en la forma en que se dispongan los depósitos. El Prospecto Poñén se encuentra entre el clima templado cálido con lluvias invernales

y gran humedad atmosférica de la costa y el templado cálido con lluvias invernales de la zona centro, lo que produce que su estudio durante el invierno este completamente asociado a las precipitaciones. Durante las salidas a terreno de esta memoria se presentaron inclemencias por el clima lo cual detuvo la toma de muestras por un par días por crecidas del Estero Retamo – Lajuela. La oscilación de temperaturas en un día no son muy elevadas debido a la cercanía al Océano Pacífico y las bajas alturas de la Cordillera de la Costa, teniendo un promedio de 10°C en las estaciones invernales.

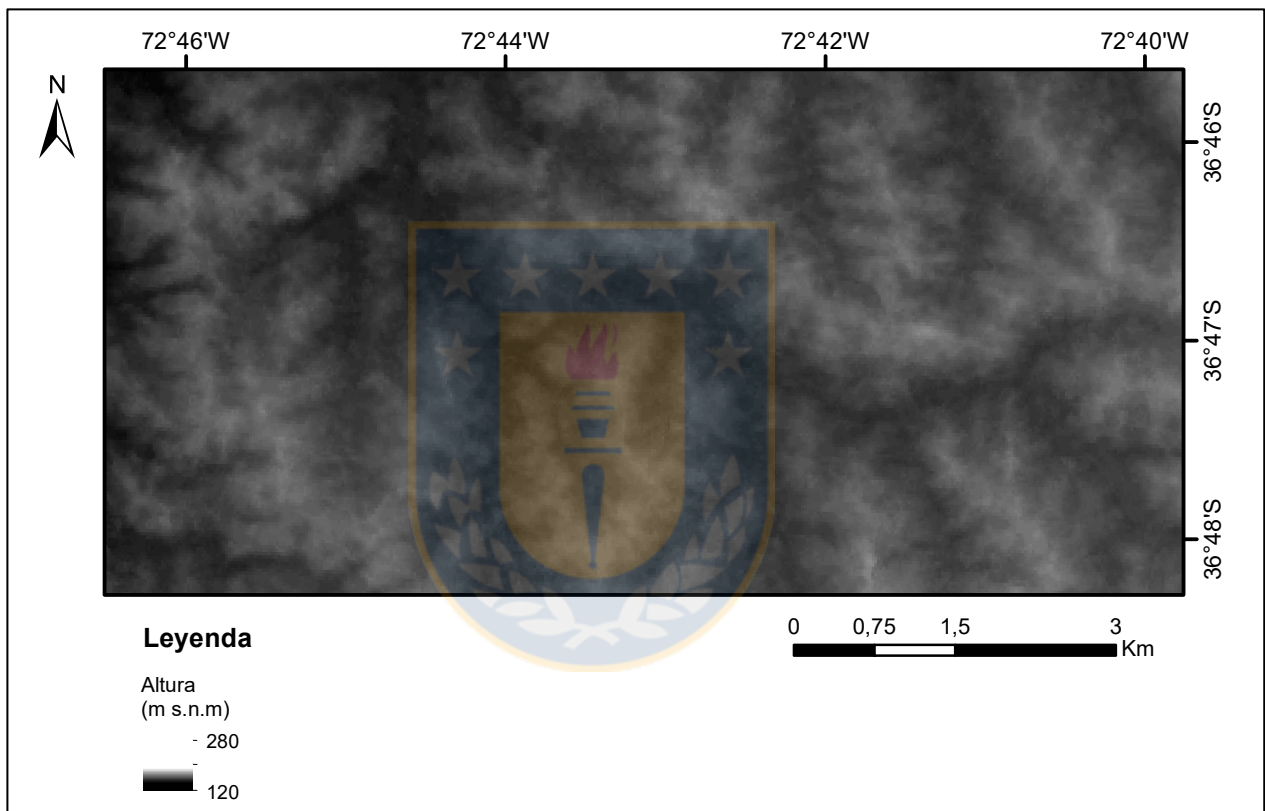


Figura 1.4: Mapa drenaje del área de estudio Estero Lajuela-Retamo. Muestra la forma dendrítica de la cuenca.

Por otro lado el clima influye en la forma en que se disponen los depósitos de placeres de oro. Las zonas de acumulación de minerales pesados detectadas en invierno versus las detectadas en verano varían en tamaño y disposición influidos principalmente por acción de las aguas. En invierno se presenta la mayor cantidad de precipitaciones anuales, por lo que el caudal del estero se ve aumentado al igual que su energía, de esta forma favorece el transporte de minerales pesados y a la vez erosiona placeres creados con anterioridad y los deposita río abajo. En verano solo se presentan entre un 5 – 6 % de las precipitación total anual, el estero tiene un caudal menor

y de baja energía lo que no favorece el transporte de minerales pesados de interés económico. A pesar de esto, en verano se pueden observar y detectar con mayor facilidad los depósitos antiguos.

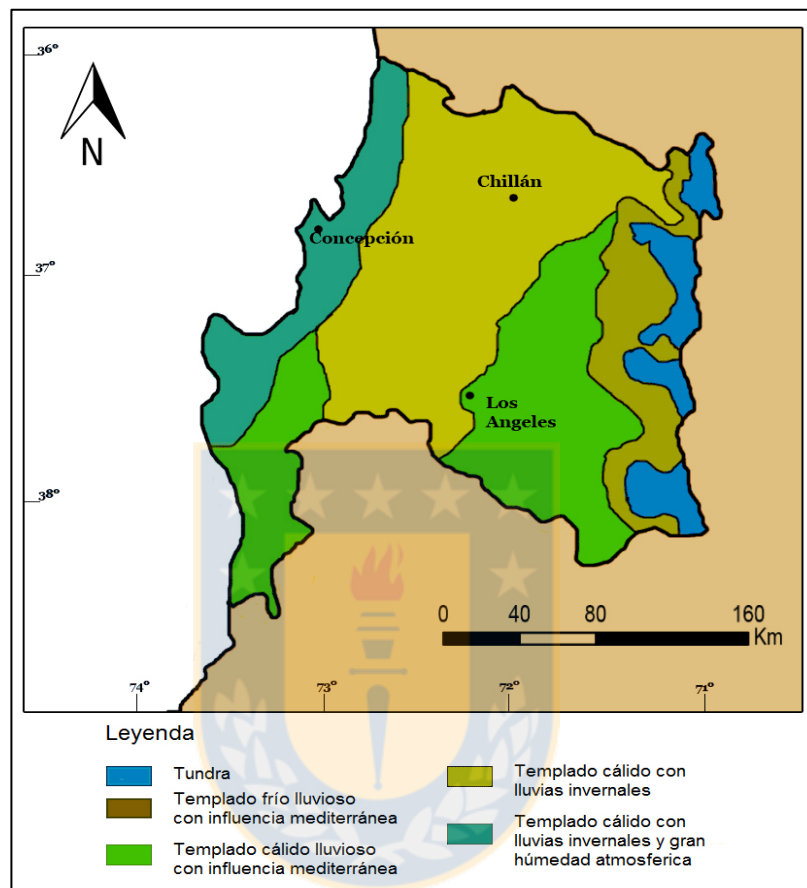


Figura 1.5: Mapa de climas de la Región del Biobío.

Por otro lado el clima influye en la forma en que se disponen los depósitos de placeres de oro. Las zonas de acumulación de minerales pesados detectadas en invierno versus las detectadas en verano varían en tamaño y disposición influidos principalmente por acción de las aguas. En invierno se presenta la mayor cantidad de precipitaciones anuales, por lo que el caudal del estero se ve aumentado al igual que su energía, de esta forma favorece el transporte de minerales pesados y a la vez erosiona placeres creados con anterioridad y los deposita río abajo. En verano solo se presentan entre un 5 – 6 % de las precipitación total anual, el estero tiene un caudal menor y de baja energía lo que no favorece el transporte de minerales pesados de interés económico. A

pesar de esto, en verano se pueden observar y detectar con mayor facilidad los depósitos antiguos.

1.6. Trabajos anteriores

Brüggen (1950) en su texto “Fundamentos de la Geología en Chile” realiza una de las primeras descripciones de las rocas paleozoicas chilenas señalando que las más antiguas se encontrarían en la zona centro-sur del país en la Cordillera de la Costa.

Muñoz-Cristi (1956) define la Formación Curanilahue con sus tres miembros: Lota (continental), intercalación (marino) y Colico (continental). Y a la vez las formaciones Boca Lebu, Trihueco y Millongue del Terciario de la Península de Arauco.

Schultz (1964) estudia la geología regional de Concepción, realizando el mapa geológico de Punta Tomé donde realiza perfiles y caracteriza unidades litológicas.

González-Bonorino y Aguirre (1970) describen el basamento cristalino de Chile entre los 34°-41° latitud S definiendo tres serie metamórficas: Zona Pichilemu, Zona Curepto y Zona Nirvilo, diferenciadas por las estructuras y el tipo de metamorfismo, principalmente la presión de cada una, siendo intermedia – baja, intermedia – alta y baja respectivamente.

Aguirre y otros (1972) define el cinturón metamórfico pareado compuesto por dos series: Serie Occidental con una razón P/T alta y la Serie Oriental con razón P/T intermedia, ambas estarían ligadas genética, espacial y temporalmente. Existiendo entre ellas una extensa zona de sutura de elongación NS (Ernst, 1975).

Hervé (1977) estudia el protolito de la Serie Oriental del Basamento Cristalino, concluyendo que estaría relacionado con secuencias turbidíticas que fueron afectadas posteriormente por un metamorfismo polifásico.

Gajardo (1981) caracteriza la geología de la Hoja Concepción – Chillán en escala 1:250.000 y señala la existencia de intrusivos de edad jurásica en la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa del sector.

Biró-Bagóczy (1982) definió la secuencia marina de la costa de la Región del Biobío con el nombre de Formación Quiriquina, asignándole una edad Campaniano – Maastrichtiano y dando como localidad tipo Bahía las Tablas al NW de la Isla Quiriquina.

Hervé (1988) realiza una síntesis litológica, estructural y geocronológica del Basamento Cristalino del S de Chile e interpreta su génesis y emplazamiento en el marco de la tectónica de placas.

Greiner (1991) divide los placeres de oro de Chile en forma práctica en cuatro grupos diferenciados por las rocas a las que están asociados y su edad, para cada grupo indica características someras de las partículas de oro, leyes medias de los depósitos y cuando era posible, volumen. El autor clasifica a los lavaderos de la Cordillera de la Costa y del Valle Central entre las regiones de Valparaíso y de Los Lagos, entre los cuales se encuentra Poñén, como depósitos relacionados con esquistos micáceos y/o cuerpos intrusivos graníticos paleozoicos.

Pincheira y otros (1991) estudian bibliográfica y preliminarmente los depósitos de tipo placer de la Región del Biobío, clasificándolos por su carácter de atractivos como no atractivos para futuras explotaciones.

Collao y otros (2000) divide los placeres de oro de la Región del Biobío en los depositados en la Cordillera de la Costa y los cercanos a la Cordillera de los Andes. Basándose en recopilación bibliográfica clasifican los placeres de la región como atractivos con ley media superior a $0,5 \text{ gr/m}^3$, no atractivos con ley media inferior a $0,5 \text{ gr/m}^3$ y placeres con insuficiente información para ser evaluados.

Creixell (2001) en su Memoria de Título realiza un estudio petrográfico, mineralógico y geoquímico de las rocas del Batolito costero entre los $36^{\circ}30'$ – 38°S distinguiendo en él tres subunidades: Tonalitas Santa Juana, Granitoides de Nahuelbuta y Granitoides de Concepción, reconociendo dos ciclos magmáticos principales.

Vásquez (2001) estudia en su memoria de título las características petrográficas, mineralógicas y geoquímicas del Basamento Metamórfico desde la Concepción hasta la Cordillera de Nahuelbuta. Estudiando en detalle los metamorfismo de tipo Buchan y Barroviano del sector.

Collao y otros (2009) reportan hallazgos de uraninita, mineral de U, en el sector de pegmatitas cercanos a la comuna de Florida y recomiendan su posterior estudio.

Stange (2011) realiza un estudio del posible origen de los principales placeres de oro de la Cordillera de la Costa de la Región del Biobío, incluyendo en su estudio el sector de Florida.

Lagos y otros (2015) presentan un catastro actualizado de recursos mineros aluviales de oro en Chile con el objetivo de incentivar el desarrollo de la exploración y explotación de este tipo de yacimientos. Generan además un sistema de evaluación del potencial de este tipo de depósitos.

1.7. Agradecimientos

Agradezco a mi Profesor Patrocinante Dr. Marcos Pincheira, la profesora Dra. Fernanda Álvarez, al profesor Luis Vásquez, los geólogos y personal de la Empresa Nacional de Minería por su gran aporte en los aspectos teóricos y salidas a terreno, por su trato agradable y disponibilidad frente a cualquier duda o ayuda que necesitara.

A todos los profesores del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción por su ejemplo de amor y pasión por la geología.

A la mujer más importante de mi vida, una como ninguna otra y que sin ella no habría sido capaz de llegar a este punto profesional, mi madre. Ella estuvo conmigo en los periodos más lindos de esta carrera pero sin duda también en los más oscuros y tristes. Sin sus palabras de aliento y ejemplo de esfuerzo no sería la mujer y profesional que soy hoy. Gracias por tanto mamá.

A Sebastián, mi amigo, amor y apoyo. Gracias por ser mi roca y mi hogar.

Por otro lado quisiera darle las gracias a mi compañero incondicional de memoria Daniel Carvajal por su gran compañerismo y aportes a lo largo de todo este proceso.

Agradezco finalmente a mi grupo de amigos y compañeros de la universidad, por estar en momentos de estudio y estrés tanto como de fiesta y alegría. Especialmente a mis amigos de PDA quienes siempre tendrán un espacio en mi corazón.



2. MARCO GEOLÓGICO

2.1. Generalidades

Las rocas más antiguas presentes en el área de estudio pertenecen al Basamento Cristalino de la Cordillera de la Costa del Paleozoico Superior (Cartes, 2004). Corresponden en su lado W a rocas metamórficas dispuestas en dos cinturones paralelos denominados Serie Occidental y Serie Oriental y hacia el E al Batolito de la Costa Sur, intruyendo a las rocas metamórficas y compuesto principalmente por tonalitas y granodioritas de hornblenda y biotita. Las rocas estratificadas del área sobreyacen en inconformidad al basamento y corresponden a la Formación Quiriquina, formación de ambiente marino y edad cretácica, a la Formación Curanilahue de ambiente continental y paleógena y a las formaciones Andalién y Huachipato. Depósitos no consolidados y semi consolidados se pueden observar en la zona de estudio, principalmente en la costa como depósitos litorales y en los ríos y desembocaduras como depósitos fluviales (Figura 2.1).

2.2. Rocas metamórficas

El basamento metamórfico chileno del Paleozoico Superior aflora discontinuamente entre los 34° y 37° latitud S y de forma continua entre los 37° y 43° latitud S con 800 km de largo y 30 km de ancho (González-Bonorino, en Cartes, 2004). Se reconoce un cinturón metamórfico pareado. Las dos series que lo forman se diferencian por sus litologías, asociaciones mineralógicas, protolito y condiciones de metamorfismo en Serie Oriental y Serie Occidental. Ambas serían complejos de subducción acrecionados al borde occidental de Gondwana donde se habría desarrollado ambientes termales duales (Brown, 2010).

2.2.1. Serie Occidental

La Serie Occidental aflora entre los 34°-43° latitud S de manera discontinua y su aparición en el área de estudio es discutida. Se compone de esquistos micáceos, metachert ferruginosos, esquistos de cuarzo-feldespatos, cuarcitas y en menor medida serpentinitas (Glodny y otros, 2008). Su metamorfismo es de alto P/T correspondiendo a una etapa transicional entre las facies de esquistos verdes y localmente esquistos azules (Collao y otros, 2000), lo que es posible observar

por la presencia de glaucófano a lo largo de toda la serie y de lawsonita en Chiloé (Aguirre y otros, 1972). El protolito de la serie corresponde a rocas sedimentarias pelíticas a semipelíticas y volcánicas basálticas de afinidad toleítica, alcalina y calcoalcalinas, su edad se encuentra entre el Devónico Temprano-Pérmico Temprano (Willner y otros, 2005). La edad del metamorfismo, por otro lado, se encuentra entre Carbonífero – Triásico Inferior. La Serie Occidental se divide en dos unidades: Unidad Tirúa y Unidad Nahuelbuta. La primera formada por metabasitas, esquistos micáceos y metachert manganíferos y la segunda por secuencias de esquistos cuarzo-feldespáticos con granate, esquistos micáceos y metachert ferruginosos (Collao y Montecinos De Almeida, 1996).

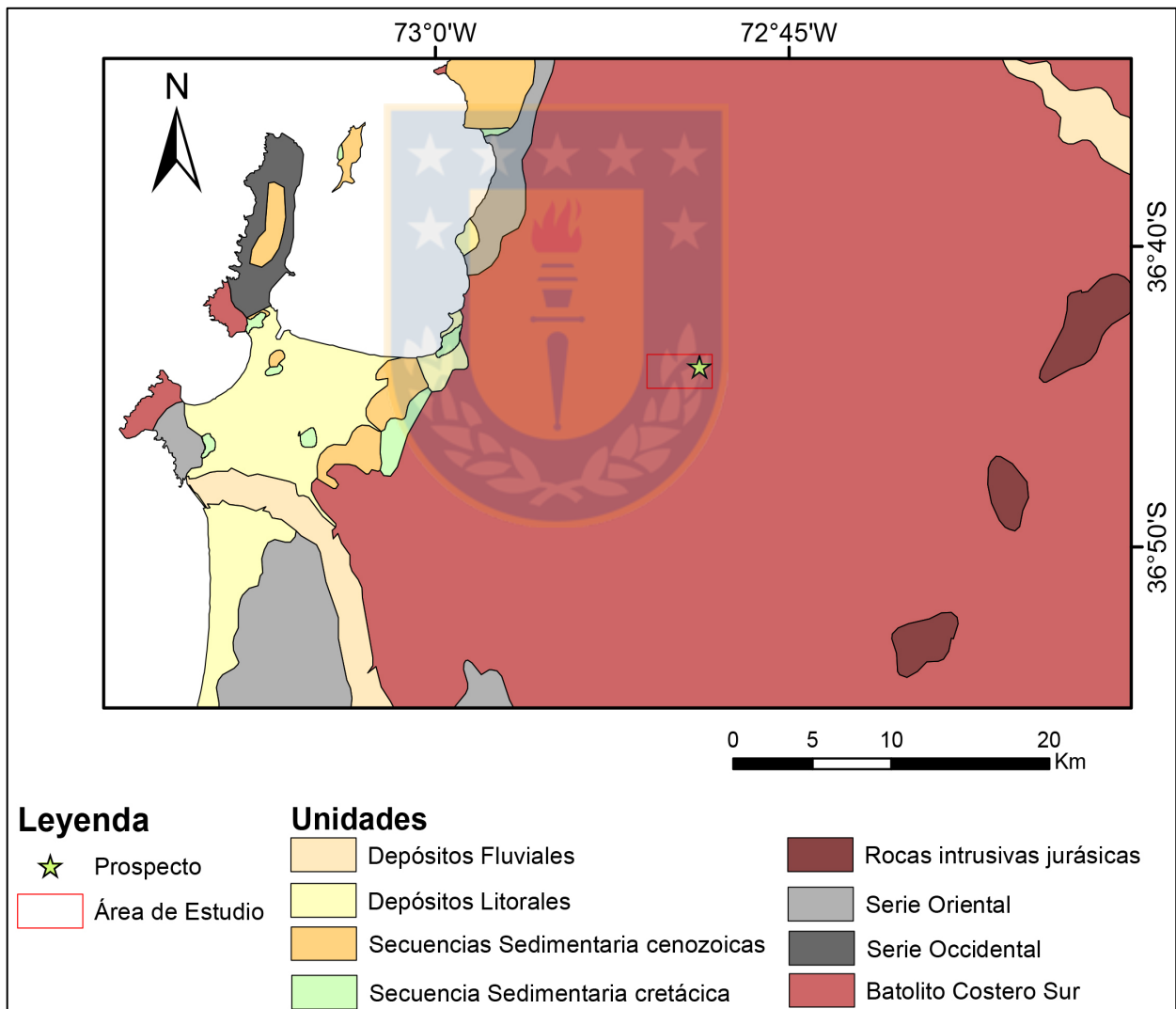


Figura 2.1: Mapa geología regional. Modificado de Collao y otros (2000).

2.2.2. Serie Oriental

Esta Serie aflora entre los 32°30' – 38° S de manera continua, al S de los 39° de latitud S aflora de manera dispersa en la zona pre-andina entre los lagos Calafquen y Ranco (Martín y otros, 1999). Está compuesta metagrauvascas, filitas, hornfels y gneiss (Hervé, 1977), aunque según Burón (2003) las rocas varían entre esquistos y gneiss migmatíticos en el contacto con el intrusivo y entre pizarras y filitas al alejarse de él. La Serie Oriental representa un metamorfismo de bajo P/T y ha sufrido dos eventos de deformación: primero un metamorfismo regional de tipo Barroviano de baja temperatura y alta presión generado por acreción frontal hace 350 Ma y provocando la foliación S_1 paralela a S_0 y luego un metamorfismo de contacto de tipo Buchan producto de la intrusión del Batolito Costero a los 320 Ma provocando acreción basal a los 330 Ma y generando así la foliación S_2 que se superpone a la S_1 (Hervé, 1977). Dependiendo de la cercanía al cuerpo magmático se pueden observar diferentes zonas mineralógicas: Biotita, Andalucita y Sillimanita (Willner y otros, 2005). El protolito de la serie sería de origen marino profundo y reductor, se indica esto por la observación de secuencias turbidíticas y relictos de minerales de ambientes de escaso oxígeno como pirita (Cartes, 2004).

2.3. Rocas intrusivas

2.3.1. Plutonismo Paleozoico

2.3.1.1. Batolito Costero Sur

El Batolito Costero Sur fue definido por Hervé y otros (1987), aflora con orientación NNE-SSW entre los 32°30' – 38° de latitud Sur formando la Cordillera de la Costa de la zona centro-sur de Chile. Está en contacto con las rocas de la Serie Oriental del Basamento Metamórfico ya que se encuentra intruyéndolas y causando en ellas un metamorfismo de contacto explicado anteriormente, se pueden observar migmatitas con bandas gneisicas de sillimanita y/o xenolitos de la roca caja en sectores cercanos al contacto (Creixell, 2001). A su vez se encuentra infrayaciendo a las rocas sedimentarias posteriores en inconformidad. Está compuesto mayoritariamente por granitoides calcoalcalinos del Carbonífero tardío – Pérmico (Hervé y otros, 2007) como tonalitas y granodioritas de biotita y hornblenda con textura dominante de grano grueso (Parada, 1990 en Creixell 2001). Las rocas presentan una variación lateral, en el centro se

encuentran las granodioritas y tonalitas mientras que hacia la periferia aparecen cuerpos más diferenciados como granitos de muscovita y biotita y pegmatitas.

La edad del Batolito Costero por dataciones radiométricas fluctúa entre Carbonífero – Pérmico, edades de enfriamiento K-Ar obtenidas en sus rocas fluctúan entre los 242 – 296 Ma siendo similares a la cristalización U-Pb y Rb-Sr lo que permite inferir un enfriamiento rápido por un emplazamiento poco profundo (Hervé, 1988).

Hacia su parte oriental el Batolito Costero es intruido por plutones de edad probablemente jurásica (Ferraris, 1981; Gajardo, 1981) y por diques lamprófidos en Yumbel (Bizama, 1998, en Vásquez, 2001).

2.3.2. Plutonismo Triásico

Su principal afloramiento en el área de estudio es en la Península de Hualpén, donde el intrusivo fue definido por Creixel (2001) como Plutón Hualpén. Está compuesto por monzogranitos y monzonitas leucocráticas con texturas alotromórficas granular de grano medio y diques aplíticos y dacíticos de anfíbol (Velásquez, 2012) con características similares a excepción de granates que presentan las aplitas (Creixell, 2001). Este plutonismo presenta un emplazamiento de reducida extensión y de características epizonales con profundidades de hasta 10 km, presión de 2 kbar y temperaturas de 800°C (Creixell, 2001). Vásquez y Franz (2008) analizan los isótopos de Nb, Sr y Pb en rocas del plutón y propone una fuente cortical con influencia del manto, explicado por la fase extensiva Fini Hercínica que produjo un adelgazamiento de la corteza.

La edad se obtuvo por Hervé y otros (1988) por dataciones de K – Ar en biotitas de edad 215 ± 4 Ma en Lengua y posteriores dataciones de K – Ar en biotitas en el sector de la Península de Hualpén de Lucassen y otros (2004) coincidiendo con 220 ± 4 Ma.

2.3.3. Plutonismo Jurásico

Intruyen al Batolito Costero paleozoico en la zona E del área y hacia el S a las formaciones sedimentarias y volcánicas triásicas, aflorando principalmente en los cerros de mayor altura entre los 36° y 37° latitud S (Gajardo, 1981). Se disponen como una franja discontinua con orientación NNE-SSW. Su litología es principalmente de granodioritas de grano medio (Gajardo, 1981, en

Velásquez, 2012) con leucogranitos, dioritas y gabros subordinados (Parada, 1990 en Velásquez, 2012). En la Región del Maule los plutones jurásicos intruyen a rocas sedimentarias y volcánicas triásicas de la Formación Patagua generando en ellas una aureola de contacto con alteración silíceo y recristalización de la matriz sedimentaria y formación de pirofilita (Hervé y Munizaga, 1978). En esas mismas rocas se realizaron dataciones radiométricas entregando edades K – Ar en roca total de 207 Ma y en biotitas de 172 Ma. Se interpreta como un magmatismo Triásico Superior – Jurásico con carácter bimodal ácido – básico.

2.4. Rocas estratificadas

2.4.1. Formación Quiriquina

Redefinida por Biró-Bagóczy (1982), quien designa como localidad tipo la Bahía Las Tablas o Cucaracha al NW de la Isla Quiriquina. A su vez se define una parlocalidad tipo en las costas de Cocholgüe al N de la ciudad de Tomé. La unidad aflora en las costas chilenas desde Algarrobo al N hasta la península de Arauco en el S (Salazar y otros, 2010). Se encuentra sobreyaciendo a las rocas del basamento metamórfico en inconformidad e infrayaciendo a la Formación Curanilahue con contacto erosivo en paraconformidad.

En Bahía Las Tablas se distinguen cuatro tipos litológicos de base a techo: conglomerado basal, arenisca amarillas, niveles de coquina y areniscas con concreciones calcáreas (Salazar, 2004). En Caleta Cocholgüe, por otro lado, se registra de base a techo un conglomerado basal, coquinas con bivalvos (*Cardium* sp., *Ostrea* sp.) y dientes de tiburón (*Lamna* sp., *Oxyhina* sp.) y areniscas verdes con concreciones calcáreas y fuertemente bioturbada (Biró-Bagóczy, 1982). En su localidad tipo tiene un espesor de 65,5 m (Salazar, 2004), sin embargo Biró-Bagóczy (1982) calcula un espesor de 139,2 m. Los estratos que la conforman se encuentran basculados con un ángulo de 15°SW (Stinnesbeck y otros, 2003).

El ambiente de depositación corresponde a una secuencia siliciclástica transgresiva con influencia de tormentas, desde el intermareal hasta el submareal, por lo tanto sería un ambiente relativamente profundo (Stinnesbeck y otros, 2003), la formación presenta una gradación en su ambiente de depositación, siendo en estados más tempranos una secuencia progresiva y regresiva en los tardíos.

Se asigna su edad en base a los fósiles hallados en ella por diferentes autores, Hünicken y Covacevich (1975) la acotan a Maastrichtiano por la comparación global de ammonites, Biró-Bagóczy la define como Campaniano – Maastrichtiano y finalmente Salazar (2004) la restringe a la parte superior del Maastrichtiano Inferior hasta la parte superior del Maastrichtiano Superior sin alcanzar el fin de este piso cretácico. Las correlaciones de la Formación Quiriquina se hacen en base a su contenido faunístico de ammonites con la parte superior de la Formación López de Bertodano en Isla Seymour en la Antártica.

2.4.2. Formación Curanilahue

La formación fue definida por Muñoz-Cristi (1946) inicialmente como Piso Curanilahue, siendo redefinida en 1956 a Formación Curanilahue. Su localidad tipo es la ciudad del mismo nombre al W de la Cordillera de Nahuelbuta en la meseta de Arauco, aflora en la costa oriental de la bahía de Arauco, Lota, Coronel, Río Carampangue, Trongol, Colico y Pilpilco, paralelamente a las rocas sedimentarias cretácicas. Se encuentra sobreyaciendo a la Formación Quiriquina en paraconformidad e infrayaciendo en su sector oriental a la Formación Boca – Lebu en paraconformidad (Pineda, 1983) y a los depósitos cuaternarios en discordancia angular.

Litológicamente está constituida por areniscas en parte conglomerádicas y arcillas asociadas a mantos carboníferos donde se intercalan areniscas verdes fosilíferas (Pineda, 1983). Se divide en tres miembros por sus diferentes ambientes de depositación, de base a techo: Miembro Lota (continental), Miembro Intercalación (marino) y Miembro Colico (continental). Su espesor total correspondería a 500 m (Muñoz-Cristi, 1956) estos miembros estarían basculados con un ángulo de 15°SW.

La Formación Curanilahue corresponde a una secuencia principalmente regresiva permitiendo así la acumulación de carbón en los miembros Lota y Colico, estos estarían relacionados con un ambiente fluvial lagunar y pantanoso, mientras que el Miembro intercalación correspondería a un ambiente marino somero (Pineda, 1983).

Se correlaciona por sus características litoestratigráficas con la Formación Cerro Alto (Frutos y otros, 1982) que aflora en Punta Amarilla, Las Chilcas, Ensenada de los Cuervos y la punta meridional de la Isla Quiriquina. Corresponde a areniscas, limolitas y conglomerados con niveles

de carbón y ambiente marino litoral. Su espesor máximo es de 90 m y fue depositada durante el Eoceno (Muñoz-Cristi, 1946).

Junto con la formación anterior también aflora en el área de estudio la Formación Cosmito, correlacionable con la Formación Curanilahue. Definida por Galli (1967) con área tipo entre las cuencas de Concepción y Arauco, aflorando en los cerros de Concepción y Talcahuano cubierta por rocas sedimentarias pliocenas y cuaternarias. Se compone de lutitas, areniscas, conglomerados y mantos de carbón de ambiente lagunar – costero asociado a pantanos y dunas litorales. Su espesor máximo es de 300 m y se le asigna una edad de Eoceno (Galli, 1967).

2.4.3. Formación Andalién

Galli (1967) define esta formación designando como localidad tipo “las serranías bajas distribuidas entre Cerro Verde, al W de Concepción y Penco”. Aflora en los sectores del Cerro Bellavista en Penco, Lomas de San Sebastián, Cerros de Cosmito y Laguna Redonda. Se encuentra sobreyaciendo en discordancia angular a la Formación Curanilahue y Quiriquina e infrayaciendo de la misma manera a la Formación Huachipato.

La secuencia que conforma esta formación está compuesta por capas homoclinales no plegadas de areniscas y conglomerados altamente meteorizados y fragmentados con clastos subredondeados polimícticos. El mayor espesor medido es de 30 m.

Su estratificación torrencial se asocia a un ambiente continental de piedemonte (Galli, 1967) con aporte de rocas metamórficas e intrusivas que se encuentran en proceso de erosión en un contexto tectónico inestable.

La Formación Andalién se correlaciona con la Formación Tubul en la península de Arauco por su disposición horizontal (García, 1966, en Galli 1967). Brügger anteriormente (1950, en Galli, 1967) propuso una similitud entre esta secuencia y las de las terrazas miocenas de la misma península de Arauco, por lo que Galli une estas observaciones y da como edad máxima para la formación el plioceno. Posteriormente García (2004) le asigna una edad Oligoceno-Mioceno.

2.4.4. Formación Huachipato

Definida por Galli en 1967, debe su nombre a la planta Huachipato (CAP) situada a 3 km al S de Talcahuano. Su localidad tipo se encuentra en la llanura situada entre la Bahía de Concepción, de San Vicente, el Río Biobío, los escarpes de la Cordillera de la Costa y la Península de Tumbes. La Formación Huachipato sobreyace en inconformidad al Basamento Cristalino y a la Formación Andalién en discordancia angular e infrayace de la misma forma a los sedimentos no consolidados y semi consolidados.

Se encuentra constituida por capas de arenas finas a muy gruesas intercalados en algunos sectores con capas de limo gris y castaño de arcillas, se reconocen en ella depósitos de playa antiguos con horizontes de fósiles terrestres y marinos (Galli, 1967). La mayor potencia medida por el autor que definió la formación fue de 40 m, sin embargo, indica que bajo el centro de Concepción probablemente alcance los 160 m de espesor, los estratos se encuentran manteando levemente hacia el W.

Debido a la presencia de fósiles tanto marinos como terrestres se atribuye a la formación un ambiente de sedimentación mixto. Foraminíferos como *Bucella peruviana* sp. y *Trochammina inflata* sp. y restos de plantas y semillas indican un ambiente marino costero, lagunar y estuarial tanto como continental.

Martínez Pardo (en Galli, 1967) reconoce tres biofacies a través de foraminíferos, cuyo período de desarrollo fue hace 11500 – 1500 años por lo que le asigna a la formación una edad Pleistoceno Superior – Reciente (?). Dado a que los limos y arenas aún se están transportando y depositando por el Río Biobío se demuestra la edad Pleistoceno Superior – Reciente (García, 2004).

2.4.5. Depósitos semi consolidados y no consolidados

Los depósitos cuaternarios se disponen principalmente en la zona W y a lo largos de los ríos de la región. En la costa se encuentran los depósitos litorales que conforman variados niveles de terrazas, dunas y playas. Se han reconocido arenas silíceas que corresponden a sedimentos clásticos compuestos principalmente por cuarzo, feldespatos, micas, líticos y arcillas (Mendoza,

2001) y arenas negras titaníferas en planicies costeras provenientes de meteorización de rocas principalmente metamórficas e ígneas portadoras de Fe y Ti (Collao y otros, 2000). A lo largo de los ríos Biobío, Itata, Andalién, Pingueral y sus esteros se depositan sedimentos de tipo fluvial, principalmente en terrazas y barras. La procedencia de estos materiales sería de rocas aflorantes en la Cordillera de la Costa y de los Andes. Por otro lado se observan depósitos aluviales y coluviales de gravas y arenas modernas sobre la mayoría de las unidades anteriores.

Todas estas secuencias se encuentran sobreyaciendo a las rocas sedimentarias cretácicas y cenozoicas y al basamento cristalino en discordancia angular (Mendoza, 2001).

2.5. Marco tectónico

La zona de estudio ha sido parte de un margen continental activo durante la mayor parte de su historia, desde el Neoproterozoica hasta finales del Paleozoico fue afectada por alternancia de regímenes de compresión y extensión y como resultado de ello hubo periodos en que se acrecionaron terrenos haciendo que el arco magmático migrara hacia el W y otros de *rifting* y formación de cuencas de extensión (Jara y Charrier, 2014). El debatido terreno de Chilenia, correspondería a las rocas de la Región del Biobío (Ramos y otros, 1986) y habría sido acrecionado durante el Ordovícico tardío – Devónico temprano teniendo como evidencia al Complejo de Guarguaraz y la fase Chánica (Ramos, 2010; Willner y otros, 2011). Posterior a la acreción de Chilenia comienza un periodo de margen continental pasivo (Mpodosis y Ramos, 1990 en López, 2002) en donde se depositan los sedimentos que componen el protolito de la Serie Oriental y Occidental, evidencia del desarrollo de un prisma de acreción en el  rea (Hervé, 1977). Hacia el Carbonífero Inferior se produce un *peak* compresional asociado a la reactivación de la subducción que genera la orogenia San Rafael y metamorfismo durante el Carbonífero Superior en las secuencias depositadas en el margen pasivo, la parte oriental se vio afectada por un metamorfismo de bajo grado en relación a su P/T mientras que la occidental por un grado mayor producto de la intrusión durante el Pennsylvaniano del Batolito Costero Sur a partir de la fusión parcial de la cuña del manto. Durante el Pérmico la fase Fini-Hercínica se hace presente en las rocas metamórficas del sector provocando un fuerte plegamiento regional. Según Charrier y otros (2007) se produce un cambio en este periodo en la subducción producto de una delaminación del *slab* y anatexia, generando que esta cese o al menos disminuya en su velocidad de convergencia.

La etapa que comprende el final del Triásico e inicios del Jurásico está caracterizada por una extensión en el margen SW de Gondwana, generando así una apertura en el continente y gran creación de cuencas sedimentarias de trasarco con orientación NW-SE, evidencia de esto son la Formación Santa Juana y la cuenca Biobío – Temuco (Charrier y otros, 2007). El magmatismo asociado al Triásico aprovecha estas zonas de debilidades para emplazarse en forma de diques de composición dacítica y andesítica.

La subducción vuelve a reactivarse con un alto ángulo de tipo Mariana, lo que provoca un régimen extensional en el trasarco y numerosas cuencas que se cierran hacia el Cretácico (Charrier y otros, 2007). La fase compresiva Sub-Hercínica actúa en el Cretácico Inferior – Superior plegando las rocas triásicas con dirección principal del eje NNE-SSW que posteriormente serán replegadas por la Fase Larámica con dirección del eje NNW-SSE, evidencia de esto es la Formación Santa Juana. Ya en el Cretácico Superior el contexto tectónico vuelve a cambiar, la subducción continua pero esta vez con un ángulo menor y mayor velocidad de convergencia de tipo Chilena. Este provoca un cambio de régimen en el trasarco hacia una compresión, lo que alza y erosiona las unidades depositadas anteriormente y provoca una discontinuidad (Charrier y otros, 2007). Hacia finales del Cretácico Superior se producen cambios en el nivel del mar producto probablemente de una subsidencia lo que genera una cuenca marina somera en las costas del área de estudio provocando la depositación de la Formación Quiriquina.

La historia cenozoica temprana del sector se centra en el antearco, escenario de una serie de alzamientos y subsidencias de carácter local (Reuther y otros, 2003) indicando que los sedimentos que se depositaron en este periodo lo hicieron en un régimen extensional (Charrier y otros, 2007). Durante el Eoceno inferior y el Eoceno medio – superior se genera una serie de transgresiones y regresiones importantes en el área generando de esta manera secuencias prógradas y retrógradas representadas en el relleno de la Cuenca de Arauco con secuencias tanto marinas como continentales (Pineda, 1983; Charrier y otros, 2007). Posteriormente en el Oligoceno se quiebra la Placa Farallón comenzando a actuar la Fase Incaica que genera un aumento en la velocidad de convergencia y la tectónica de horst y graben con fallas normales con orientación NNW – SSE, hacia el Mioceno la Fase Quechua distensiva sector (Camus, 2003)

bascula en un ángulo aproximado de 15-25°W a las formaciones cretácicas y cenozoicas del sector.

Desde el Plioceno y hasta el Reciente la zona presenta un constante y paulatino alzamiento, produciendo la emersión de la Península de Arauco y la Bahía de Concepción. Bajo un ambiente de tipo fluvial se han depositado la mayoría de las secuencias sedimentarias neógeno – cuaternarias. En los sectores costeros la erosión de rocas graníticas y secuencias ricas en cuarzo forman bancos de arenas silíceas, mientras que la erosión de rocas metamórficas y de edificios volcánicos provenientes de la Cordillera de Los Andes forman bancos de arenas basálticas.



3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE PLACERES DE ORO

3.1. Generalidades

Los depósitos de tipo placer presentan generalmente baja ley (0,05 – 0,25 g/ton Au) y pequeñas dimensiones, aun así son los más atractivos para la pequeña minería por presentarse en acumulaciones no consolidadas por lo que los costos de producción son relativamente bajos y de resultados rápidos. Esta minería no exige preparaciones costosas para su explotación, tratamiento o concentración, presenta bajo impacto ambiental y rehabilitación natural en tiempos relativamente cortos.

Estos depósitos son de tipo alóctonos y corresponden a yacimientos formados por procesos mecánicos, derivan de la meteorización y erosión de rocas y venas ricas en minerales preciosos, seguidos por el transporte y concentración de los minerales liberados por la acción de corrientes de agua. Por lo tanto son usualmente encontrados en lugares donde la velocidad del agua o corriente ha disminuido, ya que esto produce que la capacidad de transporte que tienen los cursos decrezca dando como resultado la depositación de la carga pesada normalmente compuesta por arenas, gravas y minerales de alta densidad resistentes a la acción química y física.

Para que un mineral sea acumulado en las condiciones antes mencionadas, tiene que contar con algunas propiedades físicas y químicas, descritas a continuación:

- Alta densidad: el peso específico de los minerales debe ser elevado, es decir, más alto que las rocas o minerales comunes. Se toma como una densidad alta la mayor a $2,7 \text{ g/cm}^3$.
- Resistencia mecánica: la dureza del mineral debe ser preferentemente alta y/o presentar una mayor dificultad para fracturarse o mayor maleabilidad.
- Resistencia química: en general este tipo de minerales son inertes a ataques químicos comunes presenten en el agua, no se disuelven ni oxidan fácilmente.

El caso más común y explotado es el de las arenas auríferas en ríos, sin embargo existen otros minerales (Tabla 3.1) de interés económico que se encuentran yaciendo en placeres. Algunos de estos minerales como el caso del Au y los platinoides poseen baja dureza, lo que parece ir en contradicción con las propiedades de resistencia mecánica que deben tener para depositarse en

placeres, en estos casos su elevada densidad compensa la escasa dureza ya que dificulta el transporte y por lo tanto el desgaste mecánico por abrasión. Otro factor que aumentaría su resistencia es la maleabilidad, haciéndolos menos propensos a la trituración por choque con el material clástico que los acompaña.

Tabla 3.1: Minerales típicos en placeres. Minerales resistentes a acción química y física formadores de placeres con sus respectivas fórmulas químicas, dureza y densidad.

Mineral	Fórmula Química	Dureza (Escala de Mohs)	Densidad relativa (g/cm ³)
Apatito	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F, Cl, OH)	5	3,2
Casiterita	SnO ₂	6-7	7
Cianita	Al ₂ SiO ₅	4-7	3,66
Circón	ZrSiO ₄	7,5	3,9 – 4,8
Corindón	Al ₂ O ₃	9	3,98 – 4,1
Cromita	FeCr ₂ O ₄	5,5	4,6
Diamante	C	10	3,5
Espinela	MgAl ₂ O ₄	7,5 – 8	3,5
Estaurolita	(Fe ⁺²) ₂ Al ₉ O ₆ (SiO ₄) ₄ (O, OH) ₂	7 – 7,5	3,74 – 3,83
Ilmenita	FeTiO ₃	5,5 – 6	4,7
Magnetita	Fe ₃ O ₄	5 – 6,5	5,2
Monacita	(Ce, La, Nd, Y, Th) PO ₄	5 – 5,5	4,6 – 5,4
Oro	Au	2,5	19,3
Plata	Ag	2,5-3	10,5
Platino	Pt	4 – 4,5	21,45
Rutilo	TiO ₂	6 – 6,5	4,2 – 5,6

Son económicamente rentable diversos tipos de placeres especialmente los que contienen oro, platino, diamante y estaño. Los montes Urales contienen depósitos ricos en platino, en Sudáfrica por otro lado son ricos en diamantes y conocidos son los abundantes placeres auríferos de Alaska en Estados Unidos. En Malasia e Indonesia se extrae la mayor cantidad de casiterita, mena de estaño.

3.2. Tipos de placeres

Existen en la literatura variadas clasificaciones para placeres de minerales preciosos, los más conocidos son los de Brooks (1913) dividiéndolos por la posición actual del depósito en comparación al cauce del río en terrazas actuales, colgantes y paleoplaceres. Jenkins (1946), los clasifica según las condiciones del medio en el que fueron depositados, siendo estos residuales, eluviales, aluviales, glacial, eólico y de playa. Thiebaut (1952) que caracteriza los placeres según su ley media y Heuschmidt (1986) separándolos en función de la época de formación. Para objetivos de esta Memoria se hace uso de la clasificación genética hecha por Makshev (2001): residuales, eluviales, aluviales, eólicos, de playa y paleoplaceres. A continuación se describen las características de cada uno:

3.2.1. Placeres residuales

Tipo de placer en que predominan los fenómenos químicos sobre los físicos. Se originan a partir de zonas enriquecidas o pre-enriquecida en minerales pesados y se acumulan inmediatamente encima o muy cercano a la roca madre. Son el resultado de la eliminación de los minerales de ganga o más débiles a la meteorización por acción del viento o lluvia y no a una concentración debido a un transporte de los materiales pesados. Suelen ser relativamente pequeños y no tener mayor importancia económica, ejemplos de estos placeres se encuentran en Óregon, Estados Unidos.

3.2.2. Placeres eluviales

Los placeres eluviales son acumulaciones en un medio sólido en movimiento y se encuentran relacionados al tipo anterior. Se forman luego de que el mineral pesado ha sido transportado desde el afloramiento residual inicial pendiente abajo desde algunos centímetros hasta sólo unos metros de distancia (Figura 3.1). Excepto por su aspecto externo y propiedades físicas los eluviones no se diferencian de las rocas que los originaron, el espesor está condicionado por la posición del nivel freático y el grado de liberación de las partículas causado por alteración química. La alteración física en esos depósitos es la más potente y está condicionada por el clima y relieve del área, siendo mayor su acción en zonas tropicales y subtropicales y menor en lugares áridos y desérticos. Estos depósitos pueden considerarse una etapa inicial de los placeres

aluviales o de playa ya que eventualmente serán erosionados y transportado hacia cauces de ríos caudalosos.

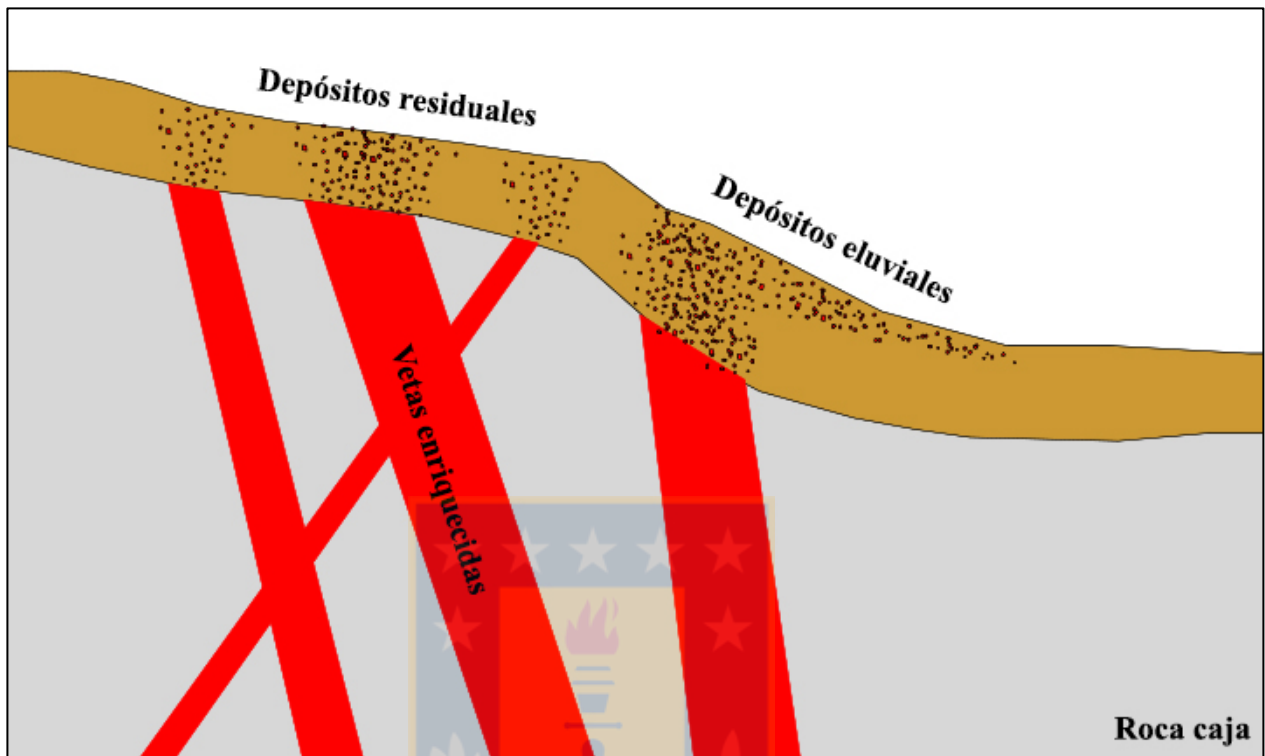


Figura 3.1: Placeres residuales y aluviales. A la izquierda se observa la formación de placeres de tipo residual y a la derecha eluvial, ambos a partir de un mismo tipo de veta enriquecida en minerales económicamente interesantes. Modificado de Makshev (2001).

3.2.3. Placeres aluviales

Corresponden a concentraciones de minerales pesados a través de un medio líquido en movimiento, englobando de esta manera en ellos a los placeres fluviales, glaciares y mixtos. Ocurren cuando las acumulaciones eluviales son removilizadas, transportadas y clasificadas por corrientes de aguas y depositadas cuando el fluido pierde velocidad y su capacidad de transporte en lechos vivos de ríos, en sus márgenes y/o en sus terrazas. Su columna estratigráfica posee generalmente una capa vegetal en contacto con la superficie seguida de varias capas de distintos espesores para luego llegar al manto pagador con mayor concentración de minerales preciosos que por su mayor densidad se deposita a mayor profundidad que el resto de los sedimentos, sobre la circa. Suelen ser granodecrecientes siguiendo el orden de: gravas, arenas, limos y arcilla hacia el techo. Son el tipo de placeres más comunes e importantes económicamente y fueron uno de los

primeros depósitos de este tipo explotados por antiguos mineros, incluso desataron la famosa fiebre del oro de California en el siglo XIX.

3.2.3.1. Mecanismo de depositación

La sedimentación de minerales pesados dentro de sistemas fluviales estará en función de la razón hidráulica de las partículas, es decir de su densidad, tanto como de la densidad, viscosidad y velocidad del medio que los transporte. En los ríos el agua circula en una sola dirección, sin embargo va cambiando sus características y comportamientos constantemente: precipita en cañones, inunda lugares anchos y forma remolinos al interior de las cuencas. Lugares que no son favorables para la depositación de minerales pesados son las partes interiores del canal y las cabeceras de los ríos, estas últimas debido a que la carga que lleva la corriente es inicialmente escasa. En cambio, los lugares favorables también llamados trampas u obstáculos de sedimentos (Figura 3.2) son los situados en el curso medio del río donde la corriente circula rápidamente por meandros. El lugar de confluencia de tributarios con el canal principal del río es uno de estos lugares, se forman ahí barras de grava parecidas a las del interior de un meandro. En ocasiones los cauces de los ríos atraviesan rocas muy inclinadas o dispuestas en capas verticales, las capas más blandas tienden a erosionarse mientras que las más competentes se proyectan hacia arriba, formando rifles naturales, estos son excelentes tramos para la deposición de minerales pesados. Finalmente una de las trampas más codiciadas y buscadas por los mineros de placeres son las caídas de agua por la gran velocidad y sedimentos con el que viene la corriente en estos sectores, al caer, la fuerza gravitacional deposita el material pesado generando un mayor depósito.

La acumulación de sedimentos exige ríos equilibrados, donde se haya logrado un equilibrio entre la erosión, transporte y depositación. Los principales depósitos fluviales reconocibles en ríos de baja a alta sinuosidad y que pueden contener concentraciones de minerales pesados según Marquardt y otros (2015, en Lagos y otros, 2015) son los siguientes:

- Depósitos de canal: Se forman en momentos en que el río presenta mayor capacidad de transporte, es decir en periodos de máxima competencia de las corrientes. Están compuestos por material grueso como bolones, gravas y un bajo porcentaje de arenas, pueden llegar a transportar bloques $> 0,5$ m y presentar troncos u otros materiales de origen orgánico de

grandes dimensiones con niveles de sedimentos finos entre las gravas. La forma característica de los paleocanales es lenticular con imbricación de clastos.

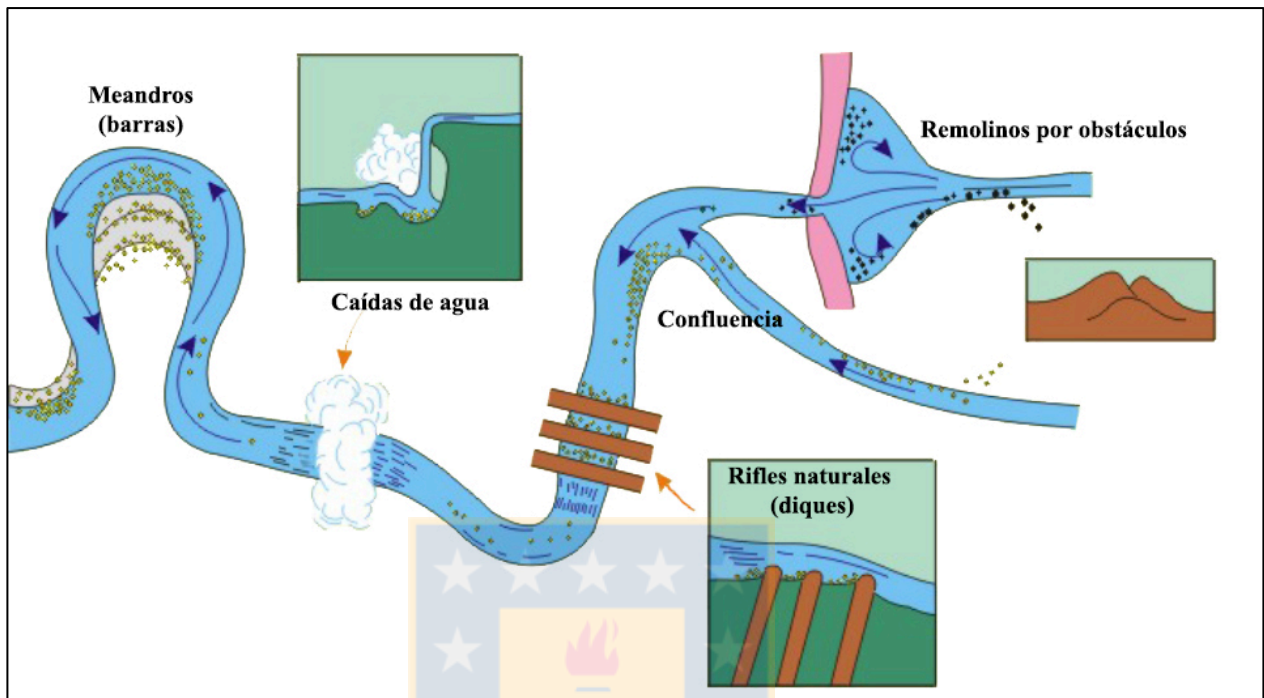


Figura 3.2: Trampas de sedimentos en ríos. Modificado de Marquardt y otros (2015 en Lagos y otros, 2015).

- Depósitos de barras: Esta depositación se genera en los meandros de los ríos con alta energía, generalmente en llanuras con poca pendiente. El agua no fluye con la misma velocidad en todas sus secciones, en la parte donde el cauce posee una mayor velocidad la erosión aumenta por la fuerza centrífuga y genera una forma cóncava, por otro lado donde el flujo es más lento aumenta la depositación de sedimentos formando una pared convexa, es en la base de este lugar donde tienden a ser depositados los granos más gruesos y sobre ellos los más finos provocando una secuencia granodecreciente. Por lo general las paleobarras presentan estratificación cruzada cóncava.
- Depósitos de desborde: Se forman cercanos a los meandros, específicamente en la porción cóncava que los delimita. Son de mayor espesor y de grano muy grueso cerca de los canales mientras que al acercarse a la planicie de inundación se van haciendo cada vez más finos. Están compuestos principalmente por arenas finas cuyas estructuras sedimentarias características son la estratificación horizontal y *ripple marks* cubiertas por finos laminados.

- Depósitos de planicies de inundación: Se generan en momentos de crecidas de los ríos, compuestos por sedimentos finos acarreados a las planicies adyacentes al canal. Presentan poco espesor, gran cantidad de material vegetal y bioturbación moderada.
- Depósitos de lago lateral: Depositados en lagos laterales en épocas de crecida e inundación de los ríos, cuando las aguas de la corriente principal logran romper los muros que la confinan. Están formados por arcillas y fango comúnmente laminados con restos de plantas y moluscos de agua dulce. Representan en el registro sedimentario antiguos cursos o meandros abandonados de ríos.

3.2.4. Placeres eólicos

Ocurren en ambientes desérticos como en costeros formando dunas, donde la acción del viento constante actúa como un agente de concentración ya que provoca la remoción y transporte de granos detríticos, tanto de arenas como materiales ligeros mediante mecanismos de arrastre, saltación y suspensión. Los materiales pesados se transportan en menor medida y mayoritariamente por saltación por lo que existe una selección por transporte, enriqueciendo sólo algunos sectores de la duna. Es muy poco probable encontrar placeres eólicos de alto grado económico, la importancia radica en conocerlos y no efectuar una mala interpretación de estos que puede provocar un efecto pepa en la estimación de recursos. Un ejemplo de estos depósitos son los yacimientos de titanomagnetita en Nueva Zelanda y de ilmenita y circones en Natal, Sudáfrica.

3.2.5. Placeres de playa

La concentración en estos casos ocurre por la acción del oleaje y corrientes marinas sobre todo en periodos de tormenta donde la marea tiene mayor energía. Ocurre cuando sedimentos acarreados por ríos desembocan en el mar o por la presencia de afloramientos de rocas o vetas ricas en estos minerales cercanos a la costa. El mecanismo ocupado es que las olas depositan sedimentos en las playas y la resaca devuelve los materiales livianos para luego transportarlos por la deriva a través de la costa, dejando los minerales pesados concentrados. Se forman preferentemente en áreas donde la línea de costa se curva, los vientos dominantes son oblicuos a la costa y existen corrientes marinas paralelas a ella. Los placeres de playa presentan una granulometría

granodecreciente y generalmente son secuencias prógradas retrabajadas y redepositadas, los minerales pesados presentes se encuentran dispersos en la totalidad del material con morfologías muy pequeñas y subredondeadas. Ejemplo de estos son las concentraciones de arenas negras en la Bahía de Concepción y Egipto, como también placeres de ilmenita, circon y rutilo a lo largo de la costa E de Australia y de oro en la Isla de Chiloé.

3.2.6. Paleoplaceres

Estos placeres se encuentran dentro de los más importantes, después de los placeres aluviales. Luego de que se produce la concentración de minerales pesados se genera una migración interna dentro del depósito en la vertical hacia el fondo impermeable más próximo, cerca o *bedrock*. El movimiento de las placas tectónicas generando episodios de alzamiento, subsidencia y fallamiento provoca un continuo movimiento de los sedimentos por vibración, favoreciendo la migración, se acumulan sobre los placeres una gran cantidad de sedimentos llamado sobrecarga que ejerce presión y consolida la roca dando como resultado un manto pagador de poco espesor con altos contenidos de oro. Se encuentran localizados mayoritariamente en las desembocaduras de antiguos sistemas fluviales alimentadores de cuencas intracratónicas subsidentes o en mares someros dentro de paleocontinentes. Las posibilidades de conservación de estos depósitos son muy baja, por lo que se cree que la mayoría de estos placeres formados en diferentes tiempos geológicos han sido destruidos por la acción de la erosión que genera el relieve y el clima. Una de las características negativas de estos yacimientos es que los materiales se encuentran cementados, lo que aumenta su costo de explotación y los hace menos interesante económicamente. Los mejores representantes de este tipo datan del Arqueano – Proterozoico Medio y son los depósitos de oro y uranio de Witwatersand en Sudáfrica, el cual es el paleoplacer más grande de oro, destacan también los del área del Río Blind en Canadá y en Sierra Jacobina en Bahía, Brasil. En Witwatersand el oro y uranio se presentan en granos angulosos de 0,005 – 0,1 mm de diámetro dentro de la matriz de cuarzo, micas, cloritas y abundante pirita con algunas apariciones de hematita y fuchsita de los conglomerados monomícticos maduros del sector, que sobreyacen a granitos y rocas verdes del Arqueano e infrayacen a areniscas con estratificación cruzada. Este placer ha producido cerca de 450.000 ton/año, siendo esto cerca de la mitad de oro extraído en todo el mundo.

3.3. Caracterización de placeres de oro

3.3.1. Reseña histórica y distribución en Chile

Sin duda el oro es uno de los metales más apreciados y venerado en el mundo, tanto por sus características físicas de color, conductividad o maleabilidad como por su inalterabilidad química, es por estas razones que ha sido explotado desde que la humanidad comenzó a usar metales. Las extracciones más antiguas en el continente americano se remontan al oro de los Incas y Aztecas que probablemente provenían de placeres auríferos. Se calcula que los Incas obtuvieron alrededor de 150.000 kg de oro, este imperio conquistó hacia el año 1460 gran parte del territorio de Chile, al menos hasta el Maule. El oro se fundía en discos como también se enviaban al inca oro en forma de polvo y pepas. En 1535 llega Diego de Almagro en una expedición de conquista y comienza a sacar provecho del oro incaico. Pedro de Valdivia, decide también explotar los depósitos de oro en lugares como Marga Marga y Quilacoya con leyes registradas de $2,6 \text{ g/m}^3$, sin embargo luego de la muerte de este conquistador la extracción decae.

Una segunda oleada de explotación de oro, esta vez en roca dura y principalmente en los valles de la zona central de Chile comenzó en el siglo XVIII, se alcanzan en esta época una producción de cerca de 95 toneladas. Sin embargo, debido a la escasa tecnología de este periodo con la cual no se podían hacer excavaciones profundas y a la caída de las leyes, la explotación en roca dura se dejó de lado y se volvió a los lavaderos extrayendo un aproximado de 2.470.000 onzas de mineral (Millán, 2001).

Hacia el siglo XIX se produjo una fiebre de oro en todo el continente, principalmente en California, Estados Unidos. Esta también llegó hasta suelos chilenos, la que se trasladó hacia el S del país a yacimientos en Lonquimay, Carahue, Carelmapu, Río del oro, entre otros. Para este siglo se estima una producción de 1.341.000 onzas de oro aluvial. Al inicio del siglo XX los principales placeres en operación eran Andacollo, Punitaqui y Quilitapia en la Región de Coquimbo, Las Dichas en la Región de Valparaíso, Carahue en la Región de la Araucanía, Madre de Dios en la Región de Arica y Parinacota y Río de oro en la Región de Magallanes y la Antártica Chilena. En la década de los 30 se produjo una gran crisis económica mundial junto con el cierre de la industria salitrera chilena y la disminución del precio del cobre, esto obligó al

Estado a buscar nuevas soluciones a corto plazo en la minería del oro originando la llamada legislación de emergencia del oro en 1931 y la creación de la Jefatura de Lavaderos de Oro para reactivar la economía nacional y hacer crecer esta minería en un 22% hacia 1939.

Entre las décadas del 40 – 70 la producción de oro disminuye, lo que cambia drásticamente durante una nueva crisis económica en los años 80 que impulsa el segundo plan aurífero nacional respaldado por el Ministerio de Minería y la Empresa Nacional de Minería. El rendimiento promedio de los lavaderos de esta época fue de 1,4 m³/h-día cuando los sedimentos no presentaban grandes bolones, se llegaron incluso a hacer excavaciones subterráneas para explotación. Gracias a este plan la producción anual de oro, tanto como la cesantía se recuperaron fuertemente (Tabla 3.2).

Tabla 3.2: **Producción de oro según Plan Aurífero Nacional.** Producción, costos y recursos humanos de la minería del oro aluvial en Chile entre los años 1983 – 1987. Millán (2001).

Año	Producción de oro (g)	Valor (US\$)	Ocupación de personas
1983	24.500	237.895	2.005
1984	244.143	2.595.666	4.821
1985	483.243	6.156.516	8.280
1986	533.887	6.897.820	8.452
1987	504.175	7.179.451	7.914

Finalmente la producción de oro vuelve a decaer y no se reportan mayores producciones a partir de 1993. Hoy en día la explotación de lavaderos de oro se realiza de forma artesanal impulsada por el programa PAMMA (Programa para la capacitación y transferencia tecnológica para la pequeña y mediana minería) es por esto que en 2015 se generó una alianza entre el Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, el programa de bienes públicos para la competitividad de CORFO, la Subsecretaría de minería y ENAMI para reactivar el interés en este rubro y estudiar su potencial como nuevo motor de generación de empleos en el país. El nuevo estudio de identificación bibliográfica y en terreno de depósitos aluviales de oro en Chile entrega información insuficiente para ubicar placeres en las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta. La mayoría se encontraría en la zona S del país entre las regiones del Biobío y Los Lagos (Tabla 3.3).

Tabla 3.3: Listado de recursos mineros aluviales en Chile. Lagos y otros (2015).

Región	Nº	Yacimiento	Región	Nº	Yacimiento	
III	1	Jesús María	IX (Cont.)	39	Estero Aguas Grandes Alto	
	2	Mina Sofía – Caballo Muerto		40	Estero Aguas Grandes Bajo	
	3	Sierra Fritis		41	Estero El Molino	
IV	4	Casuto		42	Estero Madihue	
	5	Chigualoco		43	Guamaqui	
	6	Playa Huentelauquén		44	Las Juntas	
	7	Río Canela		45	Lonquimay	
V	8	Las Minillas		46	Lucero 1	
	9	Malacara		47	Millantún de Santa Rosa	
	10	Marga Marga		48	Piedras Blancas	
	11	Rautén		49	Quebrada California	
VI	12	El Bajillo		50	Quebrada El Laurel	
	13	Las Rosas		51	Quebrada Honda	
VII	14	Estero El Cajón		X	52	Caremapu
	15	Estero Limávida			53	Cucao
	16	Las Vergas	54		El Gato	
	17	Llava Llava	55		Huequi	
	18	Santa Rosa (El Chivato)	56		Huilma	
VIII	19	Cayucupil	57		Los Piques	
	20	Gomero	58		Marilán	
	21	Lajuela	59		Millacoya	
	22	Lavaderos de Butamalal	60		Pumillahue	
	23	Loncotripay	61		Riachuelo	
	24	Minas del Prado	62		Río Contaco	
	25	Montaña Negra	XI		63	Isla Ipún
	26	Pocollay			64	Río Queulat
	27	Poñén (Florida)	XII		65	Río del Oro
	28	Río Lira		XIII	66	El Membrillo
IX	29	Canelillo (Lavaderos de San Jorge)	67		Quincaque	
	30	Carahue	XIV	68	Carolina	
	31	Cerro Quilmer o La Ballena		69	El Roble	
	32	Choque Choque		70	Hueima	
	33	Corrales		71	Mantos Azules	
	34	Curanco		72	Pilpeo	
	35	Diego (Terrazas de Mitrauquén)		73	Río Ña que	
	36	El Manzanal		74	Río Llipo	
	37	El Tayón		75	San Pedro	
	38	El Trébol				

3.3.2. Caracterización geológica de placeres en Chile

La mayor parte de los placeres de oro son yacimientos en que el mineral precioso proviene de la disgregación de esquistos metamórficos precámbricos o paleozoicos, o de rocas graníticas paleozoicas. Las rocas metamórficas contienen venillas de cuarzo aurífero de donde el oro fue liberado y concentrado por diversos procesos de erosión, transporte y sedimentación. Otros placeres han sido formados a expensas de vetas de oro erosionadas por procesos aluviales, produciéndose una concentración aurífera en regiones vecinas (Hagel, 1994).

Por otro lado, variados han sido los estudios y clasificaciones de placeres de oro en Chile. Uno de los más reconocidos es el de Greiner (1991), quien sugiere que la delimitación geográfica de placeres resulta de afloramientos de rocas pertenecientes a las principales edades en la historia geológica de Chile que presentan una orientación NS y los relaciona a ellos generando la siguiente clasificación:

- Placeres relacionados con intrusivos granitoides de edad Jurásico Superior, Cretácico y Terciario Inferior.
- Placeres relacionados con esquistos micáceos y/o cuerpos intrusivos graníticos paleozoicos.
- Placeres relacionados con morrenas cuaternarias de Tierra del Fuego y Magallanes.
- Placeres de playas oceánicas.

El autor no establece que esta sea una clasificación definitiva y concluyente de los aluviales chilenos ya que por ejemplo, se pueden encontrar placeres de playas a lo largo de toda la costa de Chile sin importar la edad litológica o el mecanismo en que el oro se transportó.

3.3.3. Reseña histórica y distribución en la Región del Biobío

La actividad minera relacionada a lavaderos de oro en la Región del Biobío se remonta a la época de la colonia, cuando Pedro de Valdivia comenzó a explotar con mano indígena el placer de Quilacoya, cercano a Concepción y del cual sacaba granos de oro que llegaron a costar hasta \$400 de la época, dándole todos los días al menos 80 onzas de oro fino. Muchas de las aldeas y asentamientos de aquellos tiempos tanto en el N como el S del país se originaron con el

descubrimiento placeres de oro. En la Precordillera andina se explota desde el siglo XIX el placer de Minas del Prado con una ley media de 0,26 g/ton (Collao y otros, 2000).

Variados son los lavaderos históricos de la región distribuidos en los ríos y esteros principalmente en los flancos de la Cordillera de la Costa entre los 36° 00' -38° 15' latitud S. Se reconoce como la ruta del oro a las localidades de Hualqui, Quilacoya, Talcamávida y Rere, al N del Río Biobío y en la zona central de los límites actuales de la región, estos lavaderos según Ferraris (1981, en Stange 2011) presentan leyes inferiores a 0,1 g/m³. A principio del siglo XX y luego de la gran depresión fue el auge de los lavaderos en la Cordillera de Nahuelbuta, tanto en sus cumbres como Pillimpillim y Lleulleu como en sus faldas entre Cañete y Butamalal. El oro de estos depósitos presentaba leyes de 2 – 5 g/m³ y se han encontrado en ellos pepas de oro de 4 – 15 g y excepcionalmente de 100 g.

3.3.4. Caracterización geológica de placeres en la Región del Biobío

El oro de los lavaderos de la Cordillera de la Costa y del Valle Central de la región se origina principalmente en la zona de contacto entre los cuerpos paleozoicos del Batolito Costero y el Basamento Metamórfico, en esos sectores se encuentran innumerables vetas y vetillas de cuarzo aurífero inyectados en los planos de foliación de los esquistos y en las rocas ígneas (Greiner, 1991). La mayor concentración está en sedimentos fluviales de edad Cuaternaria (Collao y otros, 2000).

En los placeres de las cumbres de la Cordillera de Nahuelbuta el oro proviene directamente de la meteorización superficial del granito, cuyo material rocoso estéril es removido parcialmente por aguas de lluvia y vientos. El oro residual es de tamaño pequeño, formas irregulares y de baja ley (Greiner, 1991). Estos placeres de las altas cumbres de la cordillera son principalmente residuales y eluviales.

En los lavaderos de la Cordillera de la Costa de la región y en los flancos de la Cordillera de Nahuelbuta, cerca de Cañete, se encuentran depósitos de placeres aluviales pegados a los flancos de los estrechos valles. En estas zonas hay un enriquecimiento paulatino en las leyes de oro así como también un aumento en el tamaño de los minerales a medida que se avanza pendiente

abajo, este provendría en primera instancia de la roca granítica y la zona de enriquecimiento del contacto con la roca metamórfica (Greiner, 1991).

En los valles anchos y llanos a los pies de las cordilleras, se encuentran los lavaderos de oro de placeres fluviales de acumulación en terraza y bancos de meandros en ríos. Están formados por sedimentos gruesos por su mayor energía, compuestos por clastos de granito, esquistos micáceos y abundante cuarzo lechoso.

Collao y otros (2000) realizan una revisión bibliográfica de los placeres reconocidos en la región y generan una categorización según la ley media y el atractivo económico de estos (Figura 3.3):

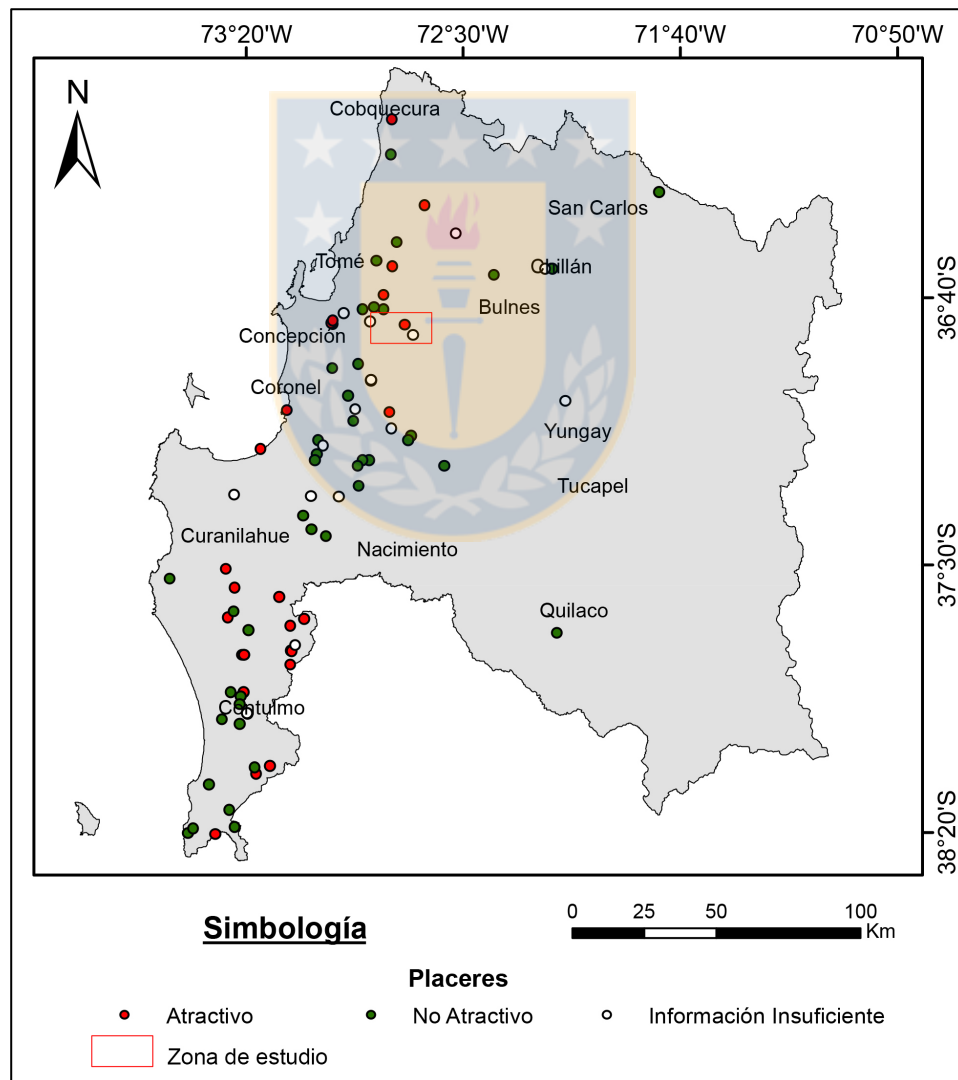


Figura 3.3: Mapa de placeres de oro, Región del Biobío, Chile. Nuevos datos bibliográficos y modificaciones hechas al mapa de Collao y otros (2000).

- Atractivo: Placeres donde la ley media de oro es superior a $0,5 \text{ g/m}^3$.
- No atractivo: Placeres donde la ley media de oro es inferior a $0,5 \text{ g/m}^3$.
- Insuficiente información: Placeres donde no existe información suficiente para su evaluación.

Nuevos estudios por parte del proyecto del proyecto de identificación y valorización de recursos mineros aluviales de oro en Chile realizado durante los años 2015 – 2016 por parte de la Pontificia Universidad Católica de Chile y organismos del estado arrojó un nuevo catastro de yacimientos de oro interesantes económicamente y para estudio en la región (Tabla 3.4).

Tabla 3.4: Nuevos prospectos de mayor interés económico de aluviales de oro. Propuestos por Lagos y otros (2015).

Prospecto	Comuna	Volumen Manto (m^3)	Ley Manto (mg/m^3)	Potencial Mineralización (Oz Troy)
Butamalal-Cayucupil-LM	Cañete	2.815.315	3.330	301.447
Poñen	Florida	2.749.294	1.200	106.082
Gomero	Yumbel	1.106.882	2.450	87.198
Lajuella	Florida	248.185	2.700	21.547
Loncotripay	Tirúa	80.000	4.000	320.000

3.4. Zona de estudio: Prospecto Poñén

El Prospecto Poñén identificado recientemente (Lagos y otros, 2015) fue propuesto a ENAMI como uno de los de mayor interés en la región. Cercano a este se encuentra el Prospecto Lajuella el cual sigue el mismo estero en la Comuna de Florida y también fue identificado como de mayor interés (Lagos y otros, 2015). Por la cercanía que existe entre estos dos puntos de interés se elige esta zona de la región para exploración, centrándose en el Prospecto Poñén. La ruta de muestreo se traslapa en la parte E con parte del Prospecto Lajuella para poder identificar recursos en él, ambos se trabajan como uno solo. Lajuella presenta (Tabla 3.4) $2,7 \text{ g/m}^3$ (Lagos y otros, 2015) en contraposición con Poñén el cual presenta una ley de $1,2 \text{ g/m}^3$ (Lagos y otros, 2015), sin embargo Lajuella contiene un volumen de manto mineralizado o estrato pagador de $248,185 \text{ m}^3$ (Lagos y otros, 2015) y una estimación de sólo 2 años de vida de la mina (LOM), mientras que Poñén presenta un volumen de manto 11 veces mayor correspondiente a $2.749.294 \text{ m}^3$ (Lagos y otros, 2015) y una vida de la mina (LOM) de 3 años.

3.4.1. Propiedad minera

La exploración realizada en esta Memoria está resguardada por las propiedades mineras vigentes en el sector de Poñén – Florida (Figura 3.4) denominadas Florida 1, Florida 2, Florida 3, Florida 4, Florida 5 y Florida 6, autorizadas por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) a través de su departamento de Propiedad Minera de acuerdo a los artículos 57, 79 y 80 del Código de Minería. Los pedimentos, concesiones mineras de exploración, se encuentran regularizados y vigentes a nombre de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI).

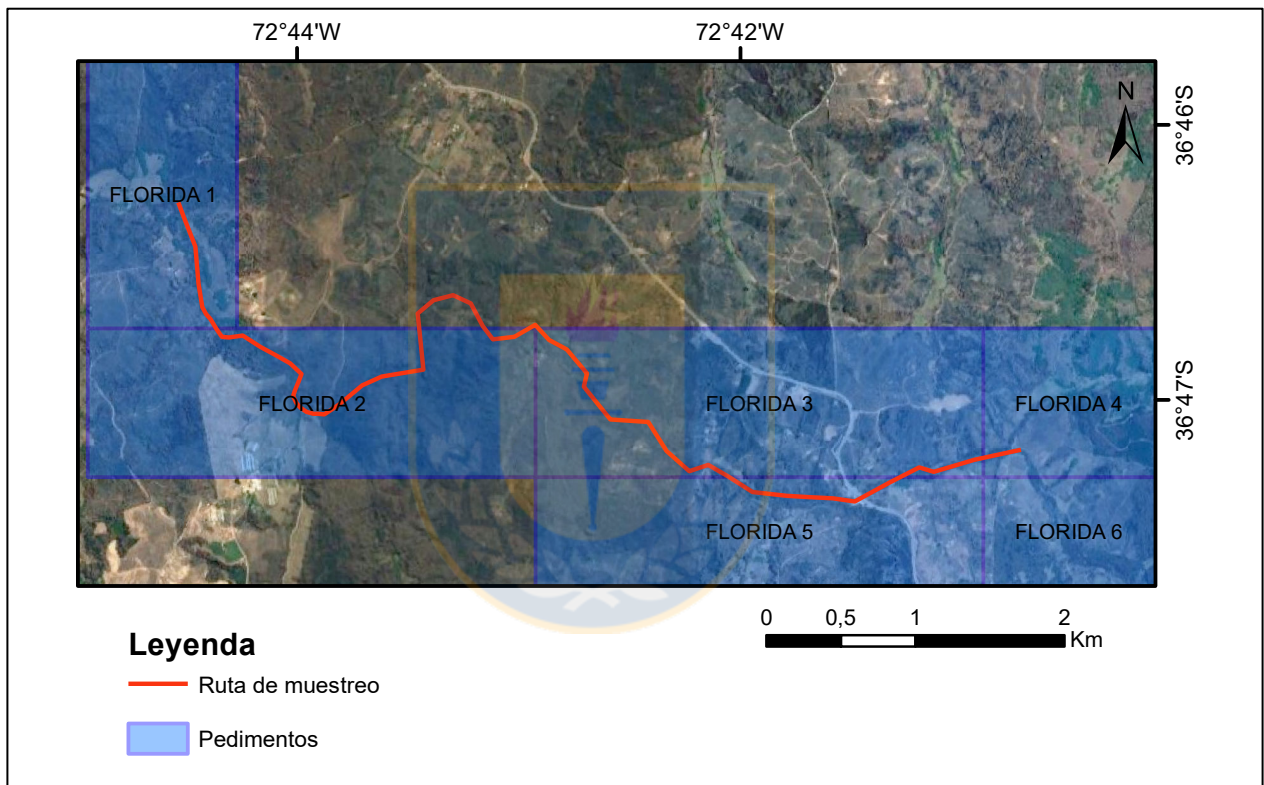


Figura 3.4: Mapa de propiedades mineras del Prospecto Poñén. Se observan 6 concesiones mineras de exploración (Florida 1 – 6) pertenecientes a ENAMI.

3.4.2. Geología del Prospecto Poñén

3.4.2.1. Subunidad Granitoides de Concepción

El prospecto se encuentra en el flanco oriental de la Cordillera de la Costa de la región, al N de los ríos Biobío y Andalién, al S del Río Itata y alojado en el intrusivo paleozoico denominado

Batolito Costero del Sur el cual se encuentra dividido por Creixell (2001) en tres subunidades, de S a N: Granitoides de Nahuelbuta, Tonalitas Santa Juana y Granitoides de Concepción. Esta última subunidad aflora en el área de estudio y se encuentra compuesta por monzogranitos de biotita y tonalitas de biotita y mica blanca (Tabla 3.5).

Tabla 3.5: Características geológicas de Subunidad Granitoides de Concepción.
Modificado de Creixell (2001).

Características	Granitoides de Concepción
Litología Dominante	Monzogranitos de biotita
Litología menor	Tonalitas de biotita y mica blanca
Xenolitos	Xenolitos pelíticos: hornfels de andalucita y biotita
Estructuras y texturas	Sin deformación. Abundantes cristales de microclina
Contacto con roca caja	Contacto tajante, aumento de xenolitos hacia el contacto
Diques	Diques pegmatíticos (co-magmáticos) y microtonalitas.

La subunidad se encuentra distribuida entre el N de la ciudad de Concepción y la localidad de Hualqui en el S, hacia el E su límite no se ha definido y hacia el W se encuentra limitado por el Río Biobío.

Respecto a sus relaciones estratigráficas, la subunidad intruye a rocas del basamento metamórfico, específicamente a la Serie Oriental en las cercanías de Hualqui y en ellas genera un metamorfismo de contacto que oblitera el metamorfismo regional ya presente. Infrayace en inconformidad a las rocas sedimentarias mesozoicas y cenozoicas, relación que se puede observar en localidades del Gran Concepción. Además de encontrarse infayaciendo a los depósitos semi y no consolidados del área. Se encuentran xenolitos del basamento metamórfico que fue intruído en los monzogranitos y tonalitas, con composición pelítica y textura porfiroblástica (Creixell, 2001).

Se observan diques de composición variable cortando la subunidad (Figura 3.5), estos se asocian a magmatismo paleozoico y a otros eventos posteriores. Afloran filones pegmatíticos al W del prospecto cortando a los granitoides, presentan una textura de grano grueso y composición de micas blancas, granate y turmalina primaria (Creixell, 2001). En la zona de Florida se pueden

encontrar diques de aplitas con textura hipidiomórfica a alotromórfica granular de grano medio a fino con mineralogías homogéneas de cuarzo, plagioclasa, microclina, ortoclasas subordinadas y biotitas (Velázquez, 2012).



Figura 3.5: Mapa geológico del Prospecto Poñén. Se observó sólo un cambio de litología en el dique de tonalita de anfíbol del centro del área de estudio.

3.4.2.2. Litología y estructuras

La principal litología observada en terreno es de granodioritas de biotita y anfíbol (Figura 3.6 A) con textura fanerítica de grano medio a grueso. Su mineralogía presenta gran cantidad de cuarzo y plagioclasas acompañados de feldespatos K como microclina y ortoclasa, biotitas y anfíboles.

Se observó un gran dique en la zona central de estudio, intruyendo a las granodioritas de biotita y anfíbol, el dique es de composición más máfica que el intrusivo huésped. Su litología observada en microscopio (Anexo 3) es de tonalita con gran porcentaje de anfíboles y en menor medida biotita (Figura 3.6 B).

En el dique de tonalitas, ubicado en la zona central de estudio, se encuentran vetillas de 2-5 cm de espesor compuestas por feldespatos K (Figura 3.7) con orientaciones preferenciales hacia los 240 – 280° SW. Por otro lado es posible observar enclaves de la roca caja, granodiorita de biotita y anfíbol, y xenolitos de granitos con textura aplítica subangulosos en el mismo dique (Figura 3.7).

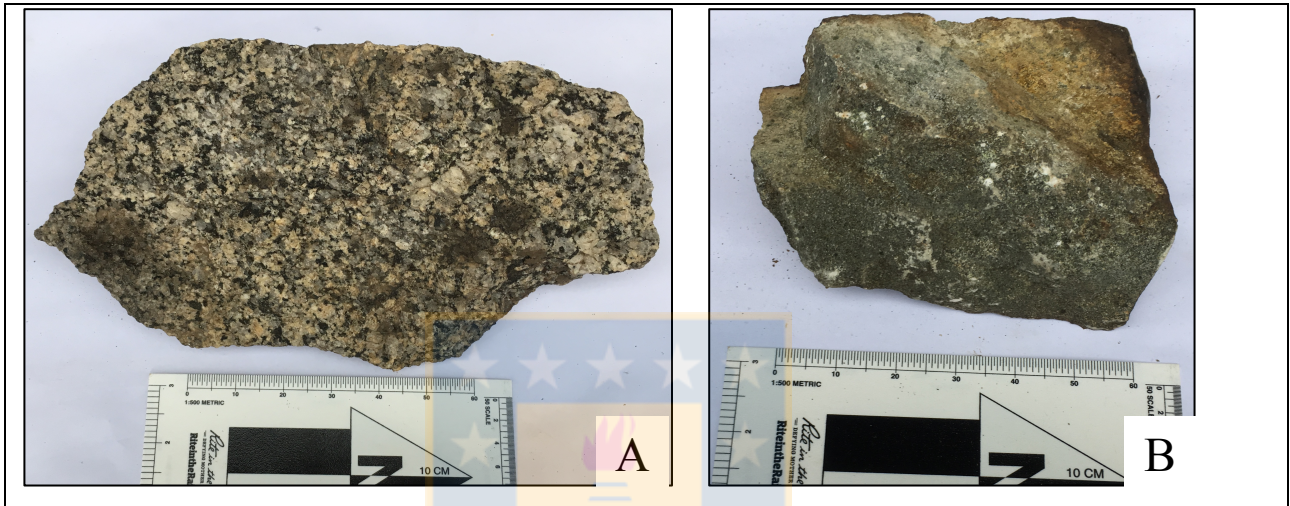


Figura 3.6: Litologías del prospecto. A. Granodiorita de biotita y anfíbol M1PÑÑ. B. Tonalita de anfíbol y biotita M2PÑÑ.

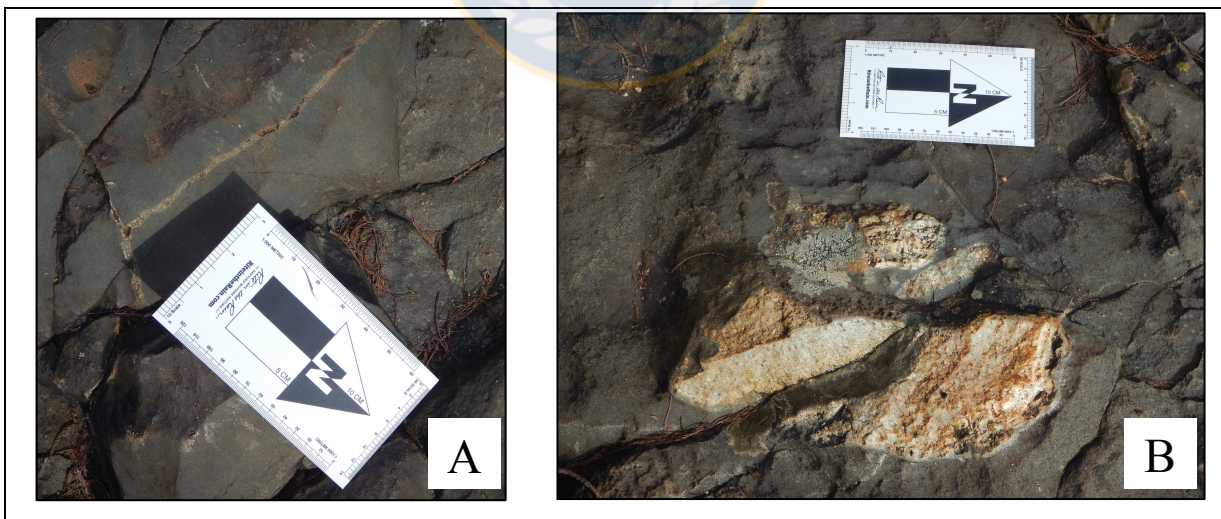


Figura 3.7: Estructuras del prospecto. A. Vetillas de feldespatos en tonalita de anfíbol y biotita. B. Xenolitos de granodiorita en tonalita anterior.

3.4.3. Morfología de los depósitos

El agente depositador de los placeres del prospecto es el Estero Lajuela – Retamo, el cual es un afluente del Río Andalién. Presenta un sistema dendrítico con un caudal variable, que disminuye hacia el verano, y desarrolla un valle estrecho de 10 – 30 m de ancho, con poca incisión en la mayor parte de su recorrido y pendientes medias de hasta 35° (Stange, 2011).

A lo largo del estero se desarrollan diversos meandros (Figura 3.8) que generan trampas físicas para minerales pesados de interés en sus depósitos de tipo “*point bar*” en la parte interior de estos. Los anchos de estos depósitos van entre 3 – 12 m, mientras que sus largos fluctúan entre 6 – 70 m. Es posible observar también barras en el centro del estero las cuales igualmente se han tomado como posibles trampas, presentando dimensiones entre 4 – 7 m de ancho y 10 – 20 m de largo (Figura 3.9). Otro posible tipo de depósito que no se ha muestreado en este estudio son las marmitas producidas en rocas graníticas más competentes que afloran en el estero las cuales tienen diámetros entre 30 – 50 cm y se encuentran relacionadas con pequeñas caídas de agua (Figura 3.10).



Figura 3.8: Trampas de minerales pesados muestreadas. Depósitos de “*Point bar*” del Prospecto Poñén.



Figura 3.9: Barra central. Trampa de sedimentos pesados desde donde se obtuvo muestras.



Figura 3.10: Marmita. Tipo de trampa de sedimentos pesados no muestreada, producida por abrasión en granitoides.

3.4.4. Caracterización de los sedimentos del Prospecto Poñén

3.4.4.1. Mineralogía

El sedimento de los depósitos de acumulación muestreados en el Estero Lajuela – Retamo estudiado *in situ* con lupa de mano (Anexo 3) corresponde a partículas siliciclásticas (Figura 3.11) formado mayoritariamente por cuarzo (60 – 90%), feldespatos (30 – 10%), algunos de ellos mostrando pertita, biotitas y muscovitas (3-5%) alterados levemente a clorita y epidotas lo que se observa mayoritariamente en clastos, anfíboles (3-5%), magnetita (2 – 3%) alterada a hematita en ciertos clastos y limonitas (Anexo 3).

3.4.4.2. Morfología

En general el sedimento tiene una selección moderada a buena con tamaño arena gruesa de color anaranjado, exceptuando la zona central de estudio y en el sector de San Miguel hacia el W. En estas áreas se observa una mala selección de los sedimentos (Figura 3.12) con tamaños de arena muy gruesa a grava, clastos monominerales de cuarzo, plagioclasas y opacos de entre 2 – 10 cm. Los clastos de gran tamaño tanto como los de menor presentan una esfericidad media y una alta angulosidad, interpretándose como inmaduro con una fuente no muy lejana.

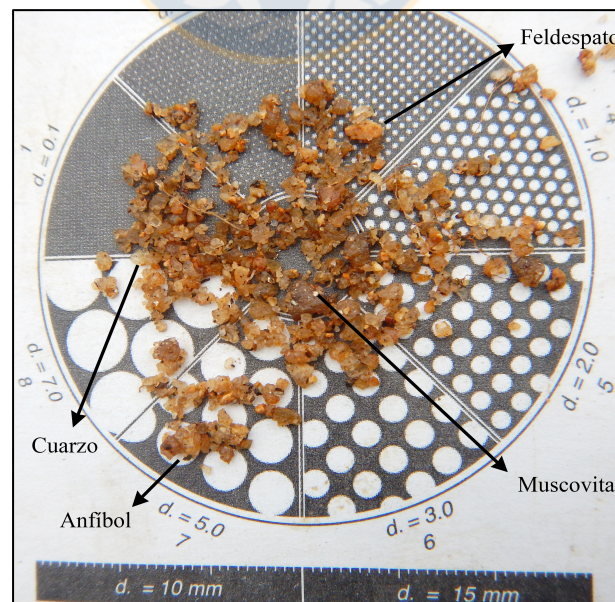


Figura 3.11: Mineralogía muestra de mano.
Muestra M4PÑN.

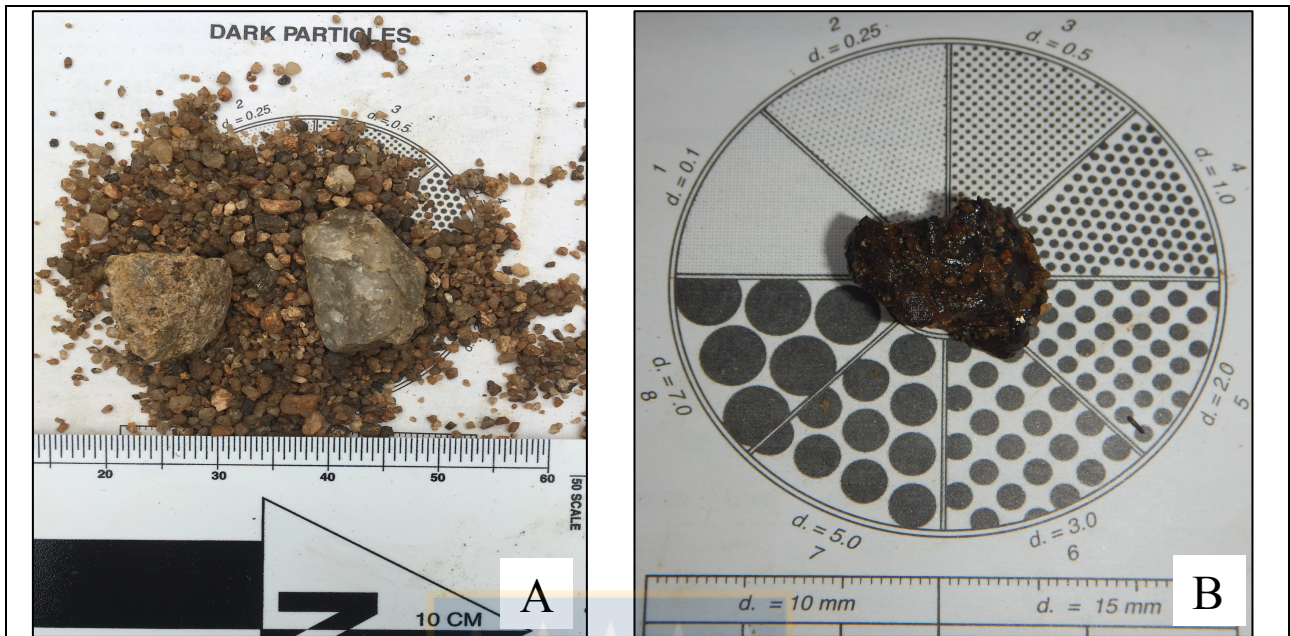


Figura 3.12: Morfología de los sedimentos del prospecto. A. Sedimento mal seleccionado con grandes clastos de cuarzo y plagioclasa. B. Opaco de gran tamaño.

3.4.4.3. Mineralogía metálica

En sedimentos sueltos durante la etapa de muestreo se pudo identificar partículas de 0,25 a 2 mm de minerales opacos correspondientes a magnetitas y hematitas. Mientras que en cortes realizados a las granodioritas del sector central del prospecto se reconocieron partículas de oro muy fino (Figura 3.13) con tamaños entre 100-4 μm .

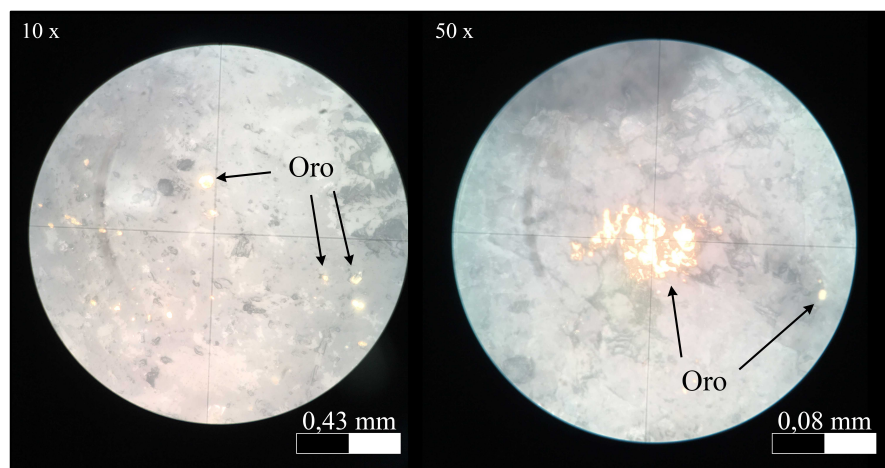
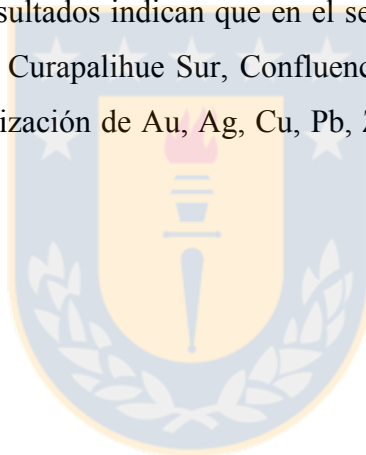


Figura 3.13: Oro en pulido transparente. Muestra M2PÑN.

3.4.5. Proveniencia de mineralización metálica

Las cuencas hidrográficas que drenan sectores del Batolito Costero Sur entre los 36° 40' – 37° 08' Latitud S serían los principales agentes concentradores de placeres de oro en la región. En el caso del Prospecto Poñén los depósitos se extienden a través de una franja costera con orientación NS. La mineralización de esta franja está genéticamente asociada a los afloramientos de rocas graníticas del batolito paleozoico, debido a la observación de abundante cuarzo, plagioclasas, micas y anfíboles en los sedimentos que también se encuentran en las rocas del Batolito Costero Sur. Este cuerpo presenta una gran cantidad de vetas de sílice auríferas, desde donde se cree provendría gran parte del oro detrítico acumulado en los placeres (Pincheira y otros, 1991).

Stange (2001) realizó un estudio de proveniencia del oro de placeres auríferos ubicados en Concepción – Florida y sus resultados indican que en el sector de Puente 3, Puente 4, Puente 5, Puente 6, Puente 7, Vertiente, Curapalihue Sur, Confluencia y Poñén (W del prospecto Poñén) existiría la relación de mineralización de Au, Ag, Cu, Pb, Zn y As con los cuerpos pegmatíticos presentes en el área.



4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Interpretación resultados de laboratorio

Una vez realizados los análisis químicos de las muestras del Prospecto Poñén por el laboratorio ALS de Santiago contratado por la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) y con la ayuda de algunos análisis efectuados en el Instituto de Geología Económica (GEA) de la Universidad de Concepción se procede a la interpretación de estos clasificándolos en cuatro grupos para hacer una descripción más clara de las tendencias en el área de estudio, estos son: elementos mayores y menores, elementos traza, elementos de tierras raras y concentraciones de oro y plata en los sedimentos.

4.1.1. Elementos mayores y menores

El análisis hecho mediante fluorescencia de rayos X (FRX) se centra en los óxidos mayores de las rocas y sedimentos, estos se encuentran generalmente en altas concentraciones y controlan en gran medida la ocurrencia de minerales. Los elementos mayores se encuentran generalmente en concentraciones $> 1,0$ % peso, mientras que los menores se presentan entre $0,1 - 1,0$ % peso. Si se obtienen concentraciones considerables de algún elemento se pueden llegar a formar minerales accesorios, como el apatito con altos contenidos de F y Cl. Muchas veces los elementos mayores y menores se usan para clasificar rocas, para construir diagramas de variación o identificación del ambiente tectónico de formación. En el caso de rocas sedimentarias la geoquímica no está tan desarrollada y generalmente la clasificación se hace en base a la observación en muestra de mano o secciones delgadas. Sin embargo los elementos mayores y menores pueden entregar información de la madurez de los sedimentos, ayudar a nombrarlos, es decir en su clasificación, y a hacer relaciones entre la composición de los sedimentos aguas arriba o abajo en el flujo de agua estudiado.

Los resultados entregados por el Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA) de la Universidad de Concepción se presentan en la tabla 4.1 y a partir de ellos se hacen interpretaciones geoquímicas posteriores. Las muestras aumentan en número desde 01 – 07 a medida que se avanza hacia el Oeste en el muestreo del prospecto (Figura 4.1).

Tabla 4.1: Resultados elementos mayores y menores por Fluorescencia de rayos X (FRX). Realizados en los laboratorios del GEA de la Universidad de Concepción. Se detecta un “*peak*” pequeño en las muestras en que se escribe un asterisco (*) y se recomienda su determinación mediante otro tipo de análisis.

% en peso	FRX02 PÑN	FRX03 PÑN	FRX04 PÑN	FRX06 PÑN	FRX07 PÑN
F	0	0	0	0	0
Na ₂ O	0,83	0,59	0,56	1,38	0,82
MgO	0,12	0,07	0,04	0,99	0,16
Al ₂ O ₃	6,69	5,63	5,24	18,38	7,66
SiO ₂	86,75	88,84	89,55	66,54	85,53
P ₂ O ₅	0,04	0,02	0,02	0,10	0,04
SO ₃	0,02	*	*	0,07	0,03
Cl	0	0	0	*	0
K ₂ O	3,43	3,27	3,39	3,88	3,42
CaO	0,53	0,30	0,19	1,75	0,57
TiO ₂	0,09	0,05	0,03	0,67	0,14
V ₂ O ₅	0	0	0	0,02	0
MnO	0,02	0,05	0,04	0,22	0,04
Fe ₂ O ₃	1,06	0,68	0,50	5,72	1,24
Co ₂ O ₃	*	0,02	0,02	*	*
NiO	*	*	*	*	*
ZnO	0	0	0	*	*
Ga ₂ O ₃	0	0	0	0	0
As ₂ O ₃	*	0	0	*	*
Br	0	0	0	0	0
Rb ₂ O	*	*	*	0,02	*
SrO	*	*	*	0,02	*
ZrO ₂	*	*	*	0,04	*
Nb ₂ O ₅	0,11	0	0	0	0
BaO	0,27	0,11	0,12	0,11	0
WO ₃	0	0,34	0,28	0,04	0
Total	99,9537	99,9532	99,9567	99,9505	99,645

Se confecciona un diagrama multielemental (Figura 4.2) con el fin de comparar los contenidos de los resultados. Se ve una variación errática de las concentraciones de óxidos mayores y menores agua abajo. Presentan similares características, destacándose ligeramente la muestra FRX06 PÑN cercana a las zonas en que se encuentran PÑN mayores concentraciones de oro.

Como se aprecia en el diagrama, las muestras presentan valores normales para arenas provenientes de meteorización de granitoides con un alto contenido en Si, Al, Na y Ca asociado a

la mineralogía rica en cuarzo y plagioclasas, acompañados de K proveniente de feldespatos como la microclina. El contenido de Fe y Mg concuerda con los minerales de menor proporción presentes en la roca, como las biotitas y anfíboles. La ocurrencia de elementos como el Ti, Mn y Zr estarían relacionados a minerales accesorios como el rutilo, granate y zircón.

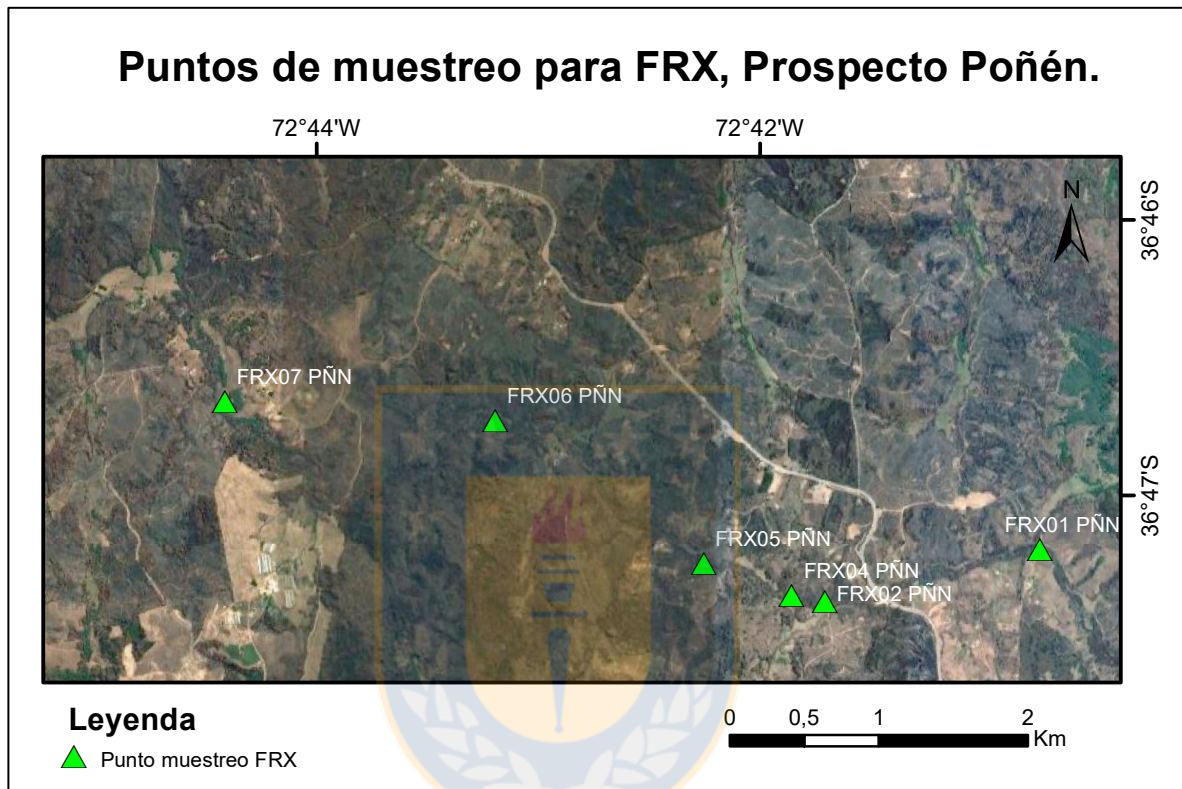


Figura 4.1: Mapa puntos de muestreo FRX. Prospecto Poñén, Florida, Región del Biobío.

Se realiza una clasificación de las arenas de las muestras con respecto a su contenido en $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ y $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ según los límites propuestos por Herron (1988). De esta manera se mide la estabilidad mineral, debido a que los minerales ferromagnesianos tienden a ser menos estables durante la meteorización. Cuatro de las siete muestras caen en el campo (Figura 4.3) de las subarcosas, con mayor contenido en Si y menor contenido en Fe. Si bien FRX05 presenta un menor contenido en Si que FRX01 cae en el rango de las arenas ricas en Fe debido a su menor contenido en Al, mientras que FRX01 se clasifica como sedimento de lutita rica en Fe concordante con su granulometría.

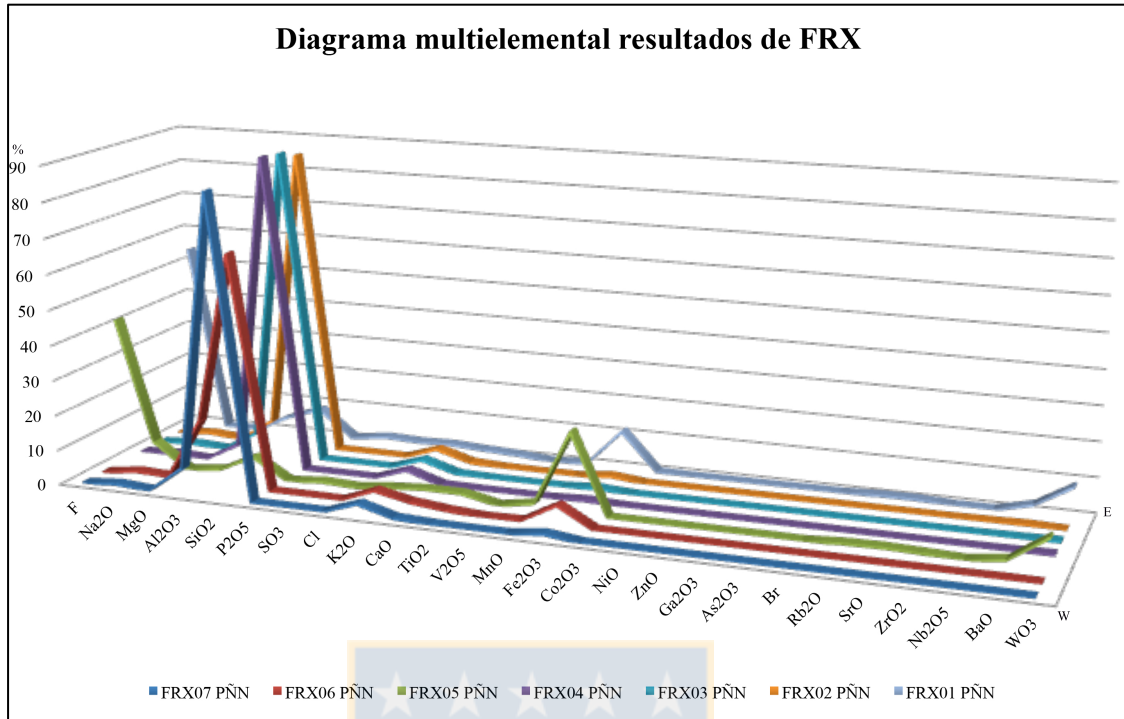


Figura 4.2: Diagrama multielemental resultados de FRX. Correspondientes al Prospecto Poñén y ordenados de W a E como se indica en la figura.

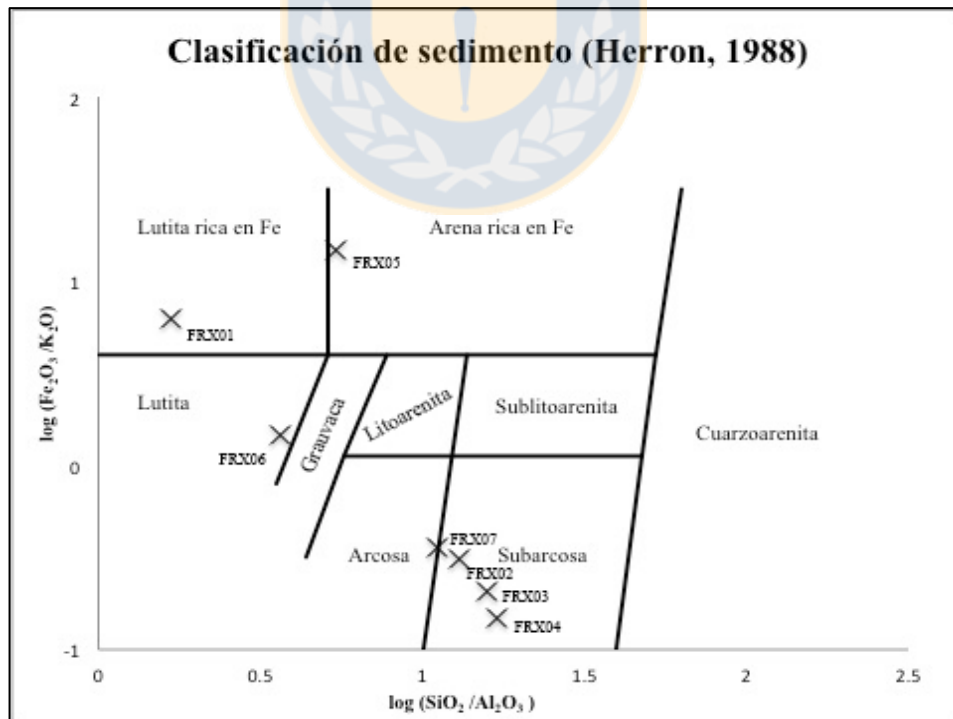


Figura 4.3: Clasificación de sedimento. Diagrama de Herron (1988).

4.1.2. Elementos traza

Los elementos traza corresponden a los elementos que se presentan en concentraciones menores a 0,1 % peso o menos de 1000 ppm. Químicamente corresponden a metales de transición y metales nobles y las tierras raras que son estudiadas por separado más adelante. En los sedimentos las concentraciones de estos elementos traza son el resultado de la acción conjunta entre la proveniencia, meteorización, diagénesis, selección de los sedimentos y de la geoquímica de los elementos por sí solos (Rollinson, 1993).

El estudio de elementos traza se realizó mediante espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo (ICP) en el laboratorio ALS Santiago. Las muestras utilizadas en esta técnica fueron elegidas posterior al terreno de muestreo tratando de abarcar la totalidad del área (Figura 4.4).

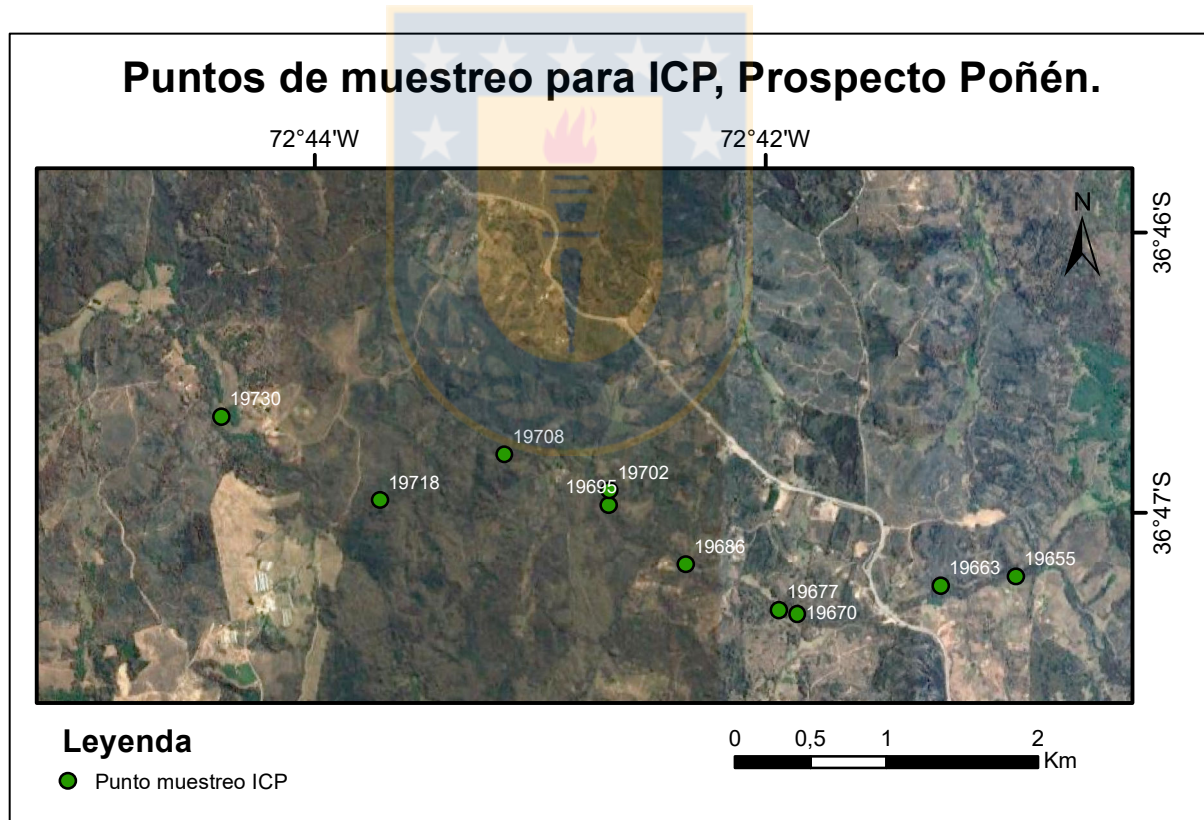


Figura 4.4: Mapa puntos de muestreo para ICP. Se miden en estos puntos elementos trazas y tierras raras. Prospecto Poñén, Florida, Región del Biobío.

Los resultados (Tabla 4.2) no arrojan una relación notoria entre los elementos y los puntos con mayor concentración de oro, solamente se observa una disminución de Mn en aquellos lugares. Se reconocen valores mayores a los normales en la corteza continental (Rudnik, 2003) en Bi, Co,

V, Zn, Hf, Nb, Rb, Ta y Zr. El Co tiene un patrón de disminución aguas abajo. Los trazadores más comunes de metales preciosos son As, Sb, Hg, W, Cu y S, no se observa en ninguno de ellos una anomalía que indique una mayor presencia de Au en los puntos de muestreo.

Tabla 4.2: Resultados de elementos trazas mediante espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo (ICP). Se agrega el Au a la tabla para realizar comparación con respecto a este elemento.

Muestra	19655	19663	19670	19677	19686	19695	19702	19708	19718	19730
Au (ppm)	3,6	0,006	<0,005	<0,005	3,56	0,232	<0,005	0,438	<0,005	0,018
Al (%)	1,49	3,32	1,28	2,84	2,17	1,98	0,84	1,89	0,47	2,18
As (ppm)	<2	2	2	3	<2	4	<2	<2	<2	5
B (ppm)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ba (ppm)	90	190	130	250	140	150	80	160	60	210
Be (ppm)	0,8	1,5	0,6	1,3	1,2	1,1	<0,5	0,9	<0,5	1,1
Bi (ppm)	34	2	<2	3	2	2	<2	2	<2	2
Ca (%)	0,17	0,13	0,17	0,27	0,26	0,21	0,12	0,21	0,09	0,22
Cd (ppm)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Co (ppm)	10	15	13	25	15	15	8	9	6	28
Cr (ppm)	18	12	34	25	26	22	23	18	9	41
Cu (ppm)	16	15	8	19	16	14	6	11	4	14
Fe (%)	2,43	3,78	2,08	3,81	2,74	3,27	1,67	2,23	1	3,56
Ga (ppm)	10	10	<10	10	10	10	<10	10	<10	10
Hg (ppm)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1
K (%)	0,28	0,76	0,34	0,62	0,47	0,47	0,21	0,34	0,12	0,37
Mg (%)	0,24	0,57	0,28	0,49	0,41	0,4	0,18	0,32	0,09	0,36
Mn (ppm)	505	922	1480	1480	437	746	714	623	849	1820
Mo (ppm)	<1	<1	<1	<1	1	<1	1	<1	<1	1
Na (%)	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Ni (ppm)	8	5	14	11	13	10	10	8	4	17
P (ppm)	290	230	360	510	370	480	260	320	180	700
Pb (ppm)	4	13	7	12	14	11	4	9	3	14
S (%)	0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,03	0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,02
Sb (ppm)	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2
Sc (ppm)	6	12	5	10	8	7	3	7	2	8
Sr (ppm)	18	17	14	25	22	17	9	19	7	21
Th (ppm)	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Ti (%)	0,14	0,25	0,12	0,21	0,17	0,17	0,08	0,13	0,04	0,15
Tl (ppm)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
U (ppm)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
V (ppm)	59	81	39	77	107	72	33	54	16	74
W (ppm)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Zn (ppm)	50	70	42	81	67	61	62	46	17	66
Hf (ppm)	220	17	47	26	63	66	21	24	13	31
Nb (ppm)	32	12	10	14	13	15	8	11	4	12
Rb (ppm)	120	135	143	152	130	144	117	119	97	131
Sn (ppm)	6	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	<5	<5
Ta (ppm)	2,3	0,9	0,8	1,3	1,2	1,3	0,6	0,9	<0,5	1
Zr (ppm)	8170	650	1760	1000	2430	2410	820	900	480	1200

4.1.3. Elementos de tierras raras

Las tierras raras (TR) son un grupo de elementos químicos con números atómicos entre el 57 y el 71 conocidos también como lantánidos, elementos desde el lantano (La) al lutecio (Lu). Normalmente se incluye en esta clasificación al itrio (Y) y al escandio (Sc) y se excluye al prometio (Pm) debido a que no posee isótopos de larga vida. Todas las tierras raras son metales, poseen propiedades similares, sus radios iónicos son parecidos, no son solubles ni móviles en solución acuosa, y suelen presentarse juntas en depósitos geológicos por lo que su separación es complicada. Es por esta razón que se les añade el adjetivo de “raras” ya que a principios del siglo XX eran escasamente ocupadas por su difícil manejo y era inusual el hallazgo de minas con altas concentraciones de minerales portadores. Elementos comunes para las personas como el plomo (Pb), níquel (Ni) y zinc (Zn) se encuentran en menor concentración en la corteza terrestre que muchas de las tierras raras. Las más abundantes son el cerio (Ce), lantano (La) y neodimio (Nd), las cuales son tierras raras livianas.

Durante los últimos 20 años la demanda en tierras raras tuvo una gran expansión y adquirió una gran importancia debido al crecimiento en el uso de la tecnología. Estos elementos son ampliamente usados en computadores, celulares, baterías, motores y un sinnúmero de otras aplicaciones en las que su reemplazo disminuye la calidad de los productos o simplemente no es posible. El principal productor es China, alcanzando hasta un 97% de la exportación mundial, le siguen en menor medida Estados Unidos, India, Rusia, y Brasil (USGS Mineral commodity summaries, 2010).

Suelen encontrarse en minerales como la bastnaesita, monacita, xenotima, cerita, davidita y gadolinita. Aunque también se encuentran reemplazando iones mayores en los minerales formadores de roca como feldespatos, biotitas y apatitos, en estos se concentran principalmente tierras raras livianas, por otro lado en piroxenos, anfíboles y granate suelen encontrarse tierras raras pesadas. Los tipos de depósitos en los que se presentan son: rocas ígneas peralcalinas, carbonatitas, óxidos de hierro, cobre y oro, pegmatitas, pórfiros de molibdeno, metamórficos, fosfatitas residuales, paleoplaceres y placeres. Fueron producidas en un comienzo en pequeñas cantidades provenientes de depósitos en pegmatitas graníticas, entre el siglo XIX y XX fueron explotadas en depósitos de placeres, principalmente costeros en Estados Unidos y Australia.

Actualmente la producción mundial de tierras raras está liderada por depósitos de minerales arcillosos y carbonatitas.

La Región del Biobío posee un proyecto de tierras raras vigente, la llamada mina “El Cabrito”, en la ciudad de Penco. Es un depósito de arcillas, minerales supérgenos derivados de la erosión laterítica de rocas ricas en tierras raras, los cuales poseen bajos costos de extracción y baja inversión de capital. Se producen por procesos de meteorización en granitos con granate en los que iones de tierras raras son liberados y luego concentrados por enlaces electrostáticos entre cationes en las arcillas y otros minerales secundarios. Los rangos de mineralización varían en este depósito entre 2.000 – 2.500 ppm de tierras raras de los cuales el 30 – 40 % son tierras raras pesadas e itrio.

Se tomaron 10 muestras para ser analizadas por lantánidos e itrio (Tabla 4.3), las mismas utilizadas para medir elementos trazas, las cuales fueron elegidas posterior al terreno de muestreo tratando de abarcar la totalidad del área de estudio. Su distribución se observa en la Figura 4.2.

Tabla 4.3: Resultados de concentraciones de tierras raras. Se agregan los datos de Au para realizar comparación Los valores se expresan en ppm.

Muestra	19655	19663	19670	19677	19686	19695	19702	19708	19718	19730
Au	3,6	0,006	<0,005	<0,005	3,56	0,232	<0,005	0,438	<0,005	0,018
La	49	50	23	49	53	30	32	28	10	46
Ce	125	101	49	119	161	90	79	73	57	148
Pr	12,1	11,7	5,4	11,8	13	7,8	7,8	7,3	2,8	11,9
Nd	46,1	44,2	21,8	46	51,7	30,2	28,7	27,4	10,8	46,4
Sm	11,1	9	4,5	9,4	9,9	6,2	6,3	5,6	1,7	9,1
Eu	2	1,9	1,4	1,7	1,6	1,7	0,9	1,4	0,7	2,1
Gd	11,4	8,4	5,6	8,7	9,4	6,5	5,4	6,5	2,4	9,9
Tb	1,83	1,33	0,9	1,23	1,38	1,03	0,67	0,99	0,43	1,41
Dy	11,1	7,4	5,3	6,8	7,6	6,4	3,7	5,1	2,3	7,7
Ho	2,97	1,6	1,34	1,47	1,66	1,52	0,79	1,12	0,5	1,65
Er	10,9	4,6	3,8	4	5,4	4,6	2,6	3,7	1,5	5,1
Tm	1,84	0,63	0,67	0,63	0,89	0,77	0,4	0,53	0,26	0,8
Yb	15,2	4,7	5,5	5,1	6,1	6,3	2,7	3,9	1,4	5,2
Lu	2,83	0,76	0,85	0,79	1,11	1,03	0,5	0,62	0,3	0,9
Y	85	40	33	39	45	42	23	31	12	46

Se confecciona un diagrama multielemental (Figura 4.5) con el fin de hacer una comparación de los contenidos de tierras raras. Los resultados entregan una concentración de interés, sobre todo

en tierras raras livianas más que en pesadas. Se observa un leve aumento de los contenidos de estos elementos en puntos en los que también se encuentra un alto contenido en oro (Tabla 4.3). Para realizar una comparación con los valores de fondo se requiere muestras químicas de las rocas aledañas al prospecto las cuales no fueron medidas en este estudio, por esta razón la comparación se realiza con las concentraciones de tierras raras de las rocas de Biolantánidos en Penco, ubicado a 24 km al NW en línea recta del Prospecto Poñén y que corresponden al mismo Batolito Costero Sur, y en parte a los Granitoides de Concepción. Las rocas portadoras de minerales con tierras raras en la Mina “El Cabrito” son principalmente dioritas de biotita y tonalitas de granate (Tabla 4.4) con estos datos se puede observar preliminarmente un alto contenido en tierras raras en el prospecto, tanto de livianas como pesadas, haciendo un énfasis en las livianas.

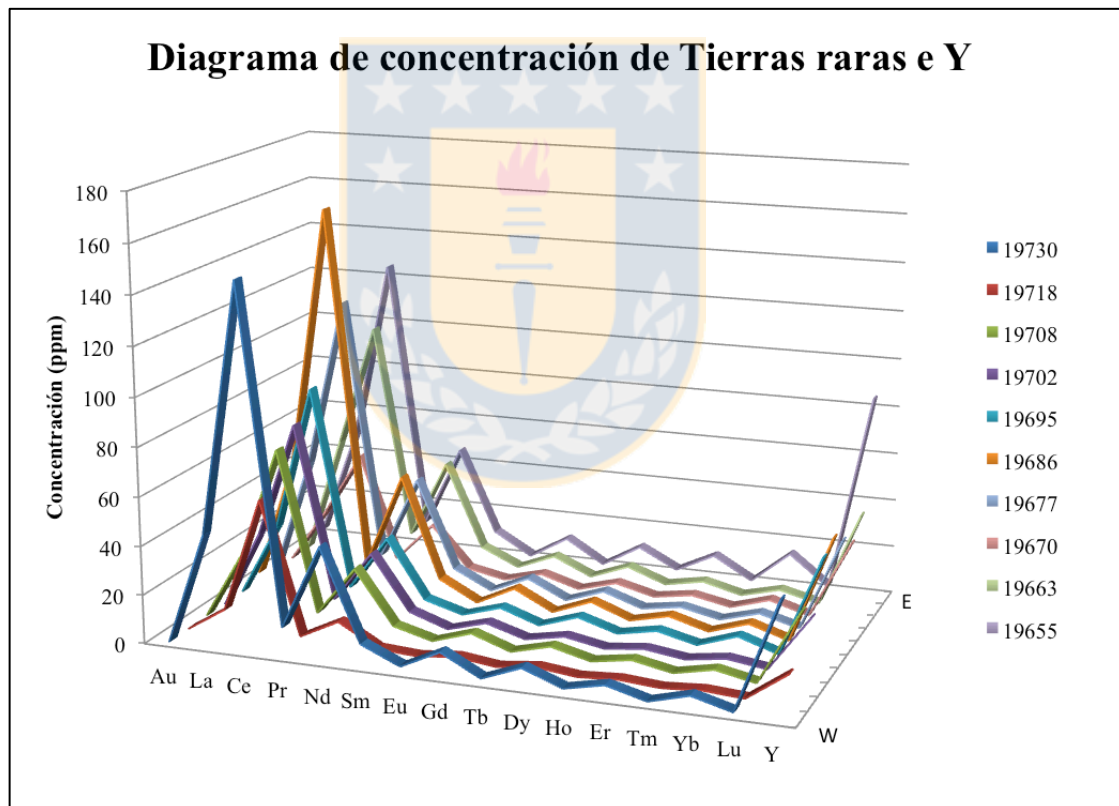


Figura 4.5: Diagrama multielemental concentración de Tierras raras e Y. Las concentraciones se entregan en ppm.

Los placeres con contenido significativo de tierras raras son depósitos de edad cenozoica o cuaternaria, derivados de rocas graníticas o metamórficas de alto grado, aunque también existen paleoplaceres ricos en estos elementos (Castor y Hedrick, 2006). Los depósitos más rentables se encuentran cerca de las líneas de costa actuales en placeres de zircón, ilmenita, rutilo y monazita.

Sin embargo, el alto contenido de Th en este tipo de yacimientos ha provocado el cierre de muchos, por su alta radioactividad, haciendo difícil y costosa su extracción. Los placeres de minerales portadores de tierras raras del Prospecto Poñén poseen concentraciones de interés económica como arrojaron los resultados, sin embargo la extracción y separación de estas es lo difícil y costoso. Se recomienda realizar estudios de rocas del sector para arrojar resultados más concluyentes con respecto a estos elementos.

Tabla 4.4: Comparación de concentración de tierras raras total. Se compara la concentración total de tierras raras del muestreo en el Prospecto Poñén con los valores de Biolantánidos en Penco. LREE: tierras raras livianas, HREE: tierras raras pesadas, REE: tierras raras, REE + Y: Tierras raras e itrio. Las concentraciones se expresan en ppm.

	Tonalita de granate	Tonalita de biotita	Diorita de biotita	Diorita cuarcífera	Metapelita	Prospecto Poñén
Σ LREE	1627	150	1973	293	212,2	1905,1
Σ HREE	236	26	321	35	25	282,93
Σ REE	1864	176	2294	328	236,92	2187,93
Σ REE+ Y	2269	213	2798	373	268,92	2583,93

4.1.4. Concentraciones de oro y plata

El oro y la plata son los metales de interés en el estudio, sobretodo el oro. Sus concentraciones se miden mediante ensayos al fuego, análisis realizados por el laboratorio ALS de Santiago. La plata sólo se analiza en 10 muestras, las mismas en las que se calcularon los elementos traza. Por otro lado, la concentración de oro se obtiene en las 80 muestras del estudio (Tabla 4.5).

Los pozos de muestreo se distribuyen a lo largo del área de estudio, desde la zona oriental a la occidental del prospecto. El contenido promedio de oro en las rocas intrusivas félsicas es entre 0,0045 – 0,01 ppm (Govett, 1983; Hawkes y Webb, 1965 en Collao y otros, 2000).

Se dividen las concentraciones dadas por los análisis de laboratorio en tres. La representación en el mapa de muestreo se indica en la figura 4.6.

- **Bajo límite de detección:** La concentración es menor a <0,005 ppm y no pudo ser medida por el ensayo al fuego. Se presentan en color verde en el mapa.
- **No atractivo:** Las concentraciones medidas son entre 0,005 – 0,5 ppm. Se presentan en color amarillo en el mapa.
- **Atractivo:** Las concentraciones medidas son entre 0,5 – 10 ppm o mayores pero se toma 10 ppm como el umbral superior debido a que este es el límite de detección superior del ensayo al fuego. Se presentan en color rojo en el mapa.

Tabla 4.5: Resultados concentraciones de Au y Ag.

Muestra	Au (ppm)	Ag (ppm)	Muestra	Au (ppm)	Ag (ppm)
19651	0,007		19693	<0,005	
19652	0,464		19694	<0,005	
19653	0,006		19695	0,232	<0,2
19654	0,728		19696	<0,01	
19655	3,6	0,9	19697	<0,005	
19656	0,269		19698	<0,005	
19657	0,101		19699	<0,005	
19658	0,005		19701	<0,005	
19659	<0,005		19702	<0,005	<0,2
19660	<0,005		19703	0,156	
19661	0,01		19704	0,005	
19662	0,005		19705	0,514	
19663	0,006	<0,2	19706	0,399	
19664	<0,01		19706-B	0,253	
19665	<0,005		19707	<0,005	
19666	0,007		19708	0,438	<0,2
19667	0,006		19709	<0,01	
19667-B	0,243		19710	0,014	
19668	<0,005		19711	<0,005	
19669	<0,005		19712	<0,005	
19670	<0,005	<0,2	19713	<0,005	
19671	0,007		19714	<0,005	
19672	<0,005		19715	<0,005	
19673	<0,005		19716	<0,005	
19674	<0,005		19717	0,476	
19675	0,064		19718	<0,005	<0,2
19676	0,011		19719	<0,005	
19677	<0,005	<0,2	19720	<0,005	
19678	<0,01		19721	<0,005	
19679	0,007		19722	0,647	
19680	<0,005		19723	0,224	
19681	2,62		19724	2,01	
19682	2,38		19725	<0,005	
19683	<0,005		19727	<0,005	
19684	4,46		19728	<0,005	
19685	>10,0		19729	0,025	
19686	3,56	<0,2	19730	0,018	<0,2
19687	1,72		19731	<0,01	
19688	0,258		19732	0,157	
19689	<0,005		19733	<0,005	
19690	1,205		19734	<0,005	
19691	<0,005		19735	0,242	
19692	<0,005				

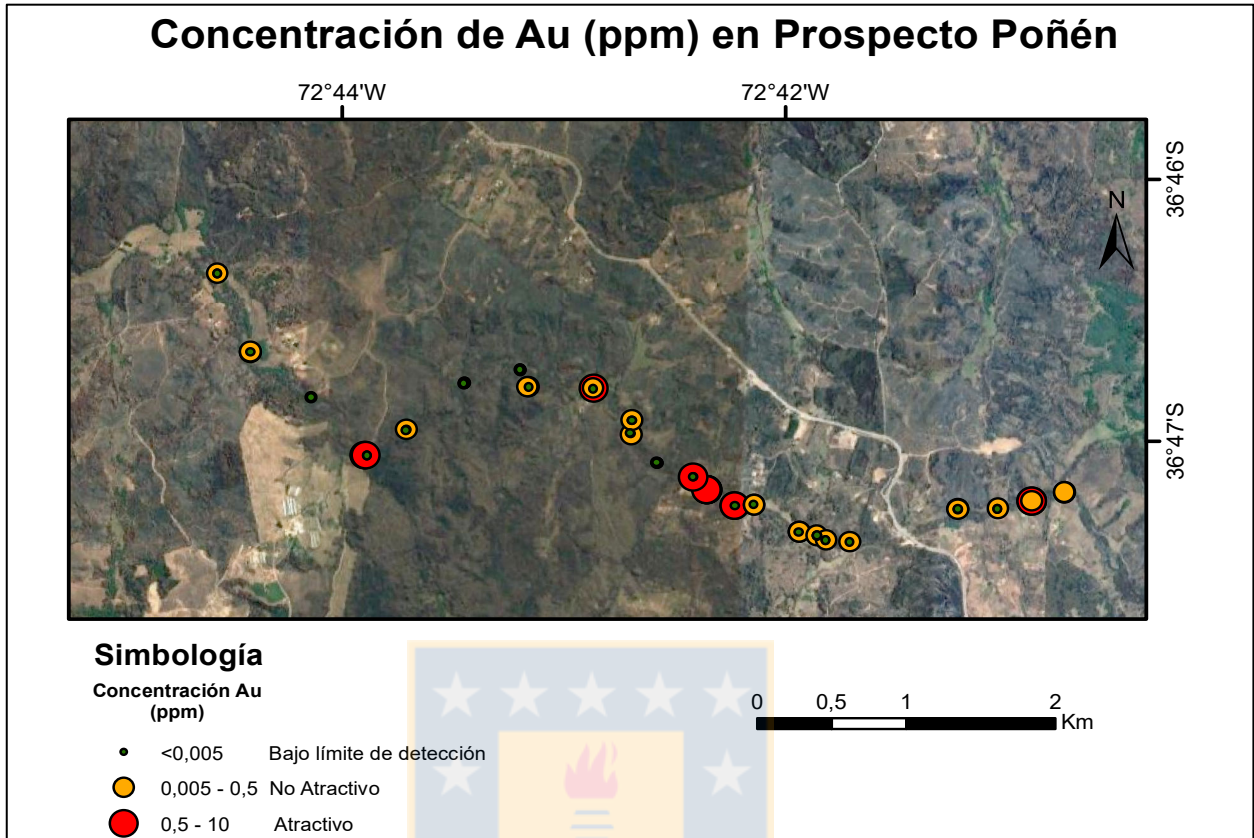


Figura 4.6: Mapa de concentraciones de oro en Prospecto Poñén. Las concentraciones se entregan en ppm.

Los sectores atractivos se disponen principalmente en el área central del prospecto, con dos anomalías, una en los primeros puntos de muestreo donde se une al Estero Lajuella un valle antiguo con un curso fluvial no presente en la actualidad, y la segunda se observa en la zona occidental, cercana al sector de San Miguel donde se encuentra un meandro de mayor tamaño.

Las altas concentraciones de oro en los puntos atractivos coinciden con barras donde se encontraron clastos de cuarzo y plagioclasas de entre 2 – 10 cm y una matriz de arena muy gruesa. En el centro del prospecto es posible observar rocas graníticas más competentes (Figura 4.7) y mayor número de afloramientos, lo que permite concluir que en sectores donde se muestreó más cercano a la circa se obtienen mayores concentraciones.

Los resultados que arrojaron los análisis químicos para la plata no son de mayor interés, sólo uno de ellos, en la zona oriental, cercano a los primeros puntos de muestreo y donde también se encuentra una alta concentración de oro presenta un valor sobre el límite de detección, todos los

demás muestran valores que no fueron posible medir con ensayo al fuego por lo que se descarta la plata como un mineral de interés en estos placeres.



Figura 4.7: Rocas competentes sector atractivo. Pozos donde era posible llegar a la circa.

4.2. Cálculo ley media de oro

El cálculo de la ley media de oro en el prospecto se realiza con las concentraciones de oro entregadas en ppm por los análisis realizados a las muestras (Tabla 4.6). Para esto se disponen todos los datos en una plantilla de Excel y se eliminan los que presenten concentraciones bajo el límite de detección del ensayo al fuego, es decir todos los $< 0,005$ ppm. Aquellos que superan el límite de detección se reemplazan por 10 ppm y los realizados por retalla, método que consiste en separar la fracción gruesa de la fina mediante tamizado para luego analizarlas por separado y posteriormente ponderar los resultados, que tengan concentraciones bajo el límite de detección se reemplazan por este límite, es decir por 0,01 ppm.

4.2.1. Método de los polígonos

Uno de los métodos convencionales para el cálculo de reservas es el de los polígonos. Suele emplearse en el caso de capas mineralizadas horizontales o sub horizontales exploradas por pozos irregularmente distribuidos. Consiste en trazar en la superficie del yacimiento una serie de poliedros, cuyas superficies o zonas de influencia se ponderan por la altura del pozo, para obtener el volumen y tonelaje mineralizado.

La construcción de los polígonos se hace bajo la suposición de que el área de influencia de un punto de muestreo, en este caso de cada una de las trampas, se extiende hasta la mitad de la distancia entre la trampa actual y la siguiente. A esa distancia se trazan perpendiculares que unen a los restantes trazos perpendiculares para formar así todos los polígonos, en la figura 4.8. se aprecia la forma tradicional de confeccionar estos polígonos.

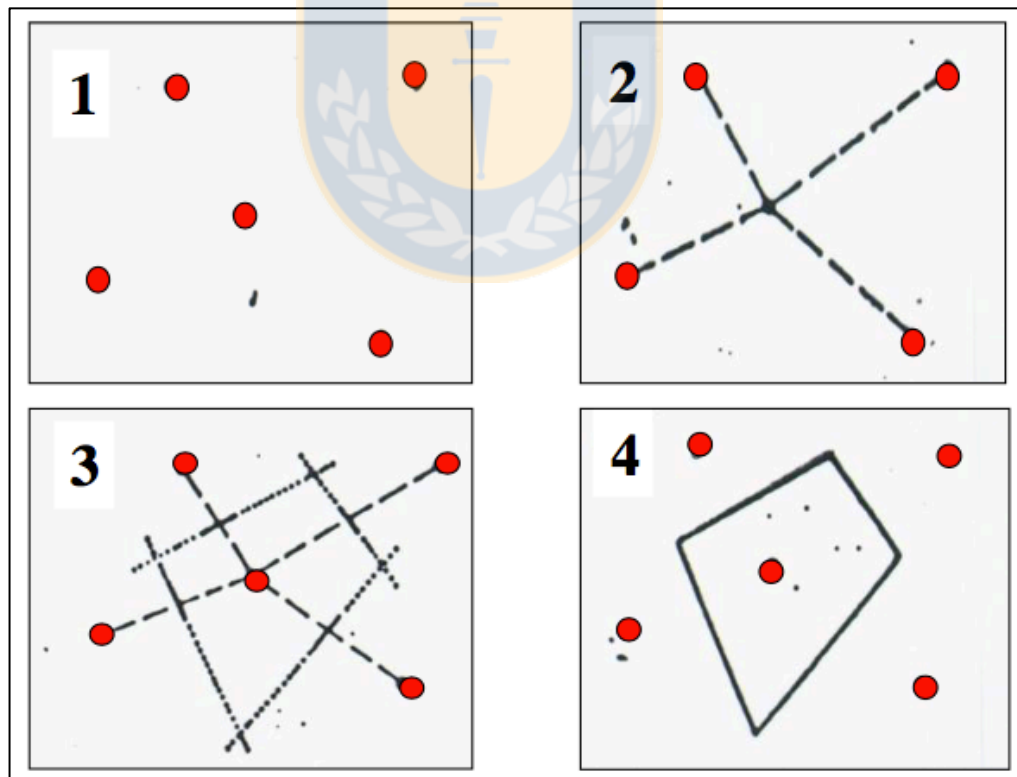


Figura 4.8: Construcción de polígonos.

En el caso del área muestreada se hacen polígonos por cada una de las trampas de sedimentos, es decir, en cada meandro. Debido a que las trampas no se encuentran contiguas y hay un espacio entre ellas que no se muestrea no se pueden realizar polígonos para todo el prospecto.

El cálculo de los polígonos se hace por lo tanto, por cada trampa. Si la trampa es mayor a 10 m se realizan tres polígonos, en cambio si está es menor y solo se realizó un pozo en ella entonces se confecciona solo un polígono.

4.2.1.1. Cálculo ley media del prospecto

Para realizar el cálculo de la ley media se utiliza el área de los polígonos generados en el prospecto y los datos de leyes de oro en ppm entregados por el laboratorio ALS Santiago. El método consiste en utilizar los datos de cada pozo para ponderar la ley de oro por un área o volumen de influencia.

Debido a la distancia entre los puntos muestreados la confección de los polígonos se restringió a cada una de las trampas y no al prospecto en general.

El cálculo de ley media del área muestreada es relativamente sencillo y se ilustra en la Tabla 4.6. Se disponen en una plantilla de Excel los datos de área de los polígonos y el espesor del pozo para calcular su volumen en m^3 . Las toneladas se consiguen con la multiplicación del volumen y el peso específico de los sedimentos que fue medido en laboratorio mediante muestras de las arenas del estero, se realiza una sumatoria de los tonelajes obtenidos para saber el tonelaje total de área muestreada. Posteriormente se multiplica la ley de Au en ppm por las toneladas para cada polígono y se hace la sumatoria total de estos productos, ese resultado se divide por el tonelaje total previamente calculado y se obtiene la ley media de Au en ppm del área muestreada.

El resultado final del sector muestreado es una ley media de 0,268 ppm de Au, un volumen de $1.671,86 m^3$ y un tonelaje de 4.353,513 ton.

La ley de oro en g/ton es de 0,268 g/ton debido a que $1 \text{ ppm} = 1 \text{ g/ton}$. Por lo tanto, se calculan además los recursos en Onzas troy, unidad de medida económica del oro que equivale a 31,1034768 gramos de oro, dando como resultado 1.166 Oz troy.

Tabla 4.6: Cálculo ley media del área muestreada.

Polígono	Muestra	Área (m ²)	Espesor (m)	Volumen (m ³)	p.e.	Toneladas métricas	Ley Au (ppm)	Ton x Ley
1	19651	52,50	0,50	26,25	2,604	68,36	0,007	0,48
2	19652	25,00	0,60	15,00	2,604	39,06	0,464	18,12
3	19653	52,50	0,50	26,25	2,604	68,36	0,006	0,41
4	19654	12,00	0,60	7,20	2,604	18,75	0,728	13,65
5	19655	20,00	0,50	10,00	2,604	26,04	3,600	93,74
6	19656	12,00	0,50	6,00	2,604	15,62	0,269	4,20
7	19657	16,25	0,50	8,13	2,604	21,16	0,101	2,14
8	19658	12,50	0,50	6,25	2,604	16,28	0,005	0,08
9	19659	16,25	0,45	7,31	2,604	19,04	0,004	0,08
10	19660	3,00	0,50	1,50	2,604	3,91	0,004	0,02
11	19661	3,00	0,60	1,80	2,604	4,69	0,010	0,05
12	19662	10,00	0,50	5,00	2,604	13,02	0,005	0,07
13	19663	6,00	0,50	3,00	2,604	7,81	0,006	0,05
14	19665	20,00	0,15	3,00	2,604	7,81	0,004	0,03
15	19666	11,00	0,50	5,50	2,604	14,32	0,007	0,10
16	19667	22,50	0,50	11,25	2,604	29,30	0,006	0,18
17	19668	15,00	0,15	2,25	2,604	5,86	0,004	0,02
18	19669	22,50	0,40	9,00	2,604	23,44	0,004	0,09
19	19670	10,13	0,35	3,54	2,604	9,23	0,004	0,04
20	19671	6,75	0,35	2,36	2,604	6,15	0,007	0,04
21	19672	6,75	0,45	3,04	2,604	7,91	0,004	0,03
22	19674	10,13	0,35	3,54	2,604	9,23	0,004	0,04
23	19675	125,00	0,35	43,75	2,604	113,93	0,064	7,29
24	19676	50,00	0,20	10,00	2,604	26,04	0,011	0,29
25	19677	125,00	0,25	31,25	2,604	81,38	0,004	0,33
26	19678	22,33	0,55	12,28	2,604	31,98	0,010	0,32
27	19679	23,50	0,40	9,40	2,604	24,48	0,007	0,17
28	19680	22,33	0,40	8,93	2,604	23,26	0,004	0,09
29	19681	14,10	0,50	7,05	2,604	18,36	2,620	48,10
30	19682	18,00	0,50	9,00	2,604	23,44	2,380	55,78
31	19683	14,10	0,10	1,41	2,604	3,67	0,004	0,01
32	19684	9,00	0,50	4,50	2,604	11,72	4,460	52,26
33	19685	9,00	0,60	5,40	2,604	14,06	10,000	140,62
34	19686	20,00	0,45	9,00	2,604	23,44	3,560	83,43
35	19687	18,00	0,45	8,10	2,604	21,09	1,720	36,28
36	19689	282,75	0,60	169,65	2,604	441,77	0,004	1,77
37	19690	43,50	0,60	26,10	2,604	67,96	1,205	81,90
38	19691	282,75	0,50	141,38	2,604	368,14	0,004	1,47
39	19692	15,75	0,25	3,94	2,604	10,25	0,004	0,04
40	19693	22,50	0,50	11,25	2,604	29,30	0,004	0,12
41	19694	15,75	0,25	3,94	2,604	10,25	0,004	0,04
42	19695	171,00	0,35	59,85	2,604	155,85	0,232	36,16
43	19697	30,00	0,50	15,00	2,604	39,06	0,004	0,16
44	19698	171,00	0,50	85,50	2,604	222,64	0,004	0,89
45	19701	122,00	0,25	30,50	2,604	79,42	0,004	0,32
46	19702	20,00	0,40	8,00	2,604	20,83	0,004	0,08

Tabla 4.6: Cálculo ley media del área muestreada. Continuación.

Polígono	Muestra	Área (m ²)	Espesor (m)	Volumen (m ³)	p.e.	Toneladas métricas	Ley Au (ppm)	Ton x Ley
48	19704	228,00	0,55	125,40	2,604	326,54	0,005	1,63
49	19705	60,00	0,50	30,00	2,604	78,12	0,514	40,15
50	19706	228,00	0,50	114,00	2,604	296,86	0,399	118,45
51	19707	54,00	0,50	27,00	2,604	70,31	0,004	0,28
52	19708	20,00	0,60	12,00	2,604	31,25	0,438	13,69
53	19710	54,00	0,55	29,70	2,604	77,34	0,014	1,08
54	19711	42,00	0,55	23,10	2,604	60,15	0,004	0,24
55	19712	20,00	0,50	10,00	2,604	26,04	0,004	0,10
56	19713	42,00	0,65	27,30	2,604	71,09	0,004	0,28
57	19714	45,50	0,20	9,10	2,604	23,70	0,004	0,09
58	19715	35,00	0,40	14,00	2,604	36,46	0,004	0,15
59	19716	45,50	0,50	22,75	2,604	59,24	0,004	0,24
60	19717	47,25	0,30	14,18	2,604	36,91	0,476	17,57
61	19718	22,50	0,55	12,38	2,604	32,22	0,004	0,13
62	19719	47,25	0,35	16,54	2,604	43,06	0,004	0,17
63	19720	43,50	0,50	21,75	2,604	56,64	0,004	0,23
64	19721	43,50	0,60	26,10	2,604	67,96	0,004	0,27
65	19722	30,00	0,50	15,00	2,604	39,06	0,647	25,27
66	19724	87,00	0,50	43,50	2,604	113,27	2,010	227,68
67	19727	18,00	0,54	9,72	2,604	25,31	0,004	0,10
68	19728	37,50	0,30	11,25	2,604	29,30	0,004	0,12
69	19729	25,00	0,20	5,00	2,604	13,02	0,025	0,33
70	19730	37,50	0,30	11,25	2,604	29,30	0,018	0,53
71	19732	75,00	0,45	33,75	2,604	87,89	0,157	13,80
72	19733	30,00	0,50	15,00	2,604	39,06	0,004	0,16
73	19734	75,00	0,65	48,75	2,604	126,95	0,004	0,51
				1.671,86		4.353,513		1.169,5829
				Ley media:	0,268	ppm Au		

5. PRE-FACTIBILIDAD Y POTENCIAL DE EXPLOTACIÓN DEL PROSPECTO POÑÉN

5.1. Pre-factibilidad de explotación del Prospecto Poñén

En este capítulo se discute la factibilidad de explotación de los placeres de oro de interés en el Prospecto Poñén y cómo implementarla, considerando la escala a la cual debería ser extraído el oro.

El paso siguiente a la exploración son los estudios de pre-factibilidad y factibilidad de explotación. En este caso se realiza un estudio preliminar de la pre-factibilidad de explotación en los placeres de oro del Prospecto Poñén, Región del Biobío. Para esto se usará el modelo jerárquico para prospectos aluviales de oro en Chile (Figura 5.1) realizado por un grupo de profesionales expertos en el área en el estudio de Lagos y otros (2015). A cada uno de los atributos de este modelo se le asigna un valor (Tabla 5.1) y luego se calcula el potencial del prospecto. Un potencial alto tendrá un puntaje entre 1 – 0,66, el medio entre 0,65 – 0,52 y el bajo entre 0,52 – 0. Se modifica en la tabla el atributo de propiedad minera “vigente”, ya que si pertenece a ENAMI, el cual es el caso, presenta un mayor potencial.



Figura 5.1: Árbol de jerarquía. Lagos y otros (2015).

Tabla 5.1: Tabla de puntajes para cada atributo. Modificado de Lagos y otros (2015).

Nivel Jerárquico 1	Nivel Jerárquico 2	Valores nivel Jerárquico 2 (Puntaje asociado)
POTENCIAL DEL NEGOCIO 41,32 %	RAZÓN ESTÉRIL MINERAL 5,28 %	REM < 2,5 (1,00)
		2,5 < REM ≤ 5 (0,78)
		5 < REM ≤ 7,5 (0,56)
		7,5 < REM ≤ 10 (0,33)
		REM > 10 (0,11)
	LEYES (mg/m ³) 11,21 %	Ley > 3 (1,00)
		1,5 < Ley ≤ 3 (0,78)
		1 < Ley ≤ 1,5 (0,56)
		0,5 < Ley ≤ 1 (0,33)
		Ley ≤ 0,5 (0,11)
	RECURSOS (Oz Au) 24,83 %	Recursos > 50.000 (1,00)
		20.000 < Recursos ≤ 50.000 (0,78)
		10.000 < Recursos ≤ 20.000 (0,56)
		3.000 < Recursos ≤ 10.000 (0,33)
		Recursos < 3000 (0,11)
FACTIBILIDAD TÉCNICA ECONÓMICA 33,40 %	TIPOS DE YACIMIENTOS 3,13 %	Terrazas actuales (0,79)
		Terrazas colgadas (1,00)
		Paleocanales (0,20)
	AGUA LOCAL 5,37 %	Playa (0,57)
		Cercano (1,00)
		Medio (0,62)
	COLUMNA SEDIMENTARIA 12,59 %	Bajo (0,17)
		No bolones no arcillas (1,00)
		Bolones arcillas (0,07)
	MINERALIZACIÓN 12,31 %	Bolones no arcillas (0,42)
		No bolones arcillas (0,24)
		Fino laminar (0,09)
		Fino subredondeado (0,15)
		Grueso laminar (0,65)
		Grueso subredondeado (1,00)
USO DE SUELO 4,01 %	Intermedio laminar (0,33)	
	Intermedio grueso (0,58)	
	Habitacional (0,17)	
	Agrícola (0,79)	
	Forestal (0,45)	
	Lecho río / playa / terreno (1,00)	
	COMUNIDADES CERCANAS. 2,59 %	Comunidades cercanas (0,93)
		No tiene comunidades cercanas (1,00)
		PROPIEDAD MINERA 5,95 %
Posiblemente vencida o negociable (0,59)		
Vigente de ENAMI (1,00)		
AGUA REGIONAL 3,52 %	VIII región al sur (1,00)	
	VI y VII regiones (0,58)	
	IV y V regiones (0,14)	
	III al norte (0,00)	
OTROS VIABILIDAD EXPLOTACIÓN 17,16 %		

Tabla 5.1: Tabla de puntajes para cada atributo (Cont). Modificado de Lagos y otros (2015).

OTROS VIABILIDAD EXPLOTACIÓN (Continuación) 17,16 %	CLIMA 1,09 %	Entre IV y VI regiones (1,00)
		III región al norte (0,34)
		Entre VIII y X regiones (0,65)
		XI y XII regiones (0,39)
IMPACTO DEL NEGOCIO 8,12 %	TASA DE DESOCUPACIÓN 8,12 %	Desocupación > 20% (1,00)
		15 % < desocupación ≤ 20% (0,78)
		10 % < desocupación ≤ 15% (0,56)
		5% < desocupación ≤ 10% (0,33)
		Desocupación < 5% (0,11)

El modelo de priorización de la tabla 5.1. permite ordenar los yacimientos de placeres de oro según su potencial de explotación a partir de la ponderación relativa de cada una de las variables consideradas. Lagos y otros (2015) realizan una encuesta a expertos en el tema mediante un taller durante su investigación. Se le da un peso mayor a las opiniones de los expertos con un criterio más técnico y con mayor experiencia en la materia. Se les pide individualmente que den un peso en porcentaje a cada campo de la jerarquía y posteriormente se desarrolla un perfil ponderado que representa los criterios de todo el panel.

5.1.1. Potencial de negocio

- REM: La razón de estéril mineral (REM) es la razón existente entre la cantidad de material estéril que se retira de una operación (mina) con respecto a la cantidad de mineral útil aprovechable que puede alcanzarse. Los valores del nivel jerárquico 2 de la tabla 5.1 asigna 0,11 a razones mayores a 10, el Prospecto Poñén sobrepasa esta razón.
- Leyes: Las leyes de la categorización se miden en mg/m^3 y asignan el máximo valor a una ley media mayor a $3 \text{ mg}/\text{m}^3$. El Prospecto Poñén presenta una ley media que le asigna un puntaje de 1.
- Recursos: Los recursos medidos en el prospecto son de 41,15 Oz por lo que se les asigna un valor de 0,11

5.1.2. Factibilidad técnica económica

- Tipo de yacimiento: Se refiere a la forma del yacimiento según la situación geológica de los sedimentos que la componen. En general los puntos de mayor interés en el prospecto corresponden a la categoría de terrazas actuales, las cuales incluyen al curso actual del estero y el nivel de terrazas de inundación. El valor correspondiente a este atributo es de 0.79.
- Agua Local: Corresponde a la cercanía de agua disponible para separar el oro del estéril en una posible explotación. La mineralización del prospecto se encuentra en terrazas actuales cercanas al estero, por lo que el valor asignado a todos es de 1.
- Columna de sedimentos: Esta categorización se hace en función a dos elementos con mayor afección al desarrollo de una posible producción, estos son los bolones que pueden llegar a dañar los equipos, son más difíciles de extraer y de separar y a las arcillas, material que produce mayor dificultad a la hora de separar el oro. En el caso de los placeres más atractivos del prospecto se encuentran las condiciones ideales de no bolones y no arcillas por lo que se le asigna un valor de 1.
- Mineralización: La morfología con la que se presentan las partículas de oro se clasifica según su tamaño y forma. El oro del prospecto corresponde a tamaño fino menor a la malla #200 como se observa en pulidos transparentes en el microscopio, por otro lado su forma no se puede distinguir entre laminado y subredondeado en los pulidos. Por bibliografía se reconoce en los placeres de Florida históricamente oro subredondeado (Stange, 2011) por lo que se le asigna un valor de 0,15.

5.1.3. Otros y viabilidad de explotación

- Uso suelo actual: Este atributo corresponde al uso que se le da a los terrenos en los que se encuentran los yacimientos. En el caso del prospecto Poñén el área de muestreo se encuentra en terreno fiscal de lecho de río, adyacente a este el uso de suelo es forestal. Se le da el valor correspondiente al muestreo en suelo del estado, asignándose 1.

- Comunidades cercanas: Este ítem se centra en los permisos necesarios para la explotación. En el caso de que dentro de un radio de 15 km se encuentren comunidades establecidas sean indígenas o no, se asigna un valor de 0,93, como en el prospecto.
- Propiedad minera: Las opciones de propiedades mineras atribuyen una alta prioridad a los atributos libre y vigente por ENAMI, ya que si está libre se puede adquirir y si está vigente a nombre de ENAMI es lo ideal. Los placeres del prospecto poseen un valor 1 debido a que tienen vigente una concesión de exploración a nombre de ENAMI.
- Agua regional: Los yacimientos que no se encuentren en las cercanías de cursos de agua dependen esencialmente de la disponibilidad de agua regional. En el caso del prospecto al encontrarse en la VIII Región del Biobío obtiene un valor de 1, por la gran cantidad de este recurso disponible desde esta región hacia el sur del país.
- Clima: Las condiciones climáticas limitan los períodos de explotación y su funcionamiento, controlan la cantidad de agua disponible como también la posibilidad del desarrollo de las faenas debido a las inclemencias del tiempo. El prospecto se encuentra en una zona en el que el clima afecta pero no mayormente, por lo que se le asigna un valor de 0,65.

5.1.4. Impacto del negocio

- Tasa de desocupación: El impacto de posibles faenas afectaría positivamente a la tasa de desocupación del lugar. Los datos ocupados fueron el promedio de la Región del Biobío el cual es 13,7%, obtenido desde la Encuesta Casen del 2013. Por lo tanto el valor asignado a este atributo es de 0,56.

5.2. Potencial de explotación del Prospecto Poñén

El análisis preliminar de la pre-factibilidad basándose en los aspectos técnicos y económicos entregados anteriormente es fundamental para la decisión de explotar o no los placeres de oro presentes en el prospecto Poñén. Se realiza el cálculo del potencial de explotación con los valores

dados en la Tabla 5.2, entregando como resultado un puntaje de 0,57 por lo tanto el prospecto tiene un medio potencial de explotación.

Tabla 5.2: Tabla de valores para calcular potencial de explotación. Valores para el Prospecto Poñén.

	Prospecto	Poñén
Potencial del Negocio	REM	0,11
	Leyes	1
	Recursos	0,11
Factibilidad técnica económica	Tipos de yacimientos	0,79
	Agua local	1
	Columna sedimentaria	1
	Mineralización	0,15
Otros Viabilidad explotación	Uso de suelo	1
	Comunidades cercanas	0,93
	Propiedad minera	1
	Agua regional	1
	Clima	0,65
Impacto del negocio	Tasa de desocupación	0,56
Puntaje Final Ponderado		0,57

5.3. Escala de explotación

El prospecto obtuvo un puntaje total ponderado de 0,57 lo que se cataloga con un medio potencial de explotación, se realiza el cálculo de la escala de explotación por investigación. Para esto se utilizan los criterios descritos por Lagos y otros (2015) en donde se incluyen los recursos en oz y las leyes en g/m^3 como indicadores determinantes de la escala (Tabla 5.3).

Tabla 5.3: Criterios para definir escala de explotación de un placer. Modificado de Lagos y otros (2015).

Criterio 1: Recursos (Oz)	Criterio 2: Leyes (g/m^3)	Clasificación
< 300	-	Recursos insuficientes
< 900	Ley manto ≥ 3	Minería artesanal
< 900	Ley manto < 3	Recursos insuficientes
< 8.000	Ley columna $\geq 0,7$	Pequeña minería
< 8.000	Ley columna < 0,7	Recursos insuficientes
> 8.000	Ley columna $\geq 0,25$	Mediana minería
> 8.000	Ley columna < 0,25	Recursos insuficientes

El Prospecto Poñén presenta 41,15 Oz de oro, siendo menor de las 8.000 descritas en la tabla y una ley de 0,268 ppm, lo que lo clasifica como un prospecto con recursos insuficientes para ser explotados. Sin embargo, se recomienda un estudio más exhaustivo del área en donde se pueda calcular de una mejor forma el volumen mineralizado del prospecto.



6. DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES

6.1. Discusión

Los análisis de los elementos mayores obtenidos mediante fluorescencia de rayos X (Tabla 4.1), entregan valores similares entre si y normales para arenas provenientes de meteorización de granitoides con un alto contenido en Si, Al, Na y Ca asociado a la mineralogía rica en cuarzo y plagioclasas. Al momento de usar el diagrama de Herrón para clasificación de sedimentos (Figura 4.3) se observa que las muestras se incluyen en el campo de las subarcosas, lo cual implicaría una madurez química intermedia, sumado a la baja madurez textural descrita (Figura 3.11), y a que los mayores valores de oro se obtuvieron en muestras de sedimentos cercanas al basamento rocoso, es posible afirmar que las fuentes del Au aluvial no se encuentran tan distantes a los puntos de muestreo.

Dado que los mayores valores de Au, se dan cercanos a la confluencia entre el estero Retamo y Lajuelas, el presente trabajo ratifica parcialmente los estudios anteriores que asignaban mayores valores de Au para ese sector. Estos valores probablemente se deben a una mayor carga inherente de granos de Au en el estero Lajuelas o bien a un cambio brusco de energía en la zona de confluencia, lo cual generó una trampa particularmente efectiva para el Au aluvial. También se observa que en el centro del prospecto es posible observar un mayor número de afloramiento de rocas graníticas más competentes (Figura 4.7) las cuales son una posible fuente del Au del sector, lo que permite concluir que en sectores donde se muestreó más cercano a la circa (basamento) se obtienen mayores anomalías de Au. Dado que las leyes no son atractivas y entregan valores de Au poco rentables económicamente para su explotación, una propuesta a seguir a partir de este estudio es evaluar la explotación selectiva de polígonos de ley media superior a las demás.

Con todos estos antecedentes, este trabajo marca un primer punto de exploración para la búsqueda de las fuentes del Au aluvial, sobre todo en el S del país. Trabajos anteriores han asignado tales fuentes a vetas de sílice auríferos en rocas graníticas del Batolito Costero Sur (Pincheira y otros, 1991) de edad Paleozoica, mientras que Stange (2001) propuso que existiría una relación entre la mineralización de Au, Ag, Cu, Pb, Zn y As, y los cuerpos pegmatíticos presentes en el área. Analizando las leyes de Au de este informe es posible construir los primeros

vectores de búsqueda que podrían indicar la localización de los cuerpos o estructuras que contienen inicialmente la mineralización de Au, para su posterior evaluación. Además, si bien no se puede establecer una relación clara entre las tierras raras y el Au. Se ha observado que existe una leve correlación entre la mayor presencia de tierras raras livianas e Y, y las mayores leyes de Au. Esto sería coherente con la propuesta de Stange (2010), dado que las pegmatitas suelen concentrar REE livianas. Sin embargo, es necesario realizar levantamientos sistemáticos de muestras para cubrir toda la red hidrográfica y las capas de sedimentos asociadas, con el fin de obtener un mayor número de datos y generar relaciones fuertes entre estos valores. Asimismo no se ha podido constatar la asociación directa del Au y otros metales preciosos (Ag, grupo del Pt), dado que ninguno de los análisis realizados acusa la presencia de estos, salvo una excepción.

6.2. Recomendaciones finales

El muestreo del presente estudio de placeres de la Región del Biobío se centró en medir la concentración y calcular las leyes de diversos puntos dentro de un prospecto establecido por el estudio de Lagos y otros (2015). Debido a estos objetivos y al acotado tiempo destinado a terreno se perciben variados ámbitos en los que se recomienda trabajar en un futuro.

Las mayores leyes registradas en el prospecto se encontraron en lugares donde se muestreó más cercano a la circa o roca madre del sector, esto se dio fortuitamente debido a que hubo zonas en los que esta se encontraba aflorando en el estero. Se sugiere buscar más sectores que presenten esta característica y se muestreen y calculen sus leyes. Si no fuera posible encontrarlos cercanos al curso del estero, la recomendación es usar maquinaria pesada para muestrear a 5–10 m de profundidad, abarcando así placeres aún más antiguos que se pueden haber conservado mejor que los presentes en terrazas actuales y zonas de inundación, donde a la vez puede haber un mayor enriquecimiento de minerales pesados.

Una mayor cantidad de campañas de muestreo, puede ampliar la certeza del volumen mineralizado en el sector de Poñén y Lajuelas, el cual en este estudio queda reducido a las trampas muestreadas.

Se recomienda realizar análisis químicos a las rocas que afloran cercanas a los prospectos de Poñén y Lajuela (al E) para generar valores de fondo correspondientes al sector y aumentar la

certeza de la estadística. En este caso se comparó con la geoquímica hecha a granitoides de la mina “El Cabrito” en Penco, rocas similares y cercanas a Poñén, pertenecientes a la misma subunidad del Batolito Costero. Con los análisis químicos de rocas del mismo prospecto se puede buscar la roca fuente del Au encontrado en los placeres, como la de los elementos de tierras raras que se encontraron en altas concentraciones.

Finalmente, se sugiere muestrear placeres del Prospecto Lajueta, que según Lagos y otros (2015) presenta una menor ley pero un mayor volumen mineralizado. En el presente estudio se abarcó solamente unos pocos metros de la parte occidental de este.



7. CONCLUSIONES

A continuación se expondrán las conclusiones obtenidas a lo largo del estudio en contraste con los objetivos específicos planteados en un inicio.

7.1. Metodología de muestreo

Para el estudio del Prospecto Poñén se establecen dos tipos de muestreo, uno destinado principalmente a calcular la ley media de oro del sector muestreado y el segundo a describir la variación composicional del estero.

- Muestreo de pozos auríferos: Se realiza en lugares identificados en la etapa de reconocimiento, en puntos donde se observan trampas de sedimentos y minerales pesados. Consiste en cavar pozos desde donde se extrae la muestra. Si la trampa es mayor a seis metros se realizan tres pozos, si es menor solo se hace uno. Los pozos deben ser de 50 cm de profundidad y 50 cm de diámetro separados a 5 m uno del otro. Se realizan descripciones de la arena del perfil *in situ* para escoger el metraje de donde se muestreará, se busca encontrar niveles de gravas o de arenas oscuras idealmente.
- Muestreo litogeoquímico – mineralógico: Con este muestreo se busca tener información acerca de la mineralogía o contaminaciones presentes en el estero. A medida que se avanza en el muestreo de pozos auríferos se observan cambios en la litología, cuando esto ocurre se toman al menos 50 g de sedimento y se rotulan para ser analizados mediante ensayos de fluorescencia de rayos X.

7.2. Caracterización de depósitos y litologías muestreadas

El estero Lajueta – Retamo, ubicado al N de la comuna de Florida, presenta una forma dendrítica de mediana densidad con desarrollo de meandros. Los depósitos muestreados se encuentran principalmente en la parte interna de los mayores meandros del estero denominados *point bars* con largos de entre 6–70 m y anchos de 3-12 m. Otros depósitos muestreados son barras en el centro del estero con dimensiones entre 10–20 m de largo y 4–7 m de ancho.

La litología presente son principalmente granodioritas de biotita y anfíbol con textura fanerítica de grano medio a grueso. Su mineralogía es en gran medida cuarzo y plagioclasas levemente alteradas a sericita, acompañadas de feldespatos K como microclinas y ortoclasas, además de biotitas y anfíboles levemente alterados a clorita y epidota, la mineralogía metálica encontrada se observa en muestra de mano y al microscopio, estas son hematitas, magnetitas y oro de entre 0,004 – 0,1 mm. Se observan además diques de tonalitas con vetillas de feldespatos, enclaves de la roca caja y xenolitos de granitos con textura aplítica. Este dique se encuentra aguas arriba de la zona de mayor ley y se observan en sus cortes los granos de oro fino por lo que se concluye serían una fuente del oro del curso de agua.

7.3. Cálculo ley media de oro

Las concentraciones de oro entregadas por los análisis químicos (Tabla 4.6) en las arenas del Estero Lajuela – Retamo son utilizadas para el cálculo final de ley media de oro del sector muestreado.

El método seleccionado para el cálculo de reserva es el de los polígonos, empleado en caso de capas mineralizadas horizontales o sub horizontales exploradas mediante pozos irregularmente distribuidos, el cual es el caso del Prospecto Poñén. Con la construcción de los polígonos se pondera la ley de oro de cada uno, por un área o volumen de influencia el cual permite finalmente calcular ley media del área muestreada.

Los resultados son una ley media de 0,268 ppm, un volumen de 1.671,86 m³ y un tonelaje de 4.353,513 ton.

7.4. Conclusiones de análisis químicos

La fluorescencia de rayos X arroja resultados poco concluyentes con respecto a los óxidos mayores no siendo posible identificar una relación con las altas concentraciones de oro. Se determina que la mayor cantidad de muestras pertenecen a sedimentos clasificados como subarcosa, y las demás a lutitas, lutitas ricas en Fe y arenas ricas en Fe. Además de calcular una densidad del sedimento del prospecto de 2,604 g/cm³.

Se realizan análisis de espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo (ICP) para elementos traza y tierras raras. Los resultados para los elementos trazas no arrojan mayores relaciones con respecto a altas concentraciones de oro, solamente se observa una disminución en el Mn con respecto al oro.

Las tierras raras se presentan en una concentración de interés, sobre todo las tierras raras livianas. Se observa un leve aumento de las concentraciones de estas en puntos donde también se encuentran altos contenidos en oro.

El ensayo al fuego arroja que no hay una concentración de interés de plata en el prospecto ya que se observa sólo una muestra sobre el límite de detección del análisis. Por otro lado se distinguen varios puntos con altas concentraciones de oro principalmente a la zona centro de estudio. Se observa también un punto en el lado oriental, cercano al Prospecto Lajueta (Lagos y otros, 2015) y otro en el occidental en el marco de un gran meandro. Las altas concentraciones de oro vinculan con un mayor tamaño de grano de las arenas y clastos de entre 2–10 cm, además de estar en zonas cercanas a la circa.

7.5. Potencial de explotación

Se realiza un estudio preliminar de la pre-factibilidad de explotación del prospecto, este estudio considera el potencial de negocio, la factibilidad técnica económica, la viabilidad de explotación y el impacto del negocio. Entrega como resultado un medio potencial de explotación del prospecto con un puntaje de 0,57 según la Tabla 5.2 en donde se utilizan criterios descritos por Lagos y otros (2015).

Se analiza la escala de explotación con la que debería ser explotado el prospecto, dando como resultado un prospecto con recursos insuficientes debido a su bajo volumen mineralizado.

Finalmente se sugiere realizar análisis químicos a las rocas del sector Poñén-Lajueta para determinar la fuente del oro y elementos de tierras raras de alta concentración encontrados en el muestreo, así como también realizar una campaña de muestreo con mayor maquinaria para llegar a la circa donde se encontrarían las mayores concentraciones de minerales pesados de interés económico en los puntos en que se observó una mayor ley media de oro.

8. REFERENCIAS

AGUIRRE, L.; HERVÉ, F. y GODOY, E. 1972. Distribution of metamorphic facies in Chile: An outline. *Kristallinikum*. Vol. 9: 7-19.

BIRÓ-BAGÓCZKY, L. 1982. Revisión y redefinición de los “Estratos de Quiriquina”, Campaniano-Maastrichtiano, en su localidad tipo en la Isla Quiriquina, 36° 35’ Lat. S, Chile, Sudamérica, con un perfil complementario en Cocholgue. Congreso Geológico Chileno N° 3. Actas 1: A29-A64. Concepción.

BÖRGEL, R. 1983. Geomorfología. Geografía de Chile. Instituto Geográfico Militar: 182 pp. Santiago.

BROOKS, A. H. 1913. The mining industry in 1912. *U.S. Geological Survey Bulletin*. Vol. 542: 18-51.

BROWN, M. 2010. Paired metamorphic belts revisited. *Gondwana Research*. Vol. 18: 46-59.

BRÜGGEN, M. 1950. Fundamentos de la Geología de Chile. Instituto Geográfico Militar: 374 pp. Santiago.

BURÓN, P. 2003. Petrografía, Estructuras y Microtectónica del área de contacto entre las Series Metamórficas del Basamento Metamórfico entre los 38°08’ y 38°21’, Cordillera de Nahuelbuta, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 144 pp. Concepción.

CAMUS, F. 2003. Geología de los sistemas porfíricos en los Andes de Chile. Sociedad Geológica de Chile: 267 pp. Santiago.

CARTES, I. 2004. Petrografía y ambiente de depositación de las metapelitas paleozoicas con huellas fósiles, entre Tomé y Lirquén, VIII Región del Biobío, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 115 pp. Concepción.

CASTOR, S. y HENDRICK J. 2006. Rare earth elements. Industrial minerals and rocks: Commodities, markets, and uses. SME: 1.568 pp.

CHARRIER, R.; PINTO, L. y RODRÍGUEZ, M.P. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean orogen in Chile. The Geology of Chile (Moreno, T. y Gibbons, W. editores). The Geological Society: 21-114. London.

COLLAO, S. y MONTECINOS DE ALMEIDA, P. 1996. El origen de las mineralizaciones de Fe y Mn del Basamento Metamórfico del Centro del Sur de Chile: Petrografía, Mineralogía y Geoquímica. *Acta Geológica Leopoldensia*. Vol. 43: 167-180. São Leopoldo.

- COLLAO, S.; GONZÁLEZ, L. y FLORES, G. 2009. Mineralización de Uranio en Afloramiento Pegmatítico, VIII° Región del Bío-Bío, Chile. Congreso Geológico Chileno N° 12. Acta: S 11-007. CD, 4p. Santiago.
- COLLAO, S.; ALFARO, G.; CECIONI, A.; GONZÁLEZ, A. y QUINZIO, A. 2000. Evaluación de los Recursos Metálicos de la Región del Bio Bío. Universidad de Concepción, Departamento de la Tierra: 207 pp. Concepción.
- CREIXELL, C. 2001. Petrología y Geotermobarometría de las rocas intrusivas de la Cordillera de la Costa entre los 36°30' y 38°00' lat. S. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 149 pp. Concepción.
- EMPRESA NACIONAL DE MINERIA, 1986. Plan Aurífero Nacional. (Inédito). Santiago.
- FERRARIS, F. 1981. Hoja Los Angeles-Angol, Región del Bío-Bío, escala 1:250.000. Mapas geológicos preliminares de Chile N° 5. Instituto de Investigaciones Geológicas: 26 pp.
- FRUTOS, J.; MENCARINI, P.; PINCHEIRA, M.; BOURRET, Y. y ALFARO, G. 1982. Geología de la Isla Quiriquina. Congreso Geológico Chileno N° 3. Actas 3: 307-338. Concepción.
- GAJARDO, A. 1981. Hoja de Concepción-Chillán, Región del Bío-Bío, escala 1:250.000. Mapas Geológicos Preliminares de Chile N° 4. Instituto de Investigaciones Geológicas: 32 pp. Santiago.
- GALLI, C. 1967. Geología Urbana y Suelo de Fundación de Concepción y Talcahuano, Chile. Informe Final del Proyecto de Investigación No 75 de la Comisión de Investigación Científica de la Universidad de Concepción. Universidad de Concepción (Inédito): 248 pp. Concepción.
- GARCÍA, Y. 2004. Aplicación de los métodos círculo de Mohr y programa Reactiva 2.4 en el análisis del stress en las estructuras mayores del área de la ciudad Concepción, Región del Bío-Bío, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 119 pp. Concepción.
- GLODNY, J.; ECHTLER, H.; COLLAO, S.; ARDILES, M.; BURÓN, P. y FIGUEROA, O. 2008. Differential Late Paleozoic active margin evolution in South-Central Chile (37°S-40°S)-the Lanahue Fault Zone. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 26: 397-411.
- GONZÁLEZ-BONORINO, F. 1970. Series metamórficas del basamento cristalino de la Cordillera de la Costa de Chile Central. *Publicaciones*. Departamento de Geología, Universidad de Chile. N° 37: 1-68. Santiago.
- GREINER, G. 1991. Características y distribución de los placeres auríferos de Chile. In Symposium Internacional Sur les Gisements Alluviaux d'Or, Resúmenes, p. 39-52. La Paz.
- HAGEL, J. 1994. Minería del oro. Instituto de Geología Económica Aplicada, Universidad de Concepción: 234 pp. Concepción.

HERRON, M. 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of sedimentary petrology*. Vol. **58**: 820 – 829.

HERVÉ, F. 1977. Petrology of the Crystalline Basement of the Nahuelbuta Mountains, South Central Chile. Comparative studies on the geology of the Circum-Pacific Orogenic Belt in Japan and Chile (Ishikawa, T. y Aguirre L. editores). Japan Society for the promotion of Science: 1-51. Tokyo.

HERVÉ, F., 1988. Late Paleozoic subduction and accretion in Southern Chile. *Episodes*. Vol. **11**: 183-188.

HERVÉ, F. y MUNIZAGA, F. 1978. Evidencias geocronológicas de un magmatismo intrusivo Triásico Superior-Jurásico en la Cordillera de la Costa de Chile entre los 35°30'S y 36°30'S. Congreso Geológico Argentino N° 7. Acta **2**: 43-52. Neuquén.

HERVÉ, F.; FAÚNDEZ, V.; CALDERÓN, M.; MASSONNE, H.J. y WILLNER, A.P. 2007. Metamorphic and plutonic basement complexes. The Geology of Chile (Moreno, T. y Gibbons, W. editores). The Geological Society: 5-19. London.

HERVÉ, F.; GODOY, E.; PARADA, M.A.; RAMOS, V.; RAPELA, C.; MPODOZIS, C. y DAVIDSON, J. 1987. A general view on the Chilean-Argentine Andes, with emphasis on their early History.- Circum Pacific orogenic belts and the evolution of the Pacific Ocean Basin. *Geodynamics Series*. Vol. **18**: 97- 114. Washington.

HEUSCHMIDT, B. 1986. Una nueva clasificación tipológica de los yacimientos auríferos. *Khrysos*. Vol. **1**, (2): 16 – 29.

HÜNICKEN, M. y COVACEVICH, V. 1975. Baculitidae en el Cretácico Superior de la Isla Quiriquina, Chile y consideraciones paleontológicas y estratigráficas. Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía N° 1. Actas **2**: 141-172. Tucumán.

JARA, P. y CHARRIER, R. 2014. Nuevos antecedentes estratigráficos y geocronológicos para el Meso-Cenozoico de la Cordillera Principal de Chile entre 32° y 32°30'S: Implicancias estructurales y paleogeográficas. *Andean Geology*. Vol. **41**, (1): 174-209.

JENKINS, O.P. 1946. Geology of placer deposits: New technique applicable to the study of placers. Placer mining for gold in California (Charles Volney Averill editor). California division of mines. Bull. **135**: 147-216. San Francisco.

LAGOS, G.; JARA, R.; MARQUARDT, C.; JARA, J. y PETERS, D. 2015. Proyecto Identificación y valorización de recursos mineros aluviales de oro en Chile. Informe de avance. Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería de Minería (Inédito): 950 pp. Santiago.

- LÉPEZ, L. 2002. Análisis Estructural del Triásico de Santa Juana al sur y occidente del Río Bío-Bío, VIII Región, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo, Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 151 pp. Concepción.
- LUCASSEN, F.; TRUMBULL, R.; FRANZ, G.; CREIXELL, C.; VÁSQUEZ, P.; ROMER, R. y FIGUEROA, O. 2004. Distinguishing crustal recycling and juvenile additions at active continental margins: the Paleozoic to recent compositional evolution of the Chilean Pacific margin (36-41° S). *Journal of South American Earth Sciences*. N° 17: 103–119.
- MAKSAEV, V. 2001. GL 54A Metalogénesis. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 378 pp. Santiago.
- MARTIN, M.W.; CLAVE, J. y MPODOZIS, C. 1999. Late Palaeozoic to Early Jurassic tectonic development of the high Andean Principal Cordillera, El Indio region, Chile (29°-30°S). *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 12: 33-49.
- MENDOZA, J. 2001. Distribución, caracterización, génesis y características tectónicas de los yacimientos de arenas silíceas del área costera de la VIII Región, entre Coliumo y Los Alamos. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 181 pp. Concepción.
- MILLÁN, A. 2001. Historia de la minería del oro en Chile. Editorial Universitaria S.A.: 231 pp. Santiago.
- MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL, 2015. Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN) 2013. 29 pp.
- MUÑOZ-CRISTI, J. 1946. Estado actual del conocimiento sobre la geología de la Provincia de Arauco. *Anales Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas*. Universidad de Chile. N° 3: 30-63. Santiago.
- MUÑOZ-CRISTI, J. 1956. Chile. Handbook of South American Geology (Jenks, W.F. editor). *Memoir Geological Society of America*. Vol. 65: 187-214.
- PINCHEIRA, M.; JARAMILLO, E. y BLANCO, N. 1991. Evaluación preliminar de los placeres auríferos de la VIII Región. Universidad de Concepción: 65 pp. Concepción.
- PINEDA, V. 1983. Evolución Paleogeográfica de la Península de Arauco durante el Cretácico Superior-Terciario. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología (Inédito): 268 pp. Santiago.
- RAMOS, V.A. 2010. The Grenville-age basement of the Andes. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 29: 77–91.

- RAMOS, V.A.; JORDAN, T.E.; ALLMENDINGER, R.W.; MPODOZIS, C.; KAY, S.M.; CORTÉS, J.M. y PALMA, M. 1986. Paleozoic terranes of the central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics*. Vol. 5, (6): 855-880.
- REUTHER, C.D.; POTENT, S. y BONILLA, R. 2003. Crustal stress history and geodynamic processes of a segmented active plate margin: South-Central Chile: the Arauco Bío-Bío trench arc system. Congreso Geológico Chileno N° 10. Resúmenes Extendidos. Concepción.
- ROLLINSON, H. 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Pearson Education Limited: 352 pp. Harlow.
- SALAZAR, C. 2004. Ammonites del Maastrichtiano de la Formación Quiriquina. VIII Región del Bío-Bío. Chile sistemática, Bioestratigrafía y afinidades paleobiogeográficas. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 155 pp. Concepción.
- SALAZAR, C.; STINNESBECK, W. y QUINZIO-SINN, L.A. 2010. Ammonites from the Maastrichtian (Upper Cretaceous) Quiriquina Formation in central Chile. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*. Vol. 257: 181–236. Stuttgart.
- SCHULTZ, L.G. 1964. Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre Shale. *U.S. Geological Survey Professional Paper*. N° 391C: 1-31.
- STANGE, F. 2011. Posibles Fuentes de los placeres auríferos en la Cordillera de la Costa, Región del Biobío, Chile. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de la Tierra (Inédito): 130 pp. Concepción.
- STINNESBECK, W.; QUINZIO, L.; BONILLA, R. y SALAZAR, C. 2003. La Formación Quiriquina en su localidad tipo, Isla Quiriquina. Concepción, VIII Región del Bío-Bío. Chile. Congreso Geológico chileno N° 10. Guía Excursión Intra-congreso E.I.C.4. Concepción.
- THIEBAUT, L. 1952. Recherche et étude économique des gites métallifères. Librairie Polytechnique Ch. Béranger: 726 pp. Paris.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY. 2010. Mineral commodity summaries 2010: U.S. Geological Survey. United States Government Printing Office: 193 pp. Washington.
- VÁSQUEZ, P. 2001. Petrología y Geotermobarometría del Basamento Metamórfico de la Cordillera de la Costa de Chile, entre los 36°30'S y 38°00'S. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 170 pp. Concepción.
- VÁSQUEZ, P. y FRANZ, G. 2008. The Triassic Cobquecura Pluton (Central Chile): an example of a fayalite-bearing A-type intrusive massif at a continental margin. *Tectonophysics*. Vol. 459, (1-4): 66-84.

VELÁSQUEZ, R. 2012. Petrografía y mineralogía de la pegmatita granítica Poñén e intrusivos en el batolito costero del sur Región del Biobío, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 107 pp. Concepción.

WILLNER, A.; THOMSON, S.; KRÖNER, A.; WARTH, J.; WIJBRANS, J. y HERVÉ, F. 2005. Time markers for the evolution and exhumation history of a Late Paleozoic paired metamorphic belt in North-Central Chile (34°-35°30'S). *Journal of Petrology*. Vol. **46**, (9): 1835-1858.

WILLNER, A.P.; GERDES, A.; MASSONNE, H.J.; SCHMIDT, A.; SUDO, M.; THOMSON, S.N. y VUJOVICH, G. 2011. The geodynamics of collision of a microplate (Chilena) in Devonian times deduced by the pressure–temperature–time evolution within part of a collisional belt (Guarguaraz Complex, W-Argentina). *Contributions to Mineralogy and Petrology*. Vol. **162**, (2): 303-327.



ANEXOS



Anexo 1: Ficha de descripción en terreno.

Instrucciones ficha para trampas de sedimentos:

- La fecha seguirá un formato de dd/mm/aaaa.
- El nombre de la trampa seguirá el formato de TRX DX PÑN en caso de muestreos en Poñén y de TRX DX CYP en caso de muestreos en Cayucupil. TR indica trampa. X indica el número, los cuales serán consecutivos sin importar el día de muestreo. D indica “día” y X indica el número del día de muestreo.
- Para las coordenadas se ocupará el sistema WGS84 18S.
- El nombre de la muestra seguirá el formato de M1 PX y el nombre de la trampa. Donde M indica “muestra”, 1 el número de muestra ya que sólo se sacará una muestra por pozo. P indica “pozo” y X el número de pozo de la trampa.
- El espesor de la muestra se indicará solamente si se encuentra un horizonte de materiales densos.
- En el apartado de Observaciones se indicará cualquier aspecto relevante que observe el geólogo que no esté en la tabla.



Ficha para trampas de sedimentos:

Fecha	Nombre	Coordenada N	Coordenada E	m s.n.m.

Pozo 1	
Coordenada N	
Coordenada E	
Alto (cm)	
Diámetro (cm)	
Volumen (cm ³)	
Sobrecarga (cm)	
Distancia a sgte pozo (m)	

Nombre Muestra	
Sobrecarga (cm)	
Volumen (l)	
Espesor (cm)	

Pozo 2	
Coordenada N	
Coordenada E	
Alto (cm)	
Diámetro (cm)	
Volumen (cm ³)	
Sobrecarga (cm)	
Distancia a sgte pozo (m)	

Nombre Muestra	
Sobrecarga (cm)	
Volumen (l)	
Espesor (cm)	

Pozo 3	
Coordenada N	
Coordenada E	
Alto (cm)	
Diámetro (cm)	
Volumen (cm ³)	
Sobrecarga (cm)	
Distancia a sgte pozo (m)	

Nombre Muestra	
Sobrecarga (cm)	
Volumen (l)	
Espesor (cm)	

Observaciones

Anexo 2: Datos recopilación de placeres de oro de la Región del Biobío.

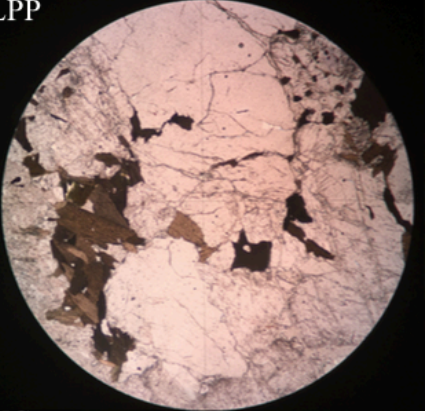
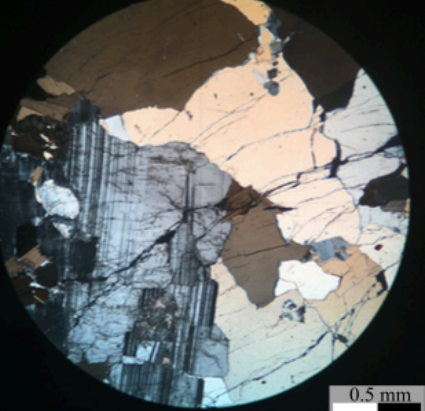
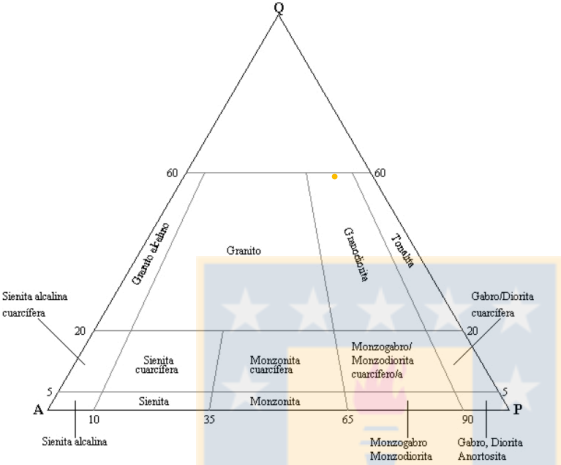
Placer	Nombre	Este	Norte	Evaluación
1	Poñén	680384	5924175	Atractivo
2	Poñén	697974	5934269	Atractivo
3	Bodega	700951	5944200	Atractivo
4	Pocollay	679895	5924493	Atractivo
5	Lajueta	705173	5923923	Atractivo
6	Gomero	699992	5893516	Atractivo
7	Coelmu	712147	5965385	Atractivo
8	Cayucupil	664434	5894283	Atractivo
9	Butamalal	665733	5811007	Atractivo
10	Pilpilco	643234	5839178	Atractivo
11	Pocuno	649564	5809467	Atractivo
12	Butamalal	666100	5810750	Atractivo
13	Cayucupil	665700	5819550	Atractivo
14	Reputo	648800	5809500	Atractivo
15	Mahuilque	653800	5768300	Atractivo
16	Mahuilque	658500	5771000	Atractivo
17	La Fortuna	646300	5832750	Atractivo
18	Loncotripay	639500	5747250	Atractivo
19	Taucú	700876	5995256	Atractivo
20	Quelén-Quelén	643925	5822517	Atractivo
21	Caramavida	661695	5829588	Atractivo
22	Mahuilque	655294	5880891	Atractivo
23	Montaña Negra	665600	5806000	Atractivo
24	Poñén	680410	5925408	Atractivo
25	Lucatre	649564	5809467	Atractivo
26	Pocuno	649328	5796522	Atractivo
27	Cayucupil	670362	5822013	Atractivo
28	Hualqui	689127	5910418	No Atractivo
29	Estero Quilacoya	692942	5877028	No Atractivo
30	Estero Paso Hondo	690724	5877078	No Atractivo
31	Estero Cerro Negro	670000	5857700	No Atractivo
32	El Rosal	623802	5835791	No Atractivo
33	Coihueco	651000	5818000	No Atractivo
34	Antiquina	642000	5787100	No Atractivo
35	Coihueco	648000	5785500	No Atractivo
36	Tranguilvoro Norte	644900	5796600	No Atractivo
37	Tranguilvoro Sur	648400	5795000	No Atractivo
38	Pocuno	648000	5792250	No Atractivo
39	Guaramavida	645950	5824450	No Atractivo
40	El Blanco	630000	5747700	No Atractivo

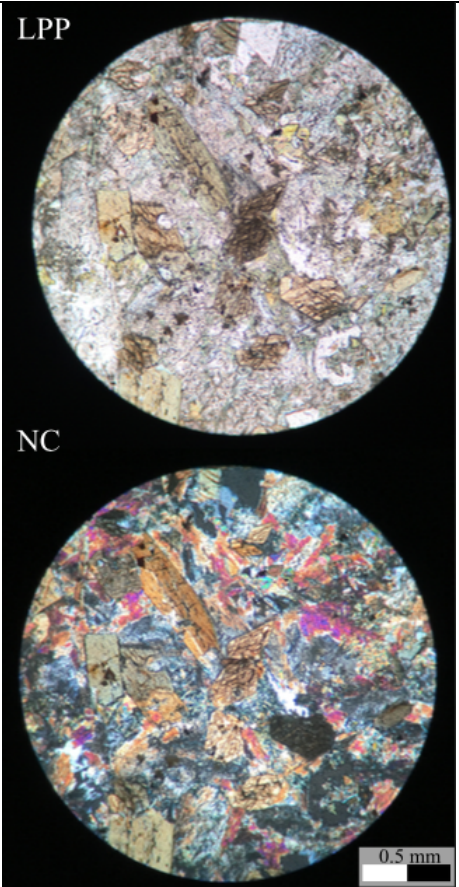
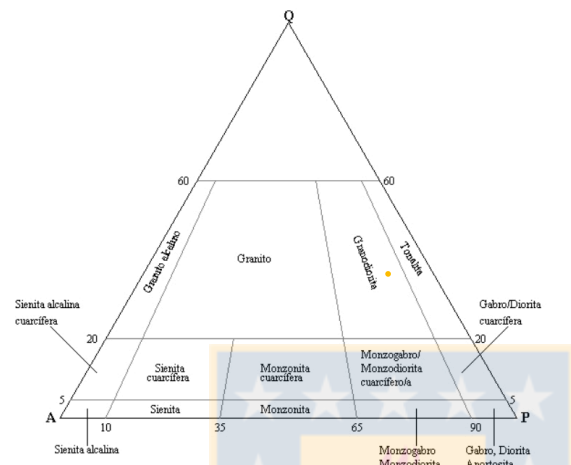
Placer	Nombre	Este	Norte	Evaluación
41	El Lucero	632000	5749400	No Atractivo
42	Los Maquis	646300	5749900	No Atractivo
43	Quidico	637400	5764500	No Atractivo
44	Relén	644500	5755700	No Atractivo
45	Pocollay	690750	5929300	No Atractivo
46	Bodega	698000	5929300	No Atractivo
47	Poñén	694600	5929950	No Atractivo
48	Millaje	693600	5904500	No Atractivo
49	Cerro Negro	678000	5850500	No Atractivo
50	Colico Alto	689250	5868000	No Atractivo
51	El Orégano	674750	5879000	No Atractivo
52	La Generala	680250	5908900	No Atractivo
53	Paso Hondo	689000	5875000	No Atractivo
54	Quebrada Canoa	672850	5853000	No Atractivo
55	Río Lia	674150	5877000	No Atractivo
56	El Aromo	695500	5946000	No Atractivo
57	Gomero	687550	5890500	No Atractivo
58	Puente Perales	719000	5875000	No Atractivo
59	Rere	707500	5885500	No Atractivo
60	Peñilauquen	700500	5983000	No Atractivo
61	Guarilhue	702500	5952500	No Atractivo
62	Coipin	793500	5970000	No Atractivo
63	Mahuilque	653233	5770548	No Atractivo
64	Quilacoya	685544	5899396	No Atractivo
65	Río Lia	675334	5883889	No Atractivo
66	Antiquina	650656	5789097	No Atractivo
67	Ismael	736200	5941100	No Atractivo
68	Yumbel	706513	5883860	No Atractivo
69	Calabozo	756500	5943300	No Atractivo
70	Loncopangue	7258000	5817000	No Atractivo
71	Ñiblito	754066	5943300	Información Insuficiente
72	Andalien-Trinitaria	684000	5928000	Información Insuficiente
73	Canada	693578	5904767	Información Insuficiente
74	Curapalhue	693307	5925058	Información Insuficiente
75	Millahue	693587	5904699	Información Insuficiente
76	Lircay	760914	5897407	Información Insuficiente
77	Rere	700600	5887950	Información Insuficiente
78	La Generala	682310	5864314	Información Insuficiente
79	Quebrada Honda	646140	5865024	Información Insuficiente
80	Pillimpilli	672714	5864518	Información Insuficiente

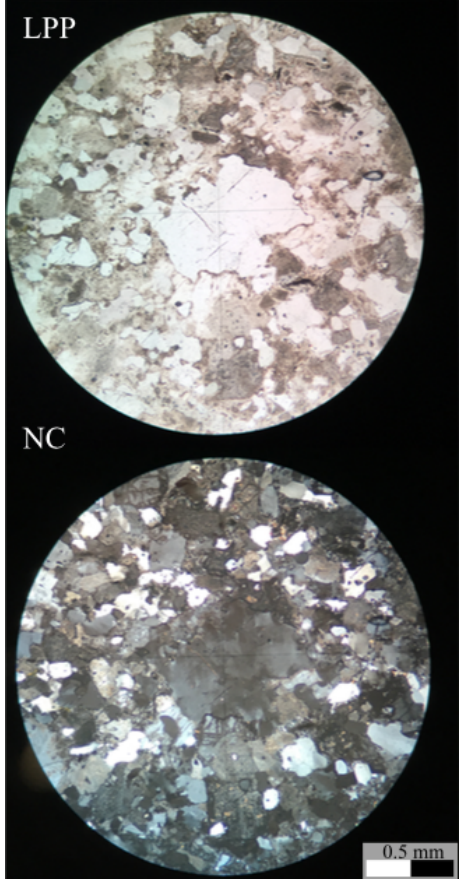
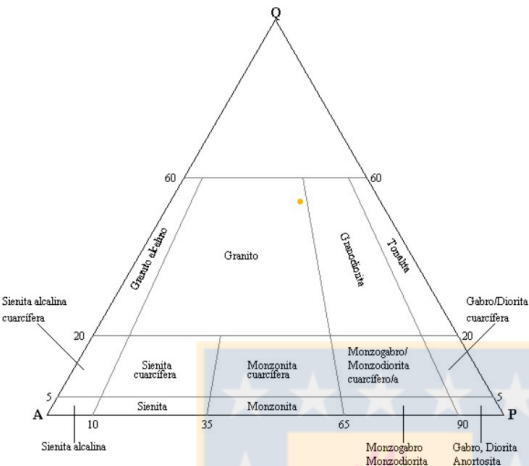
Placer	Nombre	Este	Norte	Evaluación
81	Butamalal	667237	5812827	Información Insuficiente
82	Santa Juana	677024	5882158	Información Insuficiente
83	Curapalihue	708061	5920306	Información Insuficiente
84	Talcamávida	688168	5894645	Información Insuficiente
85	El Carmen	650500	5789300	Información Insuficiente
86	Panguilemu	723000	5955500	Información Insuficiente



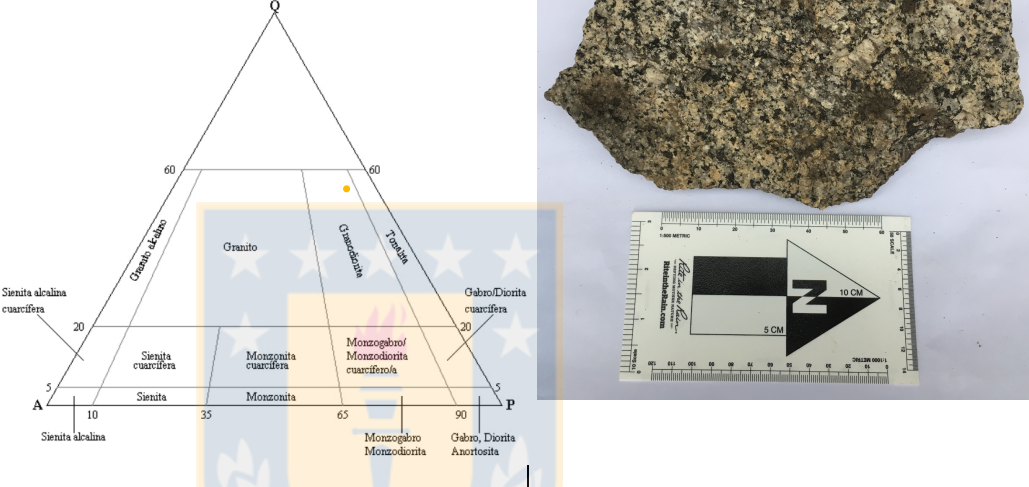
Anexo 3: Descripción microscópica de muestras.

MUESTRA: M1 PÑN					
Coordenadas	18H 707274 m E / 5926050 m N WGS 1984				
Localidad	Panquehua				
Clasificación	Granodiorita de biotita y anfíbol (Streckeisen, 1976)				
					
Textura	Hipidiomórfica granular de grano medio a grueso				
Composición	Alteración	%	Tamaño (mm)	Forma	
	Plagioclasa	Sericita	27	1,0 – 2,0	Euhedral
	Cuarzo		50	0,5 – 2,0	Euhedral
	Feldespato K		7	1,0 – 2,0	Subhedral
	Biotita	Clorita	11	0,25 – 0,5	Euhedral
	Anfíbol		3	0,25 – 0,5	Euhedral
	Epidota		2	0,1 – 0,2	Subhedral
Observaciones: Plagioclasas levemente alteradas a sericita. Biotitas levemente alteradas a clorita.					

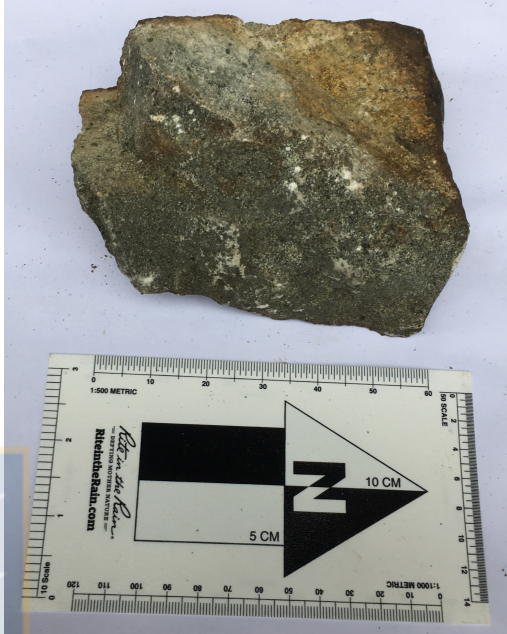
MUESTRA: M2 PÑN				
Coordenadas	18H 705060 m E / 5926183 m N WGS 1984			
Localidad	Panquehua			
Clasificación	Granodiorita de biotita y anfíbol (Streckeisen, 1976)			
				
Textura	Hipidiomórfica granular de grano fino a medio			
Composición	Alteración	%	Tamaño (mm)	Forma
Cuarzo		10	0,1 – 0,3	Anhedral
Plagioclasa		15	0,1 – 0,3	Anhedral
Biotita	Clorita	20	0,2 – 0,7	Euhedral
Anfíbol	Epidota	45	0,2 – 0,7	Euhedral
Feldespato K		4	0,1 – 0,2	Anhedral
Óxidos de Fe		5	0,2 – 0,3	Anhedral
Oro		1	0,2 – 0,3	Anhedral
Observaciones: Anfíboles primario con alteración moderada a epidota. Biotitas alteradas moderadamente a clorita. Se observa oro en pulido transparente.				

MUESTRA: M3 PÑN				
Coordenadas	18H 705060 m E / 5926183 m N WGS 1984			
Localidad	Panquehua			
Clasificación	Granito (Aplita) (Streckeisen, 1976)			
				
Textura	Aplítica inequigranular a equigranular			
Composición	Alteración	%	Tamaño (mm)	Forma
Cuarzo		40	0,1 – 0,3	Anhedral
Plagioclasa	Sericita	20	0,1 – 0,3	Subhedral
Feldespato K		15	0,1 – 0,2	Anhedral
Biotita	Clorita	3	0,1 – 0,4	Subhedral
Anfibol		4	0,1 – 0,5	Euhedral
Epidota		2	0,1 – 0,3	Subhedral
Muscovita		3	0,1 – 0,15	Subhedral
Óxidos de Fe		3	0,1 – 0,2	Anhedral
Granate		2	0,4 – 0,6	Subhedral
Opacos		8	0,2 – 0,3	Anhedral
Observaciones: Xenolito de las granodioritas de biotita y anfíbol de M2 PÑN.				

Anexo 4: Descripción macroscópica de muestras.

MUESTRA: M1 PÑN			
Coordenadas	18H 707274 m E / 5926050 m N WGS 1984		
	Localidad Panquehua		
Clasificación	Granodiorita de biotita y anfíbol (Streckeisen, 1976)		
			
Color	Roca Fresca:	Gris blanquecino	
	Roca Alterada:	Gris rosáceo	
Textura	Fanerítica de grano medio a grueso		
Composición	Alteración	%	Tamaño (mm)
Cuarzo		40	3,0 - 5,0
Plagioclasa		26	1,0 - 3,0
Feldespato K		4	1,0 - 2,0
Biotitas	Clorita	20	1,0 - 3,0
Muscovita		3	0,5 - 2,0
Anfíbol		7	1,0 - 3,0
Observaciones: Biotitas alteradas levemente a clorita.			

MUESTRA: M2 PÑN			
Coordenadas	18H		
	705060 m E / 5926183 m N		
	WGS 1984		
Localidad	Panquehua		
Clasificación	Tonality de biotita y anfíbol (Streckeisen, 1976)		
Color	Roca Fresca:	Gris oscuro	
	Roca Alterada:	Gris amarillento	
Textura	Fanerítica de grano fino		
Composición	Alteración	%	Tamaño (mm)
Cuarzo		7	0,3 – 0,5
Plagioclasa		15	0,5 – 0,7
Biotita	Clorita	30	0,5 – 0,8
Anfíbol		30	0,5 – 0,8
Epidota		3	0,5 – 0,7
Oxidos de Fe		7	0,5 – 0,7
Opacos		8	0,5 – 0,8
Observaciones: Roca perteneciente a dique rico en minerals máficos. Biotita alterada moderadamente a clorita.			



MUESTRA: M3 PÑN			
Coordenadas	18H 705060 m E / 5926183 m N WGS 1984		
	Localidad Panquehua		
Clasificación	Granito (Aplita) (Streckeisen, 1976)		
Color	Roca Fresca:	Gris rosáceo oscuro	
	Roca Alterada:	Anaranjado	
Textura	Fanerítica de grano fino a medio		
Composición	Alteración	%	Tamaño (mm)
Cuarzo		47	0,5 – 2,0
Plagioclasa	Sericita	17	0,5 – 2,0
Feldespato K		17	0,5 – 2,0
Biotita	Clorita	4	0,5 – 0,8
Anfíbol		4	0,5 – 0,8
Opacos		7	0,5 – 0,8
Óxidos de Fe		4	0,5 – 0,8
Observaciones: Xenolito de las granodioritas de biotita y anfíbol de M2 PÑN.			

MUESTRA: M4 PÑN			
Coordenadas	18H 705060 m E / 5926183 m N WGS 1984		
Localidad	Panquehua		
Clasificación	Sedimentos recientes de meteorización de granitoides		
Color	Pardo anaranjado		
Composición	Alteración	%	Tamaño (mm)
Cuarzo		65	0,5 – 2,0
Plagioclasa	Sericita	7	0,5 – 2,0
Feldespato K		8	0,5 – 2,0
Biotita	Clorita	4	0,3 – 0,5
Muscovita		7	0,3 – 0,8
Anfibol		4	0,2 – 0,4
Opacos		5	0,5 – 1,5
Observaciones: Muestra de arena del sector muestreado.			

