Pontificia Universidad católica de Chile

Escuela de ingeniería

PROTOCOLO DE EXPLORACIÓN, EVALUACIÓN Y MODELAMIENTO GEO-MINERO-METALÚRGICO PARA PLACERES DE ORO

PROYECTO FONDEF ID21I10351

Autores:

Felipe del Valle

Tomás Roquer

Juan Serra

Carlos Marquardt

José Joaquín Jara

Julián Ortiz

Álvaro Videla

Eduardo Córdova

Pedro Cordeiro

Santiago, 30 de junio de 2023

Contenido

1. OBJETIVOS 5
2. RESPONSABLES 5
3. PLACERES DE ORO. 5
4. EQUIPOS E INSUMOS DE TERRENO Y LABORATORIO 6
4.1. TRABAJO DE TERRENO 6
4.2. PROCESAMIENTO EN PLANTA 6
4.3. ANÁLISIS DE LABORATORIO 6
5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO 7
5.1. PREPARACIÓN PARA EL MUESTREO 7
5.2. PERFORACIÓN Y MUESTREO 7
5.3. PROCESAMIENTO DE MUESTRAS EN PLANTA 9
5.4. ANALISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO 9
5.5. ANALISIS DE CONCENTRADOS EN LABORATORIO 10
5.6. ANALISIS DE PARTÍCULAS DE ORO 10
5.7. MODELAMIENTO GEO-MINERO-METALURGICO 11
6. VARIABLES PARA REGISTRAR 13
7. ESTIMACIONES Y CALCULOS 15
8. DEFINICIONES MINERAS Y GEOLÓGICAS 17
REFERENCIAS 18
ANEXOS 19
ANEXO 1: Cartilla de descripción de pozos 20
ANEXO 2: Triángulo de clasificación de sedimento de Folk (1954) 21
ANEXO 3: EJEMPLO DE CALCULOS 22
ANEXO 4: EJEMPLO DE CASO DE ESTUDIO 23

1. OBJETIVOS

- Generar un modelo Geológico para un yacimiento de tipo placer de oro.
- Generar un modelo geo-minero-metalúrgico para un yacimiento de tipo placer de oro.

2. RESPONSABLES

Geólogos, ingenieros u operadores con experiencia en yacimiento de tipo placer de oro.

3. PLACERES DE ORO.

Los **Placeres de Oro** son un tipo de depósito mineral cuya génesis está relacionada con procesos de meteorización y erosión que permiten la concentración mecánica de partículas de oro en suelos o sedimentos (e.g. Gary et al., 1972; Gerhard & Eriksson, 2006; Lalomov et al., 2017). Como se indica en la tabla 1 los placeres de oro, también conocidos como lavaderos de oro, puedes ser divididos en distintos tipos según la génesis o mecanismo de transporte de los suelos o sedimentos que contienen y concentran las partículas de oro (Wells, 1989; Singh et al., 2020; Guiar et al., 2021).

Tabla 1. Ejemplos de tipos de placeres de oro según los mecanismos de transporte de los sedimentos que contienen las partículas de oro.

tipos de placeres de oro	**Mecanismos de transporte**
Placeres **eluviales** (e.g. coluviales y glaciales)	transportados en un medio sólido, como coluvios o morrenas.
Placeres **aluviales** o **fluviales**	transportados en un medio líquido, como aluvios o fluviales.
Placeres **eólicos**	transportados en un medio gaseoso, como el viento.
Placeres **litorales** (e.g. de playa)	transportados por efectos del oleaje en playas.

4. EQUIPOS E INSUMOS DE TERRENO Y LABORATORIO

4.1. TRABAJO DE TERRENO

- 4.1.1. Topografía de detalle. Se recomienda levantamiento con Dron
- 4.1.2. Equipo de geólogo para caracterización de sedimentos y minerales.
- 4.1.3. Equipo de geólogo para mapeo de campo
- 4.1.4. GPS
- 4.1.5. Lona de 3x3 m para toma de muestra
- 4.1.6. 11 baldes de muestras de 20 L y 1 de 5 a 3 L por pozo
- 4.1.7. Cámara fotográfica para fotografía de pozos y sedimentos
- 4.1.8. Retroexcavadora o excavadora
- 4.1.9. Camioneta 4x4

4.2. PROCESAMIENTO EN PLANTA

- 4.2.1. Trommel
- 4.2.2. Concentradores de tipo Jig, Knelson y/o de tipo “blue bowl”
- 4.2.3. 2 recipientes de 200 mL por pozo

4.3. ANÁLISIS DE LABORATORIO

- 4.3.1. Tamiz, mallas #2,5 (63 mm), #5 (4 mm), #10 (2 mm), #18 (1 mm), #35 (0,5 mm), #50 (0,25 mm) y #230 (0,062 mm)
- 4.3.2. Balanza
- 4.3.3. Batea mecánica
- 4.3.4. Microscopio
- 4.3.5. Pinzas de precisión para microscopio

5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

5.1. PREPARACIÓN PARA EL MUESTREO

5.1.1. **Levantamiento topográfico:** generar una topografía de detalle del área de estudio con un máximo de 1 m/px (resolución de la imagen raster de un metro por pixel o celda). Se recomienda levantamiento LIDAR o RPAS/Drone con una resolución de 0,25 m/px.

5.1.2. **Mapeo geológico y geomorfológico**: Reconocimiento geo-científico y confección de mapa geológico y geomorfológico de detalle del área de estudio (escala 1:5 mil o mayor), basado tanto en la bibliografía como en los reconocimientos más recientes. En caso de que no haya suficientes afloramientos, se recomienda realizar calicatas y/o zanjas de exploración que permitan establecer y describir la estratigrafía de la zona. En este proceso se definen las distintas unidades geológicas del área, como, por ejemplo: unidades de sedimentos, unidades morfoestratigráficas y unidades de roca, entre otras.

5.1.3. **Generación de modelo teórico geo-minero**: confección de un modelo teórico hipotético y esquemático del tipo de placer de oro que se espera estudiar. Se definen cuales son las unidades geológicas que forman cuerpos estériles y mineralizados, sus dimensiones (rangos esperados distribución vertical y horizontal) y se homologan con unidades mineras tales como: sobrecarga, manto pagador y circa (ver definiciones en capítulo 8).

5.1.4. **Planificación de pozos de muestreo**: para determinar la ubicación, orientación, tamaño, largo y distribución preferente de los pozos es necesario tener el levantamiento topográfico, el mapa geológico y geomorfológico y un modelo teórico geo-minero sobre la naturaleza del potencial yacimiento. Para diseñar y planificar el tipo de malla de perforación (ver el capítulo 7). Se recomienda una malla mínima de 150 x 150 m por unidad geológica con potencial de contener oro, con un mínimo de 25 pozos con 1 muestra como mínimo por nivel con potencial de mineralización. Con el análisis de estos datos se puede aumentar la densidad de datos dentro de zonas con las mejores leyes identificadas. Marcan con estacas, u otro medio, en terreno la ubicación de los pozos y calcular sus coordenadas utilizando un GPS. Revisar los accesos para diseñar o planificar las rutas de accesos de maquinaria o vehículos.

5.2. PERFORACIÓN Y MUESTREO

5.2.1. **Confección de pozo**: Para cada pozo o calicata se recomienda un área basal mínima de 1,5 x 1,5 m con una profundidad tal que permita llegar

al contacto manto-circa, sin embargo, se debe considerar que puede ocurrir que haya pozos que no tenga manto mineralizado, por lo tanto, la circa u otra unidad estéril pueden aparecer a poca profundidad.

5.2.2. **Monitoreo de Pozos**: a medida que el pozo se está perforando se debe cuidar que no se derrumbe y se debe realizar una descripción de los sedimentos que se están extrayendo y en paralelo ir confeccionando una columna estratigráfica a partir de los sedimentos que se exponen en las paredes del pozo, identificando con claridad los límites entre distintos tipos de sedimentos. Se recomienda, además, lo siguiente:

5.2.2.1. Llenar la ficha o cartilla de descripción sedimentológica de los distintos niveles reconocidos en los pozos (ver anexo 1)

5.2.2.2. Llevar un registro fotográfico de las 4 caras de los pozos una vez que éste haya finalizado. Mediante el uso de algunas cámaras se puede hacer un levantamiento 3D del pozo para visualizar con mas detalle su estratigrafía en un programa especializado de visualización 3D o de realidad virtual.

5.2.3. **Muestreo de pozos**: Para cada pozo se debe tomar una muestra de al menos 200 Litros de cada uno de los niveles estratigráficos que se diferencian en profundidad, en particular aquellos niveles que tienen potencial de estar mineralizado (ver capítulo 8 para reconocimiento de niveles mineralizados). Se recomienda tomar una muestra de cada nivel para tener información o verificar su potencial. Para evitar la contaminación de las muestras, se recomienda tomarlas de las caras de los pozos y no del material que se extrae al realizar la perforación. Una vez identificado el o los niveles a muestrear se recomienda lo siguiente:

5.2.3.1. Extraer un volumen de material superior a los 200 L y depositarlo sobre una la lona para rolear y homogenizar el material a muestrear.

5.2.3.2. Tomar una muestra de 200 L para procesarla en planta de separación de oro, para esto se recomienda usar 10 baldes de 20 L.

5.2.3.3. Tomar una muestra de respaldo de 20 L, para esto se recomienda usar 1 balde de 20 L el cual se debe almacenar en bodega en caso que se necesite para una auditoría o para análisis de muestra.

5.2.3.4. Tomar una muestra de 5 o 3 L para realizar tamizaje de material de tamaño menor a grava gruesa (<20 cm de diámetro).

5.2.3.5. Etiquetar cada muestra con marcas que no se vayan a borrar o perder, que sean distinguibles unas de otras y que sean fácilmente identificables. Usar la misma etiqueta o código que se señala en la ficha de descripción de sedimentos.

5.3. PROCESAMIENTO DE MUESTRAS EN PLANTA

5.3.1. **Separación de fracción gruesa**: se introducen los 200L de muestra en un Trommel diseñado según las granulometrías del material contenido en la muestra. Esto permite separar la fracción gruesa y estéril de la muestra (grava gruesa y media, >15 mm), del material tamaño grava fina, arena y finos que puede contener las partículas de oro (<15 mm). Este último material se acumula para pasar a la etapa de concentración de material denso. La fracción gruesa se puede descartar y utilizar para otras aplicaciones, para dar sustentabilidad al proyecto, o almacenar para futuros estudios.

5.3.2. **Concentración de material denso**: el material de tamaño grava fina, arena y finos concentrado con el **Trommel** (<15 mm), se pasa por una canaleta donde se recupera tanto el material denso acumulado en la canaleta (cercano a 15 mm de diámetro) como el que pasa por ella. El material que pasa se procesa en un **JIG** donde se recupera tanto el material denso acumulado en él (de 15 - 5 mm de diámetro) como el que pasa. Finalmente, el material más fino y menos denso que pasa el JIG se procesa en un **Centrífugo**, donde se junta la fracción más densa y se desecha para ser reutilizado o se acumula para estudios posteriores. Según las características del material que se está procesando y de las partículas de oro colectadas, algunos de los pasos anteriores se pueden ajustar o saltar.

5.3.3. **Registro y etiquetado de concentrados**: Se registran los pesos y etiquetan los concentrados densos del proceso anterior y se almacenar en recipientes de 200 mL. El etiquetado debe ser con códigos o marcas que no se vayan a borrar, que sean distinguibles unas de otras y que sean fácilmente identificables.

5.4. ANALISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO

5.4.1. **Tamizaje**: separación de las fracciones granulométricas con tamices de las muestras almacenadas en los baldes de 5 a 3 L desde cada pozo, registrar los pesos de cada fracción y preparar curvas o perfiles granulométricos según los métodos tradicionales. Con esta información, se pueden ajustar los procesos de procesamiento de muestras en planta, por ejemplo, se pueden considerar para muestras que tienen un alto contenido de finos, procesar con un Trommel ajustado para este tipo de muestras.

5.4.2. **Análisis complementarios**. Se recomienda hacer estudios algunos estudios mineralógicos y elementales complementarios de las distintas fracciones granulométricas para su caracterización y entendiendo geo-minero-metalúrgico.

5.5. ANALISIS DE CONCENTRADOS EN LABORATORIO

5.5.1. **Batea mecánica**: los concentrados densos colectados en canaleta, JIG y Centrífugo son procesados con una batea mecánica para realizar una nueva concentración de minerales densos y menos densos.

5.5.2. **Pesaje**: Registrar peso de los dos productos anteriores.

5.5.3. **Análisis complementarios:** los minerales menos densos pueden ser analizados con ensayo a fuego u otros análisis para estudian la concentración de oro y otros elementos de interés.

5.5.4. **Separación magnética**: el material más denso concentrado en la batea mecánico es pasado por un separador magnético (imán) que permite separar los minerales magnéticos, como el fierrillo o magnetita, del oro u otros minerales no magnéticos.

5.5.5. **Pesaje**: Registrar peso de los dos productos anteriores (material o minerales magnéticos de los no magnéticos).

5.5.6. **Separación con lupa**: los minerales no magnéticos donde se concentran las partículas de oro son analizadas en una lupa binocular que permite colectar las partículas de oro con ayuda de pinzas de precisión. Como resultados se tiene un concentrado de partículas de oro y otro de concentrado de minerales no magnéticos sin oro.

5.5.7. **Pesaje**: Registrar peso con balanza de precisión de los dos productos anteriores (partículas de oro y minerales no magnéticos sin oro).

5.6. ANALISIS DE PARTÍCULAS DE ORO

5.6.1. **Leyes de oro**: se determinan las leyes de oro a partir del peso total del oro calculado con balanza de precisión (ver capítulo 7). En el caso de que el peso de las partículas de oro es inferior a la precisión de la balanza se puede utilizar el valor medio del límite de detección como el peso de la muestra o se puede estimar basándose en las medidas de las partículas (ver capítulo 7).

5.6.2. **Morfología del oro**: se recomienda realizar observaciones morfológicas en lupa binocular de cada partícula de oro, para estudios metalúrgicos o de proveniencia del oro, entre otras aplicaciones. Por ejemplo, generalmente se registra:

- 5.6.2.1. Forma
- 5.6.2.2. Tamaño de los 3 ejes de forma
- 5.6.2.3. Rugosidad
- 5.6.2.4. Presencia de pátinas de colores que puedan indicar impurezas

5.6.3. **Análisis complementarios**: se recomienda estudiar cuales son los minerales no magnéticos que acompañan al oro para su caracterización y entendimiento geo-minero-metalúrgico.

5.7. MODELAMIENTO GEO-MINERO-METALURGICO

5.7.1. **Topografía**: se utiliza el levantamiento topográfico de detalles para generar una superficie 3D que limita por arriba el modelo las unidades geológicas mineralizadas y estériles definidas en los mapeos geológicos de superficies y de los pozos de exploración.

5.7.2. **Base de datos de pozos**: se genera una BBDD con descripción de los pozos. Esto incluye información de ubicación del pozo, su largo e información por tramos a lo largo del pozo de la estratigrafía y de las leyes de oro, entre otros datos de interés.

5.7.3. **Mapa geológico e información superficial**: se proyecta en la superficie topográfica el mapa geológico con las unidades morfo-estratigráficas con énfasis en aquellas que tiene potencial aurífero. Se deben identificar los distintos atributos geomorfológicos o de infraestructura presentes en la zona de estudio (i.e: red de drenaje, terrazas fluviales o marinas, escarpes, laderas, abanicos aluviales o coluviales, caminos, cercos, etc.).

5.7.4. **Modelo geológico**: mediante el uso de un programa de modelado 3D junto con la BBDD de pozos e información de superficie (o geofísica si la hubiese) se genera el modelo geológico del proyecto, donde al menos se generan las unidades estratificadas en orden cronológico, los límites probables de los cuerpos mineralizados y las estructuras presentes. Para esto se realiza una correlación o interpolación de las características de las unidades geológicas observadas en los pozos y en superficie.

5.7.5. **Modelo de recursos**: mediante el uso de un programa de modelado 3D y las BBDD e información de superficie, principalmente datos sobre las leyes de oro, se genera una estimación de recursos por unidades geológicas similar a la realizada en yacimientos mantiformes. Este modelo tridimensional es discretizable en bloques, los que dependerán de factores como la densidad de la malla a utilizar o la capacidad de procesamiento de planta. El proto-modelo servirá como límite para la interpolación de leyes. Se debe realizar un análisis variográfico para determinar la presencia de anisotropías. Dependiendo del caso, si no existe una dirección favorable de mineralización aparente se pueden utilizar métodos simples (Vecino Cercano, Triángulos, Polígonos, Inverso a la distancia). Si se identifican anisotropías, se recomienda un estudio más exhaustivo y la utilización de métodos geoestadísticos (i.e. Kriging).

5.7.6. **Modelo geo-minero-metalúgico**: mediante el uso de un programa de modelado 3D y las BBDD e información de superficie, junto con el

modelo geológico y el de estimación se recomienda realizar un modelo de bloques de 25x25 m^2 de área superficial y un alto equivalente al de los cuerpos mineralizados. Estos bloques consideran contienen información de las variables críticas para la extracción y procesamiento de los sedimentos para su explotación sustentable de oro detrítico. Las características críticas de los sedimentos a explotar son: granulometría, ley de oro, características morfológicas de las partículas de oro, mineralogía, geoquímica y otros parámetros geotécnicos y geometalúrgicos (ver capítulo 6 para más detalles).

6. VARIABLES PARA REGISTRAR

Para la caracterización del yacimiento y de su ambiente de formación es necesario obtener algunas variables, que informan las etapas Geológica, Geo-Minera y Geo-Minero-Metalúrgicas del modelamiento. Algunas de las variables geológicas esenciales son:

1. Estratigráficas: determinar las distintas capas de sedimentos (secuencia de capas o estratos), sus relaciones de contacto, su potencia y sus relaciones con el suelo orgánico (horizontes de pedolitos) y/o con las rocas del basamento (denominada circa).
2. Sedimentológicas: determinar el tipo de sedimento según los distintos tamaños y formas de los fragmentos o detritos que lo forman (e.g. Triángulo de Sheppard) y el origen o ambiente de formación de los sedimentos para las distintas capas reconocidas.
3. Mineralogía: identificar los tipos de minerales o fragmentos de roca que forman los detritos que forman el sedimento, y si son monomícticos, oligomícticos o polimícticos. Se pone especial énfasis en los minerales o componentes más densos del depósito, como las partículas de oro.
4. Morfología y tamaño de los granos de oro.
5. Determinar potencia, o espesor vertical, de la sobrecarga (capa estéril) y el manto mineralizado.
6. Morfología del cuerpo mineralizado (por ejemplo, mantos continuos o cuerpos asociados a paleocanales). Incluye la morfología de la superficie de contacto con la circa.
7. Topografía de superficie incluyendo unidades geomorfológicas tales como: pendiente de canales de drenaje, terrazas y escarpes.
8. Vector de flujo de sedimentos, como por ejemplo dirección y sentido de los flujos en canales activos e inactivos en ambiente fluvial o aluvial.

Algunas de las variables geo-mineras son:

1. Leyes de oro: concentraciones de pepitas o partículas de oro.
2. Geoquímica de las partículas de oro para determinar su pureza y si tiene elementos favorables o desfavorables para su recuperación y comercialización.
3. Curvas Granulométricas de los sedimentos y división según tamaño del grano.
4. Compactación del sedimento
5. Grado de consolidación (cementados, disgregable)

Algunas de las variables geo-minero-metalúrgicas son:

1. Tamaño máximo y promedio de clastos

2. Porcentaje de finos
3. Leyes o concentraciones de oro
4. Química de las partículas de oro
5. Forma y tamaño de las partículas o granos de oro
6. Mineralogía de los cuerpos mineralizados
7. Geoquímica de los minerales asociados y de los minerales densos.
8. Curvas o perfiles granulométricos de los sedimentos o cuerpos mineralizados
9. Tamaño máximo de clastos contenidos en los sedimentos o cuerpos mineralizados
10. Tener una buena identificación del porcentaje de limos y arcillas contenidos en los sedimentos o cuerpos mineralizados (no solo porcentaje de finos)
11. Tener medidas de las densidades de los sedimentos o cuerpos mineralizados
12. Tener información de los minerales reactivos con el medio ambiente contenidos en los sedimentos que se van a explotar
13. Evaluar otras posibles variables geominerometalurgicas

7. ESTIMACIONES Y CALCULOS

1.1. Planificación de una malla de perforación

Para planificar el tipo de malla de exploración para evaluar cuerpos mineralizados y estimar el número, tamaño, profundidad y distancia entre pozos…

- Para placeres aluviales, se recomienda realizar secuencias de perforaciones orientadas de manera perpendicular al cauce actual de la red de drenaje principal. Se recomienda un espaciado mínimo de 200 m entre cada pozo y de XX m entre cada secuencia de pozos.
- Para placeres eólicos, se recomienda realizar secuencias de perforaciones orientadas de manera paralela a la dirección principal del viento, con un espaciado mínimo de 200 m entre cada pozo y de XX m entre cada secuencia de pozos.
- Para placeres de playa, se recomienda realizar secuencias de perforaciones orientadas de manera perpendicular a la línea de costa (o paleo-costa), con un espaciado mínimo de 200 m entre cada pozo y de XX m entre cada secuencia de pozos.

1.2. Cálculo de la masa en base al volumen de las partículas:

El volumen de cada partícula se calcula a partir de las dimensiones máximas de sus ejes con la fórmula:

$$V = \frac{\pi}{6} LIS$$

Con:

L: Eje máximo medido en la máxima dimensión de la partícula (en mm)

I: Dimensión máxima en el plano perpendicular a *L* (en mm)

S: Dimensión máxima contenida en el plano formado por *L* e *I* (en mm)

Con una densidad de 19,32 g/cm^3 la masa aproximada (en mg) de cada partícula será:

$$M = 19{,}32xV$$

La masa de la muestra será la suma de la masa individual de todas las partículas de la muestra.

1.3. Cálculo de ley en base a la masa de la muestra:

$$Ley = \frac{M(mg)}{V(L)} \times \frac{1000(L)}{(m^3)} \times \frac{1}{R} \times E$$

Con:

M: La masa de la muestra (en mm)

V: El volumen total de la muestra antes del procesamiento (en L). Por defecto se utiliza en valor de 200 L

R: La tasa de recuperación del oro de las arenas negras. Por defecto se utiliza una recuperación del 80%

L: Esponjamiento de la muestra. En general el valor va entre 1,10 y 1,20

8. DEFINICIONES MINERAS Y GEOLÓGICAS

Cuerpos estériles: definición minera relacionado con las concentraciones de Au.

Cuerpos mineralizados: definición minera relacionado con las concentraciones de Au.

Dimensiones de los cuerpos estériles y mineralizados: rangos esperados en su distribución vertical y horizontal.

Manto pagador: estrato, nivel, capa, cuerpo o unidad que puede tener la forma de un manto de origen sedimentario y que se encuentra mineralizada. (poner figuras).

Límites del Manto pagador: Límite superior (techo) e inferior (base) de cuerpos o mantos mineralizados.

Circa: suelo, sedimento o roca estéril que limita por debajo del cuerpo mineralizado.

Suelo Vegetal: horizonte de suelo orgánico o capa superficial, donde más del 30% es materia orgánica (Scott y Pain, 2009).

Campaña de perforación: el reconocer las unidades geológicas y determinar el tipo de placer de oro, ayudará a planificar y diseñar una campaña de perforación y muestreo más eficiente y ajustado a los potenciales cuerpos mineralizados.

REFERENCIAS

Gary, M.; McAfee, Jr.R.; Wolf, C.L. (1972). Glossary of Geology. American Geological Institute, Washington, DC.

Gerhard E. & Eriksson P. (2006). Placer formation and placer minerals. Ore Geology Reviews, Volume 28, Issue 4, Pages 373-375, ISSN 0169-1368, https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.02.001.

Gujar, A. R., Iyer, S. D., Udayaganesan, P., Ambre, N. V., Mislankar, P. G., & Dhinesh, S. (2021). Nature, characterization and resource potential of littoral placer deposits of Goa, central west coast of India. Journal of Sedimentary Environments, 6(3), 359-380.

Lalomov, A.V.; Chefranov, R.M.; Naumov, V.A.; Naumova, O.B.; LeBarge, W.; Dilly, R.A. (2017). Typomorphic features of placer gold of Vagran cluster (the Northern Urals) and search indicators for primary bedrock gold deposits. Ore Geology Reviews, Volume 85, Pages 321-335, ISSN 0169-1368. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.06.018.

Scott, K., & Pain, C. (Eds.) (2009). Regolith science. Csiro Publishing.

Singh, R., Venkatesh, A. S., Sudhakar, C., Sethy, S. N., & Babu, K. P. (2020). Exploration for strategic placer mineral deposits in a fluctuating shoreline: Depositional environment and mineralogical characterization of the NE Odisha coast placers, India. Ore Geology Reviews, 127, 103850.

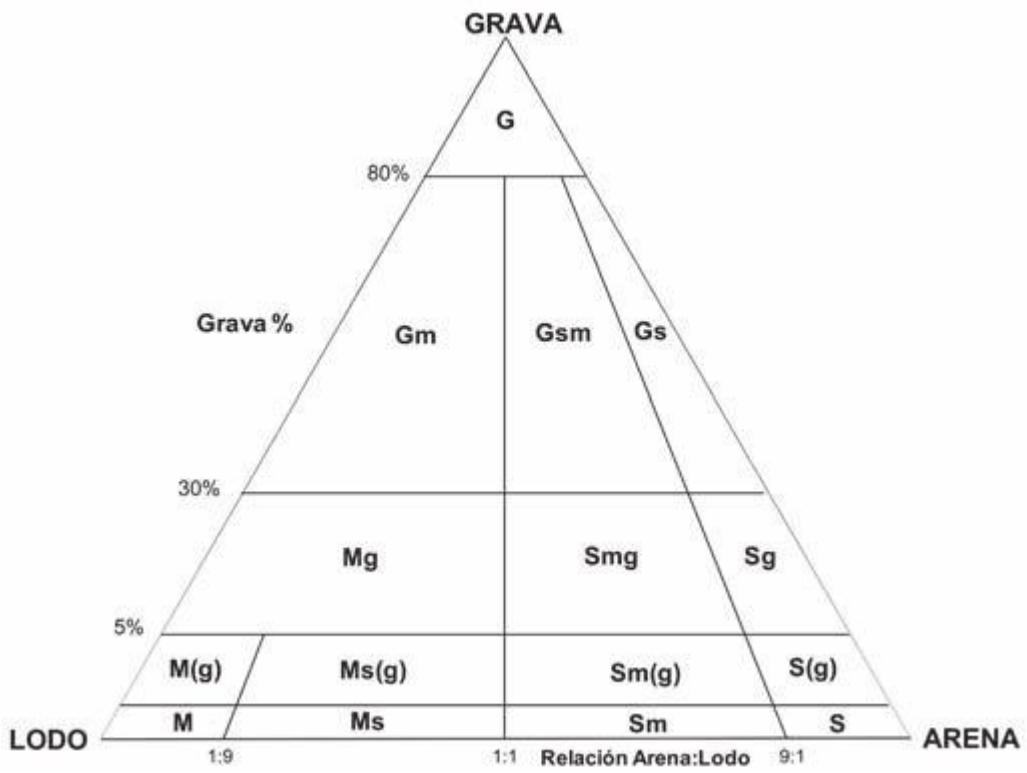
Wells, J. H. (1989). Placer examination: principles and practice (Vol. 4). US Department of the Interior, Bureau of Land Management, Phoenix Training Center.

ANEXOS

ANEXO 1: Cartilla de descripción de pozos

UBICACIÓN	Coordenada N-UTM WGS84			
	Coordenada E-UTM WGS84			
	Altura techo o sup s.n.m.a. (m)			
	Punto libreta terreno (geólogo)			
		Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
PROFUNDIDAD	Desde (m)			
	Hasta (m)			
GRANULOMETRÍA ESTIMACIÓN VISUAL	T. Max (cm o m)			
	Bolones (% sobre 6,3 cm)			
	Grava (% 6,3 cm - 0,2 cm)			
	Arena (% 2 mm - 0,063 mm)			
	Fino (% bajo 0,063 mm)			
	Tamaño medio (moda en cm)			
Color (en estado natural)				
Forma Clasto (ang, subang, subre, re/esferico a plano)				
Consistencia/Compasidad (blando-duro/suelto-compactado)				
Composición de los clastos (monomíctico-polimíctico)				
Clasto-soportada o Matriz-soportada				
Estructura sedimentaria (homogéneo-heterogeneo con estructura)				
Grado de alteración (no alterada-alterada)				
Origen (fluvial, aluvial, coluvial, glacial, lacustre, etc)				
Materia orgánica, raíces (nada, escasa, alta)				
Simbolo grupo (Clasificación de Folk)				
MUESTRA	N#			
	Profundidad (rango en m)			
	Cantidad (kg o L)			
OBSERVACIONES SEDIMENTOLÓGICAS				
OBSERVACIOES VARIAS				

ANEXO 2: Triángulo de clasificación de sedimento de Folk (1954).



ANEXO 3: EJEMPLO DE CALCULOS

10.1 Ley de una muestra

Si tenemos una masa medida de 18,3 mg, un volumen de 200 L por muestra, un valor de esponjamiento de 1,15 y una tasa de recuperación de las arenas negras del 80%. Con esto, la ley será:

$$Ley = \frac{M(mg)}{V(L)} \times \frac{1000(L)}{(m^3)} \times \frac{1}{R} \times E$$

$$Ley = \frac{18{,}3\ (mg)}{200\ (L)} \times \frac{1000(L)}{(m^3)} \times \frac{1}{0{,}8} \times 1{,}15$$

$$Ley = \frac{18{,}3 \times 5 \times 1{,}15(mg)}{0{,}8\ (m^3)}$$

$$Ley = 131{,}53\left(\frac{mg}{m^3}\right)$$

ANEXO 4: EJEMPLO DE CASO DE ESTUDIO

MORFOESTRATIGRAFÍA DE DEPOSITOS SEDIMENTARIOS Y ANALISIS DE PLACERES DE ORO EN EL CORDON BAQUEDANO, TIERRA DEL FUEGO

1. INTRODUCCIÓN

En pequeña (e incluso mediana) minería la exploración, caracterización geológica y modelamiento geo-minero-metalúrgico de los proyectos es usualmente precaria o inexistente (Seccatore et al. 2014a; Marín et al. 2016; Espinoza et al. 2020). Esto redunda en un mal diseño y planificación de la explotación, y escasa incorporación de tecnologías (Hentschel et al., 2003; Seccatore et al. 2014a; Moore et al. 2020), lo que atenta contra su sustentabilidad mediante dos mecanismos: i) no se consigue el financiamiento adecuado para su adecuado desarrollo; y/o ii) se obtienen malos resultados económicos, sociales y ambientales en su fase operativa (Hentschel et al. 2002; Hilson 2002; Buxton 2013; Ledwaba 2017; Machácek 2019; Hilson y Hilson 2020).

Este problema se acrecienta cuando el proyecto corresponde a placeres de oro, debido a las características inherentes/naturales de este tipo de depósitos, y por el desconocimiento técnico relacionado a su explotación y la gestión de sus impactos sociales y ambientales (Seccatore y de Theije 2017; Caven et al. 2020; Bansah et al. 2018; Machácek 2020). Los placeres son un grupo de depósitos minerales que presentan características variables dependiendo del origen de la mineralización, de los procesos de erosión, transporte y depositación, de su preservación y de su ubicación en el sistema geomorfológico (Wells 1969; Macdonald 1983). Más aún, en un área de interés particular pueden coexistir más de un tipo de placer, con varios eventos de mineralización sobreimpuestos unos a otros. Debido a ello, usualmente la mineralización es discontinua y errática, lo que dificulta su exploración, estimación de recursos y posterior explotación (Macdonald 2007).

En el caso particular de Chile el problema es aún mayor, ya que prácticamente no han existido explotaciones industriales (mecanizadas) de este tipo en las últimas décadas, a pesar del potencial del país para su desarrollo a pequeña/mediana escala (Portigliati 1999; Villela 2017; Jara et al. 2019).

A partir de los 90s se han ido desarrollando y mejorando estándares/protocolos de caracterización y modelamiento geo-minero-metalúrgico de depósitos minerales, los que usualmente son referidos como geometalurgia o modelos geometalúrgicos en la literatura científica (Williams 2013; Ortiz et al. 2015; Hunt y Berry 2017; Dominy et al. 2018a). En la actualidad estos modelos son ampliamente aceptados por los actores de la industria y representan un requerimiento esencial para el financiamiento de proyectos en mercados públicos mediante el cumplimiento de los códigos de reportes de prospectos de exploración, recursos minerales y reservas mineras (Camisani-Calzolari 2004; Njowa et al. 2014; Fox 2017). Sin embargo, para los placeres de oro sólo se presentan recomendaciones generales (Spring et al. 2021), las cuales tienen escasos detalles y son difíciles de entender y aplicar para la mayoría de los actores de la minería artesanal y de pequeña escala (Seccatore et al. 2014a; Hilson y Hilson 2020).

El distrito del oro en el Tierra del Fuego ha sido trabajado de manera semi-permanente desde al menos 1879, cuando se registra por primera vez su presencia en el que sería llamado el Río del Oro por el teniente Serrano, líder de la expedición enviada a verificar las aptitudes de esta isla para la colonización (Martinic, 2003). Aquí se han registrado leyes de hasta los 0,4 g/m3 (Palacios et al.,

1996). Esto dio inicio a la colonización de Porvenir, que traería un auge en la minería artesanal y que daría inicio a los conflictos con la población Selk'nam local.

A comienzos del s. XX se comenzó a explotar de manera mecanizada los placeres del Río del Oro en el Cordón Baquedano, donde se obtenían leyes entre los 0,5 y los 1,3 g/m3 (Navarro, 1908). Esta explotación continuó hasta finales de la primera década de 1900. Luego se volvió a explotar de manera artesanal hasta a actualidad, con intentos intermitentes de industrialización por diversas empresas (Faith, 2000; Martinic, 2003).

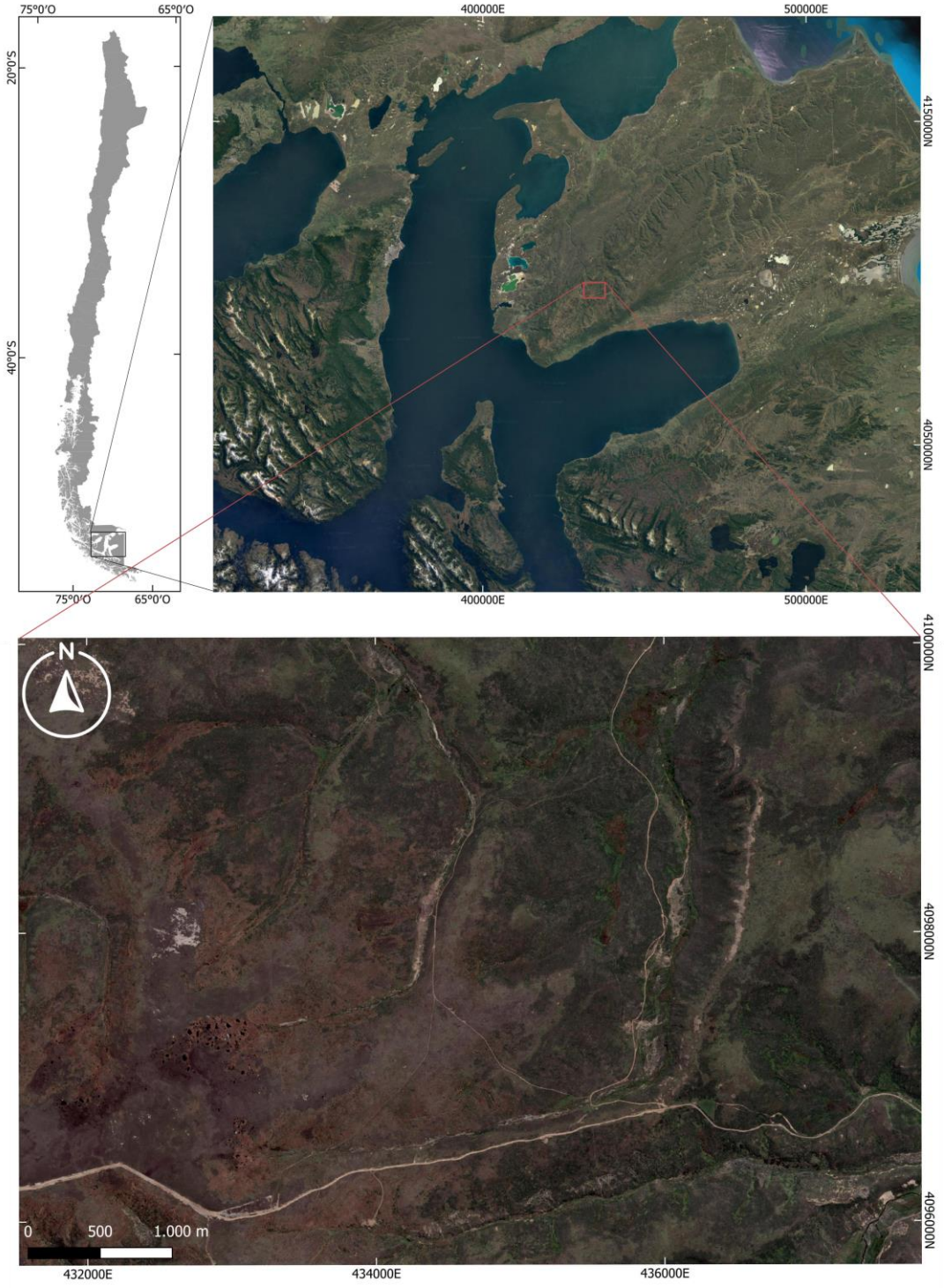


Figura 1.1: Ubicación del área de estudio.

1.1. Breve introducción a los placeres de oro

Un placer de oro es un depósito mineral cuya génesis está relacionada con procesos de meteorización y erosión que permiten la concentración mecánica de partículas de oro en suelos o sedimentos (e.g. Gary et al., 1972; Gerhard & Eriksson, 2006).

Se definen 4 subtipos generales de placeres de oro: placeres eluviales, aquellos transportados en un medio sólido, como coluvios o morrenas; placeres aluviales, transportados en un medio líquido, como aluvios o fluviales; placeres eólicos, transportados en un medio gaseoso, como el viento; y placeres de playa, aquellos transportados por efectos del oleaje en playas.

En este trabajo presenta una explicación de las metodologías utilizadas en la investigación, luego se presentará el marco geológico de Tierra del Fuego, con énfasis en el Cordón Baquedano. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de las metodologías planteadas en el siguiente capítulo, seguido de una discusión en torno a estos resultados. Finalmente se presentan las principales conclusiones de este trabajo.

1.2. Objetivos

Objetivo general

Proponer un modelo metalogénico para los yacimientos de tipo placeres de oro ubicados en el Cordón Baquedano, Isla de Tierra del Fuego, Magallanes

Objetivos específicos

1- Determinar las unidades morfo-estratigráficas con potencial de contener placeres de oro.
2- Determinar la proveniencia de las partículas de oro que forman los cuerpos mineralizados.
3- Construir un modelo geológico con potenciales cuerpos mineralizados.

2. METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo se ha seguido la siguiente metodología:

1. Revisión de trabajos previos
2. Diseños de grillas de perforación de pozos
3. Diseño de pozos de gran volumen
4. Perforación de pozos
5. Descripción de pozos
6. Muestreo de pozos
7. Procesamiento de muestras en terreno
8. Análisis de muestras
9. Estudio de proveniencia
10. Obtención DEM
11. Análisis geomorfológico
12. Mapa morfoestratigráfico

A continuación, se describen con más detalle algunos de los trabajos realizados:

2.1. Diseño de grillas de perforación de pozos

Se planearon dos mallas o grillas de perforación con el propósito de identificar el espaciado mínimo necesario para identificar los elementos significativos del yacimiento. Estas son

- Una grilla regular de perforaciones cada 200 m con un total de 88 pozos (pozos A).
- Una segunda malla con igual distanciamiento, pero desplazada 100 m longitudinalmente y 100 m latitudinalmente (141 m en diagonal), con un total de 68 pozos (pozos AA).

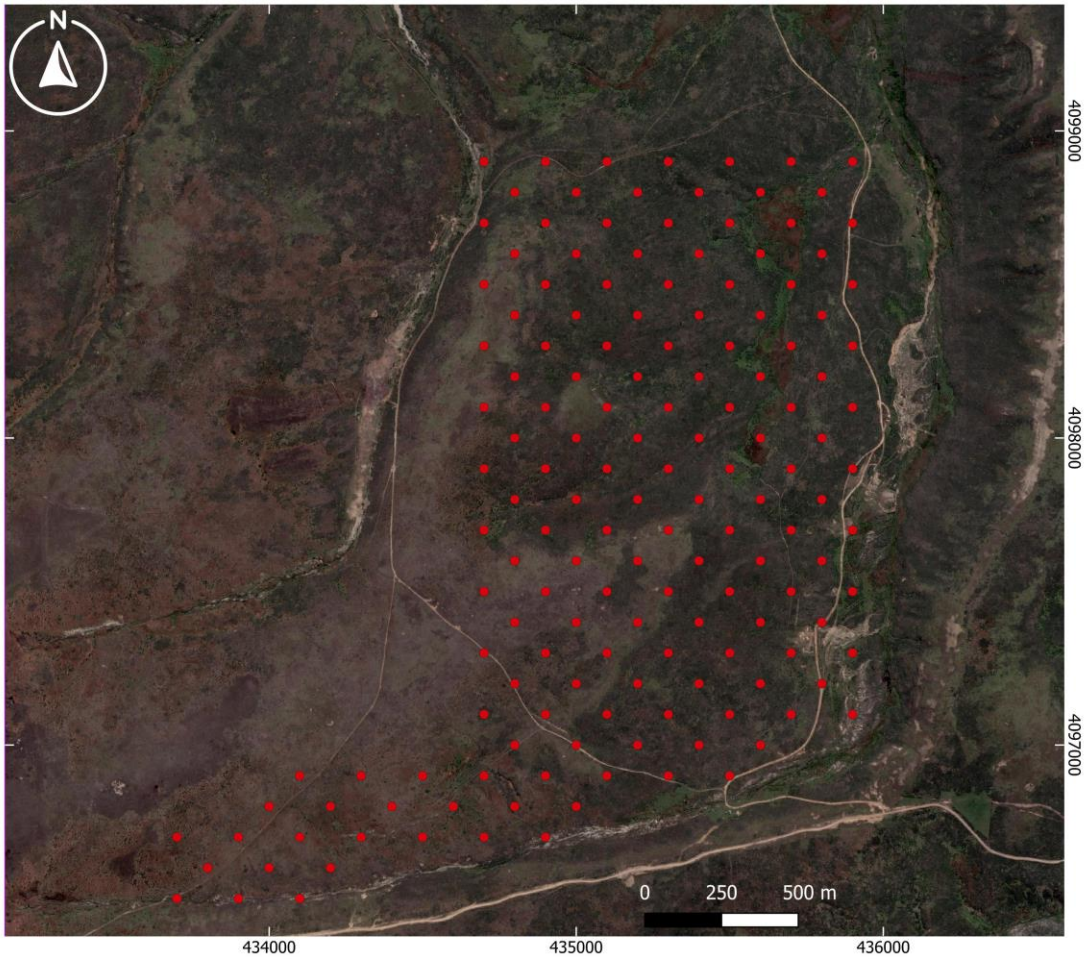


Figura 2.1.1: Distribución de los pozos planificados

2.2. Perforación de POZOS

Cada pozo se perforó con una retroexcavadora, excavando una un área aproximada de 2 x 2 m y profundidad variable relacionada a la extensión del brazo de la máquina de excavación pero que tiene por objetivo visibilizar la secuencia sedimentaria hasta alcanzar la circa.

2.3. Muestreo regular de pozos

En cada pozo y por cada manto explícitamente diferenciable con potencial aurifero se tomó una muestra de 200 L (10 baldes de 20 L) para ser procesada para la extracción de oro y cálculo de leyes, una muestra de 20 L extra de respaldo y una muestra de 3 L para realizar tamizaje. Estas muestras se tomaron de los sedimentos encontrados entre el horizonte vegetal y el basamento sedimentario.

2.4. Pozos especiales

Se planeó la perforación de 9 pozos de gran volumen con grilla de 100 m (pozos C) con el objetivo de verificar volumen mínimo para poder estimar las leyes de oro y no ser afectados por el "efecto pepita" de muestreo. En estos pozos se tomó una muestra de 2 L (un balde), una muestra de 100 L (5 baldes), una muestra de 200 L (10 baldes) y una muestra de 500 L (25 baldes) (Figura 2.1.1).

2.5. Descripción de pozos

Se realizo una columna estratigráfica simplificada por cada pozo y se registraron variables locativas, geológicas y sedimentológicas, tales como ubicación, granulometría visual, redondeamiento y esfericidad de los clastos, consistencia, composición, soporte y alteración de los sedimentos y se registró en la ficha “Descripción visual de columna de sedimentos”. Se sacaron fotos de cada cara del pozo, se utilizó una guincha para medir la potencia de cada una de las unidades con la que se realizó una columna estratigráfica simplificada.

2.6. Procesamiento de muestras y obtención de leyes

El procesamiento de las muestras de pozos se realizó en dos etapas

Primera Etapa: procesamiento directo de las muestras colectadas por “planta móvil”, ubicada en terreno, donde se redujo el material extraído hasta un concentrado de minerales densos.

Los 200 L de material obtenido en los pozos se pasa por un Trommel que lava y separa las muestras según su granulometría, conservándose el material menor a 15 mm. El material recuperado del Trommel pasa a una segunda etapa de concentración gravitacional mediante un Jig y un concentrador centrífugo tipo “blue bowl”. El material resultante fue concentrado una última vez manualmente mediante el uso de una batea manual y se almacenó para su traslado al laboratorio.

Segunda Etapa: se separó el oro del concentrado de minerales densos en el laboratorio y consiste en tres sub-etapas. En primer lugar, se separó el oro y otras partículas densas como magnetita, circón y apatito de minerales menos densos mediante el uso de una batea mecánica. El concentrado resultante se separó en una fase magnética (e.g. magnetita) y una fase no magnética mediante el uso un imán. El oro en el último concentrado no magnético se separó manualmente utilizando pinzas frente a una lupa binocular y un microscopio (picking).

Para obtener la ley correspondiente de cada pozo se pesó/estimo el peso de cada muestra y se escaló al volumen total de la muestra con la siguiente formula:

$$Ley = \frac{M(mg)}{V(L)} \times \frac{1000(L)}{(m^3)} \times \frac{1}{R} \times E \quad (2.1)$$

Con:

- M: La masa de la muestra (en mm)
- V: El volumen total de la muestra antes del procesamiento (en L). Por defecto se utiliza en valor de 200 L
- R: La tasa de recuperación del oro de las arenas negras. Por defecto se utiliza una recuperación del 80%
- L: Esponjamiento de la muestra. En general el valor va entre 1,10 y 1,20

2.7. Levantamiento geológico y geomorfológico de campo

Se registro la mineralogía y la morfología (forma, redondeamiento y textura superficial) de clastos en quebradas, barras del río y afloramientos en revolcaderos (zonas desprovistas de vegetación por acción de guanacos).

Se realizaron perfiles topográficos perpendiculares a las secuencias de terrazas fluviales, midiendo la altitud del pie y la cabecera de los escarpes asociados a las terrazas. Esta información se registró en planchetas de mapeo, donde adicionalmente se registraron otras características geomorfológicas, tales como redes de drenaje, abanicos alu-coluviales y laderas de degradación.

2.8. Levantamiento geomorfológico con drone

La zona de estudio tiene un área aproximada de 1.300 ha, la que se dividió en subáreas de distinto tamaño de no más de 175 ha. Se hizo un levantamiento fotogramétrico de estas áreas con un drone DJI Air 2S a una altura de 175 m desde el punto de despegue. Se realizaron las misiones de vuelo desde 4 puntos de despegue distintos, espaciados de manera de minimizar la cantidad de estos y maximizar la cantidad de subáreas que se pudiera cubrir con cada uno.

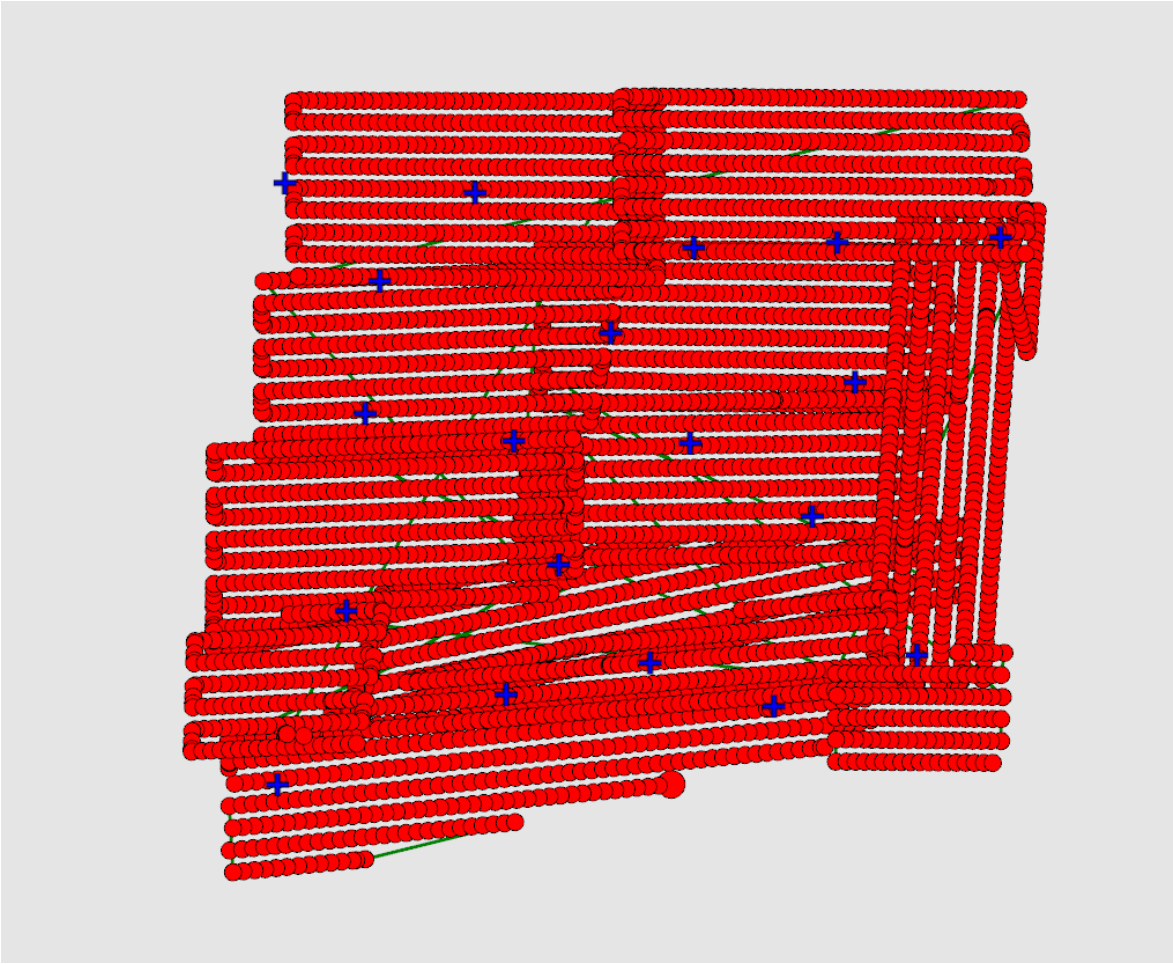


Figura 2.4.1: Diagrama de cuadricula de vuelo, ruta de vuelo general

Las imágenes obtenidas con estas misiones se procesaron con un programa de modelamiento fotogramétrico especializado, con lo que se obtuvieron un ortomosaico o imagen aérea ortogonal, un Modelo Digital de Superficie (DSM por su sigla en inglés) y un Modelo Digital de Terreno (DTM por su sigla en inglés). Ambos modelos son imágenes Raster en las que cada pixel representa la altura del atributo representado en la coordenada correspondiente. La diferencia entre ambos radica en que el DSM representa la altura de todos los atributos presentes al momento de realizar el levantamiento fotogramétrico, incluida la vegetación superficial, construcciones y otros objetos de manufactura humana. El DTM en cambio busca representar la altura del terreno obviando los elementos mencionados anteriormente.

En la zona de estudio se distingue una sucesión de eventos modeladores del relieve sobre impuestos. En primera instancia existía un gran pedimento, correspondiente a la Formación Palomares, de origen fluvio-aluvial y correspondiente a los depósitos de la cuenca de tras-arco de la Cordillera de Darwin. Sobre esta morfología original se ha labrado una red hídrica que continúa siendo activa. Producto de esta nueva red de drenaje se distinguieron en terreno una secuencia de terrazas fluviales asociadas a los canales principales de la zona, el

estero Mina Nueva y el estero Verde. Estas terrazas han sido degradadas por la acción erosiva del clima, lo que ha reducido la pendiente de sus escarpes.

En base a lo anterior, en la zona de estudio se distinguen las siguientes unidades morfoestratigráficas:

- El pediplano superior correspondiente a la Formación Palomares
- Terrazas fluviales
- Escarpes asociados a las terrazas fluviales
- Laderas de pendiente intermedia correspondientes a la degradación de los escarpes de las terrazas fluviales
- Incisiones asociadas a la formación de nuevas quebradas
- Abanicos aluviales al pie de las quebradas encajadas en laderas y escarpes de mayor pendiente

Con el objetivo de delimitar la distribución de las distintas unidades morfoestratigráficas presentes en la zona, se obtuvo a partir del DTM, utilizando el programa SAGA GIS, la red de drenaje de la zona, un mapa de zonas planas y perfiles Swath. El proceso de obtención de cada uno, así como su definición y se usó que se detallan a continuación.

2.9. Red de drenaje

Para obtener la red de drenaje se generó a partir del DTM original un nuevo modelo de elevación en el que se rellenaron puntos de sumidero (sinks). Sobre este nuevo modelo de elevación se utilizó el comando *Water accumulation* (acumulación de aguas) que calcula para cada celda del DTM cuantas celdas en su inmediación se encuentran topográficamente más arriba, lo que se traduce en celdas que le aportan agua. Este comando entrega valores con órdenes de magnitud de diferencia, donde celdas que se encuentran en pedimentos u otras zonas lejanas a la red de drenaje real pueden tener valores de 3 o 4 órdenes de magnitud más bajo que aquellos puntos que realmente forman parte de la red de drenaje. Este efecto escala de manera inversa con la resolución del DTM. Para el siguiente proceso es necesario identificar un valor umbral, que define el límite entre aquellas celdas que corresponden a la red de drenaje y aquellas que no. Mientras más bajo es el valor, más detallada será la red de drenaje e incluirá afluentes de más bajo orden. El último comando utiliza el producto del proceso anterior y genera una nueva capa con la red de drenaje a partir del umbral establecido, para este caso el valor adimensional de 75.000.

Con lo anterior se obtiene una capa vectorial con la red de drenaje en la resolución especificada. Esta será utilizada para delimitar el curso superficial de los esteros principales (Mina Nueva y Verde), la extensión de la planicie de inundación de estas, la zona de incisión de las quebradas secundarias y el pie de estas mismas para la identificación posterior de sus respectivos abanicos aluviales.

2.10. Zonas planas (flats)

Dentro de la librería de procesos presentes en SAGA GIS se encuentra el comando Flats, el que a partir de un modelo de elevación sin puntos de sumidero (no-sinks DEM) identifica zonas continuas de baja pendiente. La capa raster resultante conserva los valores de elevación de las celdas que identificó como planas y elimina las otras celdas. Al analizar el histograma de valores de dichas celdas es posible identificar alturas de mayor frecuencia, posiblemente asociadas a pedimentos o terrazas fluviales. Esta información ayuda principalmente a la delimitación del pedimento principal de la Formación Palomares y es un insumo para la identificación de las terrazas fluviales.

2.11. Perfiles Swath

Los perfiles Swath, definidos como la intersección de numerosos perfiles topográficos paralelos y equi-espaciados a lo ancho de una banda (o swath en inglés) (Grohmann et al., 2011; Telbisz et al., 2013) son comparativamente favorables sobre los perfiles topográficos tradicionales ya que permiten el análisis conjunto de una sección topográfica en lugar de un único perfil, cuyo trazado es subjetivo y, en algunos casos, incluso sesgado.

El comando perfil Swath de la librería SAGA GIS entrega un perfil promedio de generado a partir de 100 perfiles paralelos a un perfil trazado originalmente por el usuario, así como los perfiles agregados de mayores y menores valores entre el conjunto de perfiles. Con ello es posible reconocer las tendencias locales persistentes del terreno, más allá de accidentes geográficos o ruido presente en el modelo de elevación.

Se trazaron perfiles perpendiculares a las secuencias de terrazas fluviales para que se representaran longitudinalmente elementos morfoestratigráficos equivalentes.

A partir de esta información, se puede obtener un perfil de pendientes en el que se pueden identificar los elementos morfoestratigráficos característicos de la zona. Así, zonas de baja pendientes estarán asociadas a pedimentos o terrazas fluviales, zonas de alta pendiente a escarpes y zonas de pendiente intermedia a laderas. Cabe destacar que en esta lista no se mencionan los elementos morfoestratigráficos asociados a la red de drenaje. Al trazar los perfiles Swath se seleccionaron zonas alejadas de estos elementos ya que su trazado tiende a ser paralelo al trazado de los perfiles. Adicionalmente, si se posiciona un perfil Swath muy cerca de un canal, los perfiles más cercanos a este serán notoriamente más bajos que los más alejados de este y se asume que la acción erosiva de los canales puede degradar elementos morfoestratigraficos que se quieren estudiar.

2.12. Estudio de proveniencia

Se utilizaron dos estrategias para determinar la proveniencia y el transporte local de los sedimentos: i) el estudio de clastos de distintos niveles sedimentarios en el área de estudio;

y ii) el estudio de partículas de oro extraídos de la separación obtenida del procesamiento de las muestras de los pozos de exploración.

Para el estudio de los clastos, se seleccionaron cerca de 25 muestras en 10 sitios en el área de estudio (Figura 2.5.1). Se registró la forma de cada clasto, midiendo las dimensiones de los tres ejes principales según la escala establecida por Wadell (1934). El eje mayor (L) corresponde a la mayor dimensión del clasto; el eje intermedio (I) se encuentra en el plano proyectado máximo y corresponde a la máxima dimensión contenida en este plano, perpendicular a L; y el eje menor (S) es la máxima dimensión ortogonal al plano proyectado máximo. Los tres ejes son mutuamente perpendiculares, pero no necesitan encontrarse en un mismo punto. Adicionalmente se midió el redondeamiento y se identificó la litología, alteración y fracturas presentes en cada clasto.

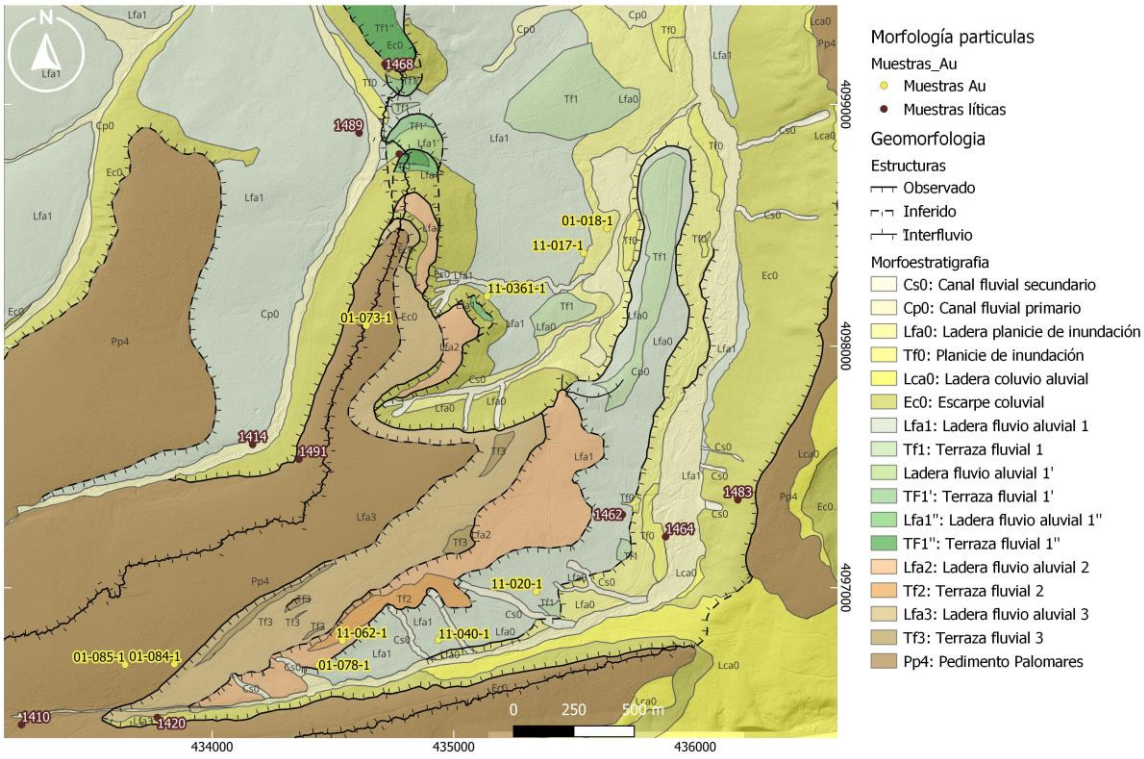


Figura 2.5.1: Mapa distribución puntos de muestreo de clastos y de particulas

Para el estudio de partículas de oro se seleccionaron 10 muestras extendidas en dos perfiles perpendiculares a la red de drenaje principal (Figura 2.5.1) y registró la forma de cada una de las partículas de oro de la muestra con los mismos criterios utilizados para los clastos. Adicionalmente se registró la presencia de arcillas, fragmentos minerales o presencia de óxidos en cada partícula.

Para procesar los datos de forma de los clastos y las partículas de oro se utilizó el criterio establecido por Sneed y Folk (1956). Este busca clasificar la forma de cada clasto y partícula en una de cuatro categorías: i) ecuantes, correspondientes a aquellas aproximadamente equidimensionales en sus tres ejes; ii) oblatas o con forma de disco, aquellas con los ejes L e I de similares dimensiones y eje S mas pequeño; iii) acuchilladas (bladed), aquellas con sus tres ejes disimiles; y iv) prolatas o tubulares, aquellas con ejes I y S de similares dimensiones y eje L más grande (Figura 2.5.2). Sneed y Folk (1956) también establecen un parámetro denominado proyección de esfericidad máxima, calculado con la siguiente formula:

$$\Psi_P = \sqrt[3]{\frac{S^2}{LI}} \qquad (4.2)$$

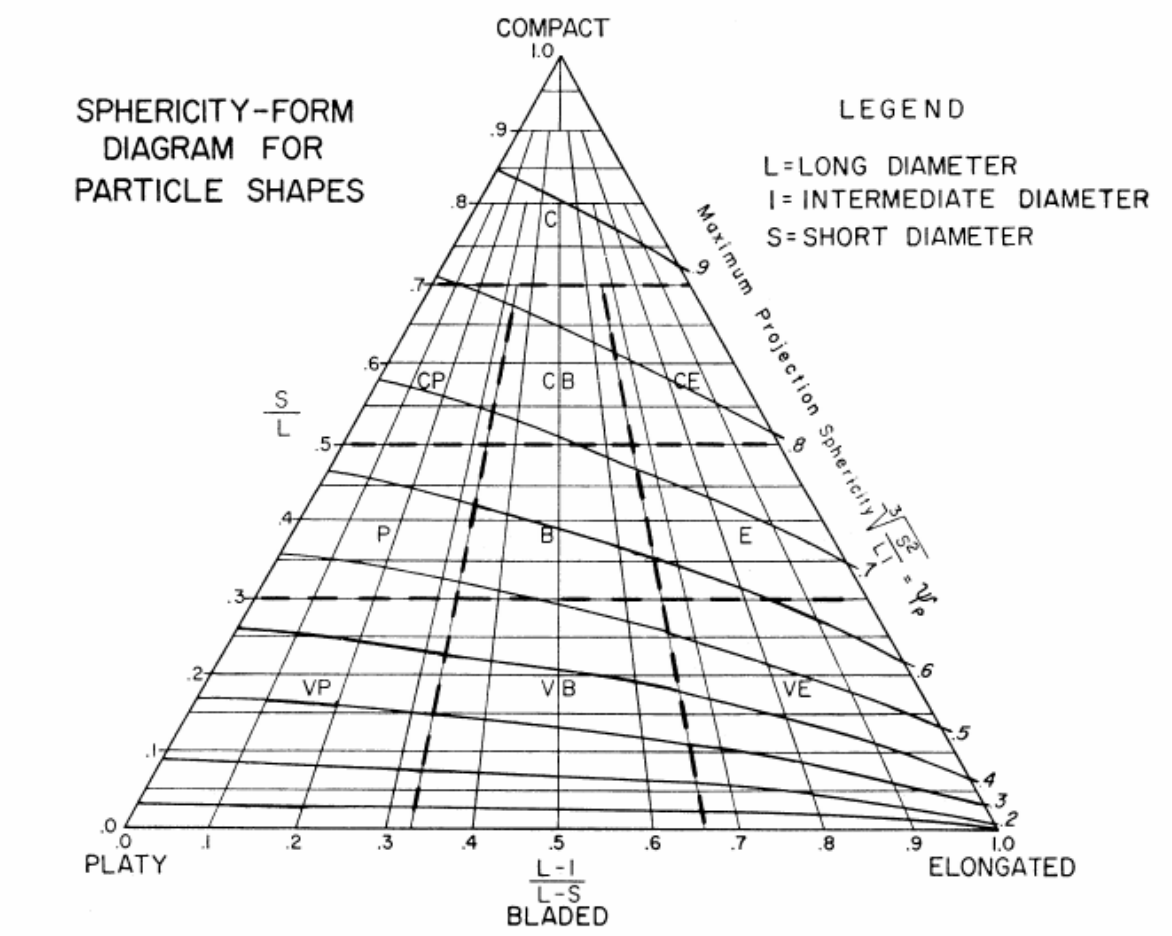


Figura 2.5.2: Esquema con los cuatro tipos de morfología que ilustre los 3 ejes

Este parámetro busca representar la esfericidad de la partícula, indicador aproximado del grado de transporte que esta experimentó desde su liberación de su fuente.

Ambos parámetros pueden ser representados en un triángulo desarrollado por los mismos autores que facilita la comparación de un gran volumen de ejemplares. Los ejes mayores de

dicho triangulo corresponden a dos relaciones de las dimensiones (S/L y [L-I]/[L-S]) y categorizan los ejemplares en las cuatro categorías presentadas en el párrafo anterior. En el mismo triangulo es sencillo observar la proyección de esfericidad máxima, con linas curvadas cuyo valor va aumentando al ir ascendiendo en el triángulo.

3. Marco geológico

Los sedimentos de hallados en la zona de estudio son parte de la Cuenca de Magallanes, la cual comprende un área de más de 160.000 km2 (Sáez, 2017), con un relleno de rocas sedimentarias y sedimentos de edades que comprenden el Mesozoico y Cenozoico (aproximadamente desde 174 Ma a la actualidad) y que alcanza una potencia máxima de 8.000 m en el sector de Península de Brunswick (Pittion y Arbe, 1999). El relleno de la cuenca está caracterizado por su evolución en dos etapas: cuenca de extensión y cuenca de antepaís (e.g Mpodozis et al., 2011).

El desarrollo de la cuenca de extensión parte con la fragmentación de Gondwana durante el Triásico y termina durante el Cretácico Temprano con la apertura del océano Atlántico (Mpodozis et al., 2011; Malkowski et al., 2016). Durante este período extensivo se formaron las cuencas de las Malvinas y de Rocas Verdes, que dieron origen a las Formaciones Rocas Verdes, Springhill, las que en conjunto con el basamento metamórfico Paleozóico y la Serie Tobifera que las infrayacen, Se convertirán en las rocas madres de la Cuenca de Magallanes (Biddle et al., 1986; Galeazzi, 1998). Posteriormente, durante la etapa de cuenca de antepaís tuvieron lugar 4 periodos de deformación compresiva que proporcionaron el espacio para la formación de 4 megasecuencia de antepaís (e.g. Biddle et al., 1986, Saez, 2017), a partir de las cuales se forma el sustrato de la geología del área de estudio.

Durante el primer período se generaría una inversión de la cuenca de Rocas Verdes, que se comenzaría a llenar con flujos turbidíticos, dejando una cuenca hambrienta o “underfilled” en esta ubicación, que sería posteriormente llenada por sdedimentos fluvio-aluviales (Mella, 2001; Mella et al., 2007; Mpodozis et al., 2011).

Durante el desarrollo de la segunda megasecuencia de antepaís, entre el Eoceno y Oligoceno, se depositaron las Formaciones Leña Dura, Bautismo, Discordia y Santa Clara, mientras en el desarrollo de la tercera megasecuencia, durante el Oligoceno medio a superior, se habría depositado la Formación Puerto Nuevo, todas estas unidades sedimentarias serían de origen marino (Sáez, 2017). Posteriormente, producto de un proceso de somerización de la cuenca se habría depositado la Formación Río del Oro seguida por una transgresión marina durante el Mioceno que habría depositado la Formación Brush Lake, engranándose con la Formación Filaret, que correspondería a la unidad continental de este periodo (Céspedes y Cortés, 1956; Gonzales, 1965). Luego, durante el Plioceno se habría depositado la Formación Palomares, marcando la transición desde un ambiente marino a continental, principalmente fluvial (Sáez, 2017). compuesta por conglomerados, areniscas con

estratificación cruzada, tobas y brecha volcánicas y arcillas ligníticas (Keidel y Hemmer, 1931). Corresponde a un ambiente depositacional continental similar al actual, con ambientes de planicie aluvial y deltaica intercalados en el oeste con ambientes volcánicos de flujos y caídas de piroclastos (Saez, 2017).Finalmente, durante el Pleistoceno-Holoceno se habría depositado sedimentos fluvioglaciares, glaciolacustres y una extensa cubierta de morrenas

que han sido retrabajadas por los sistemas fluviales modernos y que serían los procesos responsables de la actual geomorfología de la zona (Darvill et al., 2015).

Cabe destacar que de acuerdo a los trabajos de Darvill (2014, 2015), la zona del Cordón Baquedano habría quedado aislada de la influencia glacial ya que las lenguas de hielo provenientes de la Cordillera de Darwin se habrían desarrollado a lo largo del Estrecho de Magallanes y hubieran penetrado a Tierra del Fuego por la Bahía Inútil, en paralelo, pero sin penetran en el Cordón.

La zona ubicada a los pies del Cordón Baquedano, al norte y sur, bajo los 300 m s.n.m., se caracteriza geomorfológicamente por la presencia de canales de agua provenientes del derretimiento de los glaciares, crestas de morrena, lineamientos y serranías irregulares producto de eventos glaciares, morfologías de Kettle and Kame y lagos (Darvill et al., 2015).

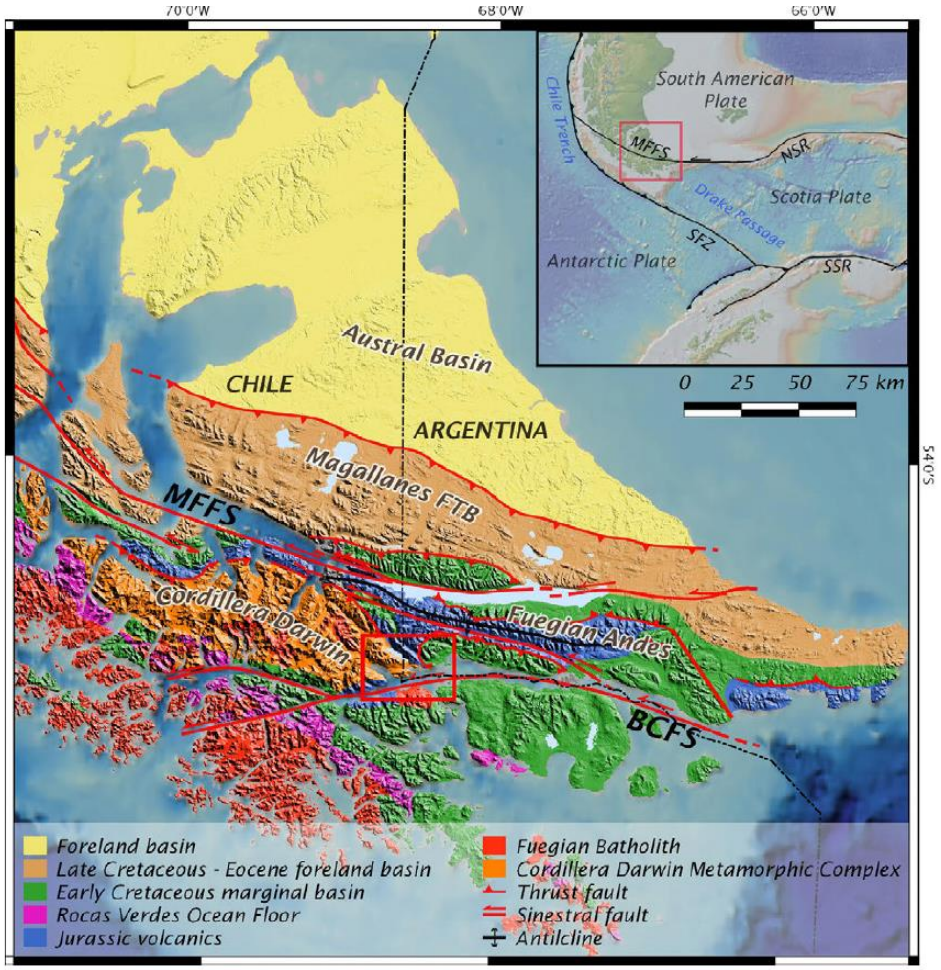


Figura 1.1.1: Mapa regional (Bran et al,, 2018)

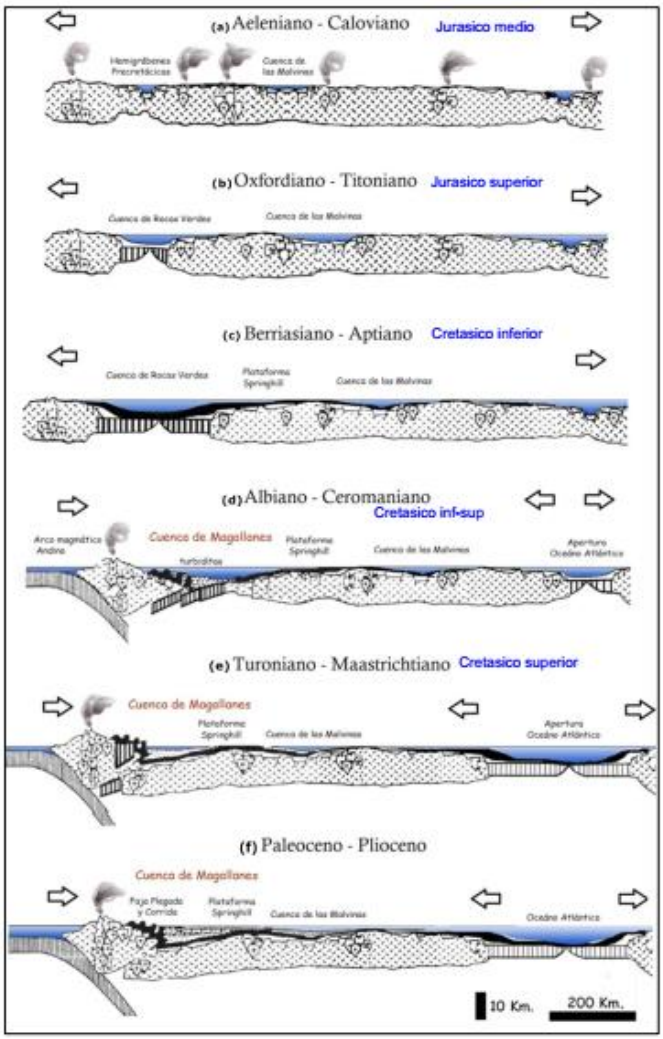


Figura 3.1.2: Evolución tectónica de la Cuenca de Magallanes; (a, b y c) Etapa extensiva; (d, e y f) Etapa de cuenca de antepaís. (Mella, 2001, modificada de Galeazzi, 1994)

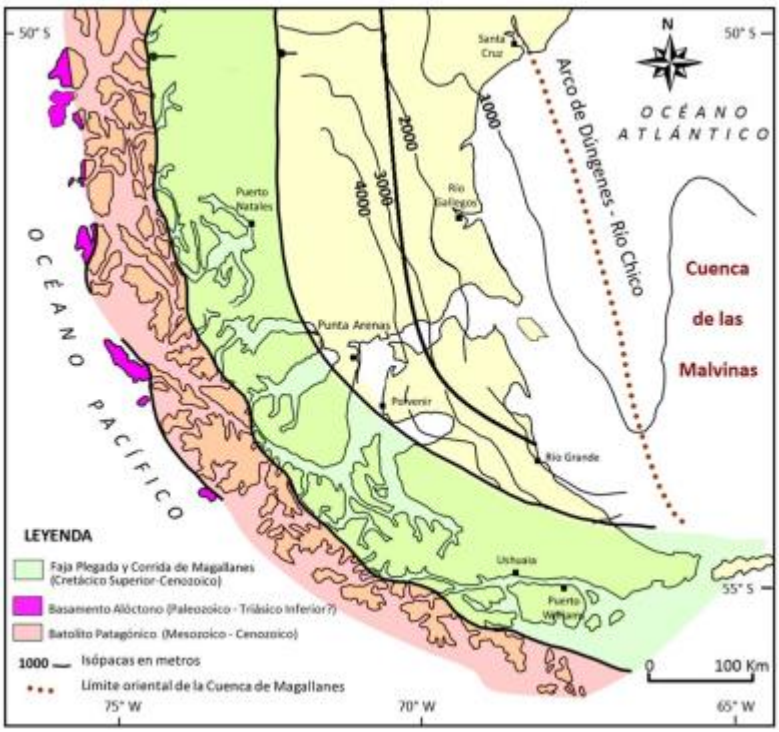


Figura 3.1.2: Geología generalizada de Magallanes. En amarillo la Cuenca de Magallanes con isopacas (Saez, 2017, modificada de Wilson, 1991)

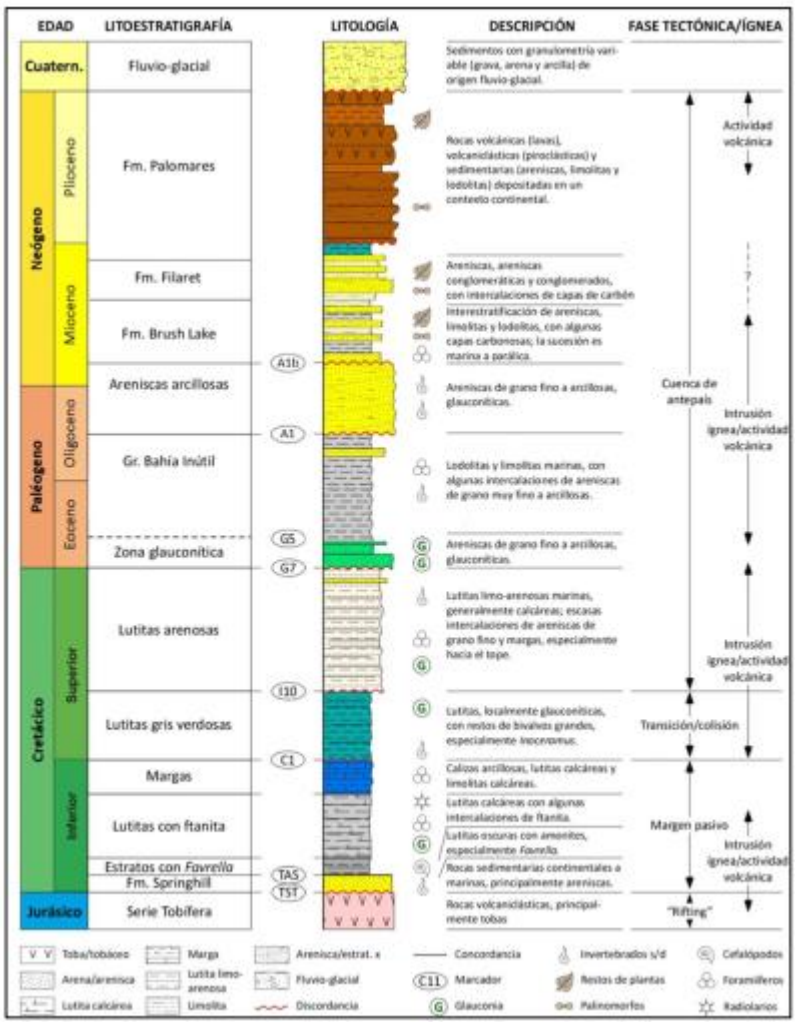


Figura 3.1.4: Columna generalizada de la Cuenca de Magallanes para la porción chilena de Tierra del Fuego (Saez, 2017, modificada de J. Pinto)

Fi

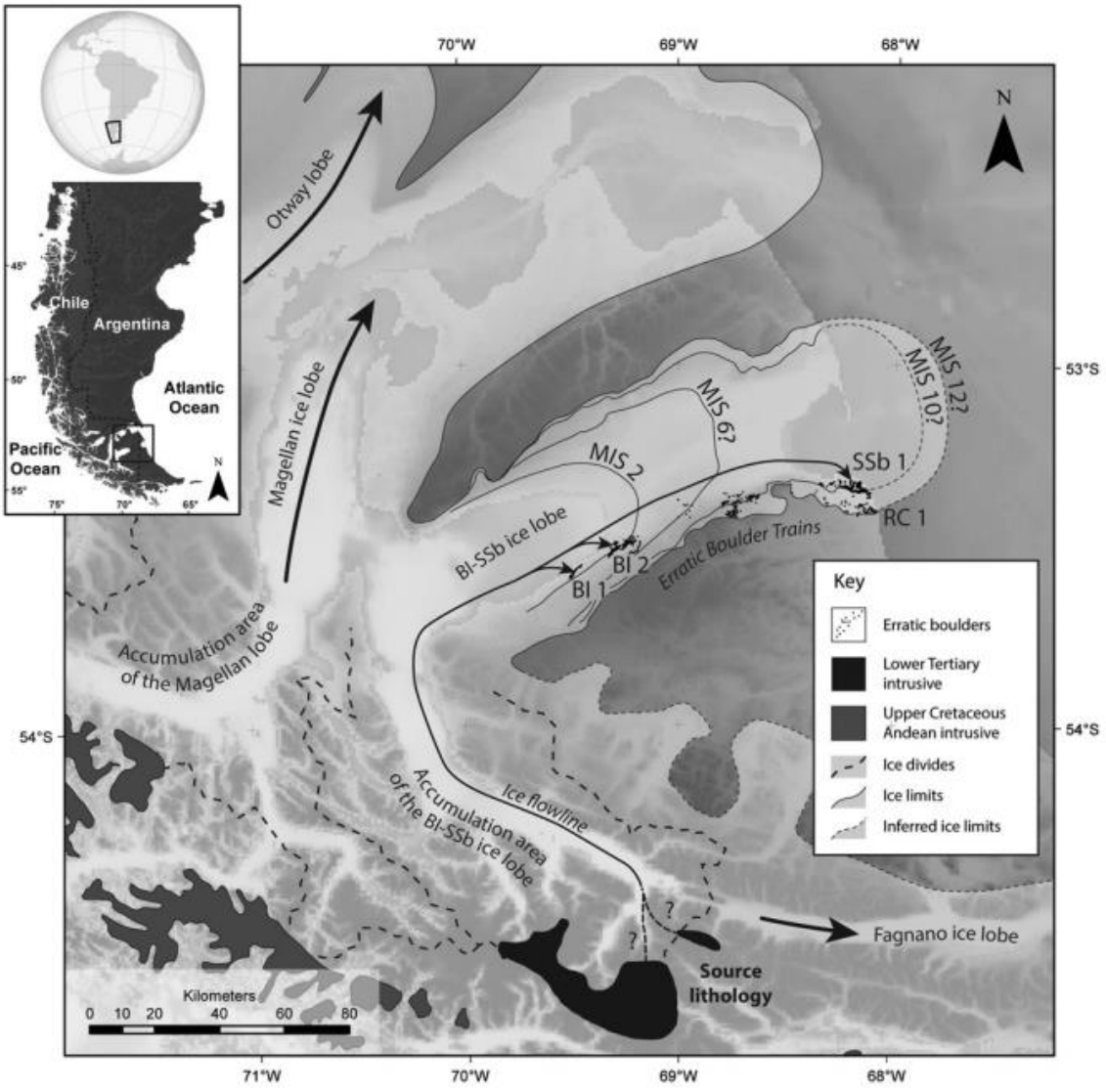


Figura 3.1.5: Máxima extensión de la intrusión de los lóbulos glaciares en los últimos mínimos glaciales (Darvill et al., 2015)

4. RESULTADO

4.1. Pozos, estratigrafía y leyes

Durante los meses de febrero, marzo y abril del año 2022 se realizó la perforación de los pozos planificados, con los siguientes resultados por tanda de pozos:

Tabla 3.1.1: Estadísticas de resultados de las perforaciones

	Completo	No circa	Pozo seco	Na	Total	Pozos secos +	Total total
A	52	28	5	3	88	17	105
AA	34	25	5	4	68	21	89
C	5	4	0	0	9	2	11

La estratigrafía general de la zona de estudio se compone de: i) un horizonte vegetal de 0,2 a 0,6 m de espesor; ii) niveles fluvio-aluviales de gravas arcillo arenosas, ausente en algunos pozos y con espesor superior a 6,6 m en otros y iii) el basamento sedimentario compuesto por areniscas finas a arcillolitas con presencia fosilífera.

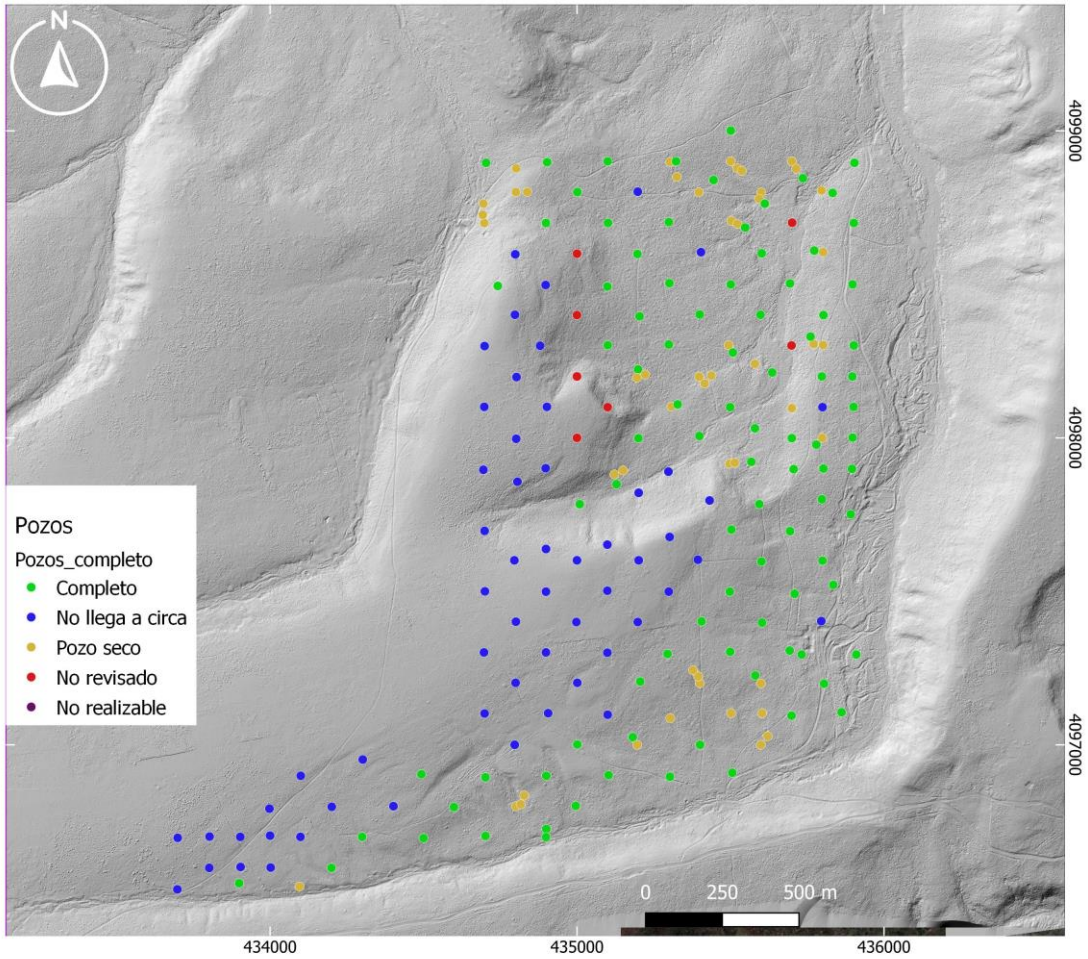


Figura 3.1.2: Mapa con resultados perforación, perforados, completos, secos, sin circa, no perforados

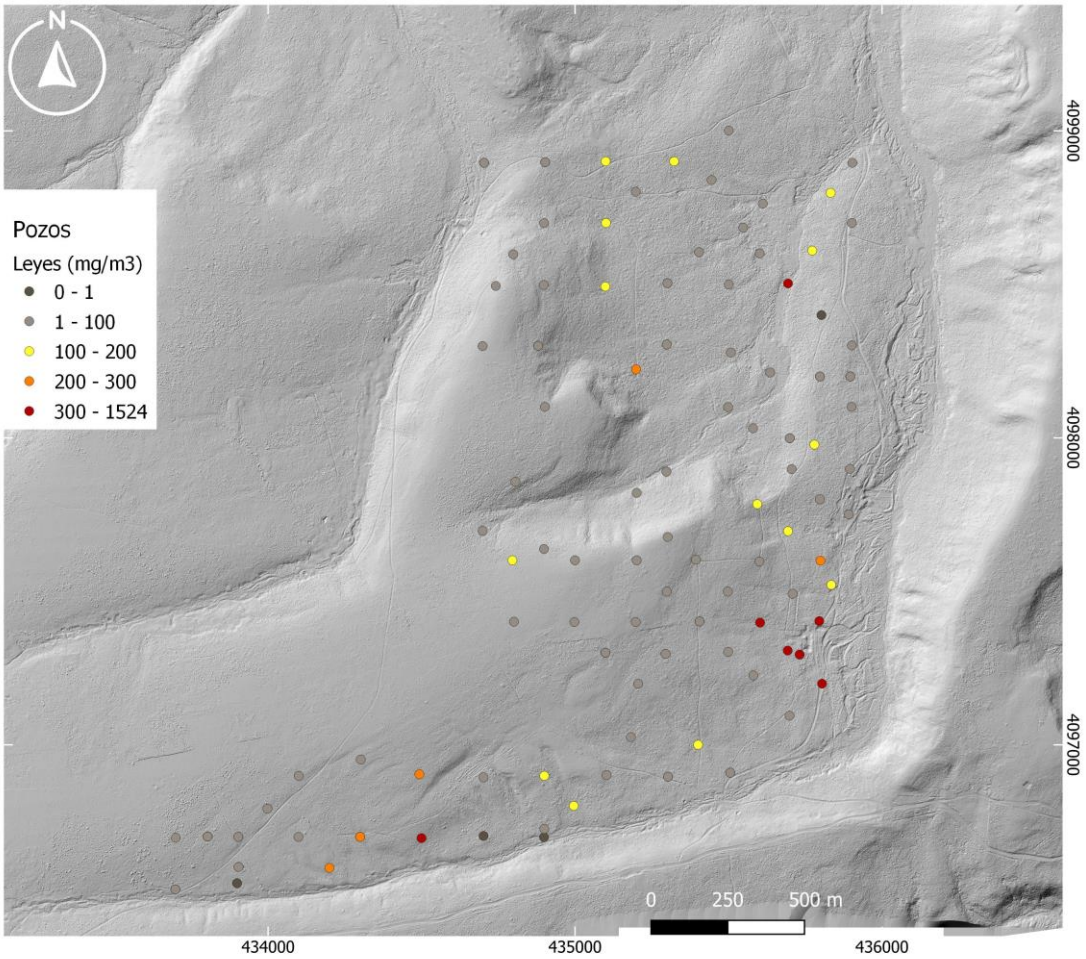


Figura 3.1.3: Leyes obtenidas en el procesamiento de los pozos

4.2. Drone

Se obtuvo un DSM principales se presentan a continuación.

Tabla 3.3.1: Resumen resolución productos proceso DEM

DSM: resolución 5,28 cm/px, 82779x78255 px, 6,48 Gpx (6477870645 px), min: 303,4 m, max: 547,7 m

DTM:

Figura 3.3.2: DTM y mapa de errores

4.3. Estratigrafía

A partir del mapeo geológico de superficie y de la información obtenida a partir de las columnas sedimentarias de los pozos se reconoció una geología general de la zona consistente en tres niveles:

a) El nivel mas superficial corresponde a un horizonte vegetal producido por la degradación biogénica del siguiente nivel.
b) El segundo nivel corresponde a depósitos fluvio-aluviales de arcillas conglomerádicas a arenas arcillosas conglomerádicas.
c) El tercer nivel estratigráfico corresponde al basamento sedimentario que se extiende en toda al área de estudio. Este corresponde a arcillas a arenas arcillosas semi consolidadas con contenido fosilífero marino transicional de edad ¿?.



Figura 3.3.1: Columnas estratigráficas representativas; completo, sin circa, seco

Localmente se distingue una diferencia en la disposición de los sedimentos correspondientes al segundo nivel. En los niveles topográficos más altos del área de estudio se observa una mayor potencia de este nivel, encontrándose secuencias con gradación normal, yendo de arcillas a conglomerados arcillosos. En los niveles topográficos inferiores se observan niveles sedimentarios menos ordenados. En algunos pozos realizados en estos mismos niveles topográficos se observó que este nivel estaba completamente ausente.

4.4. Geomorfología

A partir de la información obtenida en campo se reconocieron 4 pedimentos, sin incluir entre estos a los depósitos de la planicie de inundación del canal actual. El pedimento superior, que correspondería a la terraza más antigua, es compartido entre todas las hoyas hidrográficas

del Cordón Baquedano. Esta unidad morfoestratigráfica se corresponde con la Formación Palomares. Es sobre este pedimento donde se labran las redes de drenaje que construyen el paisaje y las terrazas intermedias reflejan la historia geológica y geomorfológica del cordón montañoso. Los pedimentos inferiores corresponden a terrazas fluviales.

Se reconoció en terreno que las terrazas fluviales estaban delimitadas por dos tipos de relieves: i) escarpes propios de la formación de las terrazas de alta pendiente (10-30%) y ii) laderas de pendiente intermedia (5-10%). También se reconoció que los atributos geomorfológicos mencionados anteriormente eran cortados a su vez por quebradas y esteros activos correspondientes a la red de drenaje actual.

Se realizó en campo un primer mapeo geomorfológico en transectas clave, con lo que se obtuvieron las variables límite para extender dicho mapeo al resto del área de estudio con el DSM obtenido por el levantamiento de drone.

A partir del estudio geomorfológico digital se confirmó la presencia de los 4 pedimentos reconocidos en terreno. La Formación Palomares es el pedimento con mayor extensión en la zona de estudio y el que mejor se preserva. Las terrazas fluviales, correspondientes a los pedimentos inferiores se encuentran por lo general cubiertos por sedimentos correspondientes a la degradación de los escarpes que las limitan, evidenciado por las altas pendientes de su morfología. En zonas aisladas se observan parches donde se preservan las superficies sub-horizontales características de las terrazas fluviales. Así mismo, los escarpes que limitan se preservan en dos tipos de ocurrencia:

1) En las laderas que mantean al norte, al oeste y en la ladera este del pedimento superior en la zona central, donde no tienden a formarse terrazas fluviales y en apariencia se observa un único escarpe ininterrumpido.
2) En pequeños parches aislados en la zona sur del área de estudio.

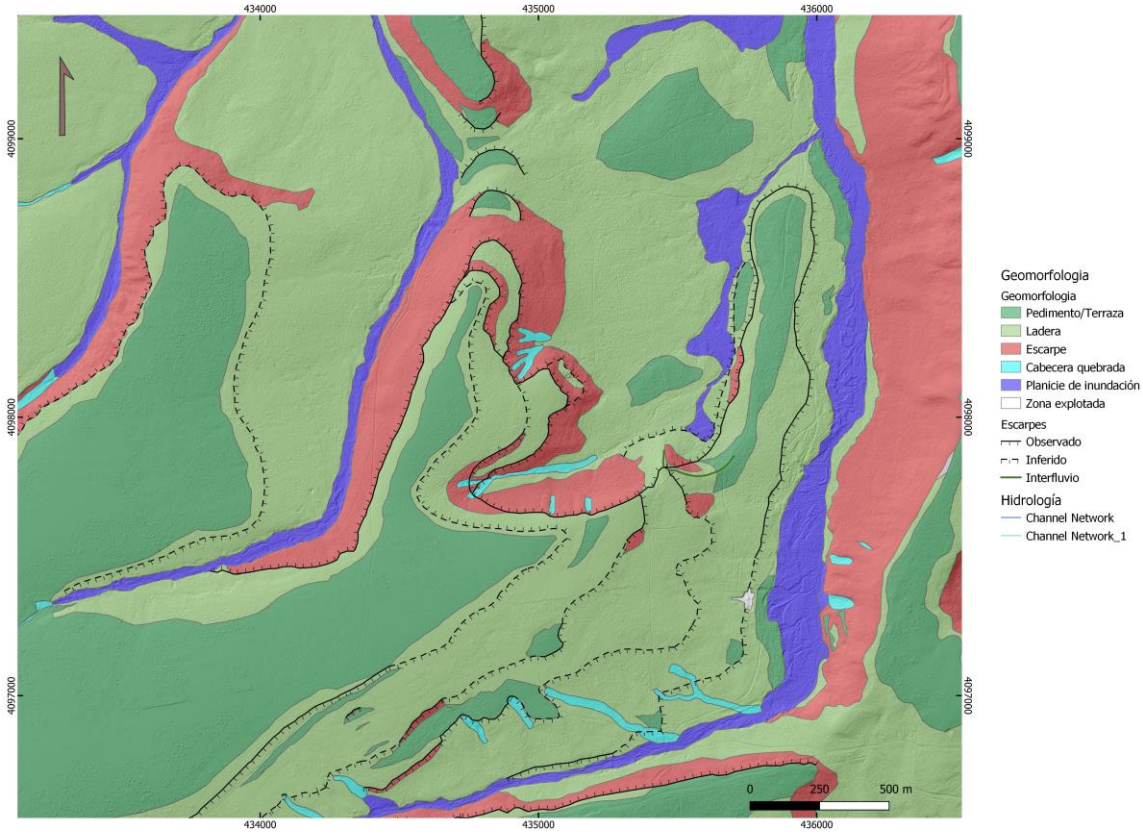


Figura 3.4.3: Mapa geomorfológico

4.5. Proveniencia de clastos y partículas de oro

4.5.1. Clastos:

Se recolectaron un total de 253 clastos, 110 rocas ígneas extrusivas, 42 intrusivas y 23 hipabisales, 16 rocas metamórficas, 35 rocas sedimentarias y 23 clastos de cuarzo.

De entre las rocas ígneas extrusivas, un 40% presentan algún elemento textural o estructural con potencial aurífero; un 37% están silicificadas, un 4% presentan vetas de cuarzo y un 14% presentan stockwork de cuarzo. Al analizar la morfología de estos clastos hallamos que un 4% son ecuantes, un 35% oblatas, un 38% acuchilladas y un 23% prolatas (Figura 3.5.1a). Al analizar el índice de Proyección Máxima de Esfericidad (en adelante MPS por su sigla en inglés) observamos que la moda se encuentra aproximadamente en 0,65 con algunos valores agrupados en torno a los 0,2. Esta distribución ajusta mejor a una función de distribución de probabilidad tipo Weibull, con un p-value de 0,8873 (Figura 3.5.1b).

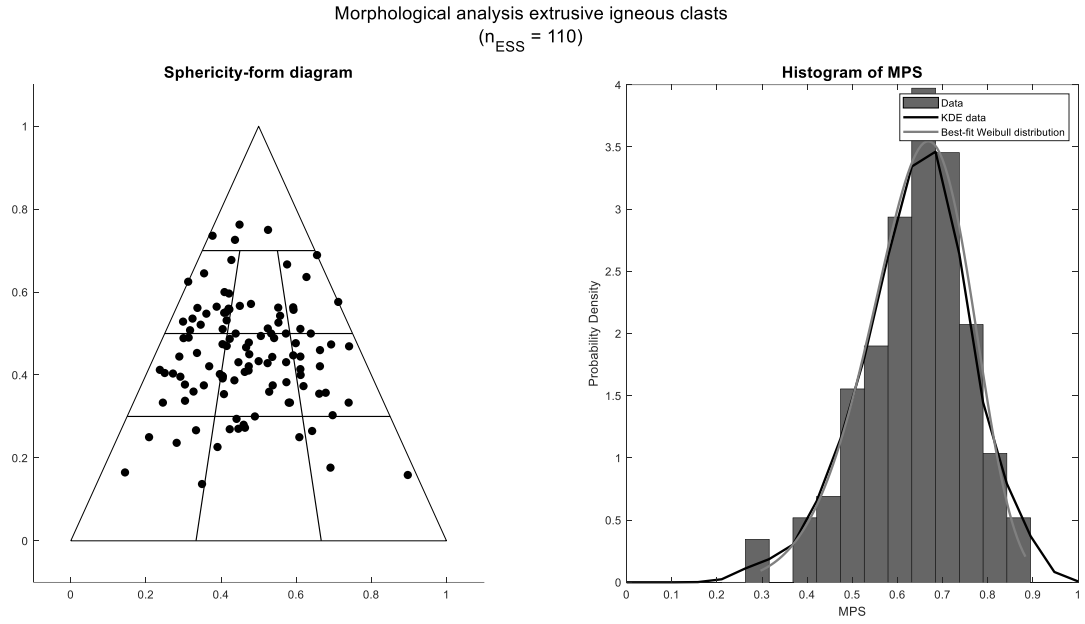


Figura 3.5.1: a) morfología de clastos de rocas ígneas extrusivas; b) probabilidad de frecuencia de la Proyección Máxima de Esfericidad (MPS) con el mejor ajuste a una función de distribución de probabilidad, una distribución Weibull con un p-value de 0,8873.

De las rocas ígneas intrusivas, un 10% presentan elementos con potencial aurífero; solo un 5% están silicificadas y un 7% presentan stockwork de cuarzo. Morfológicamente, un 36% oblatas, un 52% acuchilladas y un 12% prolatas (Figura 3.5.2a). Al analizar el índice MPS observamos que la mayor parte de la población se encuentra entre los 0,55 y los 0,7, con una población más pequeña y aislada en torno a los 0,1. La distribución de estos valores se ajusta mejor a una función de distribución de probabilidad de tipo Weibull con un p-value de 0,5119 (Figura 3.5.2b).

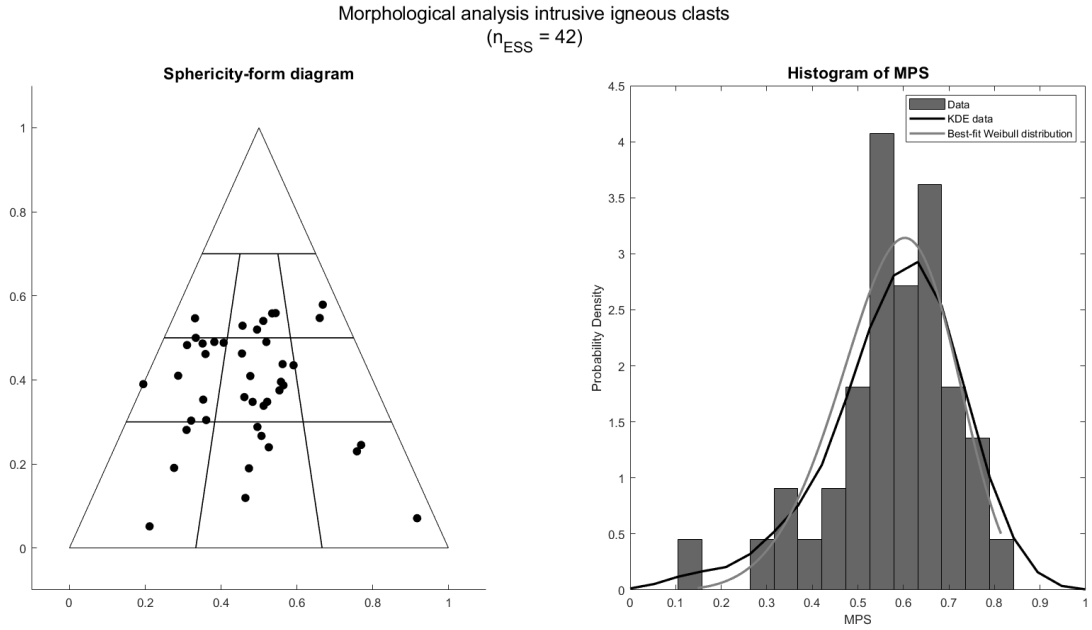


Figura 3.5.2: a) morfología de clastos de rocas ígneas intrusivas; b) probabilidad de frecuencia de la Proyección Máxima de Esfericidad (MPS) con el mejor ajuste a una función de distribución de probabilidad, una distribución Weibull con un p-value de 0,5119.

De las rocas ígneas hipabisales, un 26% presentan algún elemento con potencial aurífero; un 13% están silicificadas, un 17% contienen vetas de cuarzo y solo un 4% presentan stockwork de cuarzo. En cuando a la morfología, un 4% son ecuantes, un 35% oblatas, un 43% acuchilladas y un 17% prolatas (Figura 3.5.3a). Al estudiar el índice MPS de las muestras observamos que estas se concentran en un único cluster con valores entre los 0,55 y los 0,85, lo que se ajustan pobremente a una curva de distribución normal (Figura 3.5.3b).

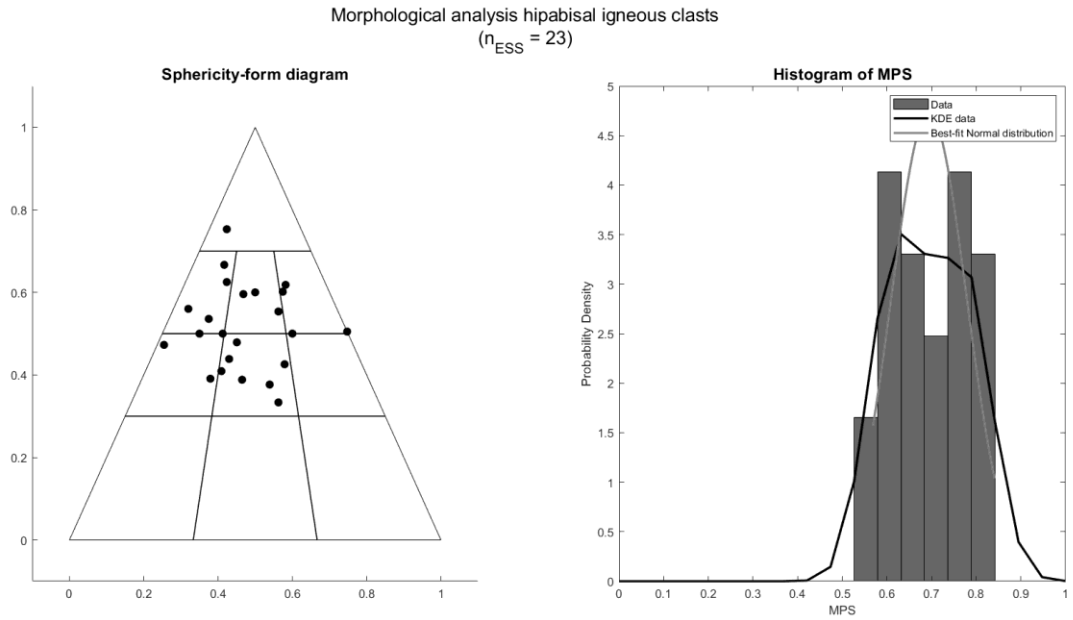


Figura 3.5.3: a) morfología de clastos de rocas ígneas hipabisales; b) probabilidad de frecuencia de la Proyección Máxima de Esfericidad (MPS) con el mejor ajuste a una función de distribución de probabilidad, una distribución Normal.

Las rocas metamórficas presentan la menor cantidad de muestras del total, un 6% del total de muestras, así como la menor proporción de muestras con algún elemento con potencial aurífero; una única muestra silicificada que equivale al 4% de las rocas metamórficas. Morfológicamente, no hay clastos ecuantes, un 44% son oblatas, un 50% son acuchilladas y solo un 6% son prolatas (Figura 3.5.4a). Al estudiar el índice MPS vemos que la mayoría de los valores se encuentran en torno a los 0,6, y que ajustan de manera adecuada, a pesar de la baja cantidad de muestras, a una curva de distribución Normal (Figura 3.5.4b)

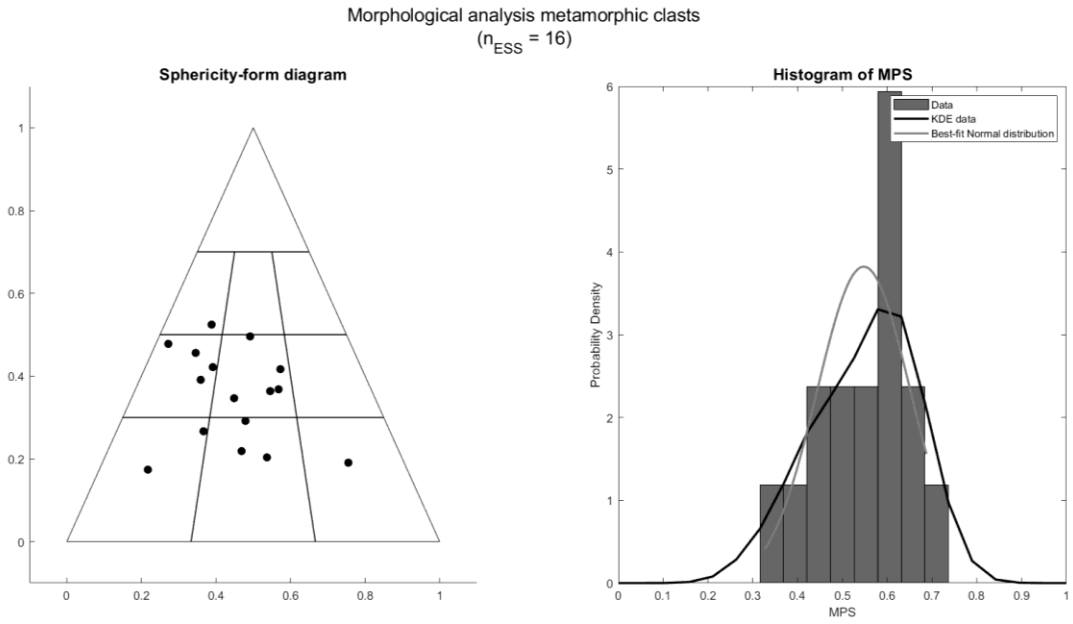


Figura 3.5.4: a) morfología de clastos de rocas metamórficas; b) probabilidad de frecuencia de la Proyección Máxima de Esfericidad (MPS) con el mejor ajuste a una función de distribución de probabilidad Normal.

Proporcionalmente, las rocas sedimentarias son las que presentan mayor cantidad de muestras con algún elemento con potencial aurífero, con un 91%. Esto se debe principalmente a que el 86% de las muestras están corresponden rocas sedimentarias cuarcíferas. Adicionalmente, un 31% de las rocas están silicificadas, un 3% contiene vetas de cuarzo y un 40% presentan stockwork de cuarzo. Al analizar la morfología de estos clastos, vemos que un 11% son ecuantes, un 31% son oblatas, un 43% son acuchilladas y un 14% son prolatas (Figura 3.5.5a). Al analizar el índice MPS vemos que los clastos se agrupan en dos sub-poblaciones, una mayor con valores entre los 0,45 y los 0,75 y una segunda de menor población con valores en torno a los 0,9. Estos valores ajustan mejor a una curva de distribución Gaussiana Inversa, con un p-value de 0,1952 (3.5.5b).

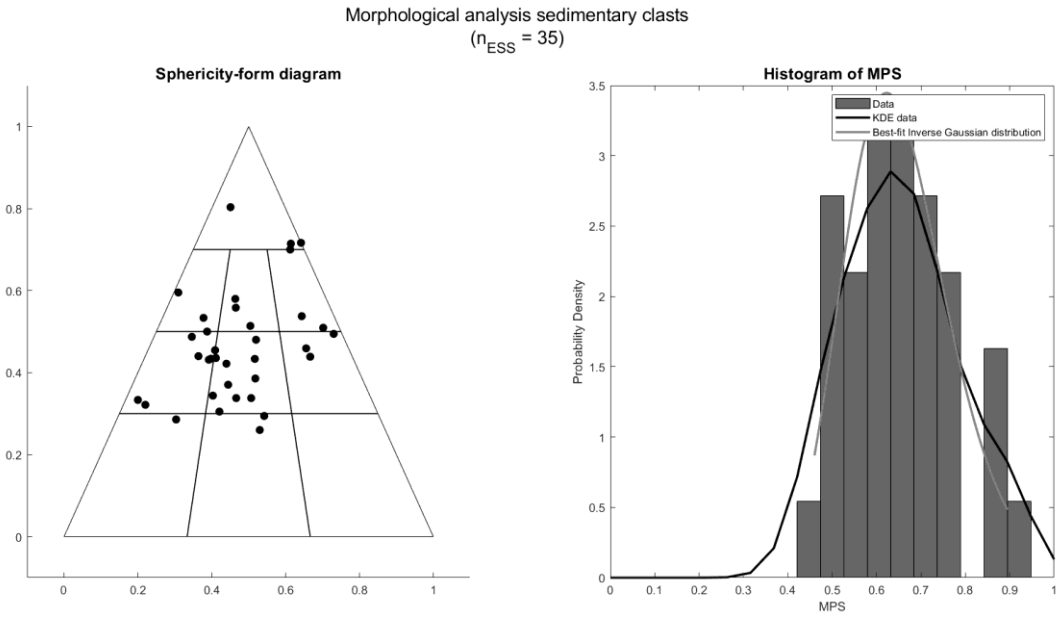


Figura 3.5.5: a) morfología de clastos de rocas sedimentarias; b) probabilidad de frecuencia de la Proyección Máxima de Esfericidad (MPS) con el mejor ajuste a una función de distribución de probabilidad, una distribución Gaussiana Inversa con un p-value de 0,1952.

En último lugar, ninguno de los clastos de cuarzo presenta estructuras como vetas o stockwork de cuarzo y obviamente, no se encuentran silicificadas. Probablemente ellos mismos formaron parte de una veta o stockwork. Morfológicamente un 33% son oblatos, un 33% acuchillados y un 33% prolatos (Figura 3.5.6a).

Al analizar el índice MPS observamos que la mayoría se concentran entre los 0,6 y los 0,85, con un valor outlier de aproximadamente 0,4 (Figura 3.5.6b).

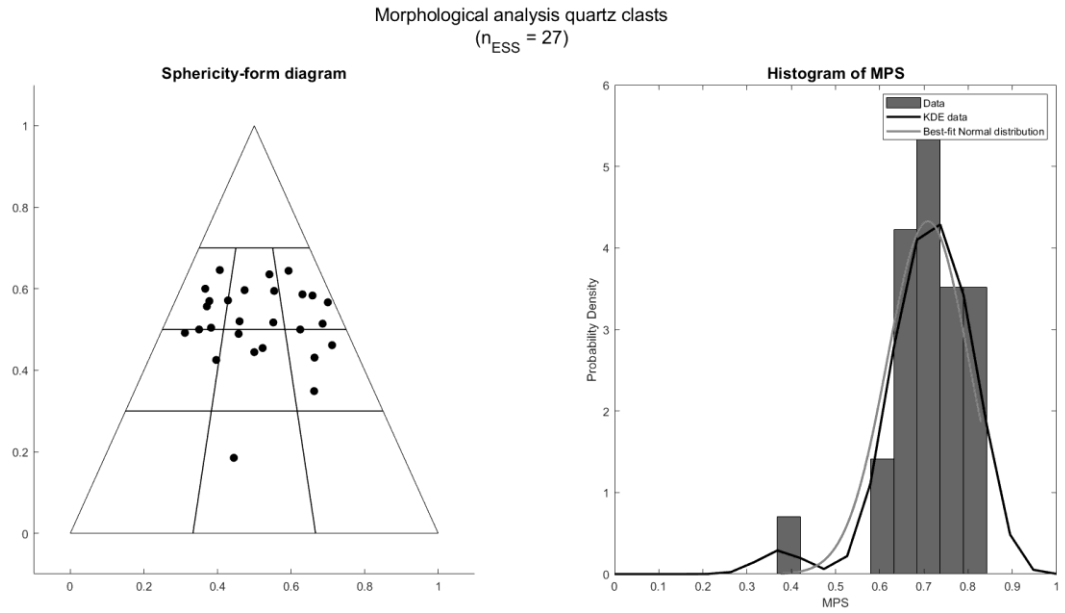


Figura 3.5.6: a) morfología de clastos cuarzo; b) probabilidad de frecuencia de la Proyección Máxima de Esfericidad (MPS) con el mejor ajuste a una función de distribución de probabilidad Normal.

4.5.2. Partículas de oro:

De un total de 636 particulas medidas en 10 sitios, solo dos partículas, equivalentes a un 0,3% presentaron una morfología ecuante, un 47% son oblatas, un 45% acuchilladas y un 7% son prolatas (Figura 3.5.7a). Al analizar el índice MPE vemos que estos se concentran en torno a una moda de 0,25, ajustando a una curva de distribución de probabilidad tipo Burr con un p-value de 0.0537 (Figura 3.5.7b).

Los 10 sitios seleccionados estaban gruesamente distribuidos en dos perfiles, el primero ubicado en la zona norte del área de estudio, atravesando la llamada Quebrada de los Castores y el segundo en la zona sur, paralelo a la porción E-W de la Quebrada Mina Nueva. Al observar independientemente la morfología de las partículas pertenecientes a ambos perfiles se observa que las partículas con valores de MPS más alto se hallan en el perfil sur, que ambos perfiles mantienen una alta concentración de partículas con valores de MPS bajo 0,25. Al estudiar de manera disgregada estos datos por terraza se observa que las partículas correspondientes al Pedimento Palomares se encuentran en la base del triangulo en ambos perfiles (Figura 3.5.8).

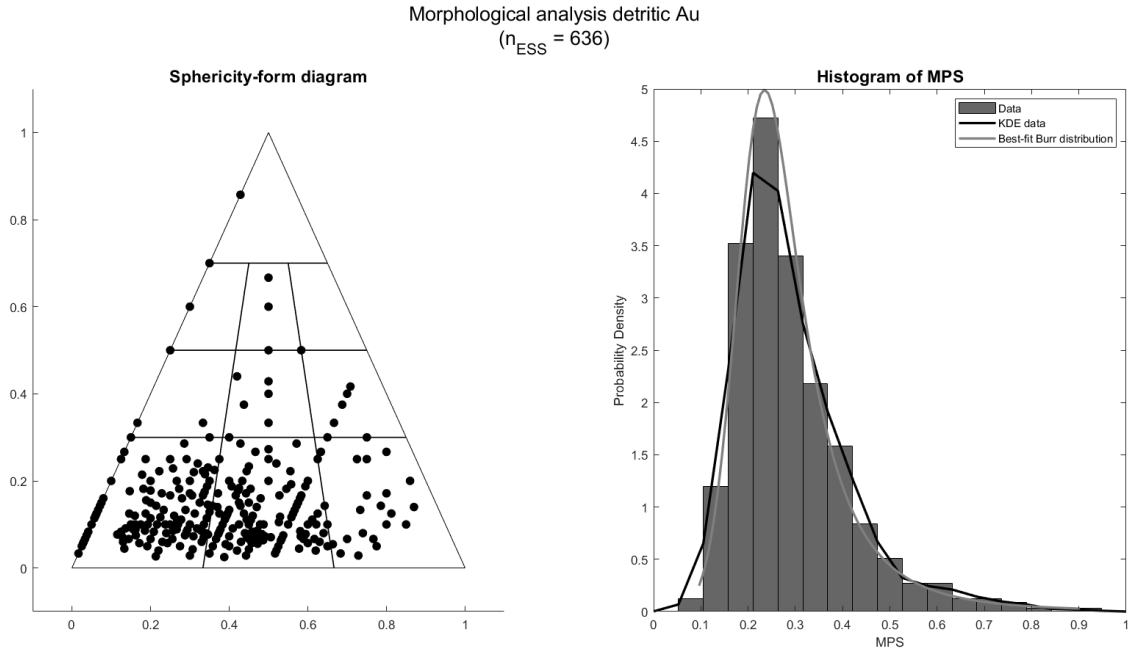


Figura 3.5.7: a) morfología de clastos de rocas sedimentarias; b) probabilidad de frecuencia de la Proyección Máxima de Esfericidad (MPS) con el mejor ajuste a una función de distribución de probabilidad, una distribución Burr con un p-value de 0,0537.

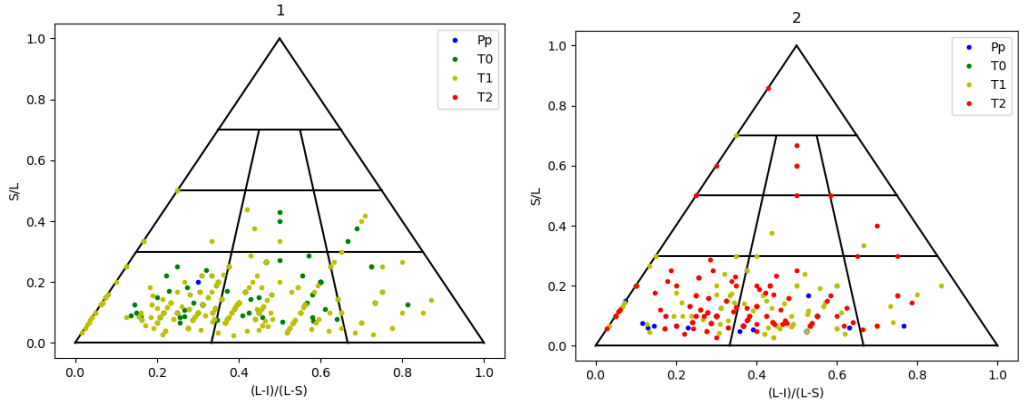


Figura 3.5.8: Distribución morfológica de las partículas de oro por terraza. A) Partículas correspondientes al perfil norte que atraviesa la Quebrada de los Castores, B) Partículas correspondientes al perfil sur que va paralelo a la porción E-W de la Quebrada Mina Nueva, datos diferenciados por terraza en: azul, Pedimento Palomares (Pp); verde, Planicie de inundación y sedimentos activos (T0); amarillo, Terraza fluvial 1 y su ladera asociada (T1); rojo, Terraza fluvial 2 y su ladera asociada (T2).

4.6. Modelo geológico/morfoestratigráfico

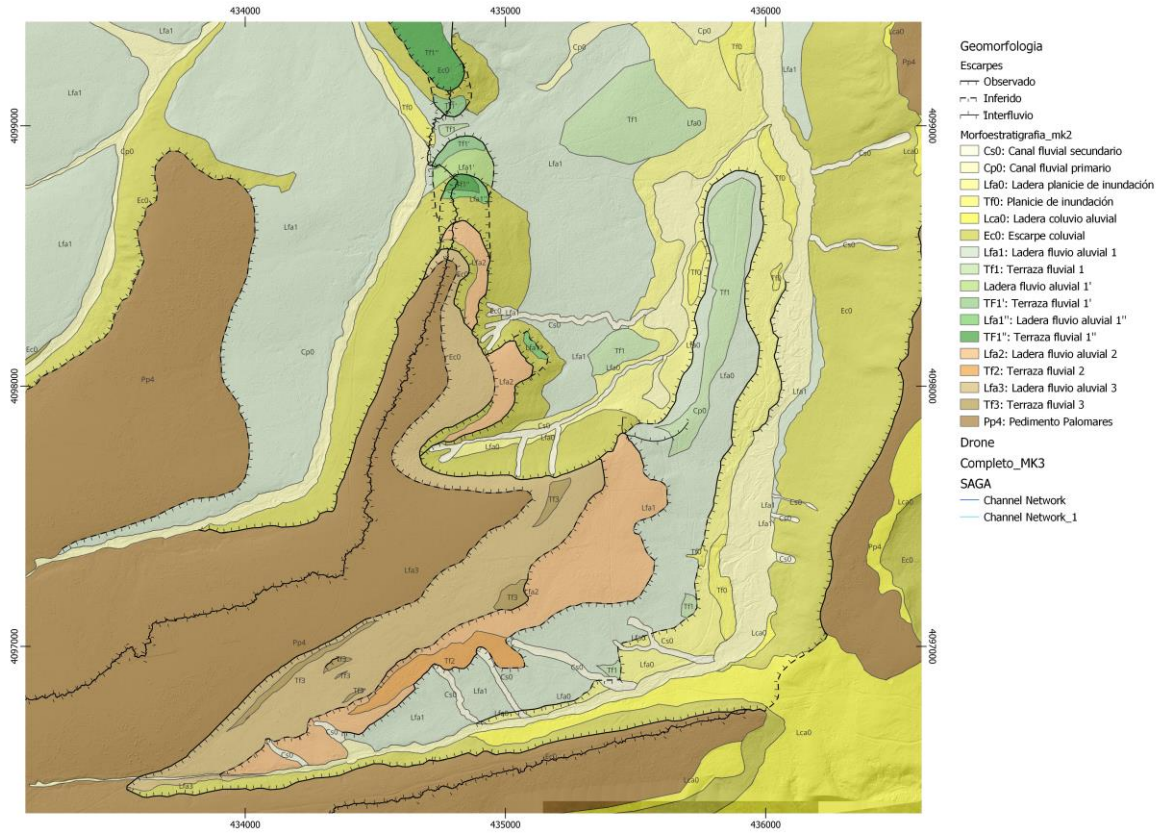


Figura 3.6.1: Mapa morfoestratigráfico

La unidad moerfoestratigráfica más antigua de la zona de estudio corresponde al Pedimento de la Formación Palomares (Pp4). Este se encuentra en las zonas más altas del área, entre los 500 y 550 m de altura. Está compuesto por lodos con gravas a gravas arenosas y lodosas sin una estratificación marcada. En las perforaciones realizadas en la zona abarcada por esta unidad nunca se alcanzó el contacto con la circa, por lo que es difícil estimar con precisión la potencia de esta unidad. Los pozos más profundos perforados en esta zona alcanzaron una profundidad de más de 6 m, lo que nos da un mínimo, y el rango de alturas en el que se encuentra esta unidad es de c.a. 50 m que es la potencia máxima si asumimos que el depósito no ha sido deformado y sigue siendo sub-horizontal.

A continuación, se encuentra la Terraza fluvial 3 (Tf3), con una altura entre los 480 y los 500 m. Se observa preservada como una superficie sub-horizontal en algunos parches reducidos, sin embargo, mayoritariamente se encuentra degradada en una superficie de pendiente media, entre 5° y 10° llamada Ladera fluvio aluvial 3 (Lfa3) en este trabajo. Estratigráficamente ambas unidades son indistinguibles, estando ambas compuestas por

lodos con gravas a gravas arenosas y lodosas. Se alcanzó la circa en tres pozos perforados en esta unidad con una profundidad mínima de 2 m y máxima superior a los 6 m, la profundidad del pozo más profundo en el que no se halló la circa.

La Terraza fluvial 2 (Tf2) se encuentra entre una altura de 480 m, en las zonas más altas, cercanas a la cabecera de la quebrada actual, y 440 m en las zonas más bajas y degradadas. Se observa bien preservada en la zona sur del área de estudio en una planicie de más de 600 m de largo y entre 50 y 80 m de ancho. El resto de su extensión, al igual que la Terraza 3, se encuentra degradada en una superficie de pendiente media denominada Ladera fluvio aluvial 2 (Lfa2). Al igual que las unidades anteriores, la estratigrafía es indiferenciada entre ambas subunidades, estando compuestas de lodos con gravas a gravas lodosas y arenosas. No se alcanzó la circa en 10 de los 25 pozos perforados en esta unidad, ubicándose estos cerca del límite con la Terraza 3. La profundidad máxima alcanzada en estos pozos es de 5,5 m. De los pozos restantes el de menor profundidad con manto tenía un espesor de 1,2 m.

La Terraza fluvial 1 (Lf1) es la de mayor extensión en el área de estudio y se encuentra en un rango de altura que va desde los 460 m en las zonas más altas, cercanas a la cabecera de la quebrada principal y los 380 m en las zonas más bajas. Se preserva bien en el interfluvio que limita la quebrada del Rio Mina Nueva con el denominado Estero de Los Castores, así como en la rivera noroeste de este último. Al oeste de la cuenca de este estero, en el interfluvio que limita la macrocuenca del Rio Mina Nueva con la del Estero Verde se observa el desarrollo de un portezuelo en el que se formaron dos terrazas adicionales, secuencialmente desarrolladas entre la Terraza 2 y la Terraza 1, denominadas Terraza fluvial 1'' (Tf1'') la más alta y Terraza fluvial 1' (Tf1') la más baja. La Terraza 1'' se encuentra a alturas en los 440 y 445 m y la Terraza 1' entre los 430 y 435 m de altura. Al igual que lo que ocurre en las unidades anteriores, estas terrazas se encuentran degradadas a laderas de pendiente media, denominadas Ladera fluvio aluvial 1, 1'' y 1' (Lfa1, Lfa1'' y Lfa1'). Estas subunidades, al igual que las anteriores son estratigráficamente inferenciables las unas de las otras y están compuestas por lodos con gravas a gravas lodosas y arenosas. Al ser la unidad de mayor extensión, la mayoría de los pozos fueron perforados aquí, un total de 88. Se ellos, en 5 no se alcanzó la circa, con una profundidad máxima de 4,5 m. En 29 no se encontró manto y de entre los 54 restantes, el de menor profundidad tenía 0,7 m y el de mayor, 3,7 m.

Se definieron seis unidades morfoestratigráficas activas: los Canales fluviales primarios (Cfp0) y secundarios (Cfs0), sus Planicies de inundación (Tf0) y las laderas de su degradación (Lfa0), y los Escarpes coluviales (Ec0) con sus respectivas Laderas de degradación (Lca0). Los Canales fluviales hacen referencia a las zonas de influencia de la red de drenaje activa, actuando como agente erosivo en las cabeceras de las quebradas, principalmente en los Canales fluviales secundarios, y como zona de depositación en las zonas más bajas, principalmente en los Canales fluviales primarios. Se observo en terreno que en las zonas donde la acción erosiva de los canales removía suficiente material afloraban en superficie las arcillas fosilíferas de la Formación Loreto por lo que podría haber una equivalencia morfoestratigráfica entre esta

unidad y los Canales fluviales secundarios. La Planicie de inundación corresponde al pedimento en formación actual, equivalente a una Terraza 0. Al igual que las terrazas más antiguas, está degradada a una Ladera de pendiente media.

5. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

5.1. Ambiente sedimentario

Autores como Greiner (1991) han sugerido que los placeres auríferos explotados a comienzos del siglo XX en el Cordón Baquedano tienen un origen glacial, sin embargo, la estratigrafía de las unidades encontradas en la zona de estudio son de origen fluvio-aluvial, con una estratificación con gradación normal, con gravas y bolones en la base de las unidades. En una estratigrafía glacial uno esperaría encontrar una ausencia de una estratificación clara, con gravas y bloques insertos en una matriz indiferenciada de arenas y finos. La interpretación planteada anteriormente también se soporta desde un punto de vista geomorfológico, donde predominan atributos netamente fluvio-aluviales, como terrazas fluviales, quebradas primarias y secundarias; y laderas de pendiente media y abanicos aluviales asociados a dichas quebradas. Se observa una diferencia geomorfológica y estratigráfica entre las terrazas inferiores (T0 a T3) y el Pedimento Palomares, con este último presentando sub-unidades sedimentarias mucho más potentes (>5 m) y con una pendiente mucho más constante que la de las terrazas inferiores. Se podría argumentar que solo esta unidad correspondería a un ambiente de formación glacial, sin embargo nuevamente, geomorfológicamente y estratigráficamente se hallan evidencias de que corresponde a una unidad de origen fluvio aluvial. Como se mencionó anteriormente, la estratigrafía no es consistente con una de origen glacial y desde un punto de vista geomorfológico, tampoco se encontraron geoformas distintivas de un ambiente de este tipo, tales como morrenas, tills y drumlins.

5.2. Unidades morfoestratigráficas y potencial aurífero

Como se mencionó anteriormente, en la zona de estudio se evidencia un ambiente de formación predominantemente fluvio-aluvial. La unidad más antigua de la zona, y que rara vez aflora en superficie, corresponde a facies litorales arcillosas fosilíferas correspondientes al Grupo Loreto (Fm. Loreto, El Salto, Filaret) de edad Miocena, lo que definimos en este trabajo como la circa y que no tiene contenido aurífero. Sobre esta unidad, en las zonas altas, se preserva un pedimento que es constante en todo el Cordón Baquedano, a alturas entre los 500 y 600 m.s.n.m.a. Saez (2017) plantea que esto correspondería a los relictos de la cuenca de tras-arco Mio-Pliocena de la Cordillera de Darwin, posiblemente la Formación Palomares. Greiner (1991) reportó presencia de oro en esta unidad y en el desarrollo de este trabajo también se encontró, aunque en bajas cantidades dado que no fue posible excavar hasta el contacto de esta unidad con la circa, que sería donde se encuentra la mayor concentración de oro.

Las unidades más jóvenes de la zona corresponden al retrabajo fluvio-aluvial de las unidades mencionadas anteriormente. Las Quebradas Mina Nueva y Verde con sus corespondientes afluentes hicieron incisiones en el Pedimento Palomares, removiendo material y transportándolo de manera local, para formar terrazas fluviales; y de mandera regional, removiendo un gran volumen de material de la zona. La red de drenaje ha concentrado el oro presente en el pedimento de la Formación Palomares y lo ha concentrado en las quebradas, donde hoy en día han sido explotadas por las diversas generaciones de mineros. Esto ha ocurrido en la diversa historia fluvial del área de estudio que se evidencia por la existencia de las terrazas fluviales. La localización del cauce principal de ambas quebradas ha migrado en su historia y así como hoy se está concentrando oro en su lecho, así mismo debió de hacerlo en el pasado. Efectivamente, es en las terrazas fluviales donde se hallaron las leyes más altas del área, excluyendo claro el lecho principal de la Quebrada Mina Nueva, que ha sido trabajado por generaciones. Estas terrazas se han degradado con el tiempo, movilizando localmente sus sedimentos en algunos casos o siendo erodadas por afluentes de las quebradas principales que desplazan mucho más los sedimentos. En el primer caso, donde las terrazas son degradadas aluvialmente de manera local, el contenido de oro permanece en la zona y genera nuevos horizontes con potencial aurífero. En el segundo caso, en el que son degradadas por la acción fluvial, los sedimentos de las terrazas fueron desplazados a la red de drenaje principal, incluido el contenido aurífero, muchas veces haciendo aflorar la circa inerte sobre la que se depositó todo el material originalmente.

También se observó que en las laderas sur y este de las quebradas principales rara vez se formaron terrazas fluviales, hallándose en cambio laderas pronunciadas ininterrumpidas entre el pedimento superior y el canal activo. Se interpreta por su orientación y por la localización de las terrazas fluviales que los canales principales han estado migrando constantemente hacia el SE, removiendo constantemente material de estas laderas y por lo tanto, imposibilitando la depositación y concentración de oro en estas zonas.

Con lo anterior, las unidades morfoestratigráficas con potencial aurífero correspondería a zonas de acumulación de sedimentos, como el Pedimento Palomares, fuente original local del oro, las terrazas fluviales, las laderas de retrabajo local de estas y obviamente, las trampas auríferas presentes en la red de drenaje actual. En contraste, zonas donde se está removiendo material, como quebradas activas y laderas adyacentes a la red de drenaje principal serían zonas desfavorables para hallar oro.

5.3. Proveniencia y transporte

La diferencia de transporte entre las partículas de oro del Pedimento Palomares y las de las otras terrazas da a entender un retrabajo local de las partículas, lo que es consistente con lo planteado en la sección anterior.

BIBLIOGRAFIA

Wadell, H. (1934). Shape determinations of large sedimental rock fragments. *Pan Am. Geology*, 61, 187-220.

Seccatore, J., Veiga, M., Origliasso, C., Marin, T., & De Tomi, G. (2014). An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world. *Science of the Total Environment*, 496, 662-667.

Seccatore, J., & de Theije, M. (2017). Socio-technical study of small-scale gold mining in Suriname. *Journal of Cleaner Production*, 144, 107-119.

Marín, A., Gonzalez, V. H., Lapo, B., Molina, E., & Lemus, M. (2016). Niveles de mercurio en sedimentos de la zona costera de El Oro, Ecuador. Gayana (Concepción), 80(2), 147-153.

Bansah, K. J., Dumakor-Dupey, N. K., Kansake, B. A., Assan, E., & Bekui, P. (2018). Socioeconomic and environmental assessment of informal artisanal and small-scale mining in Ghana. *Journal of Cleaner Production*, 202, 465-475.

Macháček, J. (2020). Alluvial Artisanal and Small-Scale Mining in a River Stream—Rutsiro Case Study (Rwanda). *Forests*, 11(7), 762.

Hentschel, T. (2003). Artisanal and small-scale mining: challenges and opportunities.