



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Caracterización morfológica, textural y
química para granos de oro en depósitos de
placer del departamento de Guainía, Colombia**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Geólogo

P R E S E N T A

Jaime Gutiérrez Salomón

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Carles Canet Miquel



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

Contenido

	Página
Índice general.....	a
Índice de Figuras y Tablas.....	d
Índice de Anexos.....	g
Resumen.....	h
Abstract.....	i
Agradecimientos.....	j
Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1. Planteamiento y justificación del problema.....	1
1.2. Hipótesis.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivos generales.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Localización del área de estudio.....	3
Capítulo 2: Metodología.....	6
2.1. Fundamentos de los equipos utilizados.....	7
2.1.1. Microscopio estereoscópico.....	7
2.1.2. Microscopio electrónico de barrido.....	7
2.1.3. Microsonda electrónica.....	7
2.2. Análisis morfológicos.....	8

2.3. Análisis químicos.....	9
Capítulo 3: Marco teórico.....	10
3.1. El oro en Colombia y el mundo.....	10
3.2. Concentración de minerales pesados mediante técnicas de bateo.....	15
3.3. Morfología, textura y química en pepitas de oro como una posible herramienta de exploración minera.....	19
3.3.1. La morfología de las partículas de oro como un indicador de transporte.....	19
3.3.2. Química mineral en pepitas de oro como un posible indicador de su fuente primaria.....	24
3.4. Enriquecimiento supergénico del oro.....	28
3.5. Marco geológico de Colombia.....	29
3.5.1. Modelo geotectónico.....	29
3.5.2. Geología, Estratigrafía y Sedimentología.....	32
3.5.2.1. Geología.....	32
3.5.2.2. Estratigrafía.....	32
3.5.2.3. Sedimentología.....	33
3.5.3. Hidrografía y Geomorfología.....	36
3.5.3.1. Hidrografía.....	36
3.5.3.2. Geomorfología.....	36
3.6. Tipos de yacimientos de placer.....	39
Capítulo 4: Resultados.....	42
4.1. Características y parámetros morfológicos de los granos de oro.....	42

4.1.1. Distribución del tamaño de las partículas.....	42
4.1.2. Redondez y esfericidad.....	44
4.1.3. Diagrama de Zingg.....	45
4.1.4. Índice de aplanamiento.....	47
4.1.5. Estimación de distancia respecto a la fuente.....	47
4.2. Composición química de los granos de oro.....	51
4.2.1. Análisis realizados en el núcleo de los granos.....	51
4.2.2. Análisis realizados en la superficie de los granos.....	53
4.3. Enriquecimiento supergénico del oro.....	55
Capítulo 5: Discusión.....	58
5.1. Estimación del transporte a partir de la morfología de las partículas de oro.....	58
5.2. Enriquecimiento supergénico en granos de oro.....	58
5.3. Química mineal en pepitas de oro y su relación con la fuente hipogénica.....	59
Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones.....	60
Referencias.....	61

Índice de Figuras y Tablas

Figura

1	Ubicación de la carta geológica correspondiente al área de estudio.....	4
2	Ciudad de Inírida, a la orilla del río Inírida, donde se observan las típicas barras de donde se extrae oro.. ..	5
3	Esquema metodológico generalizado donde se muestran la secuencia de pasos que se llevaron a cabo para la realización de este trabajo.....	6
4	Extracciones de oro conocidas antes de 1492	11
5	Incremento en el precio del oro a partir del siglo XXI.....	12
6	Distribución de la minería legal e ilegal de oro en Colombia.....	14
7	(A) Sección esquemática de un valle fluvial y las relaciones entre los depósitos de tipo eluvial, coluvial y aluvial. Formación de depósitos aluviales que actúan concentrando minerales pesados en: (B) las curvas de los ríos (meandros), (C) la confluencia de dos ríos con diferentes velocidades, (D) las zonas accidentadas del lecho del río y (E) las marmitas (potholes) que se forman en lechos rocosos	16
8	Esquema donde se muestra una posible forma de distribuir un muestreo de forma sistemática	17
9	Esquema que muestra la técnica del bateo como método de prospección aluvionar para la búsqueda de oro	18
10	Diagrama composicional para depósitos epitermales.....	25
11	Diagrama composicional para pórfidos cupríferos ricos en oro	26
12	Diagrama composicional para pórfidos ricos en oro.....	26
13	Diagrama composicional para discriminar entre depósitos epitermales, pórfido cuprífero rico en oro y pórfido rico en oro.....	27
14	Provincias geocronológicas del Cratón Amazónico.....	30

15	Columna estratigráfica esquemática en la que se muestra la secuencia aúrifera de mayor importancia para los mineros.....	35
16	Inundaciones por temporada de lluvias, en medio de la selva.....	36
17	Imagen donde se aprecian algunas geoformas de la región cercana a Inírida, Guainía.....	37
18	Cerros de Mavacure.....	38
19	Peneplanicie donde se observan las rocas y sedimentos arenosos.....	38
20	Tipos de depósitos de placer	40
21	Diagrama con los acumulados para todas las partículas de acuerdo a su rango de tamaño (A = dirección de alargamiento).....	43
22	Redondez en las partículas cuando tienen alta o baja esfericidad	44
23	Diagrama con los acumulados de acuerdo a su nivel de redondez.....	44
24	Diagrama con los acumulados de acuerdo a su grado de esfericidad.....	45
25	Diagrama de Zingg en el cual se muestra las 4 posibles formas de una partícula.....	46
26	Diagrama de Zingg en el que se muestra la distribución de las pepitas de oro.....	46
27	Diagrama en el que se muestra el resultado del F.I. para cada partícula.....	47
28	Características comunes que se tomaron en cuenta según los rangos de distancia de 0-50 (m) y 50-300 (m).....	49
29	Características comunes que se tomaron en cuenta según los rangos de distancia de 300-1000 (m) y >1000 (m).....	50
30	Diagrama ternario propuesto por Townley et al. (2003), en el cual se graficaron las 4 pepitas de oro de acuerdo a sus concentraciones de oro, plata y cobre.....	52
31	Diagrama donde se observa una familia de concentraciones de muy alta pureza en oro, con valores superiores al 96%.....	54

32	Imágenes en las que se observan pequeñas laminillas agregadas a los granos de oro.....	56
33	Pequeñas cavidades como posibles evidencias de lixiviación de plata o algún otro metal.....	57

Tabla

1	Producción de oro en kilos de algunos departamentos de Colombia.....	13
2	Características morfológicas de oro asociadas a la distancia de la fuente.....	21
3	Morfología característica en granos de oro asociados a la distancia de la fuente en diferentes climas y/o ambientes sedimentarios.....	22
4	Rasgos comunes en granos de oro de diferentes climas y/o ambientes sedimentarios. Esta tabla es la que recomienda el autor utilizar como una posible herramienta de exploración.....	22
5	Principales características de las provincias geocronológicas del Cratón Amazónico.....	31
6	Distribución del tamaño de las partículas en milímetros, esfericidad, redondez e índice de aplanamiento.....	42
7	Parámetros estadísticos básicos para el eje A de las pepitas de oro.....	43
8	Frecuencia y porcentaje acumulado para cada rango de distancia de transporte.....	51
9	Concentración porcentual en peso del núcleo de los granos de oro para los diferentes elementos químicos de cuatro muestras (M1, M3, M4 y M5).....	51
10	Concentraciones de oro, cobre y plata normalizadas al 100% en peso para su posterior graficación en la Figura 30.....	52
11	Concentración de Au peso % medidos con EDS en la superficie de cada grano de oro.....	53

Índice de anexos

Anexos

Anexo 1	Pepitas que comprenden el primer rango de distancia: 0-50 metros.....	64
Anexo 2	Pepitas que comprenden el segundo rango de distancia: 50-300 metros.....	67
Anexo 3	Pepitas que comprenden el tercer rango de distancia: 300-1000 metros.....	69
Anexo 4	Pepitas que comprenden el cuarto rango de distancia: >1000 metros.....	70
Anexo 5	Fotografías tomadas con microscopio estereoscópico, utilizadas como una guía para corroborar algunos rasgos.	71

Resumen

Colombia es un país con una minería artesanal de oro aluvial muy ampliamente distribuida en todo su territorio, en la cual se siguen utilizando métodos como el bateo; sin embargo, la presencia frecuente de este oro en pepitas, revela la existencia directa de yacimientos hipogénicos en lugares alejados de los ríos. Se emplearon métodos de caracterización morfológica y química de 30 pepitas de oro de Inírida, Colombia, para utilizarlas como una posible herramienta de exploración minera. Los parámetros sedimentológicos utilizados fueron: forma, redondez y texturas superficiales. Estos fueron medidos y fotografiados mediante estereoscopio binocular y microscopio electrónico de barrido, mientras que los análisis químicos tanto en superficie de los granos como en su núcleo se analizaron con espectrometría de dispersión de energía de rayos X. Morfológicamente la gran mayoría de las pepitas de oro tienen impresiones primarias de minerales, muy baja redondez, baja esfericidad, y formas entre discoidal a laminado. Los análisis químicos del núcleo y superficie de las pepitas revelan que existe contaminación de oro supergénico y una muy alta fineza del oro (>95%). En base a la combinación de estos tres estudios y mediante la utilización de las tablas propuestas por Townley *et al.* (2003) se puede concluir que el 80% de los granos de oro estudiados han sido transportados al menos 1 km de distancia y posiblemente su génesis esté relacionada con un yacimiento de tipo epitermal; se descarta la contaminación supergénica de oro hacia las pepitas.

Abstract

Artisanal alluvial gold mining is widely distributed throughout Colombia, where methods such as batting are still used. The abundance of gold nuggets suggests the existence of hypogenic deposits in places far from rivers. Morphological and chemical characterization of 30 gold nuggets of Inírida, of Colombia were used as a possible tool for mining exploration. The sedimentological parameters used were shape, roundness and surface textures, which were measured and photographed by using a binocular stereoscope and scanning electron microscope (SEM), while chemical analyzes on the grain surface and its core were analyzed with EDS spectrometer. Morphologically, the great majority of gold nuggets have primary mineral impressions, very low roundness, low sphericity, and discoidal to laminate forms. The chemical analyzes of the nucleus and surface of the nuggets reveal that there is contamination of supergene gold and a very high fineness of gold (> 95%). Based on the combination of these three studies and by using the tables proposed by Townley et al. (2003) can be concluded that 80% of the population of gold grains studied, at least have been transported 1 km away and possibly its genesis is related to an epithermal type deposit, also discarded as relevant for this study supergene contamination of gold towards the nuggets.

Agradecimientos

Agradezco al Dr. Carles Canet Miquel, por haberme aceptado como su estudiante y ser el director del presente trabajo de tesis, por todo su apoyo académico y económico a lo largo de esta etapa de trabajo de investigación. Gracias por la confianza ofrecida desde que llegué al Instituto de Geofísica. Al Proyecto FSE-2015-04-268074 GEMex., cooperación México - Europa para la investigación de sistemas geotérmicos mejorados y sistemas geotérmicos supercalientes, especificando en la actividad denominada Geoquímica de mercurio en zonas geotermias EGS., por financiarme con una beca de 6 meses la cual me permitió continuar con mi trabajo de tesis.

También agradezco de forma muy especial al Dr. Edgar Ángeles Moreno por sus valiosas recomendaciones, asesorías y correcciones; por orientarme y ayudarme a mejorar este trabajo. ¡MUCHAS GRACIAS!

A mis sinodales: Dr. Edgar Ángeles Moreno, Dr. Augusto Antonio Rodríguez Díaz, Ing. Alfredo Victoria Morales y al MC. Noé Santillán Piña, por su paciencia y valiosas correcciones.

Al Dr. Benito Noguez por brindarme su ayuda y sus valiosas recomendaciones bibliográficas.

Al Dr. B.K. Townley por guiarme y aclararme muchas dudas sobre mi trabajo, que en gran medida está basado en su artículo de investigación.

A la Dra. Abigail Jiménez Franco por brindarme su ayuda y sus valiosas recomendaciones bibliográficas.

A la beca Capacitación en Métodos de Investigación que me permitió realizar una estancia en el país de Colombia en el que tuve la oportunidad de conocer y trabajar con el grupo de investigación GEGEGEMA (Grupo de Estudios en Geología Económica y Mineralogía Aplicada) al cual le agradezco su calidez e incursión en lo que es el tema de mi tesis, y en particular al Ing. Zezé Amaya Perea por toda su ayuda y facilitarme las muestras de oro.

Al Ing. Carlos Linares López experto en el uso de la microsonda electrónica de barrido (EPMA) del Laboratorio Universitario de Petrología ubicado en el Instituto de Geofísica, por haberme ayudado con el análisis químico de mis muestras de oro.

Agradezco las facilidades y apoyo a los responsables del Laboratorio de Petrografía y Microtermometría: Dra. Rosa María Prol Ledesma académica y técnicos M.C. Augusto Antonio Rodríguez Díaz y M.C. Marcela Errasti Orozco por el uso del equipo: Microscopio Estereográfico y Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental.

A todos mis profesores que a lo largo de la carrera me ayudaron y guiaron durante toda mi estancia en esta gran universidad, mi alma máter.

A la profesora Isabel Domínguez Trejo por siempre haber estado pendiente de mi proceso de titulación y ayudarme a que se realizara lo más pronto posible, además de haber puesto toda su ayuda en mis viajes a Colombia. ¡MUCHAS GRACIAS!

A mis padres por siempre apoyarme en mis aventuras, viajes y toda mi estancia durante la carrera, nunca perdieron la fe en mí, ¡LOS QUIERO! Siempre serán mi mayor inspiración para nunca detenerme y seguir adelante.

A mis hermanos, primos, tíos y tías por nunca haberme perdido la fe y siempre brindarme apoyo, así como a todos mis familiares de California por ayudarme a finalizar esta trayectoria, en especial a mi tía Petra y mi primo Pedro.

A todos mis amigos con los cuales compartí de los momentos más alegres de la carrera: Juan, Eduardo, Lazcano, Edgar, Miriam, Citlali, Bruno, Juan Manuel, Redy, Adán, Elí, Escudero, Alfredo y todos aquellos que hicieron de mi estancia en el DF un mejor lugar. En especial a Elí, Escudero, y Alfredo por ser tan buenos amigos y compañeros de las mejores fiestas, Zihuatlan # 6 nunca mueras.

Para mi amigo Juan Manuel solo puedo decir que nunca se nos acaben los buenos viajes.

A mi buen amigo Alfredo por recibirme en su depto., y siempre haberme brindado toda su ayuda.

A mi buenos amigos Orestes, Raquel y Víctor por recibirme en su hogar y brindarme toda su ayuda, por su amabilidad y siempre ser tan buena onda. ¡MUCHAS GRACIAS!

A mis amigos los ingenieros Donají y Jaziel gracias por ser tan pacientes conmigo y siempre apoyarme en todas mis dudas.

Y por último le agradezco a todo el personal de la biblioteca Tomasa Valdez Vda. de Alemán en Oluta, Veracruz, por ser tan amables y brindarme todas las facilidades para poder trabajar en sus instalaciones.

Capítulo 1: Introducción

1.1. Planteamiento y justificación del problema

La prospección mineral en sedimentos aluviales es uno de los métodos directos más antiguos que se han utilizado para localizar, evaluar y beneficiar algunos metales y piedras preciosas. Una de las razones por las que todavía se sigue utilizando este método, al menos de manera empírica, es debido a su bajo costo, ya que solo se ocupa una batea y un entendimiento básico sobre hidráulica; incluso en muchos lugares se sigue transmitiendo el conocimiento de boca en boca como una forma de instrucción sobre cómo “prospectar”.

En el mundo existen muchos depósitos de Au tipo placer donde se desconoce la fuente primaria y su procedencia como los de la Sierra de San Luis en Argentina (Márquez-Zavalía, 2004), Rich Hill en Arizona, EUA (Melchiorre *et al.*, 2018) y Eastern Goldfields al oeste de Australia (Butt y Hough, 2004) entre otros.

Colombia es un país con mucho potencial minero si se considera la abundante aparición de pepitas de oro en sus ríos; al respecto se menciona lo siguiente: «El suelo de Antioquia, el más quebrado de todo el territorio de Colombia, es rico en minerales de oro en toda su extensión. Sus montañas están cruzadas por un sinnúmero de filones y las ollas de sus ríos forman una serie no interrumpida de aluviones auríferos. Apenas hay arroyo, riachuelo o río donde no se encuentra el precioso metal. La región bañada por sus ríos Porce y Nechí, “cuyas arenas son verdaderamente de oro”, y por sus afluentes, es incontestablemente la más rica. Santa Rosa, situada en un terreno cortado por enormes barrancos formados al explotar sus minas, ocupa un cerro aluvial de finísimo oro. Por las calles de Remedios asoman las crestas de anchos filones de cuarzo; Zaragoza, Zea, Cruces, Anorí, Campamento, Yarumal, Angostura y Amalfi, están circunvalados de riquísimos placeres que se benefician continuamente. De esta opulenta región del Norte se extrae más de la mitad del oro que produce el Departamento» (Vicente Restrepo, 1888, citado por García-Jacome, 1978).

Para tratar el problema de la inferencia de la fuente primaria y la procedencia de pepitas de oro en yacimientos de placer, se propone el siguiente trabajo basado en análisis de

laboratorio de las pepitas y la integración de los aportes científicos de diversos investigadores (Palacios *et al.*, 2001; Chapman *et al.*, 2002; Wierchowiec, 2002; Townley *et al.*, 2003; Mortensen *et al.*, 2004; Vila-Sánchez *et al.*, 2004) referentes al tema. El problema en específico de este trabajo es que utilizando los granos de oro se pueda hacer una caracterización morfológica y química, para posteriormente realizar una inferencia de la cantidad de transporte que estos han sufrido desde la fuente primaria y una discriminación de los posibles tipos de yacimientos primarios de los cuales pudiera proceder este oro.

En este trabajo se proponen algunas soluciones para resolver el antiguo problema de la utilidad de emplear pepitas de oro como una herramienta de exploración, utilizando las nuevas tecnologías y un conocimiento principalmente geológico-científico, generando de esta manera un tratamiento que ayude a eliminar la incertidumbre en las primeras etapas de la exploración.

Si se considera la cantidad de oro en un depósito de placer y la hipótesis de que ese oro viene de una fuente primaria, entonces, las características de las pepitas de oro como su frecuencia espacial, morfología, textura, y química pueden auxiliar y disminuir la incertidumbre durante la exploración minera para encontrar las fuentes primarias del oro.

1.2. Hipótesis

Clasificando y midiendo algunas de las características morfológicas y texturales en una pepita de oro es posible determinar la cantidad de transporte que ha sufrido desde su fuente primaria; mientras que conociendo sus contenidos químicos de oro, plata y cobre en su núcleo se puede hacer una inferencia histórica de su génesis.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Caracterizar la morfología, textura y química de granos de oro del departamento de Guainía, Colombia, mediante observaciones con microscopio electrónico de barrido y microsonda electrónica para el apoyo de la exploración minera en yacimientos de oro de placer.

1.3.2. Objetivos específicos

- Utilizar la morfología y geoquímica de los granos de oro como una herramienta de exploración minera, con la cual se pueda estimar una distancia aproximada a la fuente y hacer inferencias entre los posibles tipos yacimientos primarios que fueron fuente.
- Saber si los granos de oro han sufrido algún tipo de reciclaje o enriquecimiento supergénico para de esta manera conocer si la morfología no ha sido afectada drásticamente y poderla utilizar como un indicador de distancia de transporte.

1.4. Localización del área de estudio

El área de estudio se encuentra cerca de la ciudad de Inírida; capital del departamento de Guainía, Colombia (Figura 1). Limita por el norte con el departamento del Vichada, por el oriente con Cacadual y con el estado venezolano de Amazonas, por el sur con el corregimiento departamental de Puerto Colombia y al occidente con los corregimientos departamentales de Barranco Minas y Morichal Nuevo.

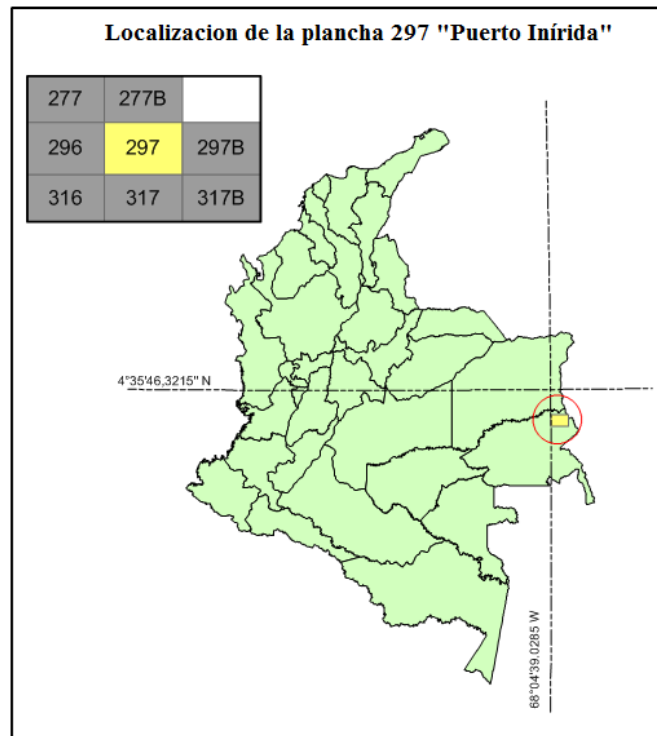


Figura 1. Ubicación de la carta geológica correspondiente al área de estudio (tomado de López *et al.*, 2010).

La forma mas sencilla de llegar a Inírida (Figura 2) es por vía aérea ya que no existe una carretera que conecte a esta capital con el resto de Colombia (es considerada una isla en medio de la selva).

En una nota periodística escrita por Roca-Meisel (2010), en uno de los diarios más antiguos y prestigiosos de Colombia, “EL ESPECTADOR”, se hace referencia al problema de viajar a Inírida: «Por aire sólo es posible llegar en uno de los tres vuelos semanales que salen de Bogotá. Por el río Inírida el viaje dura entre tres y cuatro semanas. El recorrido de las mercancías que llegan por vía fluvial se inicia en Villavicencio, desde donde se viaja a San José del Guaviare por tierra. Desde allí se navega por el río Guaviare y luego por el río Inírida hasta llegar a la capital del Guainía. Por supuesto, el costo de transporte y el tiempo, o costo de oportunidad, encarecen mucho lo que llega de esta manera. Peor aún es cuando los productos llegan por avión, pues las tarifas de carga aérea son muy altas».

De acuerdo a lo descrito en el párrafo anterior es mejor opción viajar vía aérea.

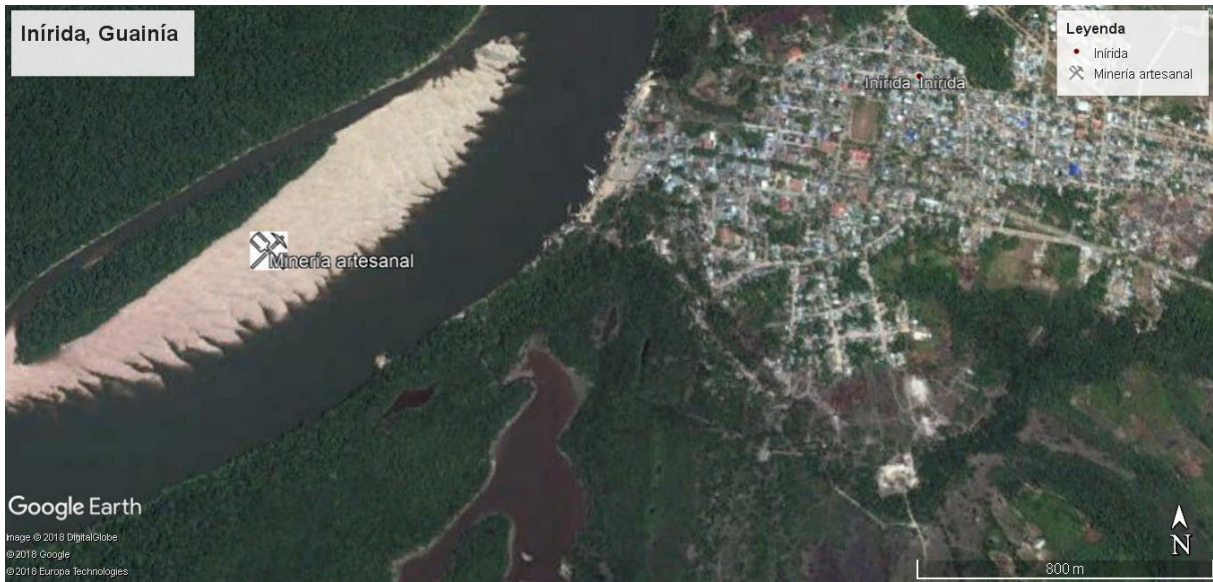


Figura 2. Ciudad de Inírida, a la orilla del río Inírida, donde se observan las típicas barras de donde se extrae oro. Tomado de: Google. (s.f.). [Mapa de Inírida, Colombia en Google maps]. Recuperado el 3 de Octubre, 2018, de: <https://www.google.com/maps/@3.8683,-67.92392,5123m/data=!3m1!1e3>

Capítulo 2: Metodología

Para este estudio se realizó una compilación bibliográfica de la geología regional y local de la zona; sin embargo, la información que se encontró fue escasa, debido a la gran dificultad que representa para los exploradores trabajar en un ambiente selvático con extrema humedad y escasas vías de comunicación, además de la limitación del tiempo debido a la temporada de lluvias durante la cual ocurren muchas inundaciones.

La localización de los lugares donde se llevaron a cabo los “bateos” fue en gran medida basada en los conocimientos de los lugareños, los cuales brindaron toda su ayuda y experiencia en la realización de este. Una vez obtenidos los sedimentos “enriquecidos” (*i.e.* concentrados obtenidos por batea) se procedió a separar las pepitas de oro utilizando un microscopio binocular.

Los pasos que se siguieron en toda la metodología se muestran en la figura 3.

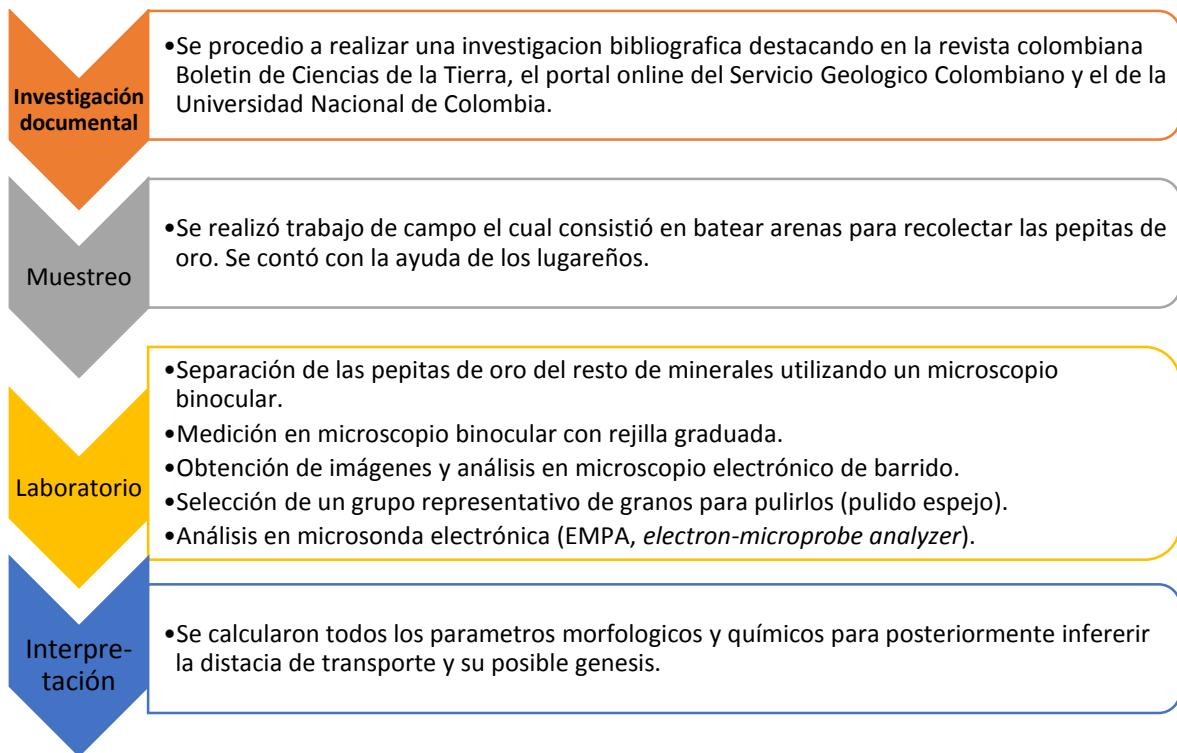


Figura 3. Esquema metodológico generalizado donde se muestran la secuencia de pasos que se llevaron a cabo para la realización de este trabajo.

2.1. Fundamentos de los equipos utilizados

2.1.1. Microscopio estereoscópico

El microscopio estereoscópico es siempre binocular y proporciona una visión tridimensional, ofrece aumentos menores, ya que sirve para observar cuerpos sólidos y opacos, como los minerales, vegetales etc., por este motivo es oportuno utilizar un microscopio dotado de iluminador para así observar los detalles más ocultos del objeto estudiado. Por norma la iluminación es incidente (desde arriba) aunque a veces es importante también disponer del iluminador también en la base para examinar cuerpos ó vegetales que tienen la propiedad de la transparencia (Kosmos Scientific de México, 2002-2019).

2.1.2. Microscopio electrónico de barrido

Un microscopio electrónico de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) se basa en la obtención de una imagen de la muestra a partir del barrido de la misma con un haz de electrones. La imagen resulta debido a las interacciones entre los electrones incidentes y la muestra; estas interacciones originan la emisión de electrones secundarios, de electrones retrodispersados y de rayos X característicos de los elementos presentes en la muestra. Los SEM pueden incorporar un detector de rayos X del tipo “dispersivo” en energía (EDS, por sus siglas en inglés) que permite identificar cuáles son las energías de los rayos X emitidos por la muestra y, por lo tanto, saber qué elementos químicos existen en la muestra (Melgarejo *et al.*, 2010).

2.1.3. Microsonda electrónica

En una primera aproximación, la microsonda electrónica (EMPA, por sus siglas en inglés) se puede considerar como un microscopio electrónico de barrido que incluye unas unidades analizadoras adicionales: los espectrómetros dispersivos en longitud de onda (WDS, por sus siglas en inglés). La principal diferencia es que la EMPA está especialmente diseñada para el análisis cuantitativo, mientras que el SEM está diseñado para obtener imágenes de la muestra y análisis cualitativos (por medio de EDS). Los espectrómetros WDS separan las radiaciones X características por la longitud de onda. Para ello, se utilizan cristales analizadores para separar las radiaciones X por medio de la ley de Bragg y detectores de

radiación para medir los rayos X dispersados por dichos cristales, y se comparan las intensidades de rayos X emitidas por la muestra con las de patrones de composición conocida (Melgarejo *et al.*, 2010).

2.2. Análisis morfológicos

Se tomaron 30 granos de oro que fueron medidos y fotografiados uno a uno en un microscopio binocular, teniendo mucho cuidado de etiquetar cada pepita con el fin de no confundirlas.

El equipo utilizado para los siguientes análisis fue un SEM portátil modelo TABLE TOP TM_1000 marca Hitachi, con espectroscopio EDS, ubicado en el Laboratorio de Petrografía y Microtermometría del Departamento de Recursos Naturales del Instituto de Geofísica, UNAM.

Utilizando el SEM antes mencionado, se obtuvieron imágenes para cada grano, recabando información mucho más precisa de las texturas y forma de cada partícula, no siendo necesario realizar ningún tipo de montaje especial. También se realizaron análisis por EDS a cada grano, con el fin de conocer cualitativamente su composición superficial, escogiendo tanto zonas oscuras como claras.

Una vez obtenidas las mediciones, fotografías e imágenes (MEB, microscopio electrónico de barrido), se realizaron caracterizaciones de forma, textura y redondez de cada partícula. Se emplearon los parámetros (Barrett, 1980): (a) Diagrama de Zingg, (b) esfericidad, (c) redondez, e (d) índice de aplanamiento. Los rasgos texturales fueron principalmente los que se muestran en las tablas de clasificación que proponen Townley *et al.* (2003). Estas características se utilizaron para inferir el transporte que han sufrido las pepitas de oro desde su fuente primaria.

Además de lo anterior, también se desarrollaron observaciones muy minuciosas mediante el empleo de SEM con aumentos de 300x a 3000x; esto con el objetivo de poder percatarse si existía algún tipo de enriquecimiento supergénico.

2.3. Análisis químicos

Para esta etapa se analizaron 4 muestras, las cuales se escogieron con base a criterios del investigador, y consistió en que formaran parte de un grupo representativo con parámetros morfológicos y texturales similares.

Las muestras fueron montadas en un portaobjetos para luego pulirlas hasta el llamado “pulido espejo” o metalográfico, esto con el fin de poder analizarlas en la EMPA. Se tuvo extremo cuidado en la realización del limado y pulido, ya que al ser muestras de un tamaño no mayor a 3 milímetros es muy fácil desbastarlas hasta desaparecerlas. En este proceso, a pesar de la gran experiencia con que contaba el técnico del taller de laminación, hubo grandes dificultades al tratar de montar más de 4 muestras en cada portaobjetos, por lo cual se recomienda montar por separado y emplear un montaje en briqueta embebida con resina epoxi.

Una vez pulidas y montadas las muestras, se procedieron a analizar en el equipo EPMA JEOL JXA-8900R, que se encuentra ubicado en el Laboratorio Universitario de Petrología, en el Instituto de Geofísica, UNAM, el cual dispone de un espectrómetro EDS y 5 WDS.

Las muestras fueron analizadas con el espectrómetro EDS, esto debido a que el pulido espejo no quedó de suficiente calidad. La idea original era obtener un análisis cuantitativo utilizando el espectrómetro WDS; sin embargo, también puede usarse el EDS siempre y cuando el tiempo de exposición sea mayor al normal (para este caso fue de 5 minutos por análisis). En estricto rigor se recomienda el uso de WDS, pero para este tipo de estudios se empleó el EDS que dio resultados aceptables. Se analizaron los siguientes elementos: Au, Ag, Cu, Fe, As, Mn, As y Si; de ellos, los más importantes y que se utilizaron como criterio de discriminación fueron los tres primeros.

Posteriormente a estos resultados se les dio un tratamiento estadístico mediante la utilización de los diagramas ternarios propuestos por Townley *et al.* (2003), los cuales se explican en el siguiente capítulo.

Capítulo 3: Marco teórico

3.1. El oro en Colombia y el mundo

El oro sin duda alguna es el metal que ha seducido al mundo entero. De la producción mundial de oro el 70 % se utiliza en joyería, mientras que el resto se emplea en reservas e inversiones, y en usos industriales (Ruiz-Caro, 2004). Esto en gran medida se debe a las características únicas que posee este hermoso metal. Exhibe un color amarillo en bruto. Es considerado como el metal más maleable y dúctil. Como es un metal blando, son frecuentes las aleaciones con otros metales con el fin de proporcionarle dureza.

La explotación minera juega un rol importantísimo, ya que son la base de la sociedad moderna como eje vertebral en actividades de la agricultura, industria, construcción y, en consecuencia, de la economía. De acuerdo a Viladevall-Solé (2004), desde el inicio de la era de los metales, los sistemas de prospección, explotación y beneficio de éstos han sufrido una constante evolución de manera que, en el siglo XXI, es poco frecuente, por razones económicas, hallar explotaciones mineras de tipo artesanal de metales base como el zinc, cobre, aluminio, plomo y ocasionalmente el estaño. Lo que no es extraordinario, sino más bien común, por su elevado valor añadido, son las explotaciones artesanales de metales preciosos, principalmente las del oro y gemas (Viladevall-Solé , 2004).

A pesar de lo expuesto en la superficie de la Tierra que debieron estar los primeros yacimientos de oro, y también en parte por su abundancia, es muy difícil saber a partir de cuándo se comenzaron a explotar; sin embargo, se sabe con certeza que muchas culturas antiguas como los egipcios, ya lo apreciaban como un metal precioso para usos ornamentales (González-Serrano , 1996).

De acuerdo a Baquedano (2005), a la llegada de los españoles a la antigua América precolombina, culturas como la azteca ya utilizaban el oro con fines ornamentales y formaba parte fundamental de la economía en sectores como el comercio y el pago de tributos; debido a que este metal no se encuentra en el valle de México, se cree que en su gran

mayoría provenía de Oaxaca. Díaz del Castillo (1568) señala que el oro que poseía el Imperio Azteca provenía de sus diversos territorios conquistados, que se lo rendían en forma de tributo. También hace mención que este metal era extraído de los diferentes ríos mediante la utilización de bateas.

El oro de origen aluvial fue una de las primeras formas de minería para las sociedades del mundo antiguo, encontrándose abundantes explotaciones en todo lo largo y ancho del mundo (Viladevall-Solé, 2004) (Figura 4). En tiempos más recientes se mencionan muchas fiebres del oro, como la de California, EUA (Douglas y Hanse, 2009) o Yukón, Canadá (Froese *et al.*, 2009), y también la de Colombia; en este último país, la llamada “fiebre del oro” está extendida prácticamente en todo el territorio, destacando las zonas de cordillera y más recientemente en la región selvática del Amazonas.



Figura 4. Extracciones de oro conocidas antes de 1492 (tomado de Viladevall-Solé, 2004).

Hoy en día se utilizan métodos mucho más eficientes en la explotación y beneficio del oro, llegando a ser económicamente viables proyectos con incluso un gramo de oro por tonelada de roca; sin embargo, esto no sería posible si los precios del oro no hubieran sufrido un incremento muy favorable en las últimas décadas, oscilando hoy en día una onza en más o menos 1300 dólares USD (Servicio Geológico Mexicano, 2018) como se muestra en la figura 5.

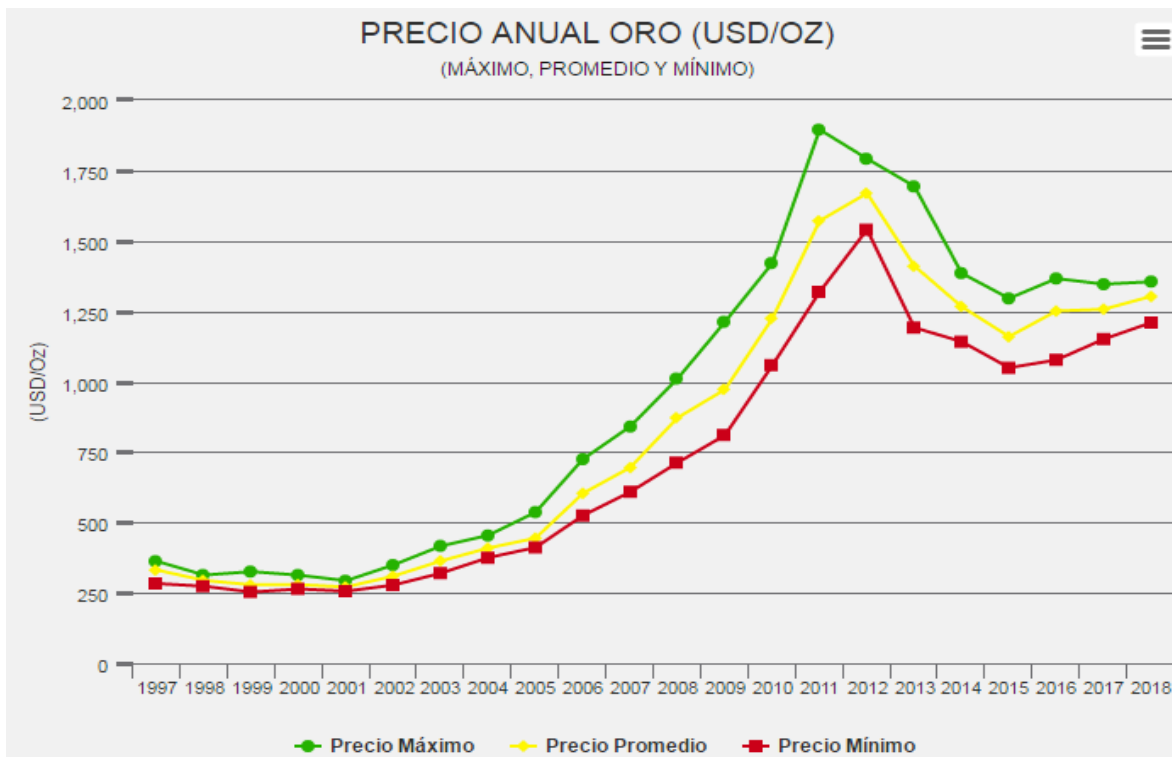


Figura 5. Incremento en el precio del oro a partir del siglo XXI (tomado del Servicio Geológico Mexicano, 2018).

En la tabla 1 se muestra la producción de oro en algunos departamentos de Colombia.

Tabla 1. Producción de oro en kilos de algunos departamentos de Colombia (tomado de La Unidad de Planeación Minero Energética –UPME).

**PRODUCCIÓN DE ORO POR DEPARTAMENTO
2009 - 2012
(Kilogramos)**

Departamento	2009	2010	2011	2012*
Amazonas	0,00	0,00	0,66	0,00
Antioquia	28.027,85	18.898,47	19.156,33	5.453,02
Bolívar	3.431,14	5.763,72	5.423,03	1.222,49
Caldas	1.217,53	1.200,49	1.273,08	306,85
Caquetá	0,18	3,08	3,21	0,00
Cauca	2.316,77	1.036,72	1.127,57	418,01
Chocó	10.847,19	24.529,71	27.915,13	5.525,97
Córdoba	454,79	638,22	69,18	139,63
Cundinamarca	0,69	0,00	0,00	0,00
Guanía	5,52	22,43	29,71	18,19
Huila	22,28	43,55	0,00	67,91

Según Güiza y Aristizábal (2013), se espera que la producción de oro en Colombia aumente significativamente con el descubrimiento de nuevas áreas mineras en la Serranía de San Lucas (Bolívar), región que cubre 15,000 km² y es considerada "la más grande mina de oro en América Latina"; también señalaron estos autores que áreas como la Colosa, ubicada en el municipio de Cajamarca (Tolima), era una de las siete minas de oro más grandes en el mundo.

Güiza y Aristizábal (2013) mencionan que la única definición legal disponible para la pequeña minería la proporciona el Glosario Técnico Minero 2003, y se refiere a minas poco profundas, creadas con herramientas ordinarias, operadas manualmente e impulsadas por la fuerza humana, cuya producción no excede doscientos cincuenta (250) toneladas de material. De hecho, según el censo de actividades mineras en Colombia para el año 2012, la mayoría de las operaciones de extracción de oro eran operaciones de pequeña minería (2,815 minas); estas representan alrededor del 70% de la explotación de oro del país. Le siguen las minas de mediana escala, con 1,275 minas, y por último minas a gran escala, con solo 44 (Güiza y Aristizábal, 2013). De acuerdo con la investigación realizada por la Defensoría del Pueblo (2010-16), el 66% de las minas clasificadas como pequeña minería son ilegales (Urán, 2013).

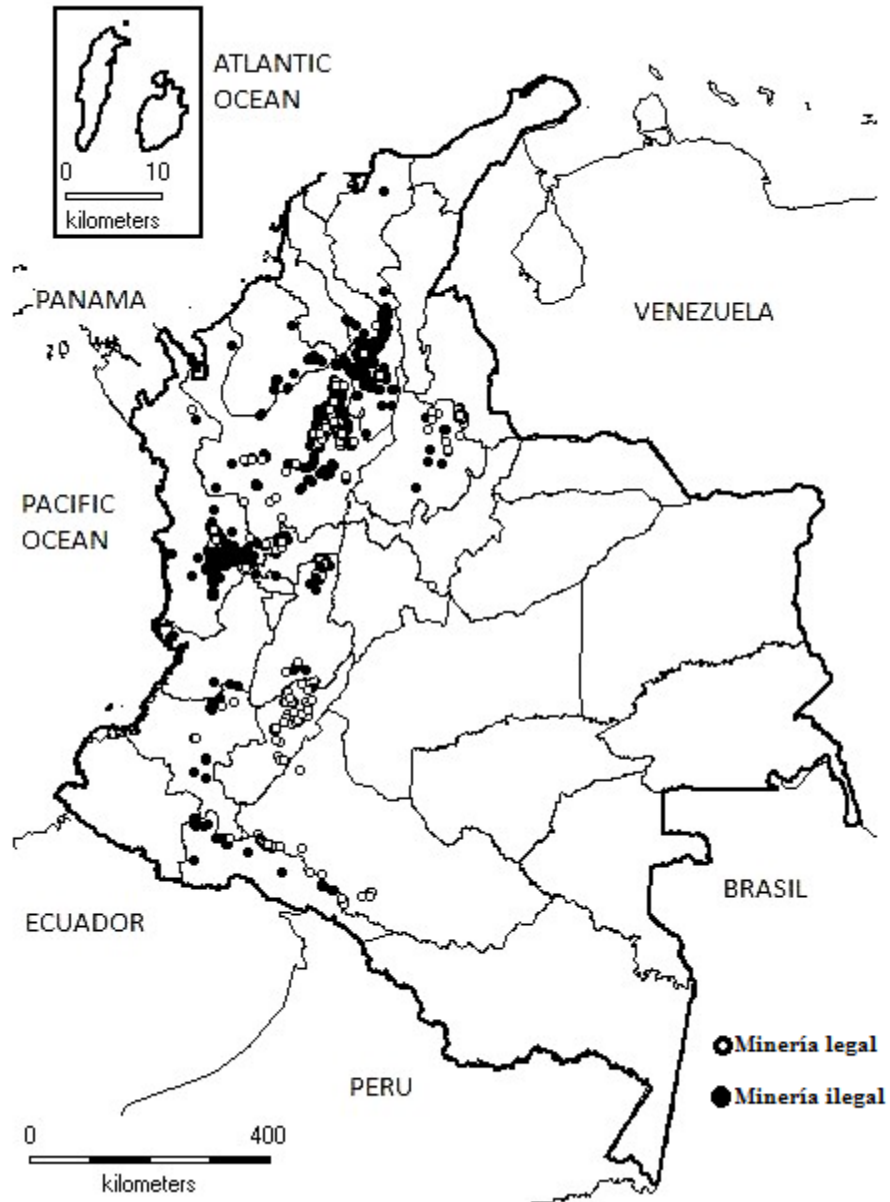


Figura 6. Distribución de la minería legal e ilegal de oro en Colombia (tomado de Güiza y Aristizábal, 2013).

En la figura 6 se puede apreciar que la gran mayoría de la minería en Colombia se desarrolla en la parte occidental, y coincide con las regiones montañosas; sin embargo, esto puede deberse a que falta un área muy amplia por explorar.

En la región del Amazonas, específicamente en el departamento del Guainía, un análisis dentro de un estudio hecho por López-Africano (1998) menciona: “ Sí una draga en promedio produce 100 gramos por día, con un trabajo anual de 120 días, y se encontraron 20 dragas

operando en la zona, la producción anual del departamento sería de 7400 Onzas Troy, lo que indica que el oro producido en el departamento del Guainía no es reportado y las regalías que se podrían generar no se reciben, causando disminución de ingresos para el departamento, el municipio y sus comunidades”. Con estos datos es sencillo darse cuenta que el departamento del Guainía esconde riquezas mineralógicas importantes y no solo en cuanto al oro; como lo menciona Amaya-Perea *et al.* (2012): “se pueden distinguir como producto secundario depósitos aluviales, coluviales y eluviales con minerales pesados portadores de Ta, Nb, W, Ti, REE y Au.”

De acuerdo a lo expuesto anteriormente el potencial minero de Colombia es enorme tomando en cuenta el vasto territorio sin explorar, y más aun considerando la amplia distribución de los depósitos de oro aluvial.

3.2. Concentración de minerales pesados mediante técnicas de bateo

La prospección de aluviones mediante batea es la técnica más simple y barata utilizada para la búsqueda de minerales pesados. Esta técnica es usada principalmente para la búsqueda de elementos nativos como el oro, plata y platino, además de una gran variedad de piedras preciosas; sin embargo, todo se encamina a descubrir un depósito de *placer*, es decir, aquel depósito de arena, grava u otros materiales residuales o detríticos que contiene uno o más minerales de valor económico, los cuales se han acumulado por procesos de meteorización y concentración mecánica (Slingerland y Smith, 1986, citado por Viladevall-Solé, 2004).

Para poder desarrollar un bateo exitoso se deben tener conocimientos geológicos e hidrológicos (Toscano *et al.*, 2012), con el fin de poder reconocer las zonas más probables de acumular minerales pesados. En el siguiente esquema (Figura 7) se muestran zonas que podrían ser de mucho interés debido a sus condiciones morfológicas.

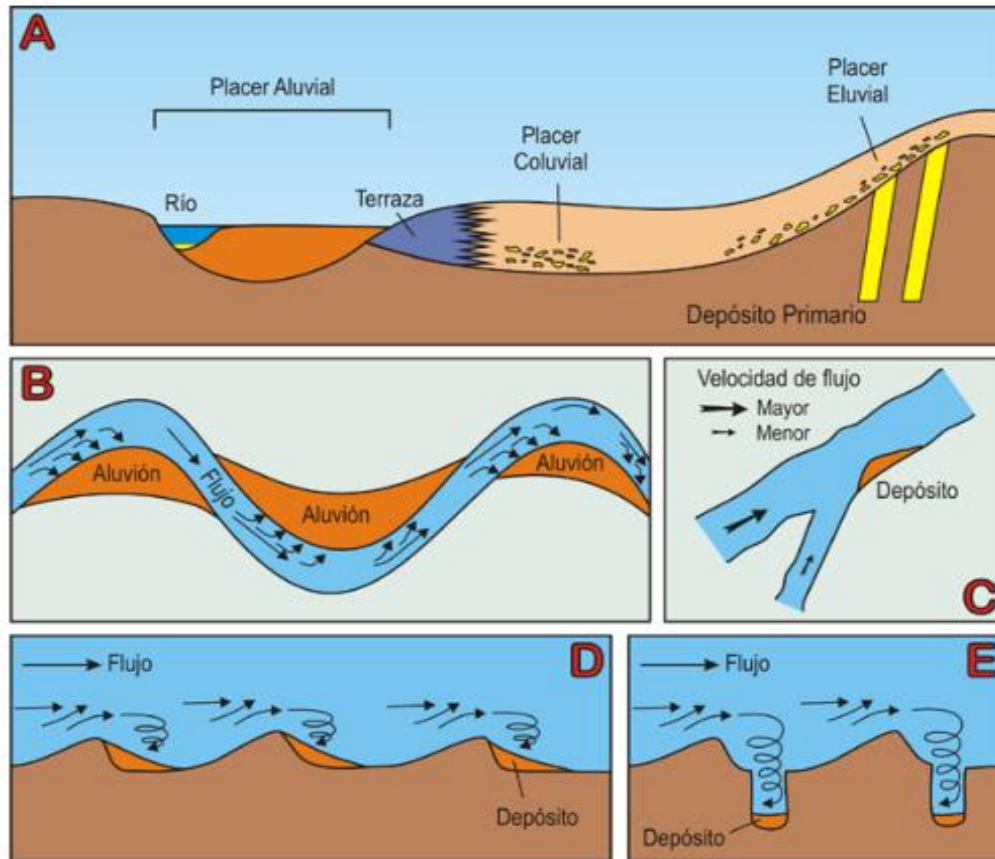


Figura 7. (A) Sección esquemática de un valle fluvial y las relaciones entre los depósitos de tipo eluvial, coluvial y aluvial. Formación de depósitos aluviales que actúan concentrando minerales pesados en: (B) las curvas de los ríos (meandros), (C) la confluencia de dos ríos con diferentes velocidades, (D) las zonas accidentadas del lecho del río y (E) las marmitas (*potholes*) que se forman en lechos rocosos (tomado de Toscano *et al.*, 2012).

Una vez localizada la zona de interés, ya se está listo para realizar los bateos, estos deberán ser distribuidos dependiendo del sitio a muestrear.

Viladevall-Solé (2004) propone una metodología para elaborar una malla de muestreo la cual dependerá de la zona a muestrear. A grandes rasgos, se plantea tomar una línea base paralela y en el centro de la zona a muestrear; a partir de ella se trazarán líneas de pozos perpendiculares, esto con el fin de cubrir la mayor área posible como se muestra en la figura 8. La densidad del muestreo y la cantidad de muestra dependerán de los intereses particulares del muestreador.

TRAZADO DE LA LINEA DE POZOS

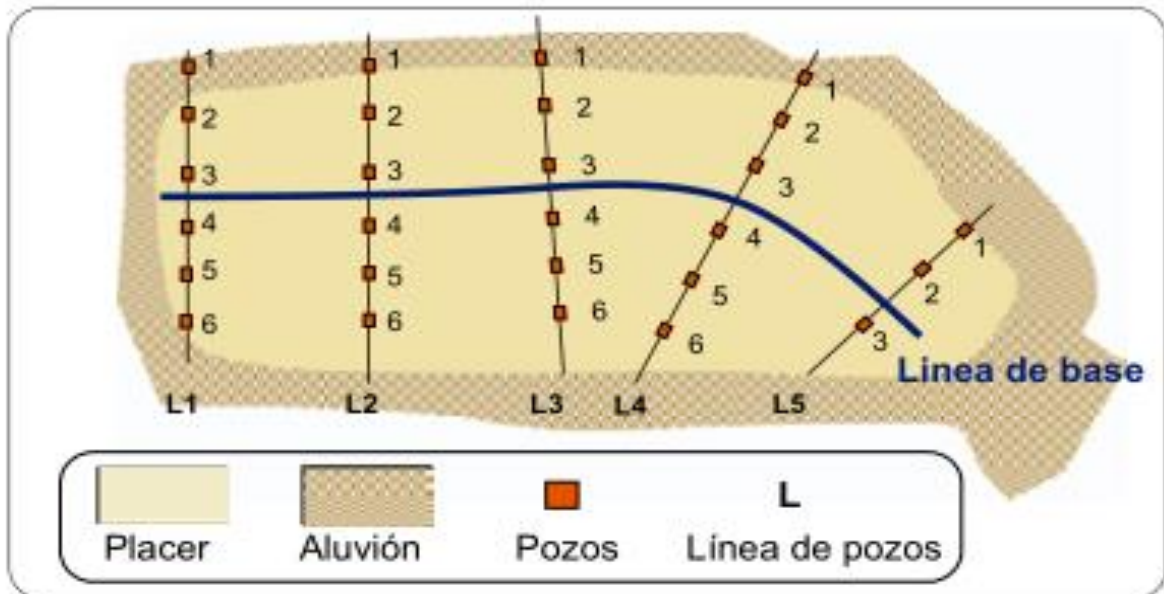


Figura 8. Esquema donde se muestra una posible forma de distribuir un muestreo de forma sistemática (tomado de Viladevall-Solé , 2004).

Por último, en la siguiente imagen (Figura 9) se muestra una forma muy esquemática sobre la técnica de bateo. Punto clave para obtener los sedimentos pesados o en este caso el oro a estudiar.

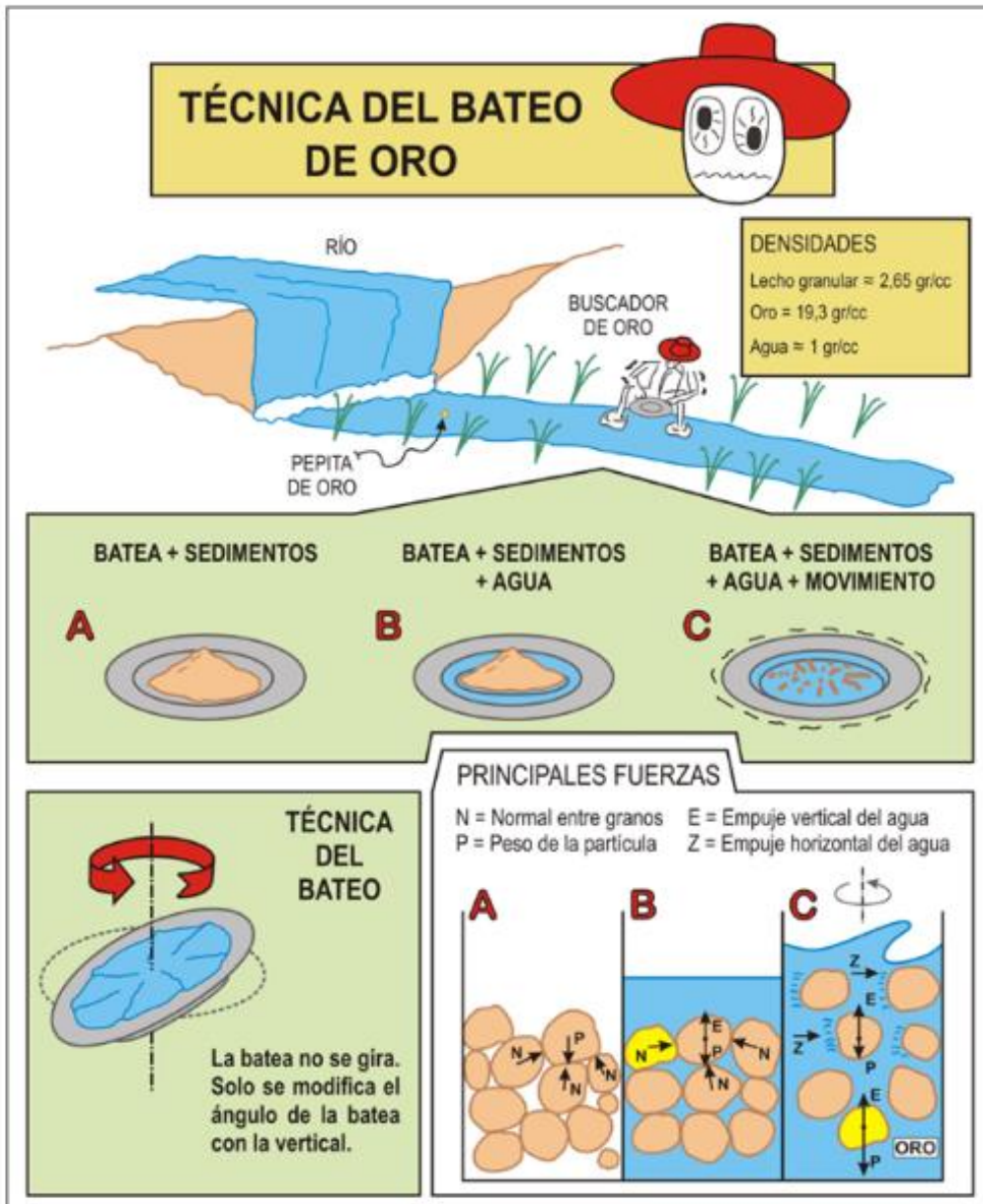


Figura 9. Esquema que muestra la técnica del bateo como método de prospección aluvionar para la búsqueda de oro (tomado de Toscano *et al.*, 2012).

3.3. Morfología, textura y química en pepitas de oro como una posible herramienta de exploración minera

3.3.1. La morfología de las partículas de oro como un indicador de transporte

Barrett (1980) destacó que los tres parámetros más apropiados para describir una partícula detrítica son: (a) forma, (b) redondez, y (c) textura superficial. También explica cómo interactúan entre ellos los parámetros y sus grados de jerarquía: “la redondez de una partícula que normalmente aumenta con la abrasión puede cambiar mucho sin llegar a afectar directamente en la forma; en contraste un cambio en la forma inevitablemente repercutiría en la redondez y la textura superficial, esto porque nuevas caras estarían expuestas y nuevas esquinas aparecerían, mientras que un cambio en la redondez afecta en la textura superficial y, por el contrario, un cambio en la textura superficial no necesariamente repercute en la redondez.” Es por ello la importancia que todo análisis morfológico de sedimentos incluya estos tres parámetros.

En la actualidad existen muchos métodos para lograr interpretaciones bastante acertadas sobre la descripción morfológica de una partícula (Wadell, 1932; Cailleux, 1945; Sneed y Folk, 1958; Williams, 1965; citados por Barrett, 1980; Wenworth, 1992); sin embargo, todo dependerá del objetivo que se tenga, para de ahí partir y elegir la bibliografía que mejor se ajuste según los fines de la investigación.

Las pepitas de oro se pueden caracterizar morfológicamente utilizando campos específicos de acuerdo a las propiedades de este metal. Muchos autores (Wierchowiec, 2002; Townley *et al.*, 2003; Vila-Sánchez *et al.*, 2004;) han tratado de abordar el problema de estimar cuanto ha sido transportada una pepita de oro desde su fuente primaria.

Wierchowiec (2002) destaca que cualquier análisis e interpretación de oro aluvial por lo menos debe tomar en cuenta: la redondez, aplanamiento y plegamiento. Algunas de las observaciones que Wierchowiec (2002) realizó, establecen la importancia de investigaciones anteriores que relacionan la distancia de transporte con algunos parámetros morfológicos en los granos de oro y que son las siguientes:

- La redondez y aplanamiento incrementan muy rápido en los primeros 3 km de transporte. Después de los 5 km el aplanamiento incrementa muy lentamente mientras que la redondez continúa casi sin cambio. Para la redondez se observa más sensibilidad en distancias menores a 5 km y es menos confiable que el aplanamiento para distancias entre 5 y 10 km (Knigh *et al.*, 1999).
- Después de un transporte por más de 60 km los granos de oro han sido tan aplanados por el martilleo que usualmente se pliegan, formando estructuras de sándwich (Herail *et al.*, 1990).

Para otros autores como Vila-Sánchez *et al.* (2004) en sus descripciones morfológicas únicamente toma en cuenta dos parámetros como: diámetro equivalente e índice de aplastamiento (I.A.). Solo hace especulaciones sobre la cantidad de transporte que han sufrido las partículas; sin embargo, hace observaciones muy interesantes con respecto al IA: “El aplastamiento de los granos es mayor cuanto menor sea su I.A., asumiéndose que a menor IA mayor es el transporte experimentado por las partículas, los valores de IA cercanos a la unidad corresponden a partículas prácticamente esféricas que han sufrido un menor transporte” (Giusti, 1986).

Townley *et al.* (2003) presentan un estudio muy detallado y completo sobre como estimar la distancia que han recorrido los granos de oro de acuerdo a sus características morfológicas. Para llegar a estas conclusiones el autor presenta un estudio estadístico con más de 1500 granos recolectados en 60 arroyos diferentes a lo largo de todo el mundo y en muy diversos ambientes sedimentarios. La morfología de los granos de Au en función de la distancia a la fuente se comparó para varios ambientes climáticos y/o sedimentarios supergénicos como: árido, semiárido, húmedo, laterítico, fluvial, fluvio-glacial y glacial.

Algunas limitantes para este método son:

- 1) El oro liberado en fragmentos de roca ya distantes de la fuente sería común en ambientes cordilleranos y glaciales.
- 2) Solo pueden estimar cuatro rangos de distancia que van de 0-50, 50-300, 300-1000 y mayores a 1000 metros. Por lo cual este método solo nos ofrece resolución espacial en distancias menores a los 1000 metros.

Para este método Townley *et al.* (2003) propone las siguientes tablas (2, 3 y 4) de clasificación en las que se destacan las características que toma en cuenta.

Tabla 2. Características morfológicas de oro asociadas a la distancia de la fuente (tomado de Townley et al., 2003).

Características físicas de las partículas de oro		Distancia a la fuente			
		0-50 m	50-300 m	300-1000 m	>1000 m
Contorno	Regular				
	Muy regular				
	Muy irregular				
	Pulido				
	Dobleces				
	Pliegues				
Superficie	Topografía regular				
	Topografía irregular				
	Martillado				
	Impactos				
	Surcos				
	Cavidades				
Minerales asociados	Arcilla e hidroxidos de Fe				
	Cuarzo				
	Oxidos de Fe-pirita				
	Impresiones primarias				
Índice de aplanamiento		1-3.0	2.1-4.6	3.0-8.6	4.0-16.0

Nunca presente (0%)	Ocasionalmente presente (Menos del 50%)	Siempre presente (mas del 50%)
---------------------	---	--------------------------------

Tabla 3. Morfología característica en granos de oro asociados a la distancia de la fuente en diferentes climas y/o ambientes sedimentarios (tomado de Townley *et al.*, 2003).

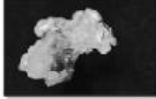




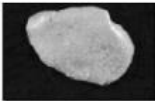
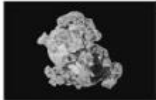
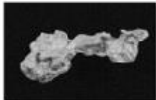
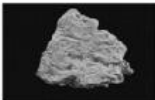
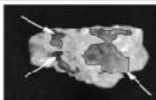

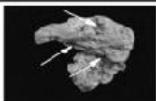

Distancia a la fuente	0-50 m	50-300 m	> 300 m
Forma general			
Contorno			
Superficie			
Impresiones primarias de minerales		Evidencia difusa	Ausente
Minerales asociados	Cuarzo y óxidos de Fe 	Óxidos de Fe 	Limonitas 
Índice de aplanamiento	1-3.6	2.1-6	3.0-7.5

Tabla 4. Rasgos comunes en granos de oro de diferentes climas y/o ambientes sedimentarios. Esta tabla es la que recomienda el autor utilizar como una posible herramienta de exploración (tomado de Townley *et al.*, 2003).

Rango de distancia (m)	Contornos	Rasgos superficiales	Inclusiones minerales	Índice de aplanamiento
0-50	Muy irregular	Irregular, impresiones primarias de minerales	Cuarzo, óxidos de Fe y pirita	1.0-3.0
50-300	Regular	Regular	Cuarzo	2.1-4.6
300-1000	Regular	Martillado, bordes plegados	-	3.0-8.6
>1000	Muy regular y pulido	Marcas de impacto, estriaciones, martillado	-	4.0-16.0

Textualmente Townley *et al.* (2003) describe los 4 posibles rangos de distancia de la siguiente manera:

Rango de distancia en metros	Descripción textual
0-50	Estos granos han conservado su forma general original: cuadrada a rectangular, muy angular y parcialmente embebida. El contorno del grano es muy irregular, con una topografía superficial irregular. Estos granos comúnmente muestran huellas minerales primarias e inclusiones de cuarzo, óxidos de Fe y/o pirita. El índice de aplanamiento oscila entre 1.0 y 3.0.
50-300	En este rango de distancia, los granos de Au tienen formas angulares irregulares, contornos y topografía de superficie regular, con frecuencia contienen inclusiones de cuarzo. El índice de aplanamiento varía de 2.1 a 4.6.
300-1000	La gran mayoría de los granos en este rango de distancia tienen una forma redondeada u ovalada, comúnmente alargada. El contorno y la topografía de la superficie son regulares, a veces martillados y con bordes doblados. El índice de aplanamiento varía entre 3.0 y 8.6.
>1000	Estos granos tienen una forma redondeada y ovalada, con un contorno y una topografía de superficie muy regulares, suaves y pulidos, que exhiben comúnmente estrías y

	marcas de impacto, y una apariencia martillada. El índice de aplanamiento varía de 4.0 a 16.
--	--

Estadísticamente el autor recomienda que una población de muestras solo será representativa de cierto rango de distancia si tiene por lo menos 20 granos correctamente caracterizados y sin omitir el índice de aplanamiento (F.I.), ya que es la única medida numérica en el análisis estadístico.

3.3.2. Química mineral en pepitas de oro como un posible indicador de su fuente primaria

Esta disciplina poco desarrollada hasta el momento tiene sus bases en las premisas de que existen diferencias consistentes en la composición de los granos de oro (aunque con una superposición considerable) entre diferentes estilos de mineralización primaria (Chapman *et al.*, 2002; Mortensen *et al.*, 2004;). La composición del oro de placer puede estar asociada con las vetas fuente, o se puede identificar el estilo más probable de fuente primaria (Mortensen *et al.*, 2004).

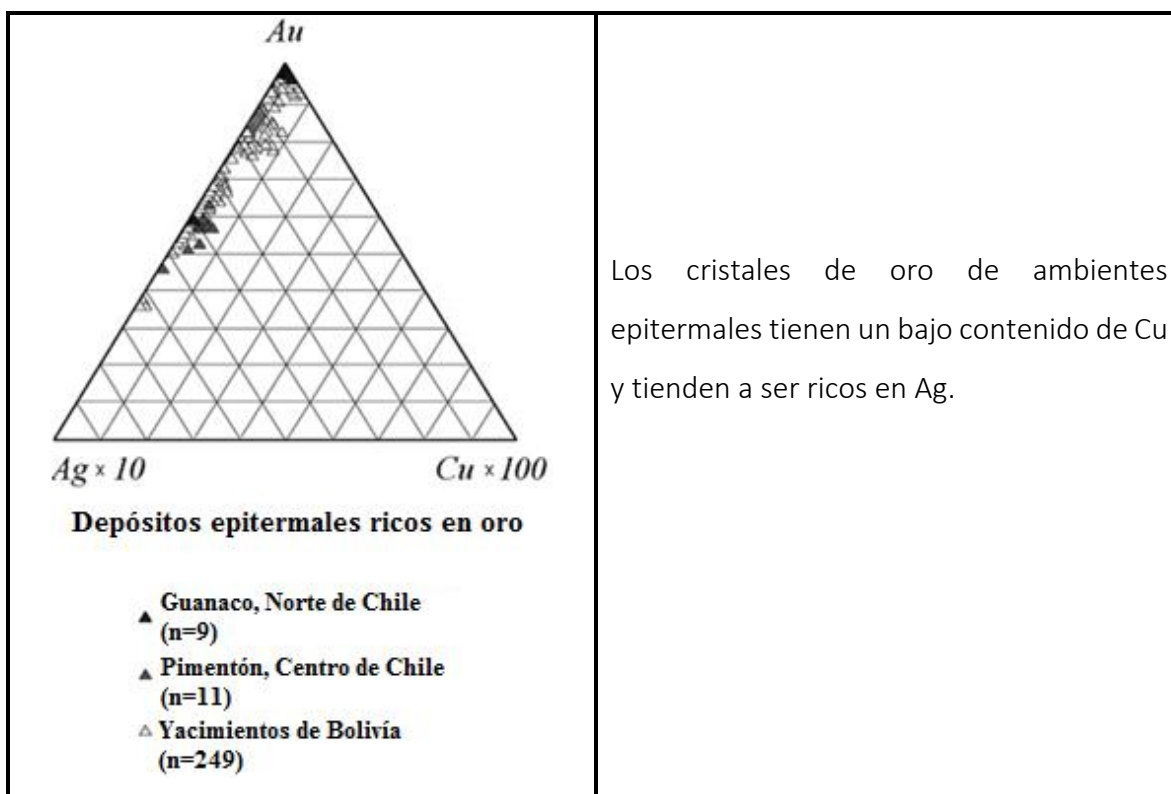
De acuerdo a Chapman *et al.* (2002), hay una considerable variación en la composición del oro nativo y en la naturaleza de los minerales que coexisten con él; esto es el reflejo de diferentes procesos y ambientes químicos de formación.

Las características químicas e inclusiones minerales en los granos de oro proveen una pista que nos puede dirigir a la fuente primaria de mineralización; Wierchowiec (2002) hace referencia a esto, pero aclarando que el análisis en el caso del oro aluvial debe analizarse únicamente el núcleo de los granos.

Villa-Sánchez *et al.* (2004) señalan que el análisis combinado de las características morfo-texturales y composicionales de las partículas de oro proporciona información sobre la composición y posición relativa de las fuentes portadoras de la mineralización aurífera respecto a los depósitos estudiados.

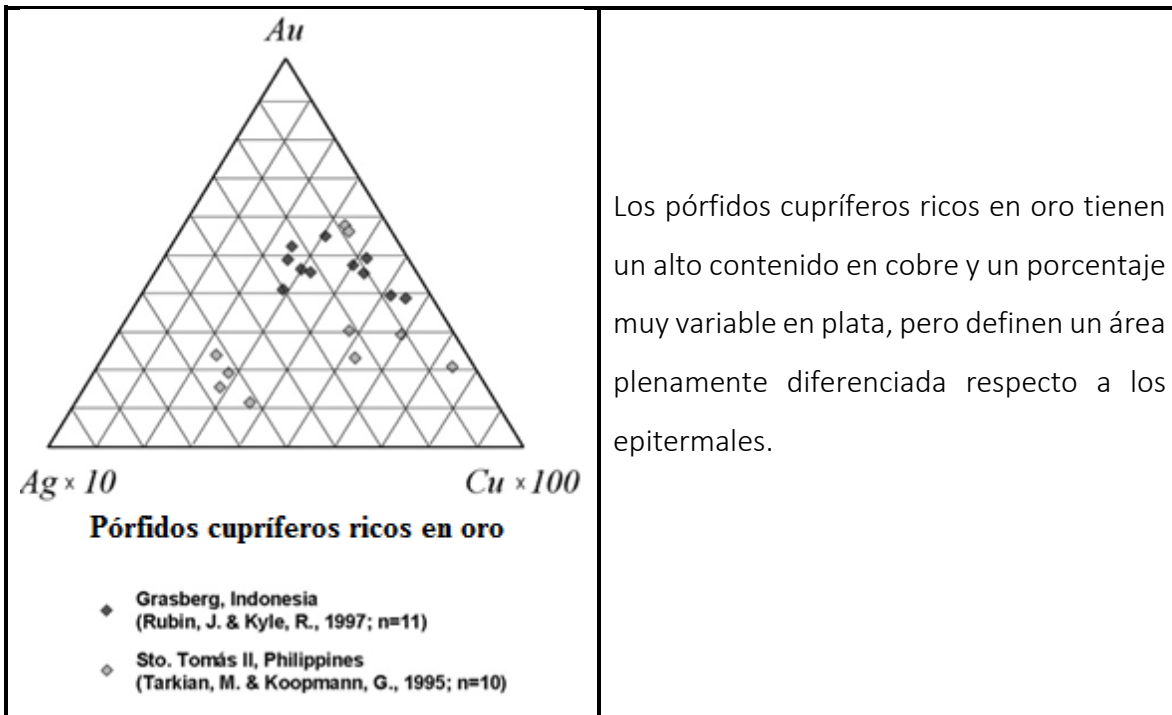
Existen modelos estadísticos que con base en los contenidos de oro, plata y cobre en una pepita de oro permiten distinguir tres posibles fuentes (Palacios *et al.*, 2001; Townley *et al.*, 2003): (a) epitermal, (b) pórfido rico en oro, y (c) pórfido cuprífero rico en oro.

Townley *et al.* (2003) propone diagramas ternarios para las composiciones químicas de granos de oro obtenidos en diferentes partes del mundo (Figuras 10, 11, 12 y 13).



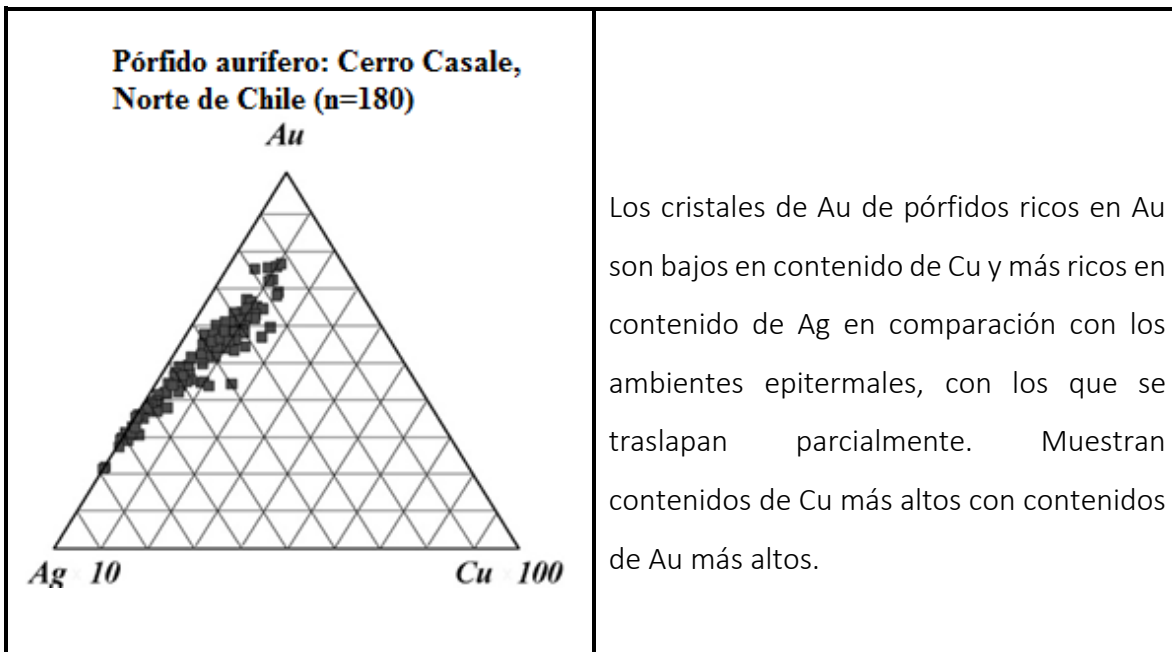
Los cristales de oro de ambientes epitermales tienen un bajo contenido de Cu y tienden a ser ricos en Ag.

Figura 10. Diagrama composicional para depósitos epitermales (tomado de Townley *et al.*, 2003).



Los pórfidos cupríferos ricos en oro tienen un alto contenido en cobre y un porcentaje muy variable en plata, pero definen un área plenamente diferenciada respecto a los epitermales.

Figura 11. Diagrama composicional para pórfidos cupríferos ricos en oro (tomado de Townley *et al.*, 2003).



Los cristales de Au de pórfidos ricos en Au son bajos en contenido de Cu y más ricos en contenido de Ag en comparación con los ambientes epitermales, con los que se traslapan parcialmente. Muestran contenidos de Cu más altos con contenidos de Au más altos.

Figura 12. Diagrama composicional para pórfidos ricos en oro (tomado de Townley *et al.*, 2003).

Townley *et al.* (2003) concluyen que el diagrama ternario (Figura 13) puede ser una buena herramienta de discriminación entre los tres depósitos minerales propuestos, especialmente en franjas metalogénicas donde se tenga conocimiento de la ocurrencia de estos.

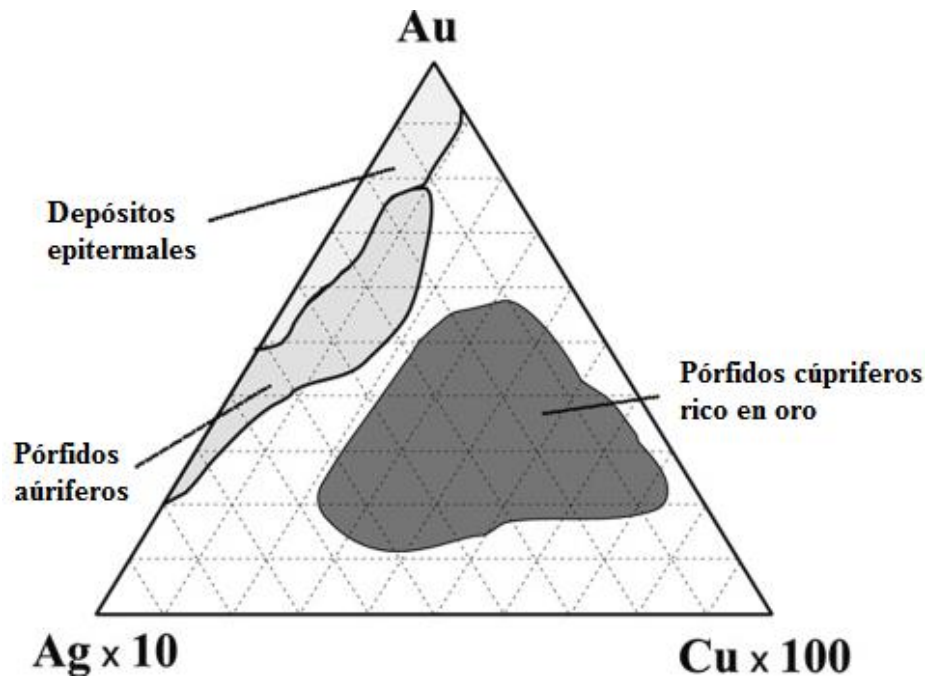


Figura 13. Diagrama composicional para discriminar entre depósitos epitermales, pórfido cuprífero rico en oro y pórfido rico en oro (tomado de Townley *et al.*, 2003).

3.4. Enriquecimiento supergénico del oro

En geología el término supergénico puede ser utilizado con dos significados. En un primer sentido supergénico se opone meramente a hipogénico y en un segundo, es todo proceso originado en la superficie terrestre o cerca de ella y los depósitos resultantes: así, por ejemplo, de acuerdo a Espinoza (1988), se denomina depósito o mineral supergénico aquel formado por aguas meteóricas descendentes o , en oposición al hipogénico formado por aguas ascendentes de otro origen diferente al meteórico y con mayor temperatura.

El oro es generalmente considerado como un elemento químicamente inerte y estable en su estado metálico; sin embargo, bajo determinadas condiciones, que además son bastante comunes, como: la presencia de minerales del grupo de los sulfuros, oxidación, humedad, erosión etc., puede entrar en solución con relativa facilidad (Espinoza, 1988). El oro microscópico a submicroscópico migra en solución iónica o en suspensión coloidal, mientras que las partículas de mayor tamaño oscilando entre las 100 micras tienden a transportarse mecánicamente (Espinoza, 1988).

Para Mortensen *et al.* (2004) el oro de placer frecuentemente exhibe un enriquecimiento de oro en su superficie, típicamente de 1 a 20 micras de espesor. Sin embargo, debido a las pocas micras de espesor que esto representa, morfológicamente es despreciable, salvo algunos casos excepcionales.

Wierchowicz (2002) considera que el hecho de tener oro con un muy alto grado de pureza en superficie no solo es cuestión de adición, sino de posible lixiviación de plata en la misma pepita, si bien estos dos procesos pueden suceder al mismo tiempo. También señala que la asociación de superficies más puras en oro que el núcleo de la pepita puede ser evidencia tanto de lixiviación de la plata como adición de oro supergénico, y concluye que ambos procesos pueden darse al mismo tiempo, por lo cual es irrelevante si la pepita ha perdido o ganado tamaño.

Espinoza (1988) menciona que el oro supergénico es de gran importancia y en muchos casos han formado los yacimientos más ricos de oro en el mundo: Ity en Costa de Marfil, Medinandi situado al SW de Mali, y La Joya de Oruro (Bolivia).

Lachowicz (2009) señala que después de varias ocurrencias importantes de oro laterítico en la región amazónica durante los años 90, se dio un gran impulso a la exploración mineral en el norte de Brasil; esta zona es de gran importancia para el presente trabajo debido a su cercanía y a que ambas forman parte del gran corredor natural del Amazonas.

3.5. Marco geológico de Colombia

Geológicamente y por su orografía, Colombia se puede dividir en dos grandes zonas: los llanos orientales y la región andina; el primero dominado por una cubierta de rocas sedimentarias muy jóvenes que sobreyacen al Cratón Amazónico (CA), y la segunda que abarca toda la cordillera de los Andes y que en su mayoría está compuesta de rocas ígneas.

3.5.1. Modelo geotectónico

Tassinari y Macambira (1999) señalan que el CA, al NE de Sudamérica, está dividido en 6 grandes provincias geocronológicas, formándose durante el Paleoproterozoico y Mesoproterozoico como resultado de la adición de material proveniente del manto superior; los patrones geocronológicos indican que el incipiente protocratón se fue formando por pequeños microcontinentes que se fueron suturando mediante cinturones orogénicos.

El Cratón Amazónico se divide en dos grandes áreas, que se encuentran separadas por la cuenca del Río Amazonas; al norte es denominado el Escudo de Guyana y al sur el Escudo de Brasil o Escudo Guapore. El Escudo de Guyana conforma el basamento precámbrico de parte de Venezuela, Colombia, Guyana, Surinam y Brasil (Cramer *et al.*, 2011).

Las provincias geocronológicas que proponen Tassinari y Macambira (1999) son: Provincia Central Amazónica, Provincia Maroni-Itacaiúnas, Provincia Ventuari-Tapajós, Provincia Rio Negro-Juruena, Provincia Rondonian-San Ignacio y Provincia Sunsás. La Provincia Rio Negro-Juruena (RNJP) tiene partes en Brasil, Venezuela y Colombia. Las características geológicas de estas provincias se muestran en la figura 14 y en forma de tabla comparativa (Tabla 5).

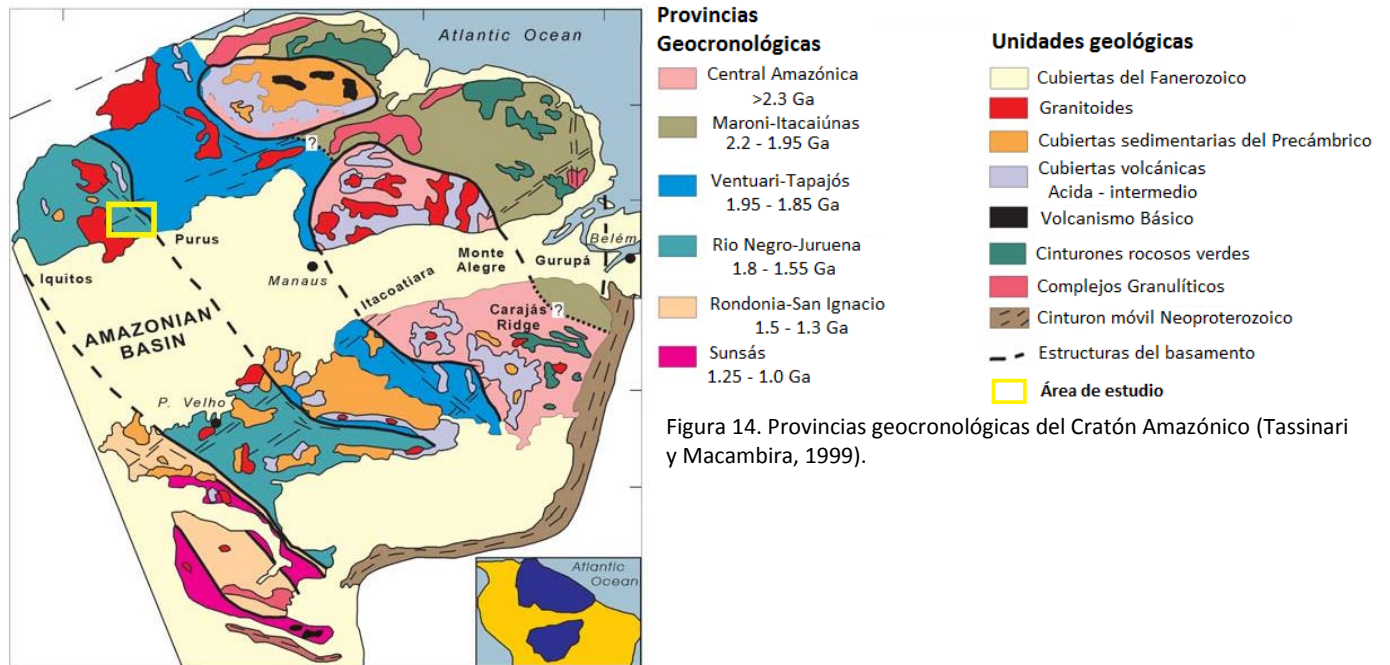


Figura 14. Provincias geocronológicas del Cratón Amazónico (Tassinari y Macambira, 1999).

La Provincia Rio Negro-Juruena, según Tassinari y Macambira (1999), es la provincia de mayor importancia para este estudio, ya que el área de muestreo se encuentra en el sector suroriental de la misma (Figura 14).

Tabla 5. Principales características de las provincias geocronológicas del Cratón Amazónico (Tassinari y Macambira, 1999)

Provincias Geocronológica	Rocas	Características estructurales	Relaciones estratigráficas	Edad	Otras observaciones
Provincia central amazónica (CAP)	Cubiertas del Fanerozoico, cubiertas volcánicas de composición acida-intermedia, granitoides, cubiertas sedimentarias del Precámbrico, cinturones rocosos verdes.	La provincia fue dividida en dos dominios: Bloque Carajás-Iricoumé y el Bloque Roraima.	No fue afectada por la Orogenia Transamazónica.	2.3 Ga., con algunas rocas que superan los 3.0 Ga.	Esta provincia conforma la parte más antigua y central del Cratón Amazónico.
Provincia Maroni-Itacaiúnas (MIP)	Cubiertas del Fanerozoico, cinturones rocosos verdes y complejos granulíticos.	Las secuencias supracrustales son intruidas por diferentes tipos de granitos, con edades de alrededor de 2.08 Ga.	Gran exposición de unidades metavolcánicas y metasedimentarias además de terrenos gnaúlicos y migmatitas neisicas.	2.2-1.95 Ga	Presenta algunos remanentes de rocas del basamento Arqueano como lo es el antiguo Complejo de Imataca en Venezuela mayor a 3,0 Ga, y el terreno exótico de Cupixi en Brasil.
Provincia Ventuari-Tapajós (VTP)	Granitoides, cubiertas sedimentarias del Precámbrico, cubiertas volcánicas de composición acida-intermedia.	Ocurre en una tendencia prominente NW-SE y se puede seguir desde el río Ventuari en el sur de Venezuela hasta el río Tapajós en Brasil.	Se encuentra dividida en dos dominios norte y sur con edades de 1.83-1.85 Ga y 2.0-1.85 Ga respectivamente.	1.95-1.8 Ga	En el sur existen depósitos BIF (<i>Banded Iron Formations</i>), importantes como recurso mineral de hierro en esta provincia.
Provincia Rio Negro-Juruena (RNJP)	Volcanismo básico, granitoides, cubiertas sedimentarias del Precámbrico, cubiertas volcánicas de composición acida-intermedia	Las unidades volcánico-sedimentarias en la región sur están relacionadas con sistemas de ruptura producidos en regiones continentales estables, como un reflejo de actividades orogénicas en áreas vecinas.	Las actividades magmáticas máficas en la RNJP ocurren dentro de tres períodos de tiempo diferentes; el mayor entre 1.4 y 1.35 Ga y los otros que van desde 1.25 a 1.15 Ga y desde 0.98 a 0.95 Ga	1.8 -1.55 Ga	La posición geográfica del área de estudio se encuentra en la parte norte de esta provincia.
Provincia Rondonia-San Ignacio (RSIP)	Complejos granulíticos, granitoides y cubiertas sedimentarias del Precámbrico.	Muestra fuertes estructuras NE-SW de sobreimpresión y tiene algunas regiones con caracteres ensialicos claros y otras con características magmáticas juveniles.	Existen dos grupos de granitoides con edades de 1.5 Ga y 2.0 a 1.7 Ga	1.5-1.3 Ga	Las rocas del basamento metamórfico están compuestas por terrenos de granito-neis-migmatitas y rocas granulíticas.
Provincia Sunsás (SP)	Granitoides, complejos granulíticos, volcanismo básico.	La porción sur-oeste está compuesta por sedimentos deformados y posteriormente metamorfoseados.	La parte sur occidental del cratón, está compuesta por sedimentos producto de la erosión de las rocas más antiguas y posterior metamorfismo, que son contemporáneos con una importante actividad magmática entre los 1,18-1,0 Ga.	1.25-1.0 Ga	Es la unidad tectónica más joven del Cratón Amazónico.

3.5.2. Geología, Estratigrafía y Sedimentología

El Departamento del Guainía se ubica en el extremo oriental de Colombia, en el borde SW del Escudo de Guyana, lo que corresponde a la provincia geocronológica Río Negro Juruena. Su basamento consiste principalmente en granitoides con edades de 1.8-1.55 Ga (Tassinari y Macambira, 1999). Este basamento ha sufrido a lo largo de su historia evolutiva varios eventos tectono-metamórficos, magmáticos y de retrabajo, que hoy le dan características típicas de una zona estable (Cramer *et al.*, 2011).

3.5.2.1. Geología

Maya-Sánchez (2001) en su investigación sobre las rocas metamórficas en la región del Guainía menciona lo siguiente: compuesta principalmente por rocas graníticas de origen anatético asociadas a gneises migmatíticos con biotita y silicatos de aluminio, gneises graníticos constituidos como transición con los granitoides, y menos abundantes micaesquistos, cuarcitas, anfibolitas y gneises anfibolíticos; estas rocas localizadas al sur del Río Guaviare hasta el Río Pira Paraná. Estas rocas fueron formadas por un evento metamórfico de alta temperatura y baja presión que varía desde la facies anfibolita alta hasta el dominio anatético y hacen parte del Complejo Migmatítico del Mitú. Esta gran variedad de rocas fue afectada por diferentes eventos como el evento metamórfico Transamazónico, el Pargüense, y el Nickeriense.

3.5.2.2. Estratigrafía

Para fines prácticos las rocas metamórficas de la región de Guainía son dos unidades: Complejo del Mitú y el Granito Rapakivi de Parguaza. Sin embargo, cabe resaltar que toda la superficie en esta región selvática está cubierta por rocas sedimentarias del Cuaternario, tal y como lo describe el INGEOMINAS en la lámina 297 Puerto Inírida con escala 1:100000.

- Depósitos aluviales actuales

Depósitos arcillosos desarrollados en las márgenes de los drenajes actuales, predominan los colores cremas a rosados. En la margen izquierda del Río Guaviare son arenosos y de varios tonos de grises.

- Llanuras de desborde antiguas

Llanuras aluviales antiguas, por donde han divagado los cauces de los ríos Atabapo, Inírida y Guaviare, con paleoformas meándricas estranguladas.

- Suelos residuales arcillosos

Peneplanicies de colores crema a pardo, desarrolladas por procesos de meteorización y degradación de granitoides ricos en feldespatos, con desarrollo de perfiles de suelos arcillosos.

- Suelo residual arenoso

Extensas áreas peneplanizadas por los procesos de meteorización de las rocas graníticas y metamórficas, donde predominan arenas cuarzosas blancas de grano medio a grueso, subangulares a subredondeadas, y de espesor no superior a 1.0 m que cubren niveles arcillosos grises a cremas, producto de procesos de meteorización típicos de clima tropical húmedo, donde se presentan fluctuaciones del nivel freático y desbordes de las quebradas durante los periodos de lluvias.

3.5.2.3. *Sedimentología*

La mayoría de los depósitos auríferos de oro aluvial en las cuencas medias y bajas de los ríos Inírida y Guainía son relativamente similares y comparten características sedimentológicas. López-Africano (1998) elaboró una descripción esquemática sobre esto, haciendo énfasis en la secuencia mayormente enriquecida con oro y que a continuación se explica.

La secuencia aurífera (Figura 15) muestra la siguiente distribución: Hacia el piso, la roca basal puede ser pizarrosa, migmatítica o granítica según la zona geológica por la cual transcurra la corriente. Suprayaciendo el basamento se encuentran niveles arcillosos algo endurecidos, de color morado, blanco o moteado, inmediatamente y sobre éste aparece un nivel de gravas finas, compuesta por fragmentos de cuarzo subredondeados a redondeados y con tamaños menores a 5 cm; este nivel

es conocido como “Granzón” y contiene la mayor parte del oro explotado. Sobre el Granzón se encuentra una capa de arena consolidada, con cemento de óxidos e hidróxidos de hierro de color marrón que los mineros la llaman “Mocororo” (no en todos los cortes se observa esta capa).

Sobre el Mocororo o sobre el Granzón se encuentra una capa de lodolitas con restos de material orgánico (ramas y hojas), de color azul o gris. Sobre ella descansa un nivel arenoso, de arenas silíceas finas y a veces conglomeráticas de color blanco o amarillo, de grano subredondeado a redondeado. En el lecho de los ríos sobre esta capa se encuentra el nivel inferior de agua, y en las terrazas y vegas sobre las arenas aparece una capa de lodolitas arenosas, de color amarillo, ocre y rojo con cristales subredondeados de cuarzo. Por último, se halla el horizonte de suelos que puede ser arenoso o limoso.

El oro en los aluviones está acompañado de minerales pesados y resistentes como la magnetita, rutilo, ilmenita, circón, tantalita y platino. Tanto el oro como sus acompañantes se encuentran diseminados en las arenas y especialmente en los niveles de gravas, pero pueden encontrarse acumulaciones formando ollas u olletas, obedeciendo a la hidrodinámica del río, a las condiciones de canal y a las trampas en los lechos rocosos que atraviesa.

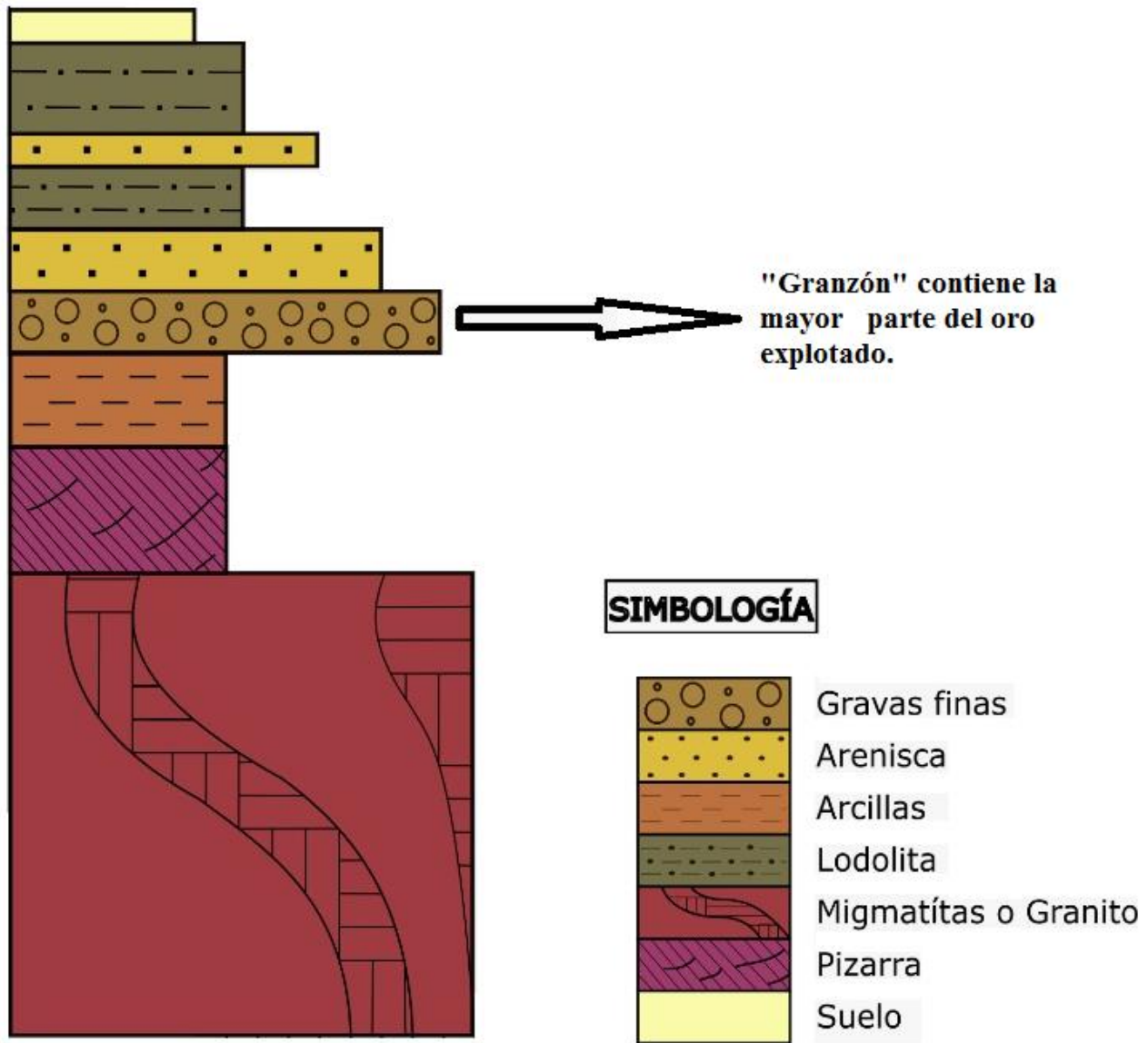


Figura 15. Columna estratigráfica esquemática en la que se muestra la secuencia aurífera de mayor importancia para los mineros, según la descripción de López-Africano (1998).

3.5.3. Hidrografía y geomorfología



Figura 16. Inundaciones por temporada de lluvias, en medio de la selva.

3.5.3.1. Hidrografía

En el departamento del Guainía existen dos estaciones bien definidas, de abril a noviembre, y de diciembre a marzo, llamadas popularmente “invierno” y “verano”, respectivamente, pero correspondiendo a las temporadas lluviosa y seca. Con un promedio de precipitación anual de 3250 mm, las lluvias se concentran en la primera.

Las lluvias inundan (Figura 16) buena parte del territorio, limitando las actividades de exploración y acotándolas principalmente al periodo de verano (López-Africano, 1998).

Debido a una topografía relativamente baja predominan los ríos meándricos de baja energía que migran constantemente para poder transportar los sedimentos.

La zona de estudio, de acuerdo a López-Africano (1998), es rica en recursos hídricos: ríos, caños, quebradas, lagunas y pantanos. Desde la cuenca alta hasta Puerto Colombia, en su cuenca media, el río Guainía tiene una longitud de 490 kilómetros y sus afluentes más importantes son los *caños* Chamusequene, Apiare, Colorado, Naquén, Arzamasa y Arsín.

3.5.3.2. Geomorfología

Las formas de relieve predominantes del departamento del Guainía (Figura 17) es el resultado de diferentes tipos de rocas y procesos geológicos, los cuales dieron origen a 5 tipos de geoformas (López-Africano, 1998): (a) Montes islas o “*Inselberg*”, (b) serranías, (c) peneplanicies, (d) terrazas, y (e) aluviones recientes.

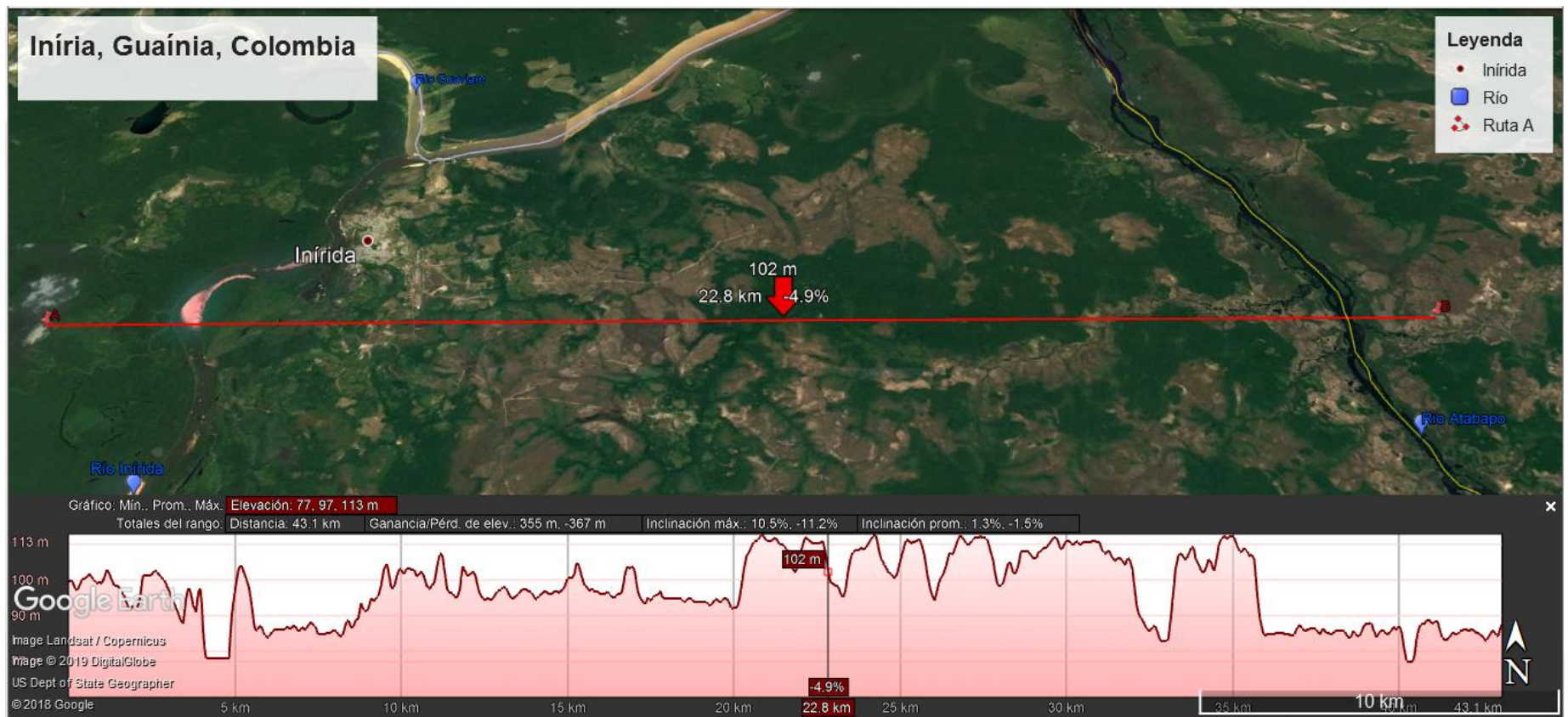


Figura 17. Imagen donde se aprecian algunas geoformas de la región cercana a Inírida, Guainía. Tomado de: Google. (s.f.). [Mapa de Inírida, Colombia en Google maps]. Recuperado el 10 de marzo, 2019, de: <https://www.google.com/maps/@3.8683,-67.92392,5123m/data=!3m1!1e3>

- Montes Islas o “Inselberg”: Son remanentes de rocas migmatíticas y graníticas del complejo migmatítico del Mitú, que pertenecen a estructuras formadas en las últimas etapas de



Figura 18. Cerros de Mavacure.

penneplanización a que fue sometida la zona. La altura de éstas estructuras oscila entre 50 y 300 metros, la forma de ellos es por lo general redondeada, con un patrón de drenaje radial y casi siempre sin cobertura vegetal (Figura 18).

- Serranías: Se manifiestan como cuerpos alargados, con fuerte disección. Algunas veces los límites de las serranías se encuentran controladas por fallas y los núcleos de sus estructuras por lo general están erosionados. Entre las más importantes están la Serranía del Naquén (580 msnm), Serranía de Caranacoa (650 msnm) y la Serranía de Mapiripana (300 msnm).



Figura 19. Peneplanicie donde se observan las rocas y sedimentos arenosos.

- Peneplanicie: Constituye el relieve de la mayor parte del área, con superficies planas a semionduladas. Regionalmente se manifiesta como una planicie disectada, sobre la cual se observan las serranías y los inselberg. La peneplanicie (Figura 19) se desarrolló sobre rocas migmatíticas y graníticas precámbricas, recubiertas por sedimentos arenosos recientes de poco espesor.

- Terrazas: Son formaciones planas y disectadas, que se localizan por encima de las cotas de inundación de los ríos. Las terrazas aparecen como estructuras locales y forman barrancos paralelos a los cauces de ríos y caños. Están formadas por depósitos terciarios-cuaternarios, de limos, arenas y gravas.

- Aluviones recientes: Están asociados con áreas planas y forman los valles de los actuales ríos. Sedimentos limosos, gravas y arenas constituyen los lechos y vegas actuales; en algunas áreas se observan meandros abandonados, resultado de la divagación y desplazamiento de las corrientes.

3.6. Tipos de yacimiento de placer

En una acepción detallada Viladevall-Solé (2004) define los depósitos de placer de la siguiente manera: “la acumulación económica de minerales de alta resistencia físico-química procedentes de la desmantelación de yacimientos, de zonas pre-enriquecidas, de desechos antrópicos o de todo el conjunto a la vez, cuyo vector de concentración ha sido la actividad de los agentes de transporte exógenos tales como el agua, el hielo y el viento”.

Viladevall-Solé (2004) propone que los depósitos de placer se pueden clasificar primeramente por las interacciones físicas y/o químicas (Figura 20) que los producen y los explica de la siguiente manera:



Figura 20. Tipos de depósitos de placer (Viladevall-Solé , 2004).

A. Los placeres eluviales son aquellos que se desarrollan a partir de un área enriquecida o pre-enriquecida junto con un componente ambiental de tipo climático. En ellos predominan los fenómenos químicos sobre los físicos con lo que sus efectos resultantes tienen un carácter netamente residual.

B. Si el material disgregado, caso de un depósito eluvial, sufre un desplazamiento gravitacional, acumulándose en algunos puntos de una ladera, dará lugar a un tipo de placer denominado diluvial. El origen de estos placeres tendrá una componente química (eluvial) y una componente física (transporte y en parte clasificación).

C. Si las acumulaciones se sitúan al pie de la pendiente los placeres formados se les denomina de tipo pro-aluviales y en ellos la componente física (transporte y clasificación) es superior a la componente química.

D. Cuando las acumulaciones, o parte de ellas de los placeres eluviales, diluviales y/o pro-aluviales, son removilizadas, transportadas y clasificadas por las aguas, y depositadas en los ríos (lecho vivo), en sus márgenes y/o en sus terrazas, los placeres resultantes se denominarán aluviales.

Estos mismos depósitos aluviales pueden clasificarse dependiendo su ambiente de sedimentación: (a) de barra, (b) de cauce, (c) de valle, (d) de terraza, y (e) de delta.

CAPITULO 4: Resultados

4.1 Características y parámetros morfológicos de los granos de oro

4.1.1. Distribución del tamaño de las partículas

Se utilizó un microscopio binocular y una rejilla graduada con la se realizaron las mediciones tridimensionales de largo (A), ancho (B) y alto (C), donde $A > B > C$, además de una clasificación de redondez, esfericidad y se calculó el índice de aplanamiento como se muestra en la tabla 6. Tambien se calcularon parámetros estadísticos básicos (tabla 7) para el eje de alargamiento (a).

En la figura 21 se muestra un histograma en el cual se observan los acumulados respecto al rango de su eje de alargamiento (A).

Tabla 6. Distribución del tamaño de las partículas en milímetros, esfericidad, redondez e índice de aplanamiento.

# Muestras	A	B	C	Esfericidad	Redondez	Índice de aplanamiento
M-1	2.5	1.3	0.6	B	1	3.2
M-2	2.0	1.0	0.3	A	3	5.0
M-3	3.3	2.0	0.9	B	1	2.9
M-4	1.4	0.8	0.9	B	1	1.2
M-5	2.1	0.7	0.5	B	1	2.8
M-6	1.7	1.4	1.0	B	1	1.6
M-7	1.2	0.8	0.5	B	1	2.0
M-8	1.0	0.6	0.2	B	1	4.0
M-9	1.7	1.2	0.2	A	2	7.3
M-10	1.8	1.0	0.5	B	1	2.8
M-11	1.6	1.0	0.5	A	3	2.6
M-12	1.0	0.8	0.4	B	1	2.3
M-13	1.3	1.0	0.5	A	2	2.3
M-14	1.5	1.3	0.5	B	3	2.8
M-15	1.0	0.6	0.4	B	1	2.0
M-16	0.9	0.8	0.5	B	1	1.7
M-17	1.0	0.6	0.5	A	2	1.6
M-18	0.8	0.8	0.5	A	2	1.6
M-19	1.3	1.0	0.6	B	1	1.9
M-20	1.4	1.0	0.6	B	1	2.0
M-21	1.0	0.9	0.2	A	4	4.8
M-22	1.2	0.7	0.4	B	3	2.4
M-23	1.5	0.4	0.3	B	4	3.2
M-24	0.9	0.6	0.3	A	1	2.5

M-25	0.9	0.5	0.2	B	3	3.5
M-26	1.0	0.4	0.4	B	2	1.8
M-27	1.2	1.0	0.2	B	3	5.5
M-28	0.7	0.6	0.5	B	2	1.3
M-29	1.2	0.9	0.5	B	1	2.1
M-30	1.7	0.4	0.2	B	4	5.3

La redondez está representada mediante categorías numéricas (1-4): 1= Angular, 2= subangular, 3= subredondeado, 4=redondeado. La esfericidad está clasificada solo en dos categorías: A= Alta esfericidad, B=baja esfericidad.

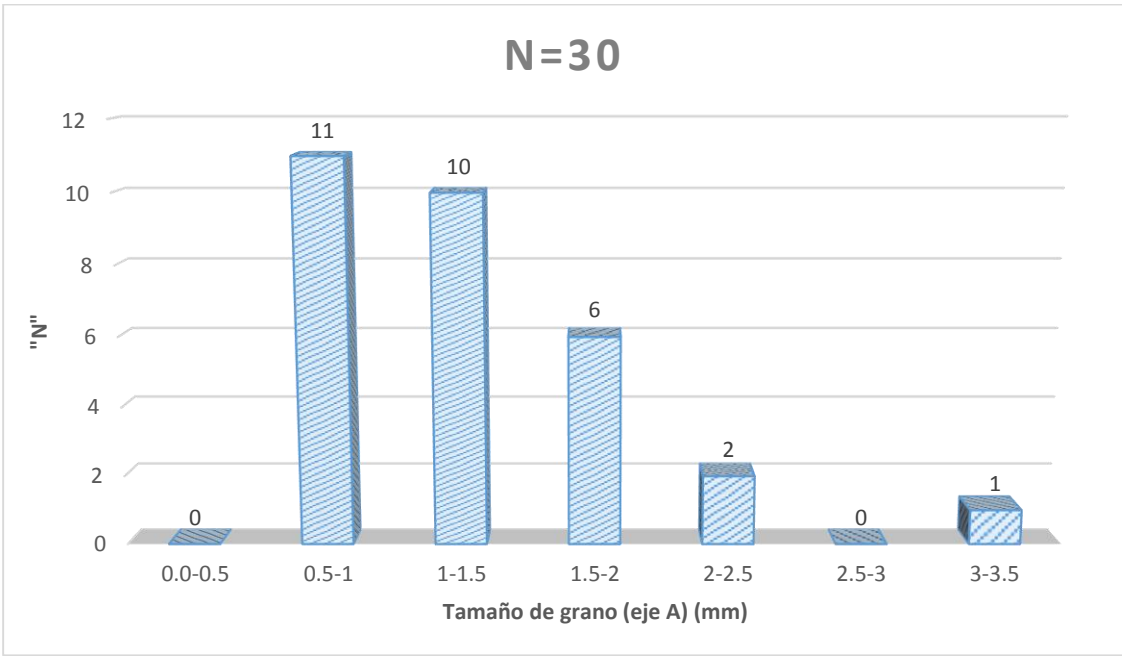


Figura 21. Diagrama con los acumulados para todas las partículas de acuerdo a su rango de tamaño (A = dirección de alargamiento).

Tabla 7. Parametros estadísticos básicos para el eje A de las pepitas de oro.

Eje	Rango	Moda	Promedio	Desviacion estandar (σ)
Eje de alargamiento (A)	2.6 mm	1 mm	1.39 mm	0.55 mm

4.1.2. Redondez y esfericidad

La redondez (Figura 23) nos habla sobre que tanto ha sido transportada una partícula con base en la angulosidad o suavidad de sus bordes. Entonces a mayor transporte los bordes serán más suaves. La esfericidad (Figura 24) es una manera de describir la forma de las partículas, analizando que tanto se aproximan o parecen a una esfera.

A continuación se muestra el diagrama (Figura 22) que se utilizó para realizar esta estimación visual.



Figura 22. Redondez en las partículas cuando tienen alta o baja esfericidad (tomado de Freile, 2018)

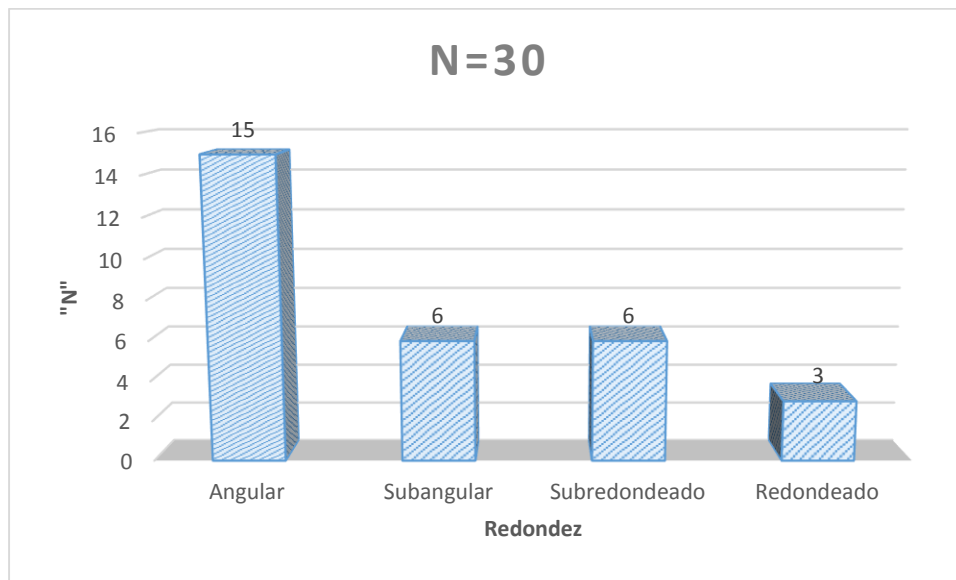


Figura 23. Diagrama con los acumulados de acuerdo a su nivel de redondez.

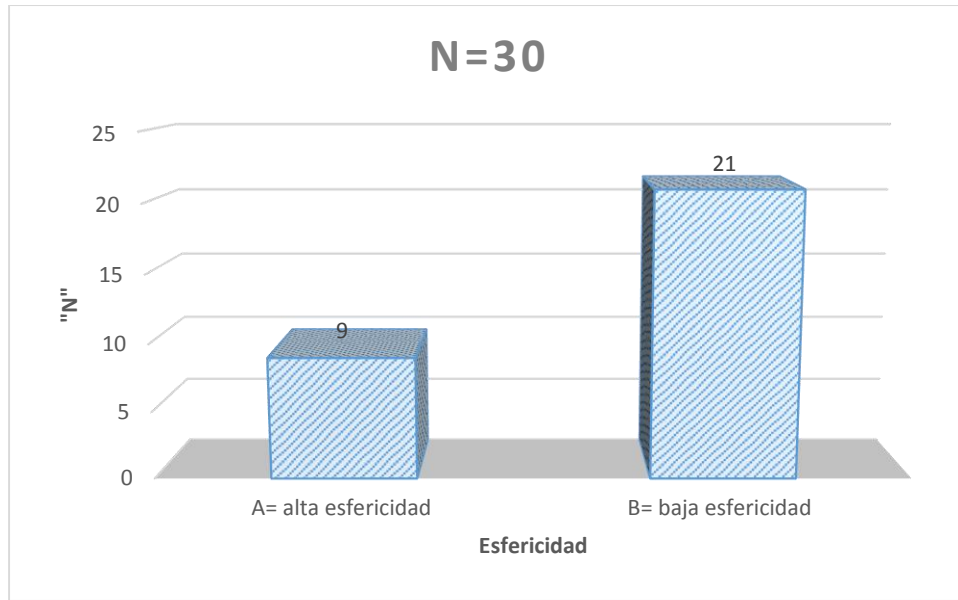


Figura 24. Diagrama con los acumulados de acuerdo a su grado de esfericidad.

4.1.3. Diagrama de Zingg

Los diagramas de Zingg (1935) son comúnmente utilizados para describir la forma de las partículas utilizando sus medidas tridimensionales; se miden tres ejes ($A > B > C$) perpendiculares entre sí y, dependiendo de las razones B/A y C/B , se obtendrá una clasificación numérica que diferencia 4 campos diferentes (Figura 25). Las 4 posibles formas son: discoidal/oblado, equidimensional/esférico, laminado y prolado.

Después de haber graficado las 30 muestras como se observa en la figura 26 se puede precisar que el 86% de la población total de muestras se identifica con las formas discoidales y laminar, mientras que el porcentaje restante corresponde a las formas equidimensional y prolado.

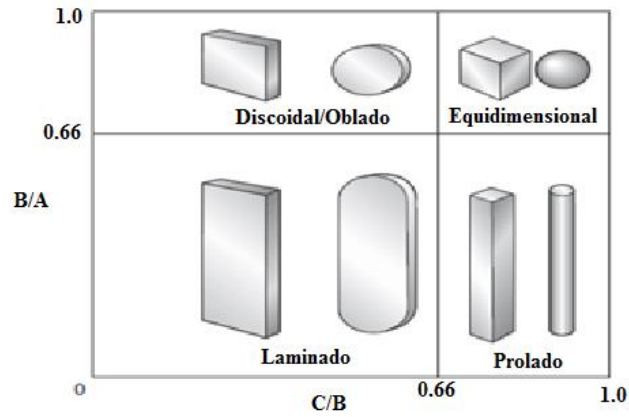


Figura 25. Diagrama de Zingg en el cual se muestra las 4 posibles formas de una partícula (tomado de Mendoza-Rosales, 2011)

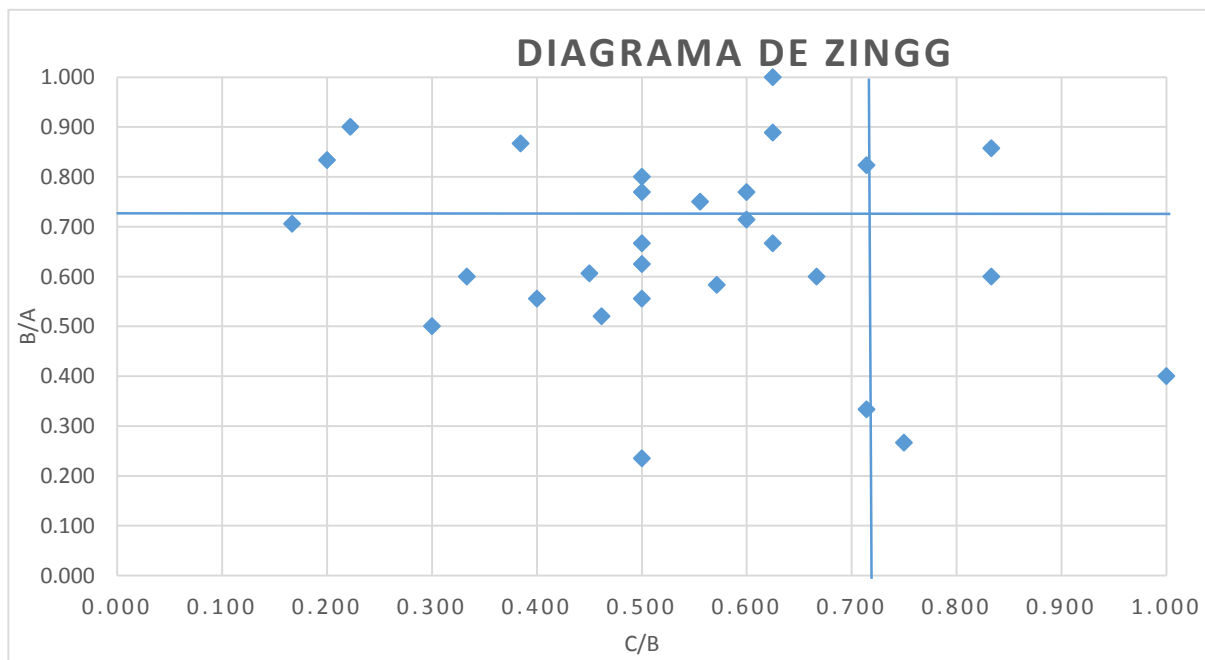


Figura 26. Diagrama de Zingg en el que se muestra la distribución de las pepitas de oro.

4.1.4. Índice de aplanamiento

Para poder obtener este parámetro descriptivo de forma, se utilizó la fórmula de Cailleux (1945):

$$(FI) = (a+b)/2c.$$

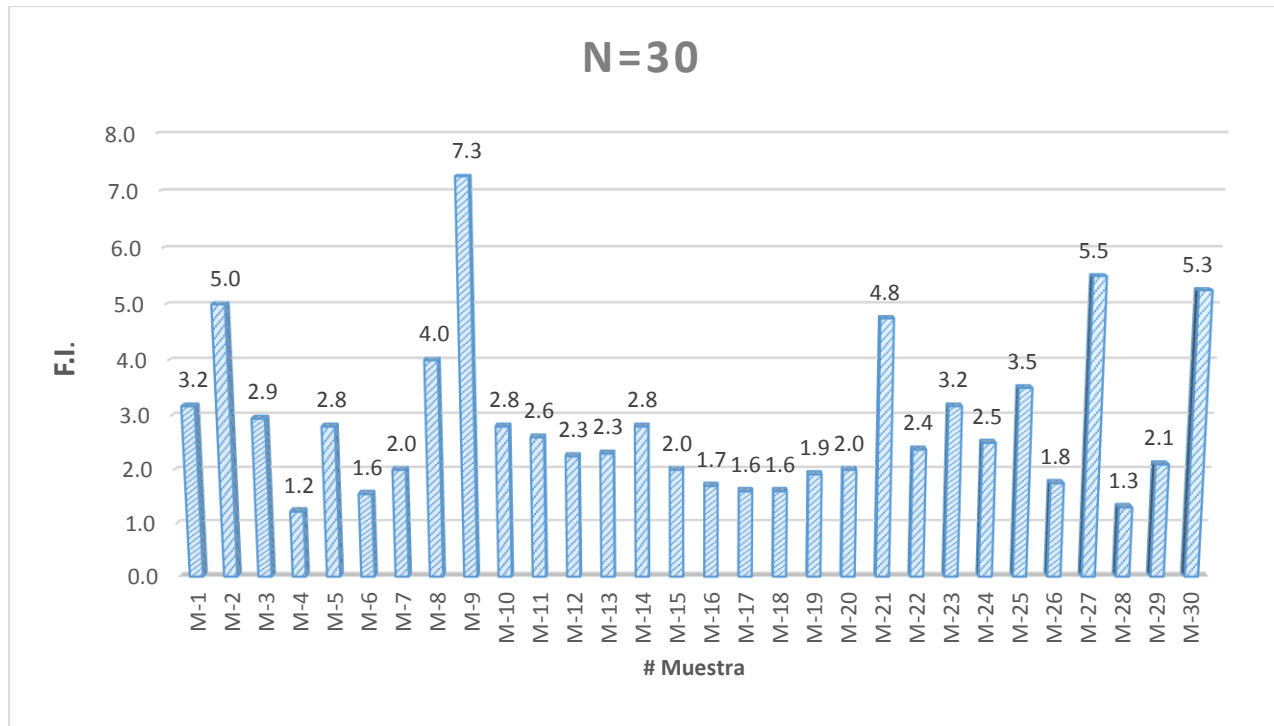


Figura 27. Diagrama en el que se muestra el resultado del F.I. para cada partícula.

Donde FI es el *índice de aplanamiento*, mientras que a, b y c son tres ejes perpendiculares de la partícula (largo, intermedio, pequeño, respectivamente) (Figura 27).

4.1.5. Estimación de distancia respecto a la fuente

Para esta sección se ocuparon las tablas propuestas por Townley *et al.* (2003); sin embargo, cabe resaltar que el autor recomienda utilizar la tabla 4.

Las características que se observaron y se tomaron en cuenta para la clasificación de los diferentes grupos de transporte (Figura 28 y 29) corresponden a las descripciones que a continuación se mencionan:

- 0-50 m: Granos de oro con contornos muy irregulares, impresiones de minerales, superficie irregular, presencia de cuarzo, óxidos de hierro, y un *Flatness index* de 1.0-3.0.
- 50-300 m: los contornos y superficies regulares, con un *Flatness index* de 2.1-4.6 y sin inclusiones minerales.
- 300-1000 m: contornos y superficie regular con presencia de impactos, sin inclusiones minerales y un *Flatness index* de 3.0-8.6.
- >1000 m: los contornos se notan muy regulares y pulidos, mientras que las superficies tienen estriaciones, sin presencia de inclusiones minerales y un *Flatness index* de 4.0-16.0

Para una mejor apreciación de las características morfológicas que se tomaron en cuenta para esta clasificación se recomienda consultar los anexos del 1 al 5 que se encuentran al final de esta tesis.

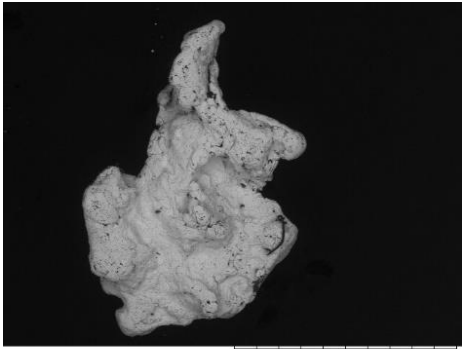

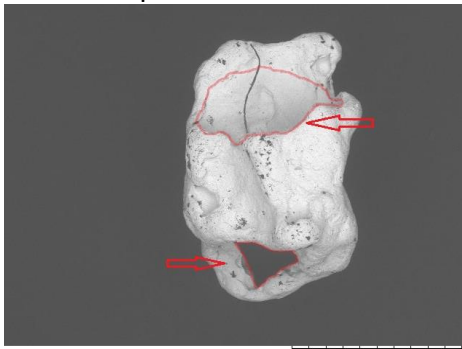
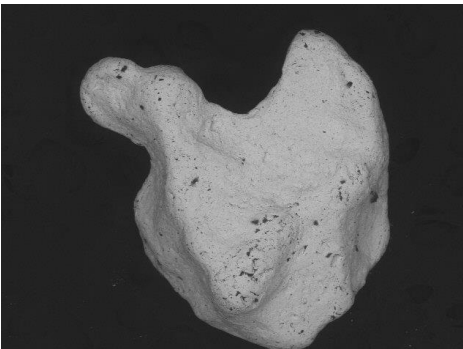
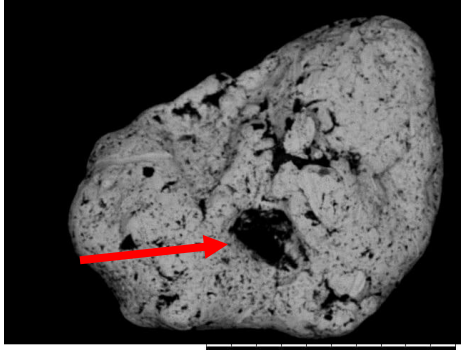

	0-50 (m)	50-300 (m)
Contornos	<p>Muy irregulares</p>  <p>B21976 2018/09/27 10:30 L x80 1 mm</p>	<p>Regular</p>  <p>B21967 2018/09/27 10:05 L x80 1 mm</p>
Rasgos superficiales	<p>Superficie irregular e impresiones minerales primarias</p>  <p>B21935 2018/09/26 12:18 L x60 1 mm</p>	<p>Regular</p>  <p>B21988 2018/09/27 12:27 L x80 1 mm</p>
Inclusiones minerales	<p>Óxidos</p>  <p>B22029 2018/10/01 10:15 L x180 500 um</p>	<p>Cuarzo</p>  <p>B21985 2018/09/27 12:18 L x100 1 mm</p>

Figura 28. Características comunes que se tomaron en cuenta según los rangos de distancia de 0-50 (m) y 50-300 (m).

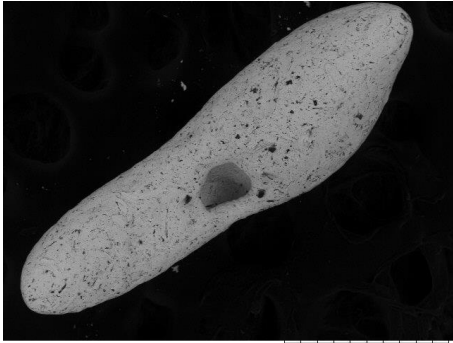
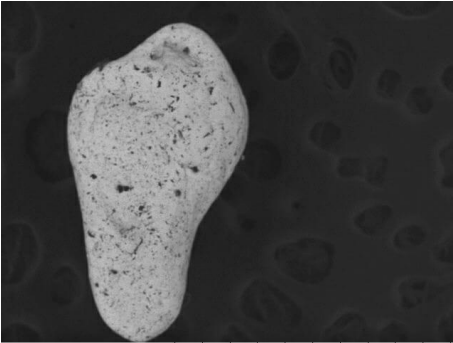
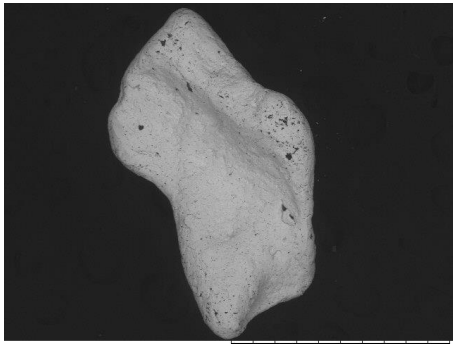
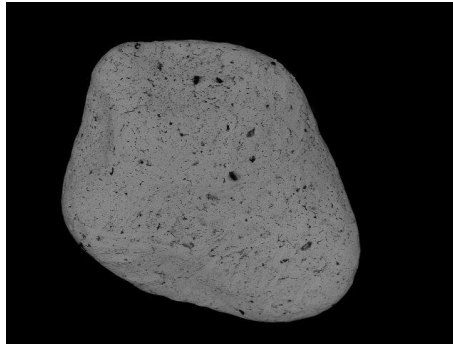
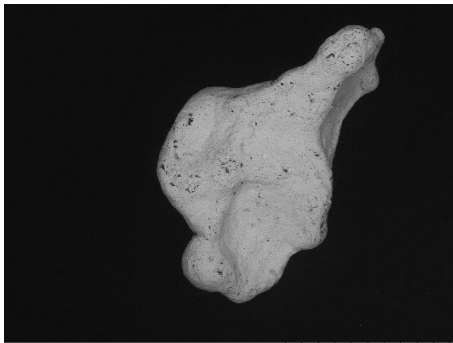
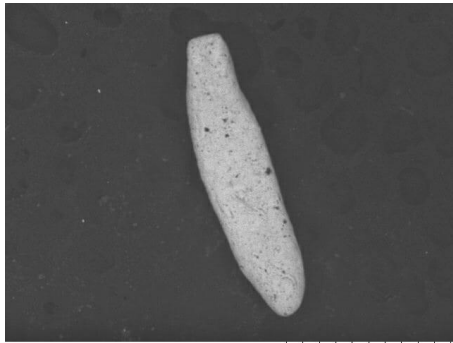
	300-1000 (m)	>1000 (m)
Contornos	<p>Regular</p>  <p>B22039 2018/10/01 11:14 L x120 500 um</p>	<p>Muy regular</p>  <p>B22034 2018/10/01 10:51 L x100 1 mm</p>
Rasgos superficiales	<p>Regular</p>  <p>B21982 2018/09/27 12:10 L x80 1 mm</p>	<p>Muy regular y bordes bastante limados</p>  <p>B22040 2018/10/01 11:19 L x120 500 um</p>
Inclusiones minerales	<p>Sin inclusiones</p>  <p>B21970 2018/09/27 10:12 L x60 1 mm</p>	<p>Sin inclusiones</p>  <p>B21784 2018/09/13 16:59 L x60 1 mm</p>

Figura 29. Características comunes que se tomaron en cuenta según los rangos de distancia de 300-1000 (m) y >1000 (m).

Los resultados del conteo realizado es el que se observa en la Tabla 8.

Tabla 8. Frecuencia y porcentaje acumulado para cada rango de distancia de transporte.

<i>Rango de distancia (m)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>%</i>
0-50	15	50%
50-300	9	30%
300-1000	3	10%
>1000	3	10%

4.2. Composición química de los granos de oro

4.2.1. Análisis realizados en el núcleo de los granos

Se analizó el núcleo de 4 granos de oro, los cuales forman parte del grupo de transporte de 0-50 m. Este análisis se realizó en un EPMA con el uso del espectrómetro EDS, los resultados se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Concentración porcentual en peso del núcleo de los granos de oro para los diferentes elementos químicos de cuatro muestras (M1, M3, M4 y M5).

# Muestra	Elementos y peso %						
	Mn	Fe	Cu	As	Ag	Au	Si
M-1	0.000	0.061	0.388	0.000	1.835	96.692	1.025
M-3	0.000	0.000	0.43	0.000	2.880	95.791	0.899
M-4	0.147	0.25	0.383	0.076	1.305	96.954	0.887
M-5	0.000	0.188	0.328	0.000	0.942	97.731	0.810

Los valores fueron calculados al 100% en peso.

Se procedieron a graficar los valores peso % normalizados al 100% (Tabla 10) de los elementos oro, plata y cobre de cada pepita en el diagrama ternario (Figura 30).

Tabla 10. Concentraciones de oro, cobre y plata normalizadas al 100% en peso para su posterior graficación en la figura 30.

# Muestra	Elementos y peso %		
	Au	Cu	Ag
M1	97.75	0.39	1.86
M3	96.66	0.43	2.91
M4	98.29	0.39	1.32
M5	98.72	0.33	0.95

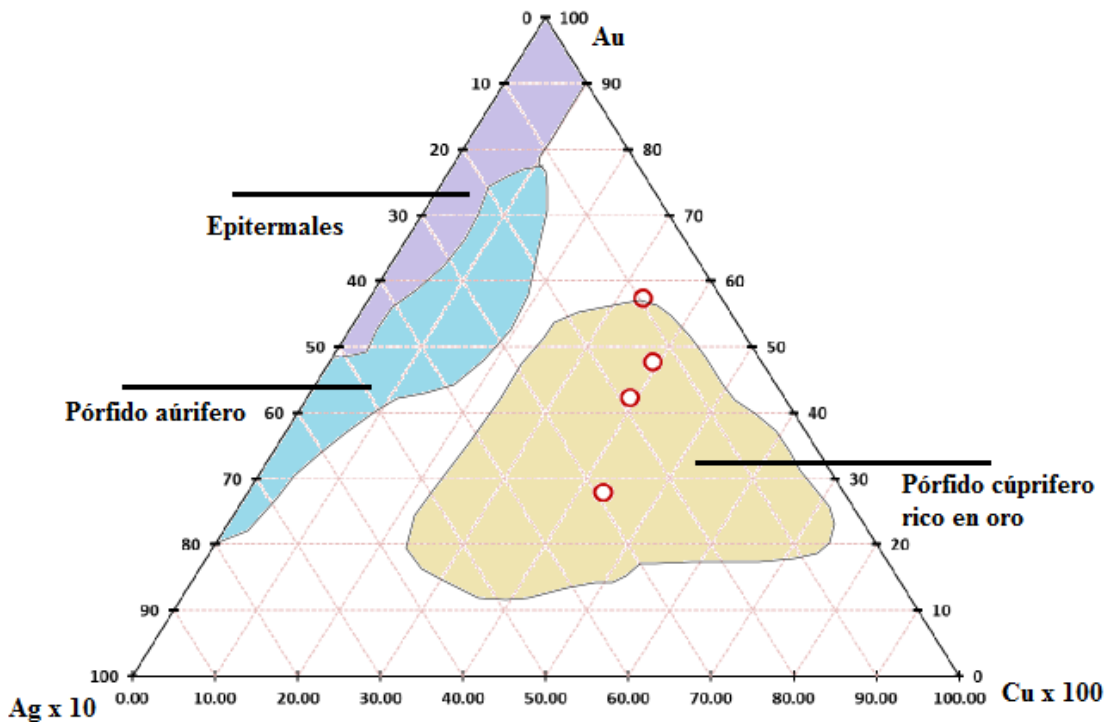


Figura 30. Diagrama ternario propuesto por Townley et al. (2003), en el cual se graficaron las 4 pepitas de oro de acuerdo a sus concentraciones de oro, plata y cobre.

4.2.2. Análisis realizados en la superficie de los granos

Los resultados de 30 análisis composicionales (Au wt%) medidos con EDS en la superficie de cada grano de oro se muestran en la tabla 11, además de una curva de porcentajes acumulados con los mismos datos (Figura 31).

Tabla 11. Concentración de Au peso % medidos con EDS en la superficie de cada grano de oro.

Au peso %					
65.9	82.9	92.1	97.7	98.6	98.8
69.8	83.3	92.6	98.0	98.7	99.1
73.6	86.0	93.7	98.3	98.7	99.1
74.3	90.1	95.1	98.4	98.7	99.1
82.3	91.1	95.8	98.5	98.8	100.0

La curva de porcentajes acumulados que se muestra en la figura 31 se realizó graficando cada uno de los 30 valores de menor a mayor en contenido porcentual en peso de oro. Esto con la finalidad de poder apreciar que aproximadamente el 50% del total de la población tiene una tendencia (línea roja) con porcentajes que van desde el 95% peso en oro hasta el 100%. Mientras que el resto, es una curva con frecuentes quiebres hasta el 30% de los porcentajes acumulados, pero siempre con una tendencia positiva en los porcentajes de contenido de oro para cada muestra, hasta llegar a formar la tendencia marcada en línea roja antes mencionada.

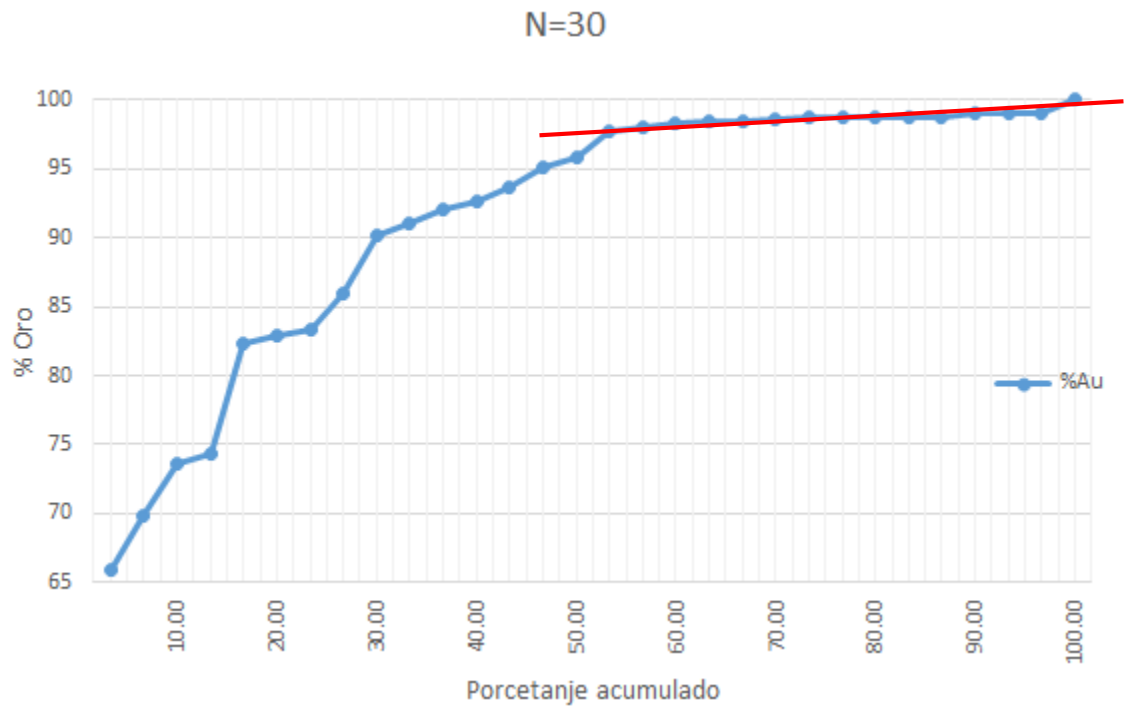
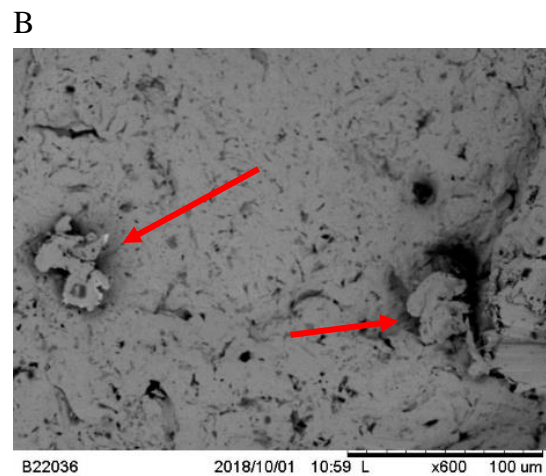
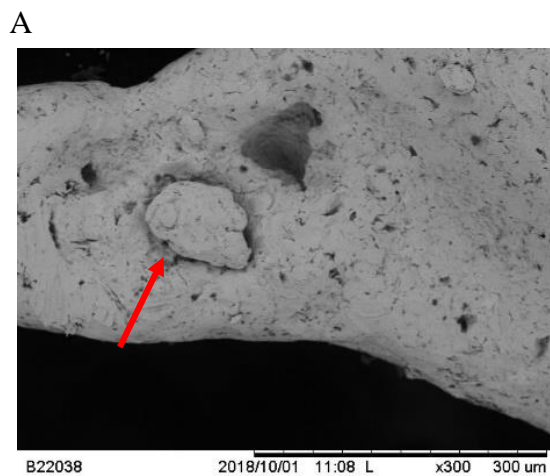


Figura 31. Diagrama donde se observa una familia de concentraciones de muy alta pureza en oro, con valores superiores al 96%.

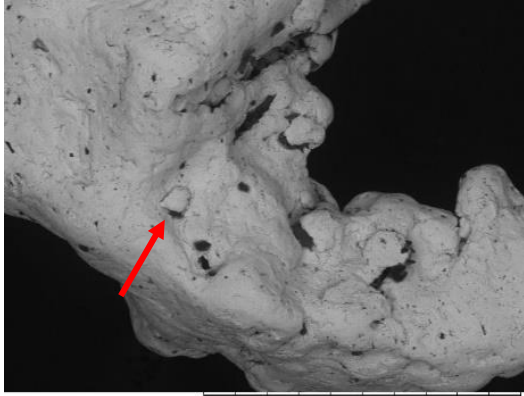
4.3. Enriquecimiento supergénico del oro

En las imágenes tomadas con SEM se muestra que existen acreciones de pequeñas láminas de oro con un tamaño que oscila entre las pocas decenas y 100 μm . En la imagen A de la figura 32 se muestra una hojuela de aproximadamente 120 μm , con una forma semiredondeada y contornos regulares; siendo este tipo de forma la más predominante aunque con tamaños que varían como en las imágenes: C, D y E. Mientras que en la imagen B las hojuelas son de aproximadamente 40 μm , de contornos y superficies irregulares y con formas angulosas. En la imagen G se observa una hojuela de aproximadamente 10 μm con una forma redondeada y contornos y superficie regular.

En las imágenes siguientes (Figura 32) se aprecian muy claramente acreciones de pequeños granos o laminillas de oro en la superficie de las pepitas.

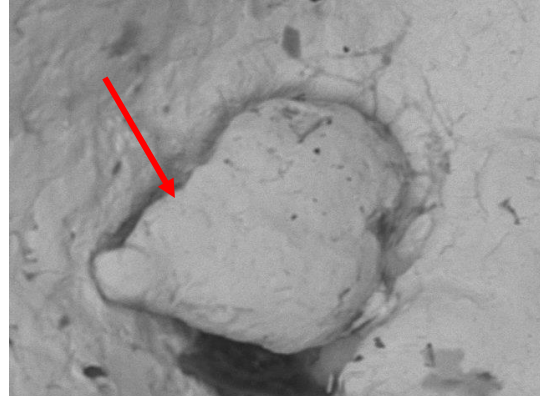


C



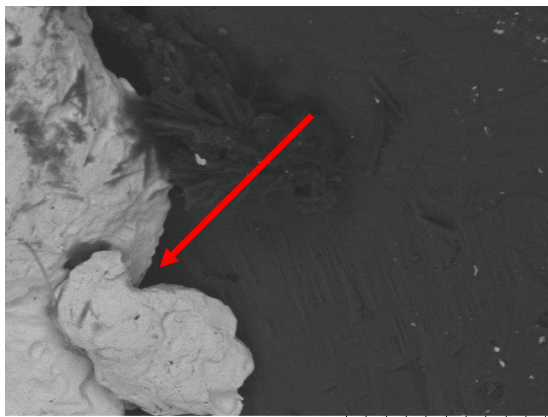
B21974 2018/09/27 10:21 L x200 500 um

D



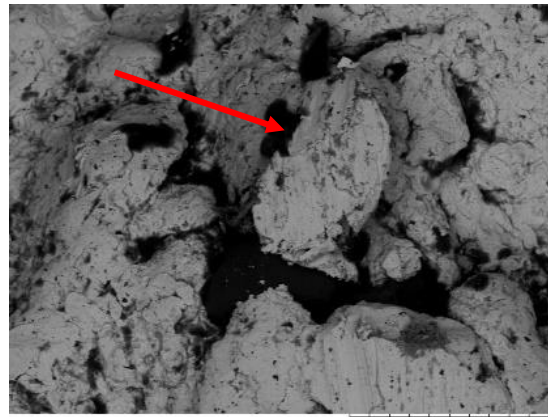
B21975 2018/09/27 10:25 L x2.0k 30 um

E



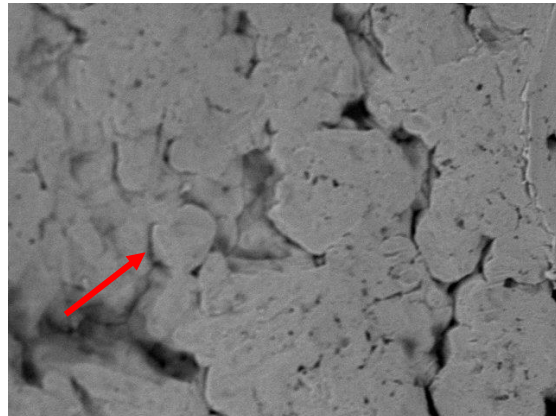
B21987 2018/09/27 12:25 L x1.2k 50 um

F



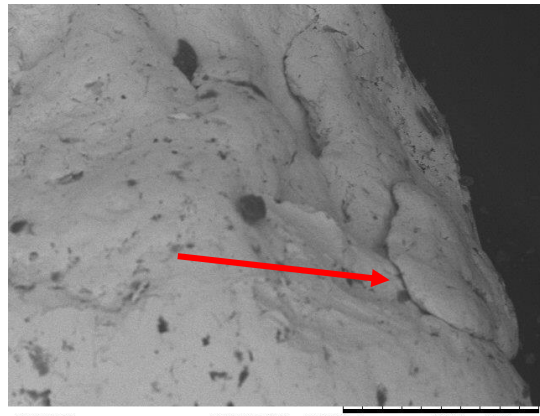
B22030 2018/10/01 10:17 L x600 100 um

G



B22041 2018/10/01 11:21 L x3.0k 30 um

H



B21787 2018/09/13 17:05 L x600 100 um

Figura 32. Imágenes en las que se observan pequeñas laminillas agregadas a los granos de oro.

En las imágenes (Figura 33) se muestran pequeñas cavidades, en formas alargadas como pequeños canales con tamaños aproximados de 100 μm ; como se observan en la imagen A. En la imagen B estas cavidades son de un tamaño aproximado a las 30 μm y aunque de tamaño más pequeño sigue compartiendo la misma forma descrita para las de la imagen A. Estas cavidades son evidencia de la lixiviación que ha sufrido la plata o cobre en la superficie de las pepitas, aunque se observaron con poca claridad.

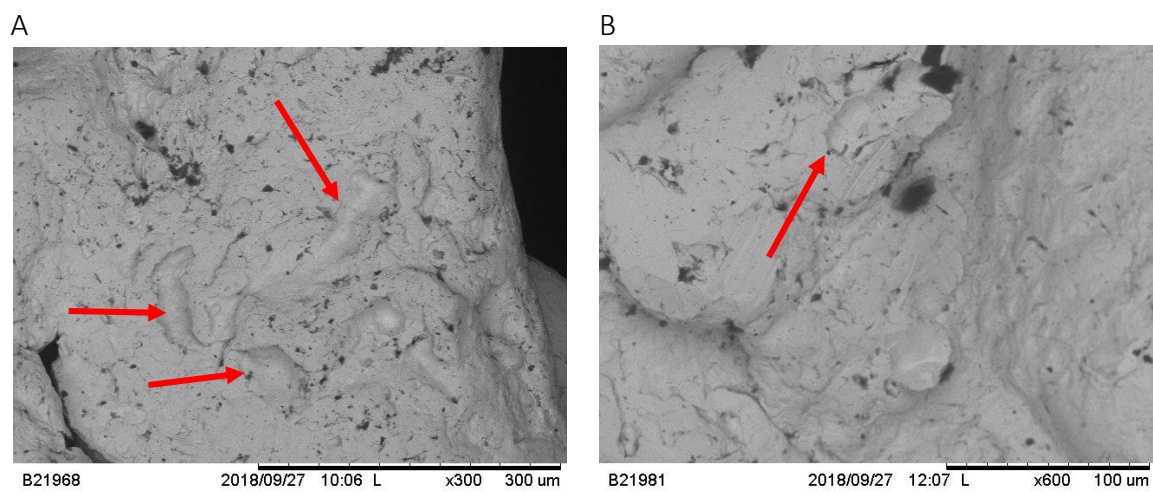


Figura 33. Pequeñas cavidades como posibles evidencias de lixiviación de plata o algún otro metal.

Capítulo 5: Discusión

5.1. Estimación del transporte a partir de la morfología de las partículas de oro

El 70% (Figura 24) de las pepitas se clasifican como de baja esfericidad, es decir, con formas más alargadas que equidimensionales, quedando esto evidente en el diagrama de Zingg (Figura 26), donde la mayor cantidad de puntos se encuentran en la zona de discoidal y laminado, pero con tendencia poco pronunciada. Esto se refuerza con los índices de aplanamiento bajos (Figura 27), dado que son partículas poco aplanadas y mayormente angulosas a subangulosas (Figura 23). Por lo tanto, las pepitas estudiadas son poco transportadas; esto está respaldado por las texturas superficiales, ya que a menor transporte estas últimas tienden a ser menos relevantes y sucede lo contrario a mayor distancia cuando las pepitas tienden a aplanarse y alargarse dejando mayor exposición de contacto en sus superficies.

Para este caso de estudio, los granos de oro muestran muchas impresiones de minerales y en algunos casos se observan pequeños cristales de cuarzo (Figura 28), lo que se interpreta como poco transporte en las partículas de oro, ya que si hubieran sido altamente transportadas por una gran distancia estas huellas se borrarían debido a la abrasión que sufren con otros sedimentos o al martilleo con el cual los bordes se van plegando y la partícula comenzaría a elongarse. Estos granos, desde el punto de vista de la sedimentología, son granos poco transportados por el hecho de tener una redondez angulosa a subangulosa y/o seguir conservando bordes y superficies irregulares tal como lo describe en sus tablas (2, 3 y 4) Tonwley *et al.* (2003).

5.2. Enriquecimiento supergénico en granos de oro

Para el caso del enriquecimiento supergénico de las pepitas se obtuvieron dos evidencias muy claras, una de carácter visual (Figura 32 y 33) y otra de índole químico (Figura 31). Visualmente se comprueba la agregación de pequeñas laminillas mientras que los análisis químicos hechos con EDS en superficie revelan muy alta pureza (línea roja en Figura 31) del oro en más del 50 % de las muestras, en tanto los resultados más bajos podrían ser debido a que el enriquecimiento no ha sido

homogéneo para toda la superficie o simplemente que la medición se dio en zonas con presencia de impurezas propias del ambiente en que se encontraban las pepitas.

El enriquecimiento supergénico para este caso es irrelevante pero no por ello se debe descartar ya que en algunos casos, un análisis químico apresurado y hecho solamente en superficie no es confiable y solo se estaría midiendo lo que llaman “mostaza o pintura de oro” y no la verdadera pureza o concentración del contenido de oro en la pepita.

5.3. Química mineral en pepitas de oro y su relación con la fuente hipogénica

Los análisis químicos realizados (Tabla 9) muestran homogeneidad en los contenidos de los metales que comúnmente se encuentran en aleación con el oro nativo, como lo es Ag y el Cu. Para el caso de la Ag, los valores oscilan entre 0.9 y 2.9 % en peso, y 0.3-0.4 % en el caso del Cu; al no encontrarse otros metales con mayores abundancias y tener un contenido de 95.7-97.7% en peso de Au, se revela que las pepitas son de un oro de alta *fineza*.

De acuerdo a Tonwley *et al.*, (2003) y tomando los resultados de la figura 30 se puede inferir que se trata de un yacimiento tipo pórfido cuprífero rico en oro, más este resultado solo se debe tomar como una posibilidad y apoyo en los primeros escenarios de la exploración minera ya que no se cuenta con conocimiento geológico previo de la zona de estudio y la evidencia sobre los contenidos de Au-Ag-Cu podría ser considerada no suficiente. La poca cantidad de muestra que se analizó en este trabajo para la utilización del diagrama de la figura 30, le resta valor estadístico, pero mediante el método que propone Townley *et al.* (2003) es posible inferir esa fuente primaria para el oro.

Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones

- Poco más del 60% del total de la población de pepitas de oro tiene un tamaño de 0.5mm a 1.5mm, mientras que solo el 3.33% poseen un tamaño máximo de 3-3.5mm.
- El 70% de las pepitas de oro tienen baja esfericidad y el 50% tienen una redondez muy angulosa.
- La gran mayoría de los granos poseen una forma entre discoidal y laminada, pero poco pronunciada. Esto se puede constatar observando los índices de aplanamiento los cuales son muy bajos.
- El 80% de las muestras se encuentran en un rango de distancia de transporte aproximado de hasta 1 km, siendo el grupo más representativo de 0-50 m con un 50% del total de la población, mientras que el 20% restante del total de las muestras se desconoce su rango de distancia de transporte.
- Los análisis químicos realizados al núcleo de los granos de oro muestran muy alta fineza con valores superiores al 95% en peso de Au.
- De acuerdo al diagrama que propone Townley *et al.* (2003) la fuente primaria del Au corresponde a un depósito tipo pórfido cuprífero rico en oro.

Recomendaciones

1. Es necesario buscar otras técnicas que permitan un conocimiento mineralógico de las posibles inclusiones que pudiera tener el oro y así aproximarse más a la relación de su génesis y posible yacimiento.
2. Hacer un análisis mineralógico de los minerales pesados dentro de los sedimentos con los que se encuentre el oro aluvial en la realización de los últimos bateos.
3. Investigar o desarrollar una metodología específica para pulir las pepitas de oro hasta el llamado pulido espejo y de esta manera realizarles un análisis de mayor calidad en microsonda electrónica con espectrómetro WDS.

Referencias

- Amaya-Perea, Z., Franco-Victoria, J., Cramer, T., Alvarado-Ávila, A., Latorre-Correa, C., Castañeda-Gómez, A., Bonilla-Pérez, A. (2012). Asociaciones de minerales estratégicos en el Departamento del Guainía. *Geología Colombiana*, 37 (1), 39-40.
- Baquedano, E. (2005). El oro azteca y sus conexiones con el poder, la fertilidad agrícola, la guerra y la muerte. *Estudios de cultura Náhuatl*, 359-381.
- Barrett, P. (1980). The shape of rock particles, a critical review. *Sedimentology*, 27, 291-303.
- Butt, C., Hough, R. (2004). Gold nuggets: form and composition. CRC LEME, CSIRO Exploration and Mining, 1.
- Chapman, R., Leake, B., Styles, M. (2002). Microchemical Characterization of Alluvial Gold Grains as an Exploration Tool. *Gold Bulletin*, 35 (2), 53-65.
- Cramer, T., Amaya-Perea, Z., Franco, J.A., Bonilla-Pérez, A., Poveda, Á.P. (2011). "Caracterización de depósitos aluviales con manifestaciones de tantalio y niobio ("coltán") en las comunidades indígenas de Matraca y Caranacoa, departamento del Guainía". Bogotá: Instituto colombiano de geología y minería, 1-190.
- Díaz-Castillo, B. ((1568) 1976)). *Historia verdadera de la conquista de la Nueva España*. Ciudad de México: Editorial Porrúa.
- Douglas, L., Hansen, T. (2009). El oro que brilla desde el otro lado: aspectos transfronterizos de la fiebre del oro californiana, 1848-1862. *Secuencia*, 7), 41-58.
- Espinoza, I.G. (1988). El enriquecimiento supergénico del oro. *Bol. Depto. Geol. Uni-Son*, 5, 71-86.
- Freile, D. (2018). <https://www.njcu.edu/>. New Jersey City University. Obtenido de: [web.njcu.edu/sites/faculty/dfreile/content/geos_334.asp](https://www.njcu.edu/sites/faculty/dfreile/content/geos_334.asp)
- Froese D.G., Zazula, G.D., Westgate, J.A., Preece, S.J., Sanborn P.T., Reyes, A.V, Pearce, N. (2009). The Klondike gold fields and Pleistocene environments of Beringia. *GSA Today*, 19, 4-10.
- García-Jacome, E. (1978). El oro en Colombia. *Sociedad Geográfica de Colombia*, 33, 1-32.
- Giusti, L. (1986). The morphology, mineralogy, and behavior of fine-grained gold from placer deposits of Alberta: sampling and implication for mineral exploration. *Canadian Journal of Earth Science*, 23, 1662-1672.
- González-Serrano, P. (1996). El vestido y la cosmética en el antiguo Egipto. *Espacio, Tiempo y Forma, Serie II, Historia Antigua*, 9, 31-54.
- Google. (s.f.). [Mapa de Inírida, Colombia en Google maps]. Recuperado el 3 de Octubre, 2018, de: <https://www.google.com/maps/@3.8683,-67.92392,5123m/data=!3m1!1e3>
- Güiza, L., Aristizábal, J. D. (2013). Mercury and gold mining in Colombia: a failed state. *Universitas Scientiarum, Journal of the Faculty of Sciences, Pontificia Universidad Javeriana*, 18(1), 33-49.

Hérail, G., Fornar, G., Viskarra, G., Miranda, V. (1990). Morphological and chemical evolution of gold grains during formation of a polygenetic fluvial placer: the Mio-Pleistocene Tipuani placer example (Andes, Bolivia). *Chronique de la Recherche Minière*, 500, 41-49.

Instituto Colombiano de Geología y Minería-INGEOMINAS. (2010). Cartografía geológica y muestreo geoquímico de las planchas 297 – Puerto Inírida, 297 bis – Merey y 277 bis – Amanaven, departamento del Guainía, 1-158.

Kosmos Scientific de México. (2002-2019). [kosmos]. Monterrey, Nuevo León, Mexico. Descargado de:

https://www.kosmos.com.mx/fileadmin/documentos/Catalogos/CAT.38.SPA_MICRO.pdf

Knight, J., Morison, S., Mortensen, J. (1999). The relationship between placer gold particle shape, rimming, and distance of fluvial transport as exemplified by gold from the Klondike District, Yukon Territory, Canada. *Economic Geology*, 94, 635-648.

Lachowicz, H. (2009). Depósitos supergenos de oro. *Revista Politécnica*, 30(1), 48-69.

López-Africano, P. E. (1998). Aspectos geológicos, mineros y ambientales cuenca media y alta de los ríos Guainía e Inírida. Puerto Inírida: Convenio con el servicio nacional de aprendizaje - SENA.

López, J., Mora, B. M., Jiménez, D. M., Khurama, S., Marín, E., Obando, G., Celada, C. M. (2010). Cartografía geológica y muestreo geoquímico de las planchas 297- Puerto Inírida, 297 bis-Merey y 277 bis- Amaven, Departamento del Guainía. Bogotá: Instituto Colombiano de Geología y Minería.

Márquez-Zavalía, M.F., Southam, G., R. Craig, J., Galliski, M. A. (2004). Morphological and chemical study of placer gold from the San Luis Range, Argentina. *The Canadian Mineralogist*, 42, 169-182.

Maya-Sanchez, M. (2001). Distribución, facies y edad de las rocas metamórficas en Colombia. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.

Melchiorre, E.B., Orwin, P.M., Reith, F., D. Rea, M.A., Yahn, J., Allison, R. (2018). Biological and Geochemical Development of Placer Gold Deposits at Rich Hill, Arizona, USA. *Minerals*, 8, 56, 1-21.

Melgarejo, J. M., Proenza, J. A., Galí, S., Llovet, X. (2010). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62, 1-23.

Mortensen, J., Chapman, R., LeBarge, W., Jackson, L. (2004). Application of placer and lode gold geochemistry to gold exploration in western Yukon. *Yukon Geological Survey*, 205-212.

Palacios, C., Hérail, G., Tonwley, B., Makshev, V., Sepúlveda, F., Parseval, P., Parada, M. (2001). The composition of gold in the Cerro Casale gold-rich porphyry deposit, Maricunga belt, northern Chile. *The Canadian Mineralogist*, 39, 907-915.

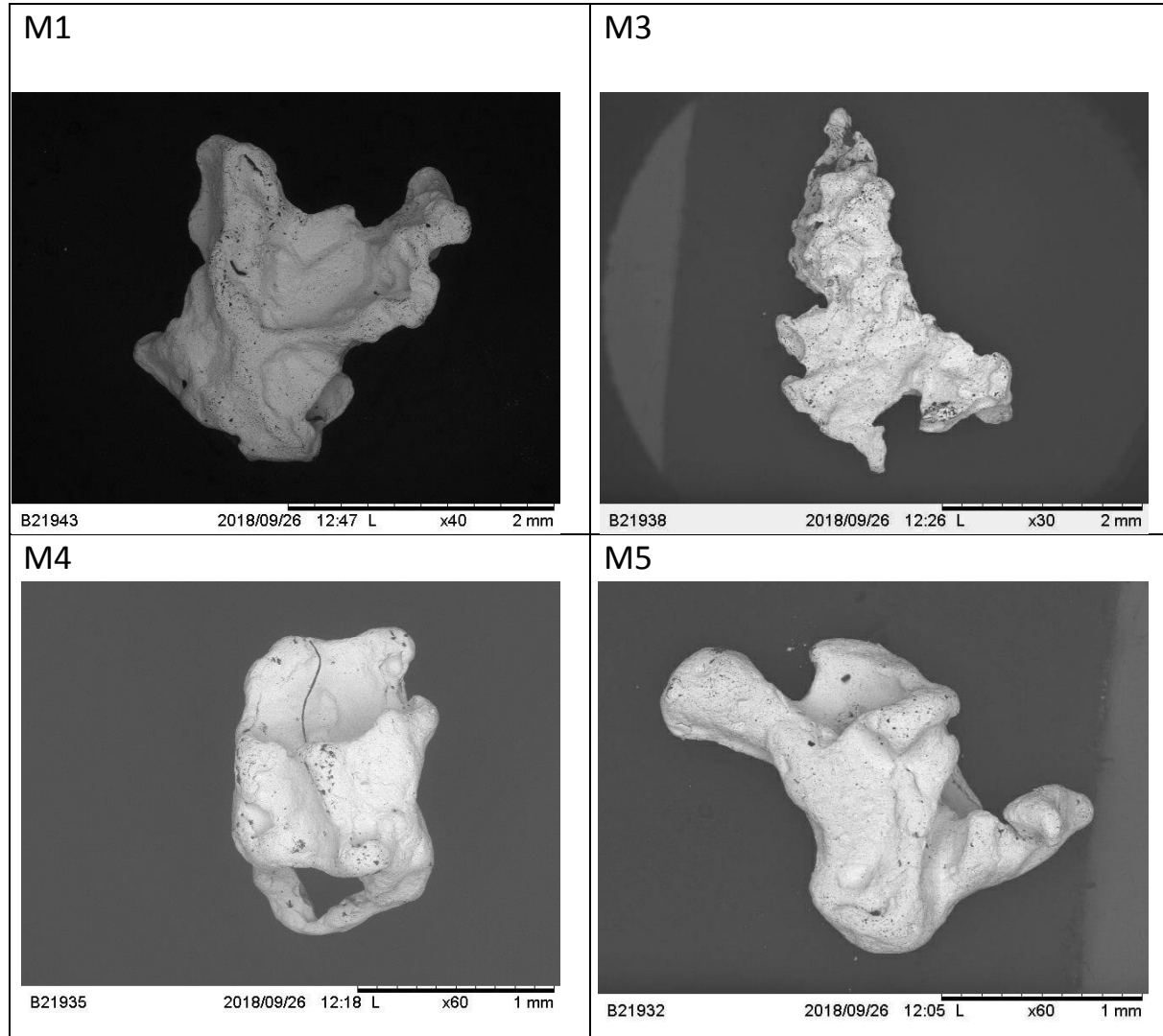
Mendoza-Rosales (2011). UNAM-DGAPA-PAPIME PE105211 (2011-2012). "Mejoramiento del Proceso de Enseñanza-Aprendizaje en el área de Geología de Campo, con base en la elaboración y difusión en Internet de presentaciones temáticas y de colecciones digitales de rasgos geológicos para reafirmar los conceptos del área."

Roca-Meisel, A. (28 de Mayo del 2010). Inírida. *EL ESPECTADOR*, pág. 12.

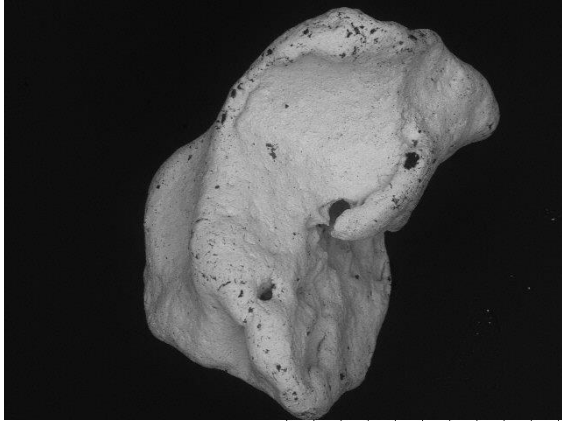
- Ruíz-Caro, A. (2004). Situación y tendencias de la minería aurífera y del mercado internacional del oro. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 1-85.
- Servicio Geológico Mexicano- SGM (2018). Precio metales. Visible en: https://www.sgm.gob.mx/SINEMGobMx/precio_hist_metal.jsp
- Serrano, P. G. (1996). El vestido y la cosmética en el Antiguo Egipto. Espacio, tiempo y forma. Serie II, Historia antigua, 31-54.
- Tassinari, C. G., Macambira, J. B. (1999). Geochronological provinces of the Amazonian Craton. Geochronological Research Center, 174-182.
- Toscano, M., Pérez-López, R., Sáez, R. (2012). Concentración de minerales pesados mediante técnicas. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 20(2), 164-172.
- Townley, B., Hérail, G., Maksaev, V., Palacios, C., Parseval, P., Sepulveda, F., Ulloa, C. (2003). Gold grain morphology and composition as an exploration tool: application to gold exploration in covered areas. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 3, 29-38.
- Unidad de Planeación Minero Energética -UPME. (2012). Anexos estadísticos: Minería Bogota: Subdirección de Información, Anexos 22.
- Urán, A. (2013). La legalización de la minería a pequeña escala en Colombia. Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales, 255-283.
- Viladevall-Solé, M. (2004). La prospección de placeres de oro y otros minerales densos. Barcelona: Grupo Consolidado en Innovación Docente, 1-158.
- Vila-Sánchez, A., Díaz-Martínez, R., Proenza, J., & Melgarejo, J. (2004). Caracterización morfológica, textural y composicional de las partículas de oro reveladas en placeres marinos de las playas Mejías y Jiguaní (NE de Cuba oriental). São Paulo, UNESP, Geociências, 43-53.
- Wierchowicz, J. (2002). Morphology and chemistry of placer gold grains indicators of the origin of the placers: an example from the East Sudetic Foreland, Poland. Acta Geologica Polonica, 563-576.

Anexo 1

Pepitas que comprenden el primer rango de distancia: 0-50 metros.

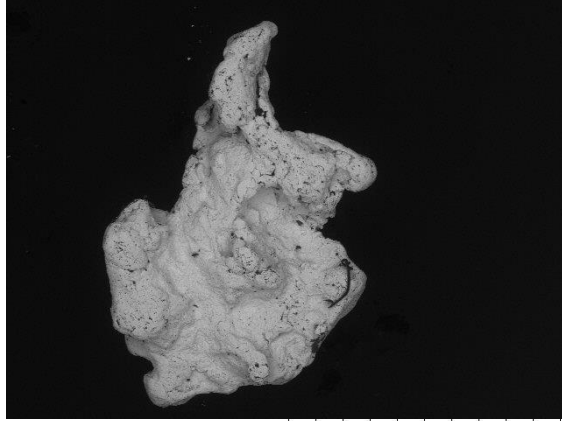


M6



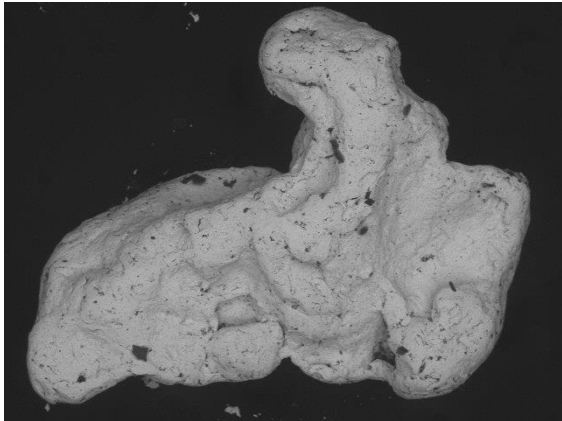
B21978 2018/09/27 10:35 L x80 1 mm

M7



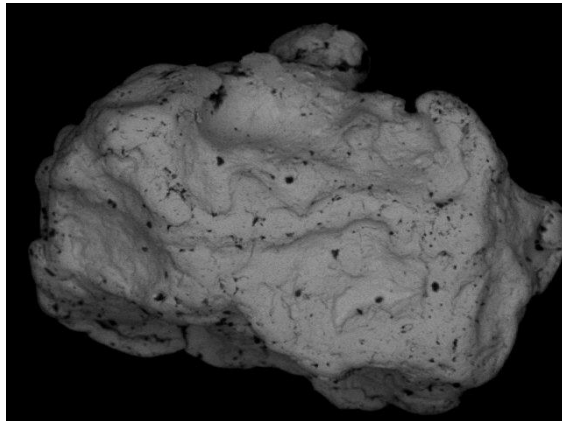
B21976 2018/09/27 10:30 L x80 1 mm

M15



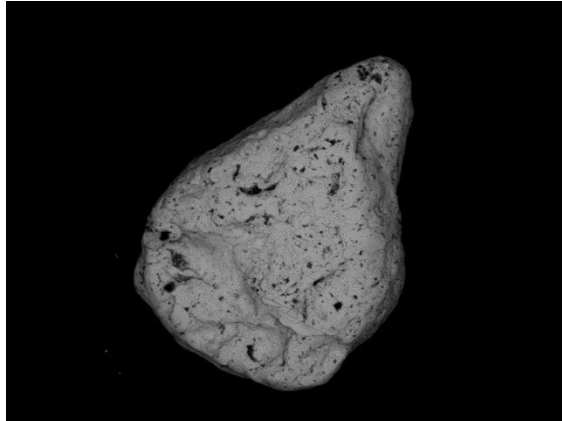
B21980 2018/09/27 12:07 L x150 500 um

M16



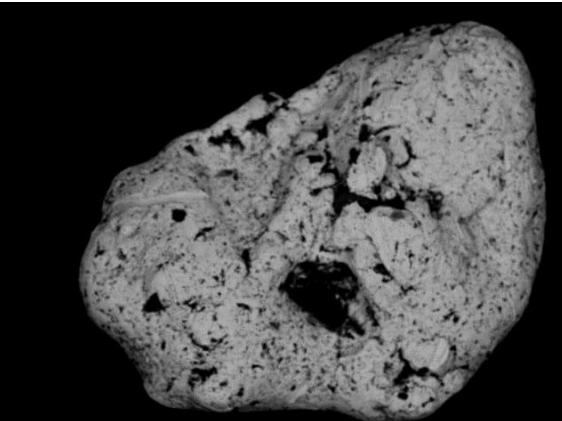
B22025 2018/10/01 10:04 L x180 500 um

M17



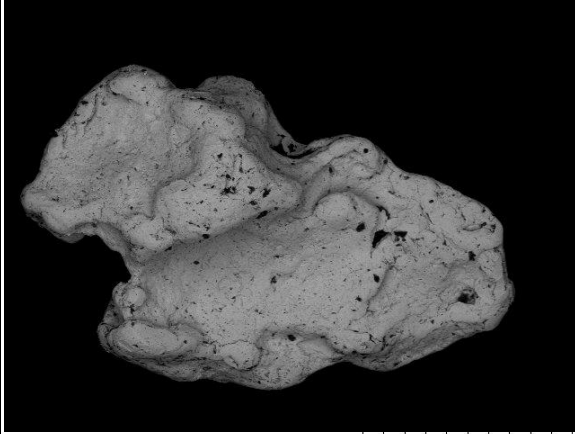
B22027 2018/10/01 10:10 L x120 500 um

M18



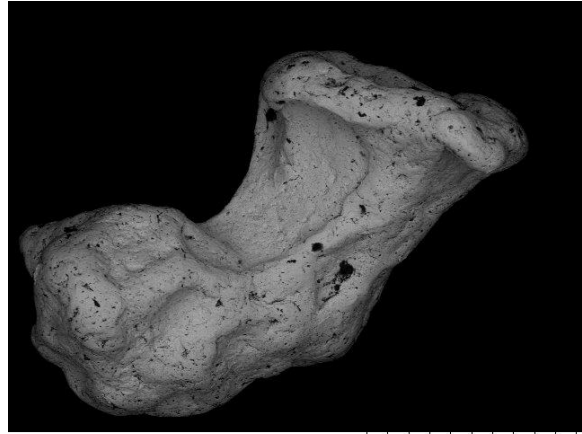
B22029 2018/10/01 10:15 L x180 500 um

M19



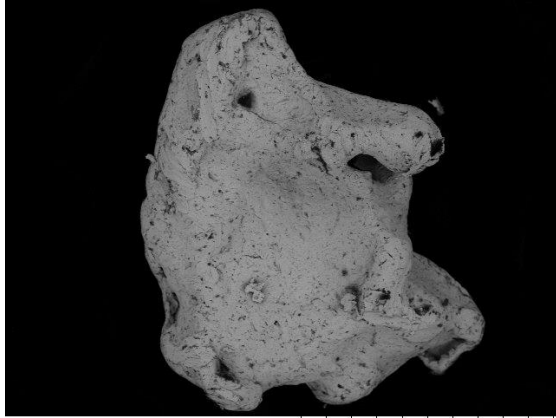
B22032 2018/10/01 10:29 L x120 500 um

M20



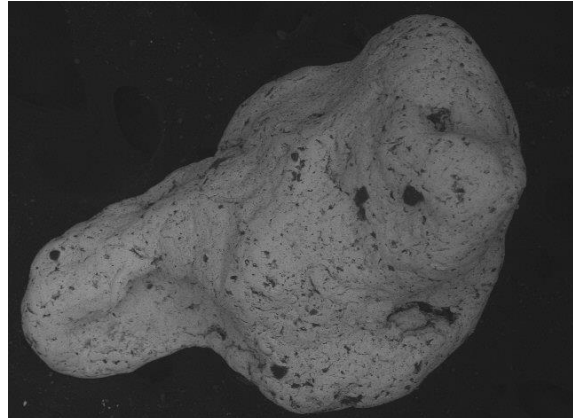
B22031 2018/10/01 10:23 L x120 500 um

M24



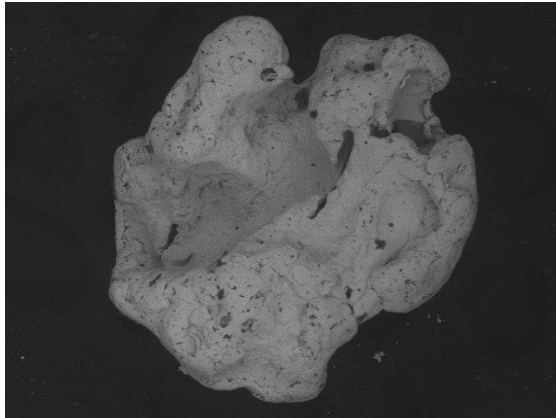
B22035 2018/10/01 10:57 L x150 500 um

M26



B21790 2018/09/13 17:20 L x180 500 um

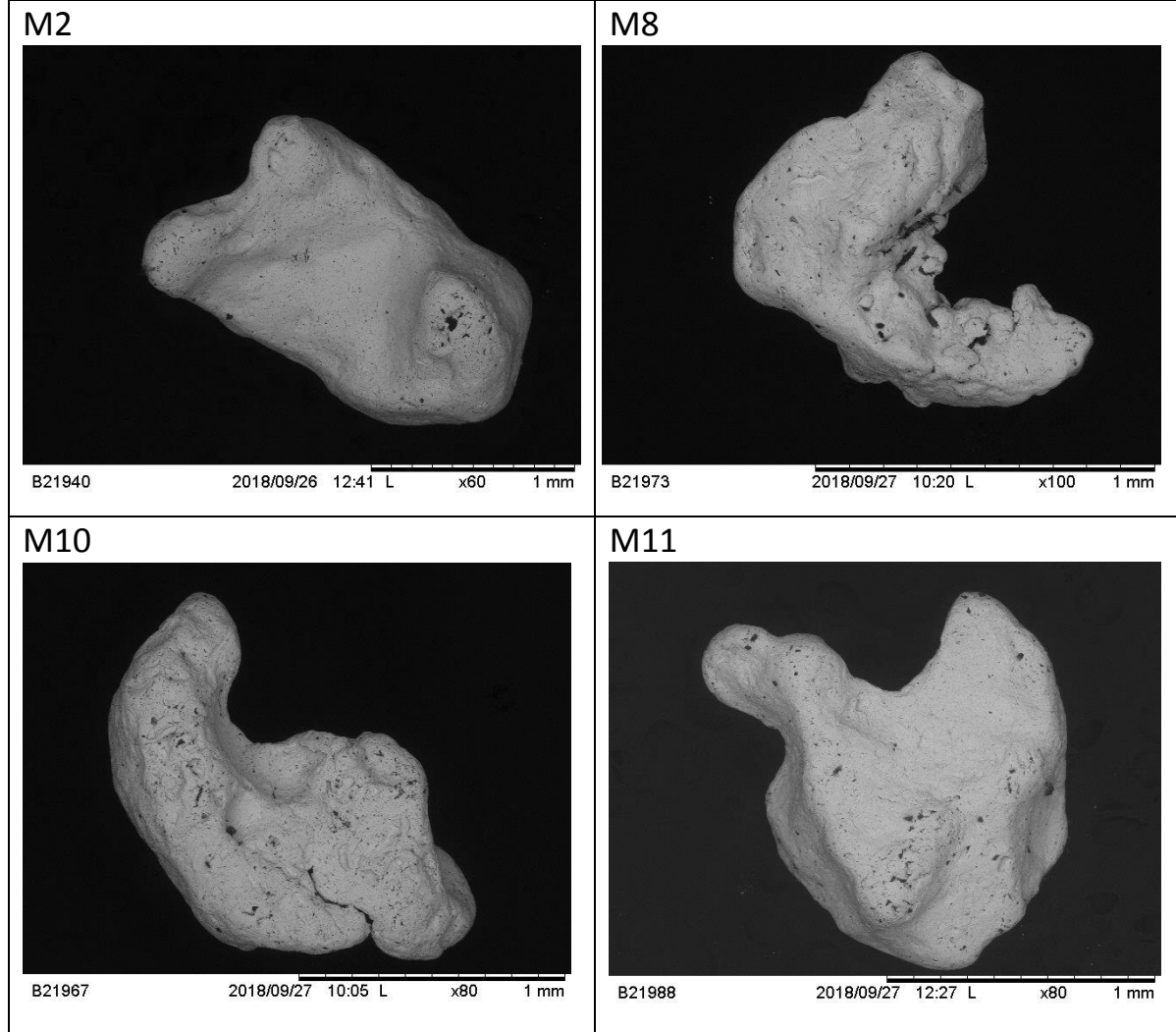
M28



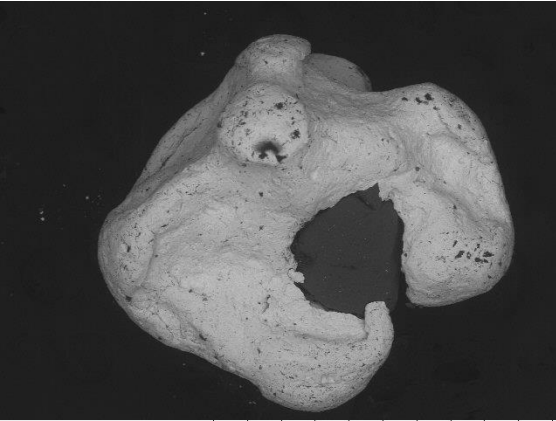
B21788 2018/09/13 17:15 L x150 500 um

ANEXO 2

Pepitas que comprenden el segundo rango de distancia: 50-300 metros.

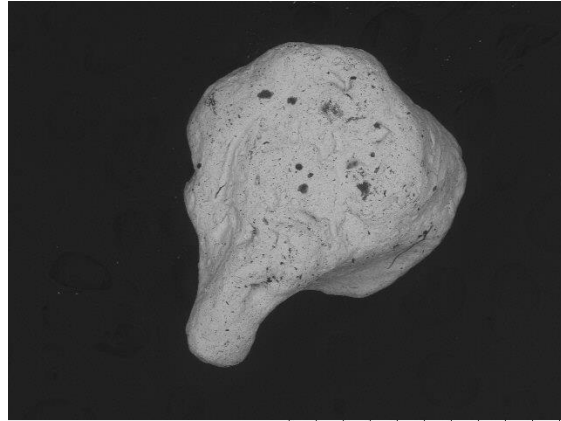


M12



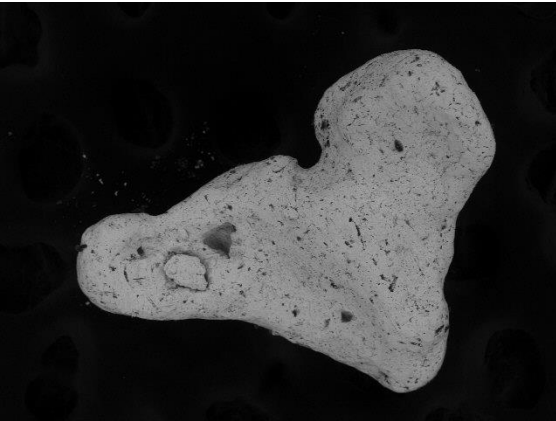
B21985 2018/09/27 12:18 L x100 1 mm

M13



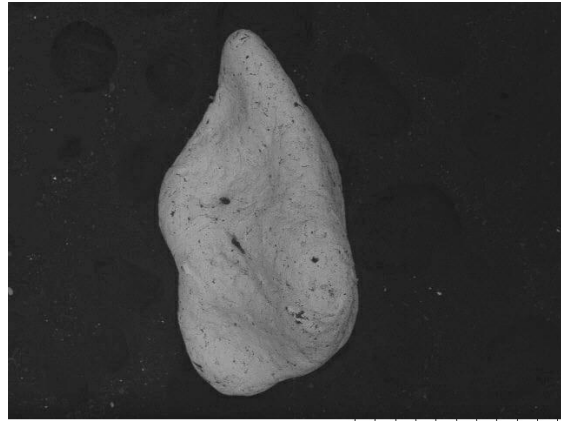
B21984 2018/09/27 12:15 L x80 1 mm

M22



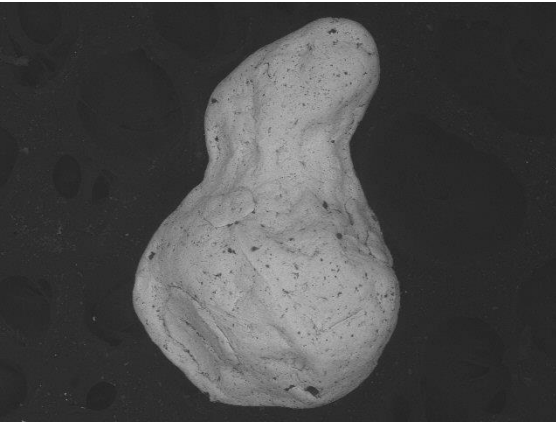
B22037 2018/10/01 11:07 L x120 500 um

M25



B21791 2018/09/13 17:26 L x120 500 um

M29

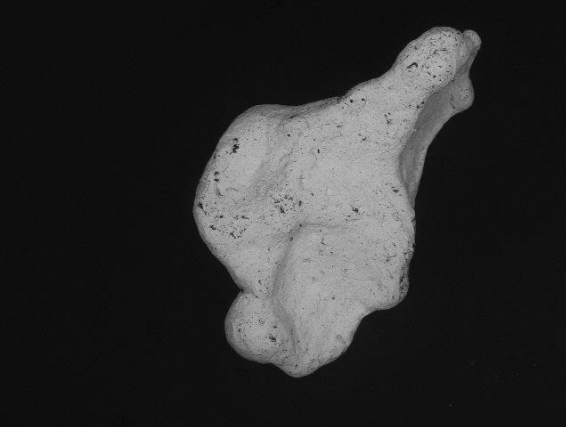


B21786 2018/09/13 17:04 L x120 500 um

ANEXO 3

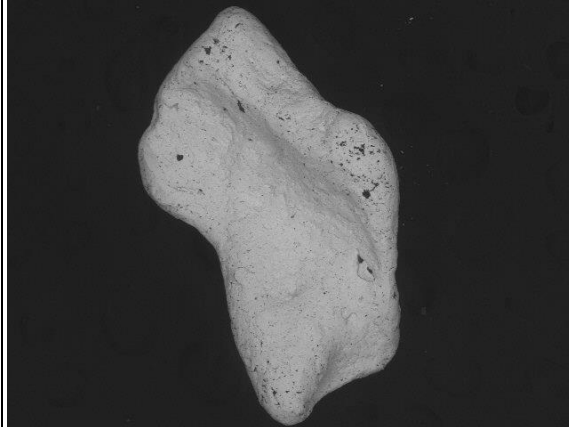
Pepitas que comprenden el tercer rango de distancia: 300-1000 metros.

M29



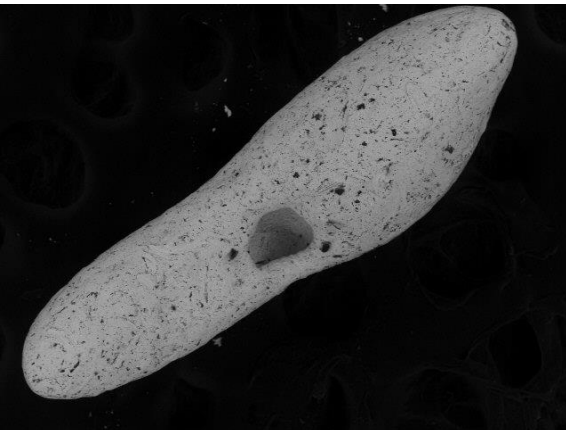
B21970 2018/09/27 10:12 L x60 1 mm

M14



B21982 2018/09/27 12:10 L x80 1 mm

M23

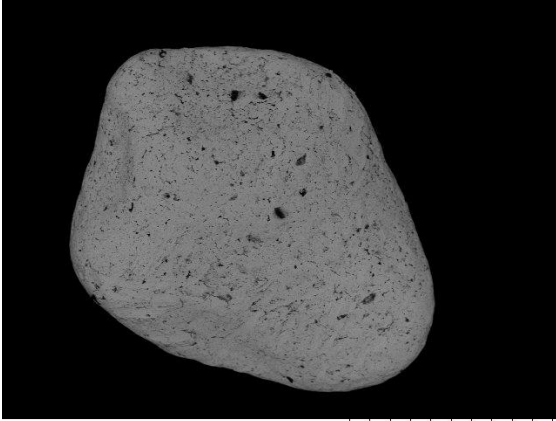


B22039 2018/10/01 11:14 L x120 500 um

ANEXO 4

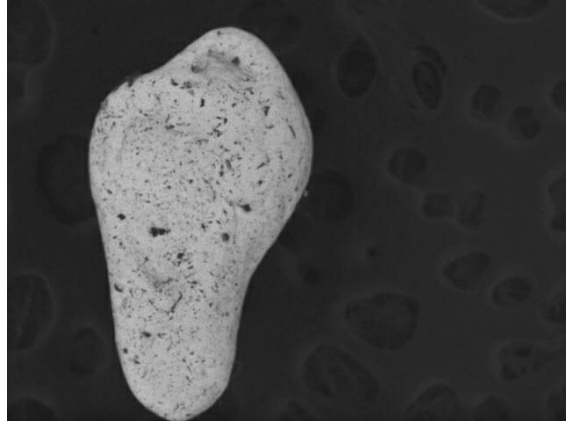
Pepitas que comprenden el cuarto rango de distancia: >1000 metros.

M21



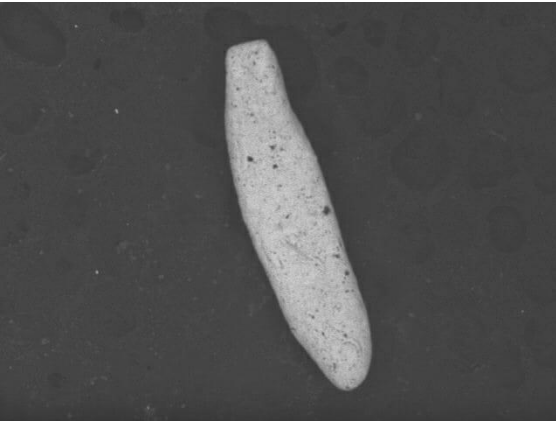
B22040 2018/10/01 11:19 L x120 500 um

M27



B22034 2018/10/01 10:51 L x100 1 mm

M30



B21784 2018/09/13 16:59 L x60 1 mm

ANEXO 5

Fotografías tomadas con microscopio estereoscópico, utilizadas como una guía para corroborar ciertos rasgos morfológicos.

