



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL

TESIS

Exploración Geoquímica de sedimentos aluviales en los arroyos El Chalino y La Labor, Potrero El Llano, municipio de Juan Aldama, Chihuahua, México.

**Para obtener el título de
Ingeniero Geólogo Ambiental**

PRESENTA

Evaris Alan Maya Zúñiga

Director (a)

Dr. Kinardo Flores Castro

Comité tutorial

Dr. Màrius Ramírez Cardona
Ing. Dahina Yanileysi López Ángeles
Ing. Ysis Rebeca Vázquez Camacho

Pachuca de Soto, Hidalgo., diciembre, 2022



Mineral de la Reforma, Hgo., a 30 de noviembre de 2022

Número de control: ICBI-D/1725/2022
Asunto: Autorización de impresión.

**MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH**

Con fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio le comunico que el Jurado asignado al Pasante de la Licenciatura en Ingeniería en Geología Ambiental **Evaris Alán Maya Zúñiga**, quien presenta el trabajo de titulación **“Exploración Geoquímica de sedimentos aluviales en los arroyos El Chalino y La Labor, Potrero El Llano, municipio de Juan Aldama, Chihuahua, México”**, después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente Dr. Marius Ramírez Cardona

Secretario: Mtra. Ing. Dahina Yanileysi López Ángeles

Vocal: Dr. Kinardo Flores Castro (Director)

Suplente: Ing. Ysis Rebeca Vázquez Camacho

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
“Amor, Orden y Progreso”

Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval
Director del ICBI



OAAS/AEM



Ciudad del Conocimiento
Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5 Colonia
Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,
México, C.P. 42184
Teléfono: 771 71 720 00 ext. 2231 Fax 2109
direccion_icbi@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

Dedicatoria:

Este trabajo se lo dedico primeramente a mis Padres que me apoyaron en todo momento durante el caminar de mi curso escolar, que durante mi preparación siempre me motivaron y apoyaron.

Agradecimientos:

Al Dr. Kinardo Flores que me apoyo durante el desarrollo de la tesis, para poder dar lo mejor de mí, aun cuando ya me estaba rindiendo. Su conocimiento, permanencia, dedicación y motivación no me dejaron caer.

A Don Álvaro Gutiérrez, Doña Laura Martínez y al Lic. Jesús Abraham Gutiérrez, del "Rancho Don Chuy", que me brindaron las facilidades para realizar la estancia de investigación, que me permitió obtener las muestras geológicas de su propiedad para sustentar este trabajo y lograr realizar la tesis. Espero de todo corazón que este trabajo les sea de utilidad para futuros proyectos.

A la Química Cruz. Ya que gracias a ella aprendí a realizar el ensaye de oro y plata, para poder obtener los resultados de mi tesis.

Al Químico Martin Alamilla. Por su paciencia, dedicación y capacitación experta para aprender y realizar los métodos de análisis químico cualitativos y cuantitativos, vía seca y húmeda de los elementos de interés económico en las muestras de sedimentos de los arroyos analizados.

A mis compañeros (Yulisa, Nora, Graciela, Jose Luis, Luis Ángel, Alexis y Maricela), Ya que fueron un apoyo muy grande durante el trascurso de mis estudios en la carrera y en el desarrollo de mi tesis, ya que me apoyaron a recolectar muestras, a clarificarlas, apoyarme en el procedimiento de separación de los minerales densos en el laboratorio, fueron de gran ayuda y un paso importante para poder continuar con los análisis.

ABREVIATURAS:

Au: Oro

Ag: Plata

U: Uranio

Cu: Cobre

Fe: Hierro

Pb: Plomo

Zn: Zinc

Fm: Formación litológica.

mg: miligramos

ppm: partes por millón

TU: todo a uno

°C: Grados Celsius

Minerales densos: son aquellos ricos en elementos metálicos en alto porcentaje de una muestra.

Fluvio-lacustres: están compuestos por arcillas, limos, arenas. Siendo sedimentos depositados en ambiente con baja energía como lagos.

Arroyos intermitentes: son aquellas áreas geográficas, que presentan agua, durante alguna parte del año.

Vía Seca: método de análisis de minerales densos por medio de copelación.

Gravimetría: se conforma del contenido analítico, de una muestra mediante operación de pesado.

Iso-concentración: es una concentración de valores iguales o constantes en un conjunto de muestras.

ICP: Plasma Inductivamente Acoplado

EAA: Espectroscopia de Absorción Atómica

BIBLIOGRAFÍA

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	3
1.- INTRODUCCIÓN.....	5
2.- ANTECEDENTES.....	6
2.1 Exploración geoquímica	7
2.2 Placer de Guadalupe	7
2.3 Placer de Santo Domingo	10
2.4 Trancas	10
3.- JUSTIFICACIÓN.....	14
4.- OBJETIVOS.....	15
4.1 General.....	15
4.2 Específicos	15
5.- ÁREA DE ESTUDIO	16
5.1 Localización y vías de acceso	16
5.2 Geología Regional.....	18
5.3 Geología Local	21
6.- MARCO TEÓRICO	26
6.1 Geoquímica:	26
6.2 Exploración Geoquímica.....	26
6.3 Yacimientos de Placer	26
6.4 Geoestadística aplicación del Kriging:	29
7.- MÉTODOS	33
7.1 Trabajo de campo:.....	33
7.2 Planeación:.....	34
7.3 Muestreo:.....	34
7.4 Técnicas de laboratorio:	38
7.4.1 Preparación de muestras.....	38
7.4.2 Análisis por vía seca (copelación - ensaye gravimétrico).....	43

7.4.3 Análisis por vía húmeda.....	46
7.5 Parámetros y nivel de medición	51
8.- RESULTADOS	56
8.1 Área de estudio:	56
8.2 Método de Copelación:	57
8.3 Espectrometría de Absorción Atómica para Au y Ag	58
8.4 Plasma de acoplamiento inductivo (ICP) para Cu, Fe, Zn y Pb.....	58
8.5 Mapa Muestreo.....	59
8.6 Mapa de zona de recarga	61
8.7 Mapa de iso-concentraciones de los elementos Au, Ag, Cu, Fe, Zn y Pb	63
9.- DISCUSIÓN.....	71
10.- CONCLUSIONES	72
11.- RECOMENDACIONES.....	73
BIBLIOGRAFÍA.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de vías de acceso al área de estudio, Potrero El Llano, Aldama Chihuahua	17
Figura 2. Mapa Geológico-Estructural.....	21
Figura 3. Mapa Geológico, Potrero El Llano, Aldama Chihuahua.....	22
Figura 4. Columna estratigráfica (versión sintética)	25
Figura 5. Clasificación de los placeres en función a los fenómenos físico-químicos.....	27
Figura 6. Rancho Don Chuy.....	33
Figura 7. Método de Cuarteo de sedimentos.....	37
Figura 8. Determinación de humedad del sedimento.....	38
Figura 9. mesa tipo Wilfley Separación gravimétrica.....	39
Figura 10. Catch Themes. (2020), Separador magnético húmedo MMSB-15PM.....	40
Figura 11. Instrumentos utilizados para la preparación de las muestras a analizar.....	40
Figura 12. Instrumento de medición ICP.....	37
Figura 13. Maya-Zúñiga, E. (2019), Horno de fundición para copelar.....	36
Figura 14. Proceso de copelación.....	45
Figura 15. Maya- Zúñiga. (2019), Digestión ácida para Au y Ag.....	46
Figura 16. Perkin, E. (2015), Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA).....	47
Figura 17. Digestión con agua regia y ácido perclórico.....	48
Figura 18. Mapa de ubicación de muestras en los arroyos El Chalino y La Labor. Potrero El Llano, Aldama Chihuahua.....	60
Figura 19. Mapa de Zona de Recarga, Potrero El Llano, Aldama, Chihuahua.....	62
Figura 20. Mapa de Iso concentraciones para Cobre (Cu).....	65
Figura 21. Mapa de Iso concentraciones para Plomo (Pb).....	66
Figura 22. Mapa de Iso concentraciones para Zinc (Zn).....	67
Figura 23. Mapa de Iso concentraciones para Oro (Au).....	68
Figura 24. Mapa de Iso concentraciones para Plata (Ag).....	69
Figura 25. Mapa de Iso concentraciones para Hierro (Fe).....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de los análisis químicos del re-muestreo del vetilleo de cuarzo cristalino de la mina San José.....	12
Tabla 2. Resultados de análisis químicos del banco de material Trancas I.....	13
Tabla 3. Asociaciones de minerales en placeres.....	29
Tabla 4. Características y formas de los placeres aluviales.....	30
Tabla 5. Proceso geoquímico para la clasificación de muestras.....	52
Tabla 6. Proceso geológico para la clasificación de muestras.....	54
Tabla 7. Proceso mineralógico para la clasificación de muestras.....	55
Tabla 8. Valores de leyes mínimas explotables de los principales elementos con valor económico para yacimientos, recuperado en Geo virtual.....	57
Tabla 9. Resultados obtenidos en el proceso de copelación oro (Au) y plata (Ag).....	57
Tabla 10. Resultados obtenidos en el proceso de digestión ácida para Au y Ag mediante el método de Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA).....	58
Tabla 11. Resultados obtenidos para metales base (Fe, Zn, Pb y Cu) por Plasma Inductivamente Acoplado (ICP).....	59
Tabla 12. Ubicación de las muestras recolectadas en los arroyos La Labor y el Chalino, Potrero del Llano, Aldama, México.....	59
Tabla 13. Valores dados a la reclasificación de uso de suelo.....	61

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se realiza en una porción del Desierto Chihuahuense y se encuadra en los terrenos que alberga el Eco-Museo de Sitio Paleontológico "Rancho Don Chuy", aledaño a la comunidad de Potrero El Llano, municipio de Juan Aldama, en el estado de Chihuahua. Tiene como objetivo la exploración de minerales densos (en los que se incluye el oro como metal precioso), asociado a los cursos intermitentes y sus afluentes, que conforman los patrones de drenaje que desembocan en el río Conchos, y que en esta localidad representa el único curso fluvial permanente en la región.

La cuenca sedimentaria se caracteriza por tener la influencia de rocas carbonatadas correspondientes a la Formación Aurora (Cretácico Inferior), en el extremo sur de la Sierra El Morrión y por alternancia de rocas siliciclásticas de granulometría fina a media, con intercalaciones de carbonatos arenosos correspondientes a ambientes fluvio-lacustres y deltaicos del Cretácico Superior, que yacen parcialmente cubiertos por rocas volcánicas terciarias de composición intermedia a ácida procedentes de la Sierra Cuesta El Infierno, y que también afloran en la parte norte de Julimes; así como también la influencia de rocas plutónicas y metasomáticas que afloran en el Distrito Minero de Chorreras, que aunque distante a este lugar, las manifestaciones hidrotermales relacionadas con este evento son evidentes en los sedimentos y en los abundantes fósiles (vertebrados, invertebrados y plantas superiores), que aquí yacen permineralizados, principalmente por sílice coloidal, jaspe y óxidos de hierro.

Los sedimentos aluviales, motivo de estudio, forman terrazas y planicies asociados a causas intermitentes (arroyos), representando un espesor considerable de arenas que los hace interesantes desde el punto de vista de la exploración geoquímica por minerales densos, incluido el oro como yacimiento de placer.

El muestreo geoquímico de sedimentos de arroyo se realizó tomando en cuenta los cursos fluviales principales y sus tributarios denominados localmente como “El Chalino” y “La Labor”. Geomorfológicamente tienen una disposición subparalela dextral al río Conchos y cruzan la propiedad del Eco-Museo de Sitio Paleontológico Rancho Don Chuy.

Las muestras arenosas recolectadas se georreferenciaron y homogeneizaron en cada uno de los sitios de muestreo aplicando la técnica de cuarteo, que permitió reducirlas a mínima expresión y posteriormente fueron embaladas y transportadas al Laboratorio de Geoquímica de la UAEH, donde fueron sometidas a diversos procedimientos para estudios granulométricos, de separación, concentración gravimétrica, magnética y finalmente de ensaye químico.

Los concentrados de arenas negras resultantes fueron atacados por diversos tratamientos de digestión ácida y alcalina, para finalmente ser analizados cualitativa y cuantitativamente por técnicas de Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA), Plasma Inductivamente Acoplado (ICP) y por Vía Seca (copelación Au-Ag). Los resultados analíticos revelaron una concentración de Au de 0.3 a 0.5 g/ton, Ag 20 g/ton, Cu 199 g/ton, Pb 110 g/ton, Zn 85 g/ton y Fe 17.28% en peso.

La georreferenciación de las muestras y los resultados analíticos obtenidos fueron introducidos a un Sistema de Información Geográfica *Surfer* v3.3.493, que, con el apoyo de herramientas geoestadísticas, arrojaron mapas de iso-concentración elemental para los elementos de interés prospectivo: Au, Ag, Fe, Cu, Pb y Zn, que permitieron conocer su distribución espacial, identificando también las zonas con concentración anómala en el área de estudio.

Palabras Clave: minerales densos, sedimentos de arroyo, yacimientos de placer, EAA, ICP, copelación Au-Ag.

ABSTRACT

This research work is carried out in a portion of the Chihuahuan Desert and is part of the land housed in the Rancho Don Chuy Paleontological Site Eco-Museum, adjacent to the community of Potrero El Llano, municipality of Juan Aldama, in the state of Chihuahua. Its objective is the exploration of dense minerals (in which gold is included as a precious metal), in the intermittent courses that make up the drainage patterns that flow into the Conchos River and that in this locality represents the only permanent river course in the region.

The sedimentary basin is characterized by having the influence of carbonate rocks corresponding to the Aurora Formation (Lower Cretaceous) at the southern end of the Sierra El Morrión, alternations of siliciclastic rocks of fine to medium granulometries with intercalations of sandy carbonates of fluvio-lacustrine and deltaic environments of the Upper Cretaceous, partially covered by tertiary volcanic rocks of intermediate to acidic composition from the Sierra Cuesta El Infierno, and that also emerge in the northern part of Julimes; as well as the influence of plutonic and metasomatic rocks that emerge in the Mining District of Chorreras, which although distant from this place, the hydrothermal manifestations related to this event are evident in the sediments and in the abundant fossils (vertebrates, invertebrates and higher plants) that lie here permineralized, mainly by colloidal silica, jasper and iron oxides.

The alluvial sediments, the subject of study, form terraces and plains associated with intermittent causes (streams), representing a considerable thickness of coarse sands that makes them interesting for geochemical exploration for dense minerals, including gold. The sampling of stream sediments was carried out taking into account the main and tributary courses of the intermittent streams called "El Chalino" and "La Labor", which have a subparallel arrangement dextral to the Conchos River and that cross the property of the Eco Museum. The sandy samples collected were georeferenced and homogenized in each of the sampling sites applying the quartet technique, which allowed them to be reduced in size to minimum geostatistical

expression, packed and transported to the Geochemistry Laboratory of the UAEH. Subsequently, they were subjected to various procedures for granulometric studies, gravimetric concentration and magnetic separation.

The resulting black sand concentrates were attacked by various acidic and alkaline digestion treatments, to finally be analyzed qualitatively and quantitatively by techniques of Atomic Absorption Spectroscopy (EAA), Inductively Coupled Plasma (ICP) and Dry Route (cupellation, Au-Ag). The analytical results revealed a concentration of Au of 0.3 to 0.5 g/ton, Ag 20 g/ton, Cu 199 g/ton, Pb 110 g/ton, Zn 85 g/ton and Fe 17.28% by weight. The georeferencing of the samples and the analytical results obtained were introduced to a Surfer v3.3.493 Geographic Information System, which with the support of geostatistical tools, yielded maps of elemental iso-concentration (Au, Ag, Fe, Cu, Pb and Zn), which allowed to know their spatial distribution, also identifying the areas of anomalous concentration in the study area.

Keywords: Dense minerals, stream sediments, placer deposits, AAS, ICP, Au-Ag cupellation.

1.- INTRODUCCIÓN

La Exploración Geoquímica es una especialidad de la Geología y de la Geoquímica que basa su conocimiento en el análisis del comportamiento y distribución de los elementos químicos de interés económico (Au, Ag, Pt, Cu, Fe, Pb, Zn, W, Ti, etc.) en un contexto geológico, y que forman parte de los minerales de mena disgregados de las rocas protolito, mediante procesos de intemperismo fisicoquímico y cuya característica es su alta densidad con respecto al agua.

Esto ocasiona concentraciones anómalas en sitios estratégicos controlados principalmente por la pendiente y la energía de los cauces fluviales. Este tipo de proyectos implementan metodologías que están estandarizadas por el *US Geological Survey* y por el *Servicio Geológico Mexicano*, que establecen procedimientos y metodologías de campo y laboratorio para que el muestreo y los resultados analíticos sean estadísticamente representativos.

Es pertinente mencionar que la geoquímica, conjuntamente con la implementación de algoritmos matemáticos y estadísticos, permiten realizar inferencias sobre el comportamiento espacio-temporal del movimiento de las partículas, en este caso de los minerales densos que constituyen las "*Arenas Negras*", compuestas principalmente por magnetita, hematita, apatito, circón, monacita, barita, casiterita, wolframita, oro nativo, entre otros. Su acumulación en cauces de ríos y arroyos representan una importante actividad económica, siempre y cuando el volumen de sedimentos depositados en los valles y en las terrazas aluviales sea considerable.

Este tipo de procedimientos de exploración son considerados ecológicos, porque únicamente emplean agua para el proceso de separación de los minerales y ésta además no resulta contaminada. Es pertinente mencionar que en la Comunidad Europea es el único procedimiento aceptado para recuperar minerales base y preciosos a raíz del desastre ecológico de Aznalcóllar de 1998, provocado por una empresa minero-metalúrgica que ocasionó un derrame de metales lixiviados contenidos en una presa de jales, los cuales fueron vertidos al Parque Nacional de

Doñana, reserva natural protegida del sur de España (IGME, 2001).

Con respecto al área de estudio, este proyecto de exploración se realizó en una parte de la cuenca del río Conchos, al suroeste de la presa Luis L. León (El Granero) y específicamente en los terrenos que comprende el Eco-Museo de Sitio Paleontológico Rancho Don Chuy, en los cuales se realizó un estudio geomorfológico previo con la identificación de patrones de drenaje e identificación de los principales arroyos intermitentes que desembocan en este río y que localmente se denominan “La Labor” y “El Chalino”; los cuales presentan un importante volumen de arena depositada.

2.- ANTECEDENTES

El Eco-Museo de Sitio Rancho Don Chuy, es un predio rural que goza del privilegio y distinción nacional de formar parte del *Sistema Único de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas e Históricas* del Instituto Nacional de Antropología e Historia del Gobierno Federal., (Decreto INAH según oficio 401.3S.10-2021/0916: identificador H13C5808001, clave 127, folio real 2PSP00000127; oficio 15 de febrero de 2021), que abarca 700 hectáreas de terreno desértico y que se encuentra ubicado aledaño a la comunidad de Potrero El Llano, perteneciente al municipio de Juan Aldama en el estado de Chihuahua y que se caracteriza por presentar una gran riqueza paleontológica, sobre todo de grandes vertebrados y maderas fósiles de distintas especies de ámbito continental y fauna invertebrada marina, relacionados al Cretácico Superior (INAH, 15 de febrero de 2021; Rincón, 2011).

Con respecto a proyectos de geología económica y exploración geoquímica en esta localidad, son pocas las investigaciones científicas reportadas; sin embargo, existen algunos informes técnicos de arroyos adyacentes al área de estudio, como los de Placer de Guadalupe y Placer de Santo Domingo, que son áreas más cercanas al Rancho Don Chuy, dónde se obtuvieron muestras de arenas para su investigación.

2.1 Exploración geoquímica:

La Exploración Geoquímica, es la ciencia especializada de la Geología y la Geoquímica que estudia la abundancia, migración y distribución de los elementos químicos en la corteza, la cual se centra en los procesos de concentración y dispersión de los elementos desarrollados en los ambientes primarios endógenos de origen ígneo, metamórfico o exógeno sedimentario, y a partir de ellos permitir acotar blancos de exploración para la localización de cuerpos mineralizados, dando paso a un depósito mineral, siendo esta una anomalía geoquímica que contiene uno, o varios elementos, en concentraciones anómalas (Sinclair, 1991).

2.2 Placer de Guadalupe:

La existencia del oro de placer y de los yacimientos auríferos conexos de la región de Placer de Guadalupe, no fue conocida sino hasta 1867, año en el que gambusinos encontraron por primera vez pepitas de oro de gran pureza relacionados a sedimentos de arroyos de la localidad, y los cuales pesaban desde algunos miligramos hasta 14 gramos.

Los yacimientos auríferos fueron descubiertos por los Oaxacas, tribu indígena que vivía en el pueblo de Guadalupe y se dedicaban a buscar metales. Las investigaciones de exploración realizadas por los mineros y gambusinos dieron como resultado la localización de numerosas vetillas con alto contenido de oro, en los afloramientos relacionados a la intrusión ígnea de pórfidos, así como los sedimentos jurásicos y cretácicos de la región.

Al parecer la presencia de uraninita (mineral primario de uranio), y acompañante del oro en esta localidad, pasó desapercibida por la inmensa mayoría, ya que fue confundida con la magnetita al ser igualmente un mineral de color negro, pesado, poco brillante y sumamente abundante en estas arenas. El Sr. Carlos Pérez de la ciudad de Chihuahua fue quien notó que permanecía un polvo de color negro-

grisáceo y denso, que al hacer pruebas destructivas de las arenas y de los minerales auríferos incluidos, creyó que se trataba de la magnetita, o de algún otro mineral ferrífero, pero las pruebas magnéticas que le practicó no tuvieron éxito para intentar eliminarlo. Después de esto, intentó fundirlo como residuo, pero el mineral oscuro se mantuvo persistente a pesar de los diferentes métodos que se aplicó para lograr su fusión.

Posteriormente el Ingeniero Moisés Perogordo y Lasso, en un artículo sobre minerales radiactivos que publicó en 1924, mencionó la posibilidad de la presencia de platino en las vetas y mantos de calcita de Placer de Guadalupe, resultando los ensayos para este elemento negativos, por lo que nuevamente el Sr. Pérez envió muestras de este polvo negro a laboratorios en París, Francia, lugar donde Pierre y Marie Curie se desempeñaban como investigadores, quienes en estas muestras geológicas mexicanas descubren el radio como elemento químico (1911), confirmando su presencia asociándolo al uranio y al oro (Echagaray, 1954).

Relacionadas a la exploración geoquímica de sedimentos de arroyo, al norte de la localidad se encuentra Placer de Guadalupe (Figura 1) formado a partir de fines de la época colonial, la existencia del oro de placer y de los yacimientos auríferos conexos no fue conocida sino hasta 1867, año que se encontró por primera vez a través de gambusinos pepitas de oro de gran pureza en los arroyos, y los cuales pesaban desde algunos miligramos hasta 14 gramos.

Las noticias de este descubrimiento se esparcieron rápidamente hasta que gambusinos de oro, de las cuales en sus alrededores encontraron numerosas pepitas de oro que pesaban desde algunos gramos hasta más de un kilogramo. (Echagaray, 26 de agosto 1954).

Los yacimientos auríferos fueron descubiertos por los Oaxacas, eran una tribu de indígenas que vivían en el pueblo de Guadalupe y se dedicaban a buscar metales, las investigaciones de exploración realizadas por los mineros y gambusinos dieron

como resultado la localización de numerosas vetillas angostas con alto contenido de oro en los afloramientos de la intrusión ígnea de pórfidos, y en los sedimentos jurásicos y cretácicos de la región.

Al parecer la presencia de la uraninita como mineral acompañante del oro pasó desapercibida por la inmensa mayoría, ya que confundidos con un mineral de color negro, pesado y poco brillante, con la especie mineralógica denominada magnetita, de la cual es casi un mineral accesorio del oro, siendo el Sr. Carlos Pérez, de la ciudad de Chihuahua quien notó que al hacer las pruebas destructivas de las arenas y minerales auríferos, juntamente con el oro, permanecía polvo negro-grisáceo sumamente pesado. Creyendo que se trataba de magnetita o de algún otro mineral ferrífero, con pruebas magnéticas trato de quitar el material sin tener ningún éxito. Intentando también fundir dicho residuo, pero el mineral negro se mantenía rebelde a pesar de los diferentes flujos que se utilizaron para lograr la fusión. (Echagaray, 1954).

Hasta que el Ingeniero Moisés Perogordo y Lasso, en un artículo sobre minerales radiactivos publicó en 1924, en el que México minero, tomo I número 9, decía que las vetas y mantos de calcita de placer de Guadalupe, se pensaba que era platino, y en caso de no serlo qué clase de mineral sería, una vez esto el señor Pérez, mandó muestras a París, y allí solamente se confirmó la presencia del elemento radio asociado al uranio y al oro, donde en junio de 1911, que dos reconocidos científicos franceses, descubren el radio gracias a las muestra obtenidas en Placer de Guadalupe en Aldama Chihuahua, la reconocida científica Marie Curie, descubre el radio gracias a las muestras obtenidas de México. Dando por confirmados materiales radioactivos combinados con el oro, que, al momento de su extracción mediante procesos metalúrgicos, presentaban gran resistencia, dando así un yacimiento rico en oro nativo y materiales radioactivos. (Echagaray, 1954).

2.3 Placer de Santo Domingo:

Este proyecto se encuentra ubicado en la porción noreste del estado de Chihuahua, próximo a los poblados de Maclovio Herrera (Falomir), El Pueblito, mina abandonada de Plomasas y de la presa Luis L. León (El Granero). El proyecto del rancho Santo Domingo, consiste en la remoción y separación de materiales conglomeráticos arenosos y arcillosos, que incluyen oro libre en presencia de sedimentos color negro, con concentraciones anómalas de plomo y zinc, en primer lugar; plata y cobre en tercero; y oro en el sexto sitio (Minera Terra Resources, 2003).

2.4 Trancas:

El informe técnico de la carta trancas H13-C58 escala 1:50,000, se encuentra ubicada en la porción centro del estado de Chihuahua a unos 62.5 km respecto a la capital del estado, cubre una superficie de 889 km². Fisiográficamente se ubica en las provincias sierras y llanuras del norte, dentro de las provincias plegadas en el terreno de Chihuahua, con relación a la clasificación de terrenos tectonoestáticos. En este informe se pueden identificar tres áreas principalmente mineralizadas, en las cuales los yacimientos de minerales metálicos están por: El Morrión, Sierra de La Gloria y La Cuesta. Las dos principales comprenden una gran similitud de ambiente geológico, además de un mismo tipo de yacimiento y mineralogía (Hernández et al., 2000).

El Morrión: está localizada en el cuadrante noreste, donde aflora la caliza Loma de Plata que presenta un yacimiento mineral de tipo *Mississippi Valley* (Cabrera, 2020), sin relación con ningún tipo de magmatismo, el cual se llega a notar una ligera alteración en la roca encajante, ya que alcanza una temperatura con un rango de 90 a 150° C. Este yacimiento tiene principalmente galena con un enriquecimiento secundario dominado por silicatos, sulfato de zinc y cobre, con algunas trazas de pirita, hematita y limonita que se encuentran en cuerpos irregulares, rellenos de cuarzo y en cuerpos estratiformes.

El Ingeniero Pineda redacta que se ubicaron tres minas abandonadas:

La Esperanza: yacimiento de forma irregular, es la obra minera con mayor desarrollo. Se analizaron 11 muestras de esquirlas donde obtuvieron como resultado valores promedio de 3.7 g/ton de Ag, 5.0% de Zn y 2.37% de Pb.

La Quebrada: la mineralización se presenta en nódulos de galena de 5 cm de diámetro embebidos en un cuerpo estratiforme de calcita de 0.20 a 0.40 m de espesor. Cuatro muestras dieron valores promedio de 8 g/ton de Ag, 20.35% de Pb y 1.93% de Zn, una de terrero dio 2 g/ton de Ag, 9.48% de Zn y 0.51% de Pb.

El Divisadero: cuerpo estratiforme de calcita de rumbo N18°W, con echado de 60° al SW, espesor de 0.8 a 1.0 m. Dos muestras de estructura reportan valores promedio de 7 g/ton de Ag, 13.55% de Pb y 0.12% de Zn, una de terrero dio 0.50% de Pb y 0.08% de Zn (Pineda, 2019).

La redistribución de oro no se determinó mediante parámetros estadísticos, sino que el comportamiento depende de la constante de los valores reportados bajo la mineralización, en la región el ingeniero Pineda consideró realizar una configuración espacial, donde se muestran sitios con mayor valor de dicho elemento, dentro de la población de muestreos se encontraron:

- **Concentración El Morrión:** se encuentra en la parte central de la carta de trancas con valores de hasta 13 ppb de Au, en esta zona las rocas volcánicas del terciario y secuencias sedimentarias cretácicas, fueron sometidas a procesos de deformación que produjeron fallas que sirvieron como conductos para la movilidad de fluidos hidrotermales asociados.

- **Concentración Cuesta El Infierno:** está ubicada en la porción sur de la carta Trancas, la cual contiene valores de entre 7 y 10 ppb de oro, está representado por arroyos que drenan unidades volcánicas del terciario en específico ignimbritas.
- **Concentración Tres Reyes:** Se encuentra en el extremo suroriente, representa valores de entre 8 y 10 ppb, en la cual se encuentra sobre arroyos de patrón dendrítico, que drena conglomerado del terciario, donde se encuentran rocas volcánicas y manifiestan minerales con presencia de piritita y calcopiritita, con zona de alteración hidrotermal (Pineda, 2019).

En estas zonas mencionadas de concentraciones, se realizaron un conjunto de muestreos en la zona de San José donde los resultados arrojaron las siguientes tablas:

No. Muestra	Ancho m	Au g/t	Ag g/t	Zn %	Pb %	Mn %
TR-76	1	0.400	3.000	0.010	0.003	0.069
TR-77	1	0.110	2.000	0.010	0.002	0.075
TR-78	1	0.000	3.000	0.009	0.003	0.072
TR-79	1	0.000	2.000	0.010	0.003	0.075
TR-80	1	0.000	2.000	0.011	0.003	0.075
TR-81	1	0.000	2.000	0.008	0.003	0.069
TR-82	1	0.000	2.000	0.006	0.002	0.124
TR-83	1	0.000	2.000	0.007	0.003	0.095
TR-84	1	0.000	1.000	0.007	0.003	0.069
TR-85	1	0.000	1.000	0.004	0.002	0.043
TR-86	1	0.000	2.000	0.006	0.002	0.068
TR-87	1	0.000	1.000	0.005	0.002	0.145
TR-88	1	0.000	1.000	0.003	0.002	0.052
TR-89	1	0.000	1.000	0.004	0.007	0.068

Tabla 1 Resultados de los análisis químicos del re- muestreo del vetilleo de cuarzo cristalino de la mina San José (Pineda, 2019).

No. Muestra	Anch o m	Ag g/t	As %	B a %	Ca %	Cd %	Cu %	Fe %	Mn %	Sr %	Pb %	Zn %
TR-55	0.3	1.000	0.000	0.001	30	0.000	0.030	0.030	0.005	0.032	0.000	0.001
TR-56	0.5	5.000	0.007	0.030	30	0.000	0.146	0.090	0.386	0.046	0.001	0.009
TR-57	1	5.000	0.085	0.059	30	0.001	0.219	1.750	0.320	0.018	0.001	0.014
TR-58	1	6.000	0.001	0.001	30	0.000	0.184	0.050	0.004	0.040	0.001	0.001
TR-59	0.5	0.000	0.000	0.002	30	0.000	0.000	0.060	0.004	0.047	0.006	0.019
TR-60	0.5	0.000	0.023	0.007	30	0.001	0.001	0.680	0.039	0.048	0.010	0.015
TR-61	0.4	1.000	0.025	0.056	30	0.001	0.001	0.580	0.627	0.052	0.002	0.022
TR-62	0.5	1.000	0.005	0.036	30	0.001	0.001	0.110	0.349	0.048	0.001	0.012
TR-63	1	0.000	0.016	0.008	30	0.001	0.001	0.510	0.059	0.036	0.001	0.010
TR-64	1	0.000	0.000	0.001	30	0.000	0.000	0.050	0.004	0.043	0.001	0.005
Promedio	0.670	1.900	0.016	0.020	30	0.001	0.058	0.390	0.179	0.041	0.002	0.011

Tabla 2 Resultados de análisis químicos del banco de material Trancas I. (Pineda, 2019).

3.- JUSTIFICACIÓN

La zona del Rancho Don Chuy ha sido poco investigada con relación a minerales metálicos de mena, ya que su principal área de investigación ha sido la cartografía geológica, la estratigrafía de sucesiones marinas (Capitán, 2021) y su riqueza en cuanto a la paleontología (Méndez, 2018), y que actualmente han tomado más importancia debido a la reciente declaratoria de formar parte del *Sistema Único de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas e Históricas* del Instituto Nacional de Antropología e Historia del Gobierno Federal.

Los trabajos de prospección geoquímica que tienen correlación al área de estudio se encuentran en zonas aledañas y de influencia regional, sobre todo en el Placer de Guadalupe y el Rancho Santo Domingo, por lo que extenderlos al Rancho Don Chuy representa un proyecto de oportunidad para extenderlos y conocer la concentración de elementos base y preciosos asociados a las arenas de cursos fluviales en esta localidad.

En la presente investigación que se realiza por primera vez, se visualiza la oportunidad de aprovechar integral y sustentablemente los recursos naturales que se encuentran en la zona, mediante técnicas ecológicas que no requieran de gran capital para su explotación, este trabajo se puede llevar a cabo a una escala de planta piloto para coadyuvar a la economía de la propiedad para sustentar otros proyectos de mantenimiento, albergues, áreas de investigación paleontológica, cultivos de especies autóctonas, etc., por lo que este proyecto plantea un tipo de explotación con poca tecnología amigable con el medio ambiente y aplicando las técnicas milenarias gambusinas a una mayor escala, dando un enfoque económico a la exploración y explotación de yacimientos de tipo placer para el oro y otros minerales densos que la naturaleza se encargó de concentrar.

En este trabajo se ampliará el entendimiento y la comprensión de la vasta riqueza de minerales metálicos que pueden ser explotados, aún de baja ley, pero con un alto tonelaje de movimiento de partículas y aprovechando la densidad de estas con una perspectiva científica del entorno geológico-económico y sobre todo ecológico.

4.- OBJETIVOS

4.1 General

Analizar e interpretar la distribución de elementos metálicos de interés económico (Au, Ag, Fe, Cu, Pb y Zn), incluidos en fases minerales densas, relacionados a sedimentos de arroyo de la propiedad del Eco-Museo de Sitio Paleontológico Rancho Don Chuy, mediante la aplicación de técnicas de exploración geoquímica, geoquímica analítica y algoritmos geoestadísticos, para determinar su viabilidad económica como yacimiento de tipo placer en un proyecto ecológico futuro que redunde en financiamientos para otros proyectos necesarios para el rancho.

4.2 Específicos

- Realizar muestreo geoquímico sistemático de sedimentos de arroyo asociados a los cursos fluviales de los arroyos “El Chalino” y “La Labor”, que garanticen su representatividad estadística.
- Describir y preparar las muestras colectadas para su clasificación granulométrica, separación magnética y gravimétrica en el laboratorio.
- Analizar geoquímicamente las muestras empleando técnicas analíticas espectrofotométricas (EAA, ICP) y por Vía Seca (copelación), para identificar y cuantificar Au, Ag, Pb, Cu, Fe y Zn.
- Aplicar análisis geoestadístico a los resultados obtenidos para cada uno de los metales de interés económico para representarlos gráficamente mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) para interpretar su comportamiento espacial y su relación con el contexto geológico local

5.- ÁREA DE ESTUDIO

5.1 Localización y vías de acceso

El área de estudio se encuentra aledaña a la comunidad de Potrero El Llano, perteneciente al municipio de Aldama en el estado norteño de Chihuahua. Se ubica con las coordenadas UTM 13R 0454236 3182750, con elevación de 1049 m sobre el nivel del mar (Figura 1). La principal vía de comunicación se realiza a través de la autopista Chihuahua – Aldama (Carretera Federal 16) que conecta las localidades de Maclovio Herrera (Falomir), El Pueblito, Coyame y Ojinaga, que hace frontera con los Estados Unidos de América.

De igual forma también comunica poblaciones como San Diego de Alcalá, El Mimbres, Potrero El Llano, Chorreras y a la presa Luis L. León (El Granero) mediante carreteras vecinales de terracería que son transitables todo el año.

El municipio de Aldama tiene clima desértico con temperaturas extremas tanto en invierno (-5°C) como en verano (45°C) y forma parte de la Altiplanicie Mexicana, llamada en este territorio como las Llanuras Boreales, el territorio es plano además de que en ella se encuentra bien diferenciado los parteaguas y los tributarios, que ellas generan acorde a clasificación de climas Koeppen Enriqueta García, clasifica a la zona como: seco templados y semifríos muy secos (García, 1964).

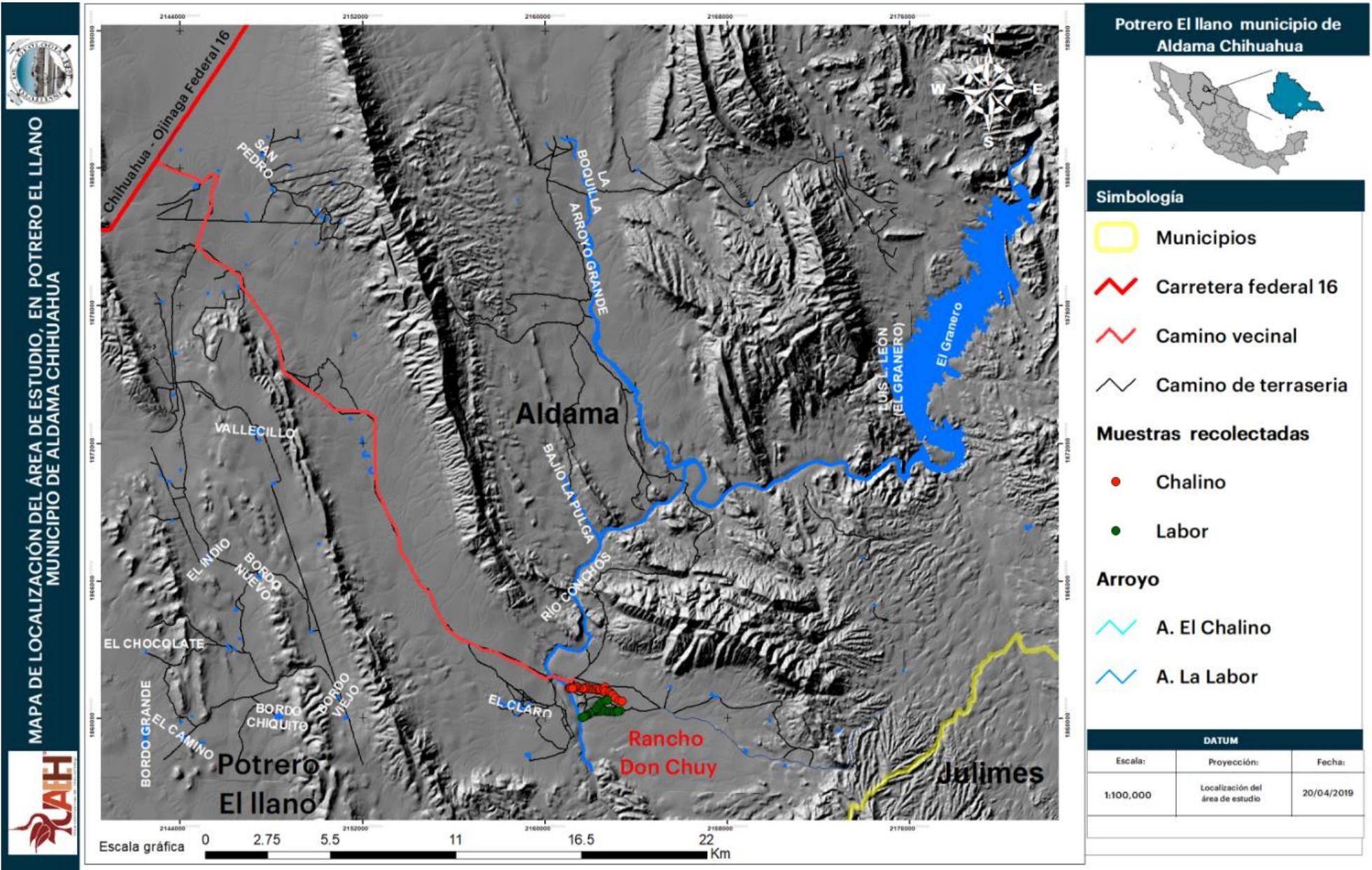


Figura 1. Mapa de vías de acceso al área de estudio, Potrero El Llano, Aldama Chihuahua. DEM obtenido del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2019) digitalización de carreteras y de cuerpo de agua creación propia.

5.2 Geología Regional

En las inmediaciones de la zona de estudio, aflora el basamento cristalino de edad Precámbrico (Grenvilliano), ya que esta parte del norte del país se presentan ventanas estructurales formadas por numerosos bloques tectónicos y alóctonos, que se observan en la sierra El Cuervo, en la mina de Plomosas y en la sierra de Carrizalillo. Estos bloques alóctonos se presentan incrustados hasta niveles superiores de corteza paleozoica y mesozoica (Figura 2).

Las rocas metamórficas expuestas en estos afloramientos están compuestas principalmente por rocas máficas, metagranitos y metagabros, anfibolitas y gneises cuarzofeldespáticos en facies que van de anfibolita a granulita. En el área de la sierra de Carrizalillo no están presentes las rocas de la Formación Rara, lo que sugiere que las anfibolitas de Carrizalillo posiblemente pertenezcan al Cratón Norteamericano, siendo éstas similares a la sierra El Cuervo (Quintero y Guerrero, 1985; Méndez-Díaz, 2018).

Las rocas mesozoicas de la localidad se ven representadas por procesos de expansión oceánica en el Atlántico, que provocaron la transgresión de los mares desde el este, de igual manera en el pacífico, lo que generó un régimen de subducción que produce un arco volcánico de margen continental. En el Triásico las tierras permanecieron emergidas continuando un proceso de erosión en las rocas plegadas del Paleozoico y en el periodo Jurásico Superior, se inició el avance paulatino de los mares que inundaron la depresiones someras y bordeadas por elementos positivos estables, los cuales dieron pauta a la distribución de extensas facies sedimentarias, marcando una fuerte transgresión durante el Calloviano. Probablemente alcanzó el borde sur del estado durante el Oxfordiano, depositando un importante espesor de lutitas y limolitas negras calcáreas que cambian hacia el final del periodo a una facies lagunar de circulación restringida a cerrada en franca regresión marina, situación que condiciona una intensa evaporación y la precipitación de grandes diapiros y yesos, que persistieron durante el inicio del

siguiente periodo (COREMI, 1994).

Durante el período Cretácico Inferior en la provincia de Cuenca y Sierras, se heredaron los elementos paleogeográficos jurásicos, en donde la regresión y las zonas lagunares fueron sustituidas por una llanura fluvial costera, donde posteriormente se inició un nuevo ciclo transgresivo que cambió de llanura fluvial a cuenca lagunar, culminando en una extensa plataforma de mar abierto, donde posteriormente las tierras emergidas redujeron gradualmente a una plataforma, que cubrió por completo los elementos positivos a una extensión durante el Albiano temprano (Méndez-Díaz, 2018).

Durante el período Cretácico los depósitos de rocas carbonatadas fueron sustituidos paulatinamente por sedimentos terrígenos, donde fueron derivados a terrenos volcánicos emergidos del oeste, que fueron posteriormente transportados por corrientes fluviales, para finalmente ser depositados en ambientes fluviales, deltaicos y marinos.

Los productos de erosión de las sierras se acumularon en los abanicos aluviales, que después se extendieron y rellenaron los bolsones, en donde los sedimentos del bolsón son cubiertos parcialmente con derrames de composición basáltica al inicio del Mioceno y que prosiguió hasta el reciente, dando una representación por emisiones de basaltos locales de poca extensión (Méndez-Díaz, 2018).

Las secuencias sedimentarias mesozoicas afloran en las partes bajas y en lomeríos de escasa elevación. Las formaciones del Cretácico Superior se refieren a las formaciones Ojinaga, San Carlos y El Picacho, que presentan cambios litológicos hacia el SE, en la porción de la cuenca correspondiente a Manuel Benavides, y que cambian de nombre a Boquillas y Pen, Aguja Marina y Aguja Continental, respectivamente; estas últimas son más afines con las unidades de la región del "Big Bend", representando la continuidad de sus formaciones hacia el Sur.

Las formaciones Ojinaga, San Carlos y El Picacho en el NW y Boquillas, Pen y Aguja en el SE, se consideran como elementos de un sistema deltaico progradante hacia el sureste, correspondiendo a facies de plataforma de la Formación Ojinaga o Boquillas y al prodelta la Formación Pen, o parte superior de la Ojinaga, en tanto que la Formación San Carlos, o Aguja Marina, comprende el frente deltaico, estando representada la planicie deltaica por la Formación El Picacho o Aguja Continental (McKee, 1988). Las rocas más próximas al área de estudio se encuentran representadas mayoritariamente por rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas del Cretácico Superior, también ígneas intrusivas y extrusivas terciarias, así como por metamórficas de contacto y metasomáticas, relacionadas al contacto con granitoides y que localmente tienen interés económico por hierro y cobre en el Distrito Minero de Chorreras.

El enriquecimiento de la cuña de manto permitió el reemplazamiento de riolitas que estaban fuertemente enriquecidas en elementos litófilos y que dieron origen a a fluidos meteóricos calentados y fuertemente oxidados lo que propició una eficiente movilización de los elementos metálicos base y preciosos, que fueron precipitados en niveles superiores de la corteza, por lo que en conclusión se sugiere que el depósito de oro y uranio ubicado en Placer de Guadalupe, es el depósito de oro mexicano más joven reportado en el centro y norte de México. El Au y el U en Placer de Guadalupe representa una asociación única de metales en México y nada común en otras partes del mundo (Cabrera, 2020).

Con respecto a yacimientos minerales de la región, Gilles Levresse y colaboradores en el 2017, publicaron nuevas descripciones sobre el yacimiento de oro y uranio ubicado en Placer de Guadalupe en Aldama Chihuahua, mediante trabajos previos y de investigación de campo llegaron a un nuevo modelo metalogenético, así como explicar que la formación de los contenidos de oro y uranio en la zona, se deben a dos eventos extensionales de alta velocidad sucedida hace 36 a 21 Ma, en donde la subducción del Eoceno y Oligoceno generó altas tasas de extensión que fueron reemplazados por el vulcanismo

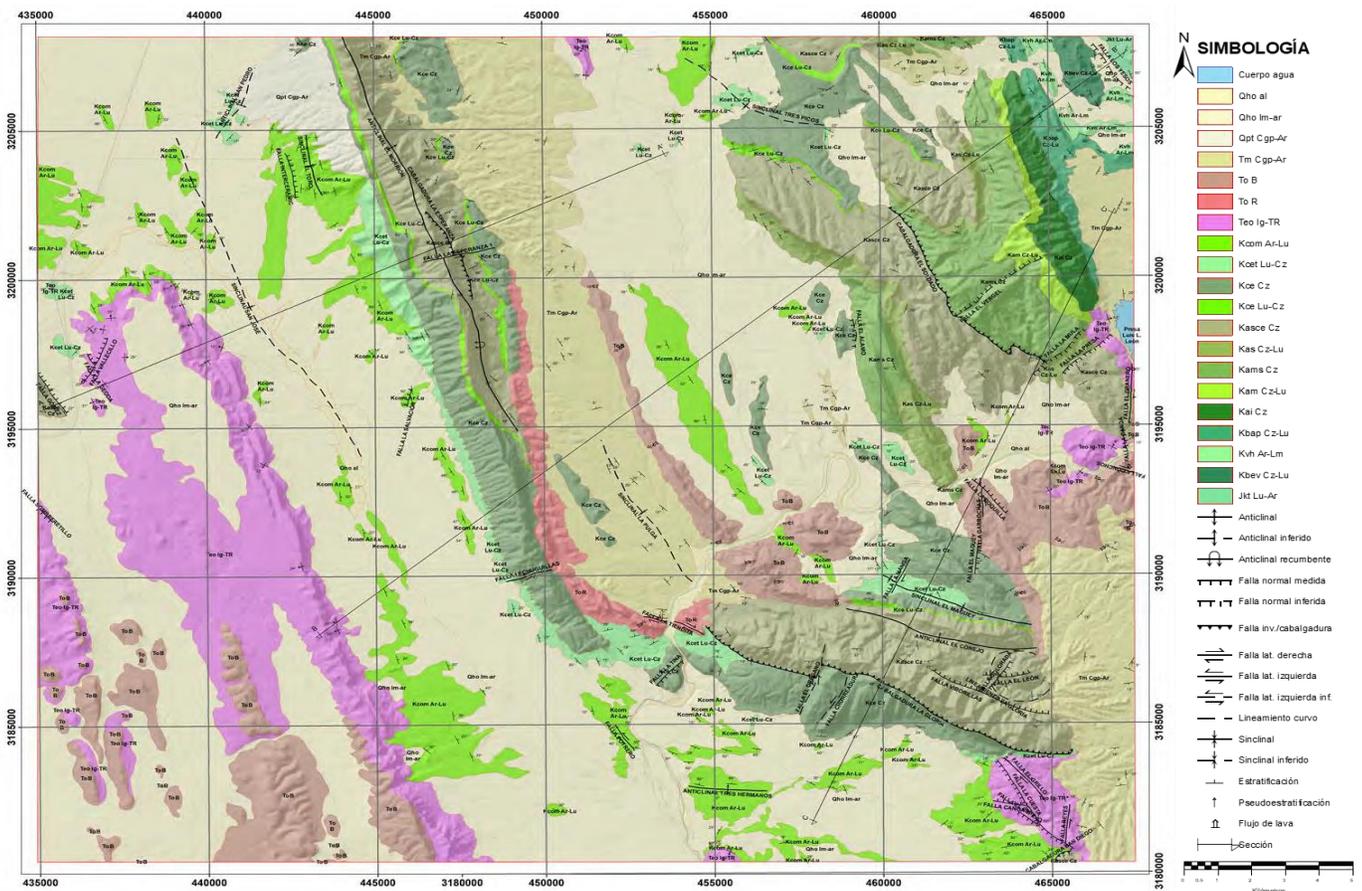


Figura 2. Mapa Geológico-Estructural. Sacado de Pineda, I. J. (febrero 21, 2019). TRANCAS H13-C58 ESCALA 1:250,000. Chihuahua: SGM.

5.3 Geología Local

Méndez-Díaz (2018), describe la cartografía geológica en la zona de estudio y presenta la columna estratigráfica que aflora en las inmediaciones del poblado denominado Potrero El Llano (Piedras Negras), así como también generalidades sobre la geología regional dominante hacia Placer de Guadalupe y la sierra de Carrizalillo (Figura 3), donde aflora el basamento Precámbrico, compuesto principalmente por rocas metamórficas de ascendencia máfica de alto grado (facies anfibolita a granulita), que se encuentran en contacto tectónico con secuencias siliciclásticas y carbonatadas paleozoicas deformadas, que a su vez se encuentran intrusionadas y cubiertas parcialmente por productos volcánicos pérmicos, en situación discordante angular y erosional con secuencias siliciclásticas mesozoicas.

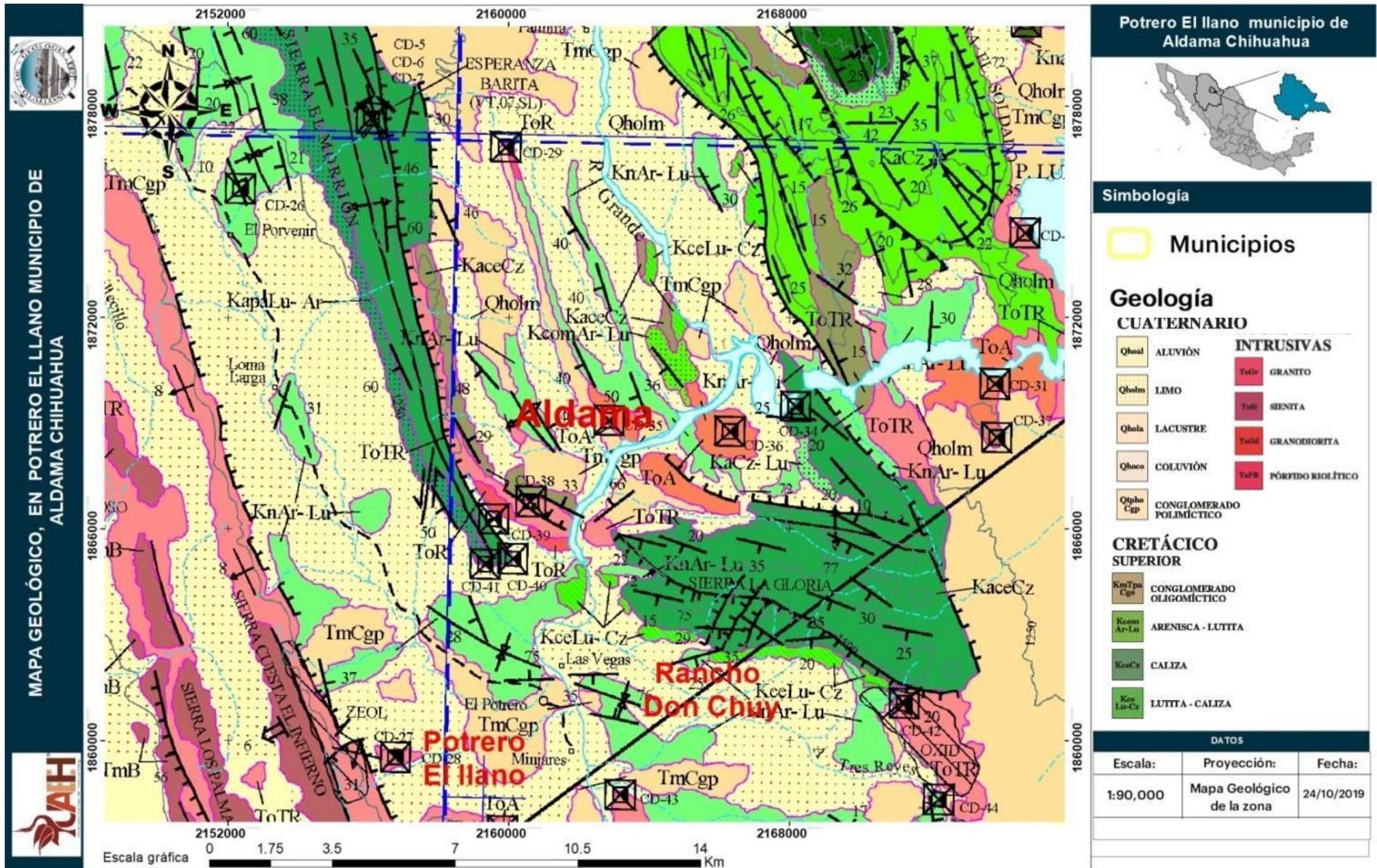


Figura 3. Mapa Geológico, Potrero El Llano, Aldama Chihuahua. Dato obtenido de la carta Delicias escala 1:50,000 del Servicio Geológico Mexicano, (SGM 2019).

Localmente describe afloramientos de sedimentos arenosos estratificados que alternan con calcarenitas y que hacia las facies transicionales presentan margas, limos y evaporitas con abundantes bioclastos, sobre todo de bivalvos, gasterópodos, amonites (géneros *Sphenodiscus* Meek, 1871 y *Discoscaphites* Meek, 1870), ambos referidos al Maastrichtiano; (Capitán-López, 2021), además de dientes de lagartos, tiburones y peces presentes en ambientes marinos y transicionales (lagunas costeras, y/o deltas).

Transicionalmente estos sedimentos fluvio-lacustres y deltaicos incorporan maderas de diferentes tipos de árboles de climas paratropicales, que yacen conjuntamente con restos óseos de grandes vertebrados herbívoros y carnívoros.

Los sedimentos mesozoicos anteriormente descritos se encuentran parcialmente cubiertos por productos volcánicos de composición intermedia a ácida (andesitas y riolitas), y que son característicos de la Sierra Madre Occidental. Es pertinente mencionar que los fluidos hidrotermales relacionados a los eventos volcánicos y/o a intrusiones ígneas del área contigua de Chorreras, han afectado los sedimentos mesozoicos y permitido la preservación del material fosilífero, dado que se encuentra silicificado (permineralización), precipitando diversas formas de jasperoides, calcedonia y ágata con óxidos e hidróxidos de hierro tipo hematita y limonita.

Finalmente, el intemperismo, predominantemente físico, condiciona en esta zona desértica la denudación de las rocas preexistentes generando aluviones, coluviones y terrazas que se depositan en los valles controlados por los patrones de drenaje de carácter intermitente. También se verifica cobertura de suelo de pocos centímetros de espesor que incluye fragmentos de caliza y arenas fluviales de granulometría media a gruesa, que son motivo de exploración geoquímica en esta tesis.

Las principales formaciones del área de estudio las comprenden (Figura 4):

- **Fm Aurora:** está representada por el periodo Albiano inferior- Superior, se define como una de las secuencias de capas gruesas, que afloran en la sierra del cuchillo, la litología de esta formación consiste de calizas de textura carbonatada color grisáceo claro, de estratificación gruesa a masiva, donde se presentan vetillas de calcita color blanco reconocido por ambos flancos por la parte alta de la sierra de Chorreras (Burrows, 1909).
- **Fm Ojinaga:** está representada por el periodo Cenomaniano-Turoniano, consiste en un espesor de caliza negra laminar, lutita, limonita y arenisca donde llegan a representar horizontes de Yeso, así mismo se observa al sur de la sierra San Jose del Carrizo y en el sector noreste del Arroyo El Venadito (Burrows, 1909).
- **Fm San Carlos:** Está representada por el periodo Coniaciano- Maastrichtiano, Vaughan (1900) describió este término para una alternancia de arenisca y lutita con alto contenido de carbón que aflora en la mina San Carlos. Consiste en una secuencia terrígena representada por arenisca feldespática con alternancia de lutita laminar y margas hacia la cima. La lutita presenta alto contenido de material carbonoso con algunos fragmentos de maderas fósiles. Los espesores varían de 300 a 400 m. Su contacto inferior es concordante y transicional con la Formación Ojinaga. El superior es discordante con rocas volcánicas y sedimentos recientes. Wolleben (1966) propone que el miembro superior de la Formación San Carlos corresponde a la Formación El Picacho. El depósito fue en ambiente litoral, probablemente con influencia deltaica (Cristal- Mendez, C. V. 2018).
- **Fm Buda:** está representada por el período Cenomaniano, en la cual propone que la formación es un paquete de calizas nodulares claras, lutita y presencia de horizontes compuestos por margas, que afloran a 30 km al norte de Shoal Creck en Austin, Texas, EUA. Aflora en las sierras El Morrión, El Gatún, Chorreras, San José del Carrizo, San Diego y Roque (Méndez-Díaz, 2018).

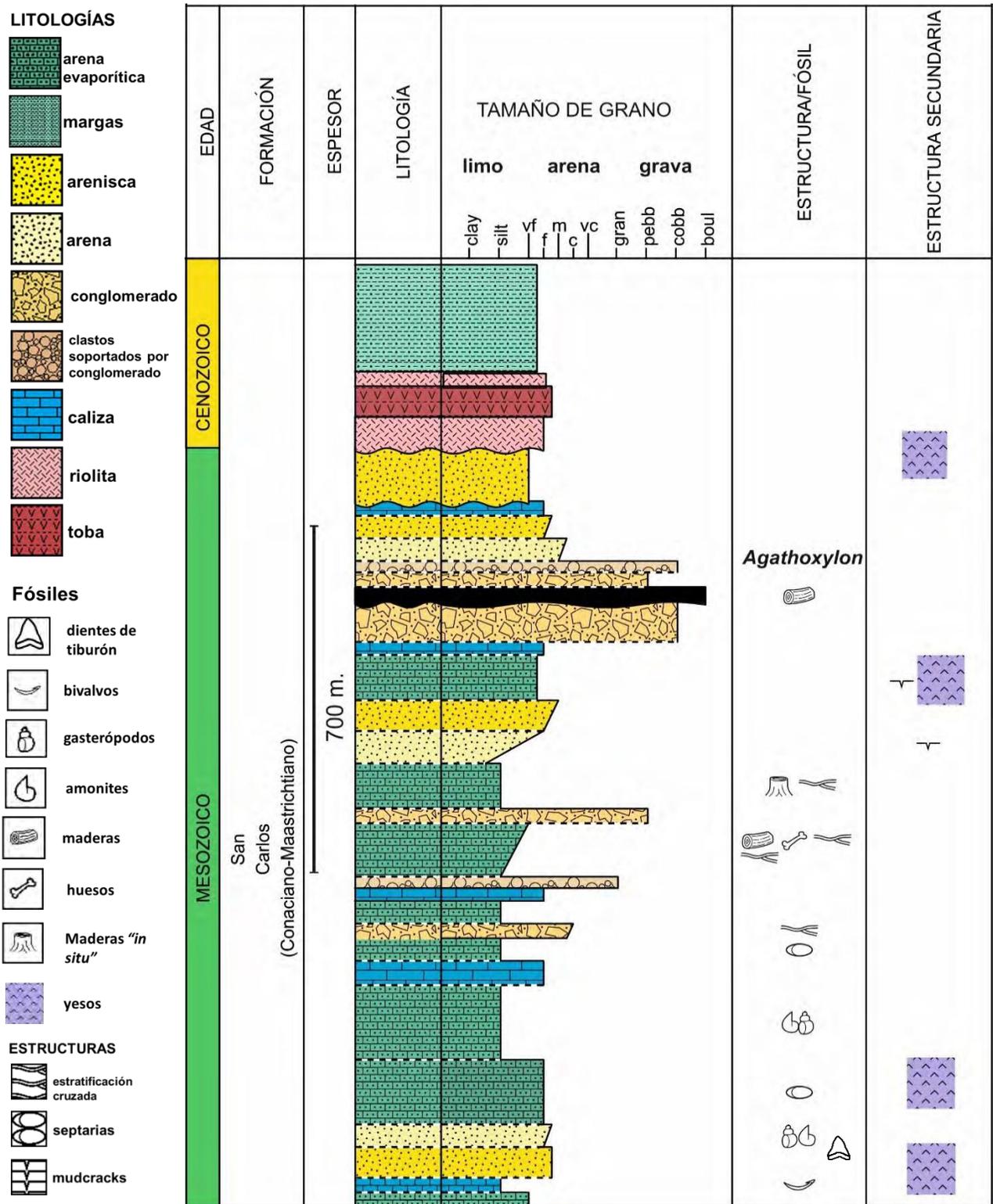


Figura 4. Columna estratigráfica (versión sintética), Méndez-Díaz (2018).

6.- MARCO TEÓRICO

6.1 Geoquímica:

Es aquella ciencia que estudia el origen distribución y evolución de los procesos químicos en la Tierra, y aquellos minerales formadores de rocas, y a aquellos productos derivados de ellas, además de determinar la abundancia de los elementos en la naturaleza (SGM, 2022).

6.2 Exploración Geoquímica:

La exploración geoquímica según Hernán Vásquez, la describe como un método directo para determinar la presencia de acumulaciones de elementos en el mundo, en base a manifestaciones superficiales, la cual se considera como un método directo para la búsqueda de concentraciones de elementos que se basa en un supuesto de acumulación y anomalía dentro y fuera de la superficie (Vásquez, 1997).

6.3 Yacimientos de Placer:

Según Viladevall describe a los yacimientos de tipo placer, como la acumulación económica de minerales de alta resistencia físico-química, procedente de la desmantelación de yacimientos, y zonas pre enriquecidas, de aquellos desechos antrópicos o de todo el conjunto a la vez, como cuyo vector de concentración han sido por agentes de transporte exógenos, tales como el agua, hielo y el viento. Principalmente afectados por la meteorización mecánica y biológicas (Viladevall, 1998).

Para que la formación de depósitos económicos de tipo placer se lleve a cabo, se necesitan 3 tipos de fenómenos a macro y meso escala (Figura 5) conformados por:

- **Fenómeno propiamente litosférico:** es aquella en la que se necesita la presencia de un área fuente enriquecida o pre-enriquecida que susceptible a proporcionar elementos minerales de interés económico.
- **Fenómeno ambiental de tipo climático:** es aquella susceptible de liberar a partir de minerales de baja resistencia química, a minerales de elevada resistencia mecánica.
- **Fenómeno geodinámico:** siendo aquella que es susceptible a acumular y preservar los elementos minerales liberados, asimismo se necesita la interacción de otros fenómenos hidráulicos, mecánicos, ligados a un espacio y un tiempo, que sería la causa de la liberación o el desprendimiento de partículas transportadas y depositadas en cuencas fluviales, lacustres, o marinas (Viladevall, 1998).

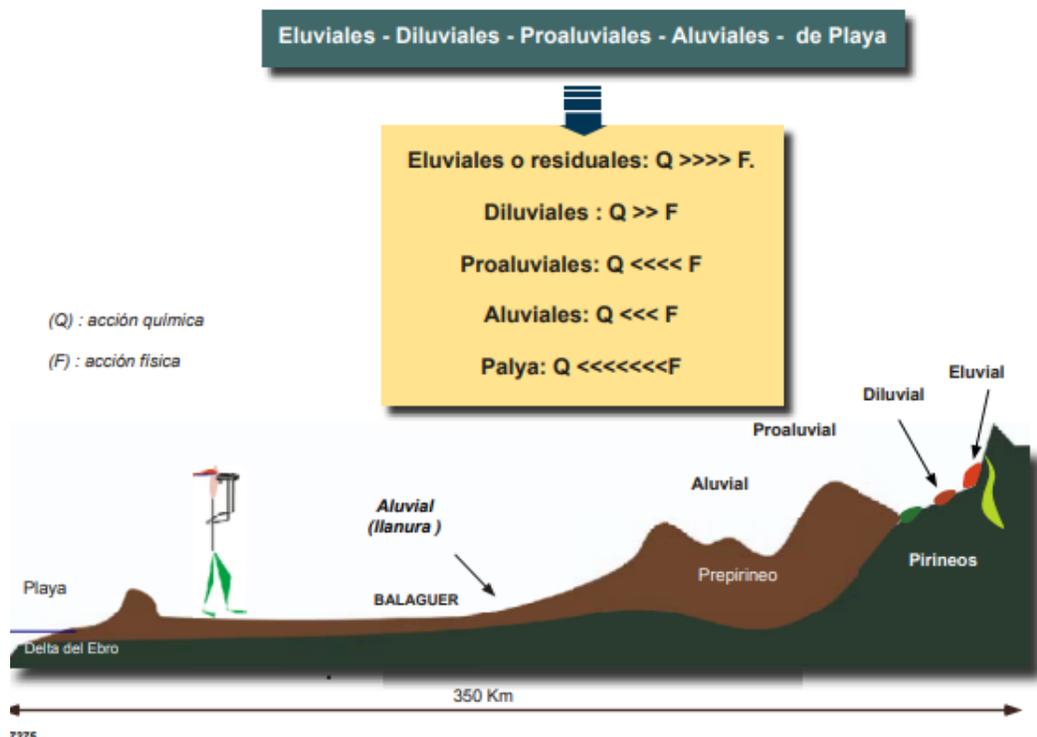


Figura 5. Clasificación de los placeres en función a los fenómenos físico-químicos. Viladevall (1998).

Los yacimientos de placer se clasifican de la siguiente manera (Figura 6):

- **Eluviales:** son aquellos que se desarrollan a partir de un área enriquecida o pre-enriquecida, con componentes ambientales de tipo climático, con mayor predominancia en fenómenos químicos que en fenómenos físicos, resultantes de un carácter residual.
- **Diluvial:** es aquella que sufre un desplazamiento gravitacional, acumulándose en algunos puntos de una ladera, teniendo un componente químico y un componente físico.
- **Aluviales:** se genera mediante las acumulaciones de placeres eluviales, diluviales, siendo removidas, transportadas y clasificadas, por las aguas y depositadas en los ríos.
- **Pro aluviales:** se les dominan a las acumulaciones que se sitúan al pie de una pendiente los placeres formados se componen por medio de transporte y clasificación, donde es superior al componente químico.
- **Playa:** es consecuencia de la actividad fluvial en donde los materiales son depositados a la orilla de un lago, donde fueron transportadas y sedimentadas.

Para poder distinguir las diferentes asociaciones minerales en los yacimientos de placeres, se presentan clasificadas en rocas primarias, y asociaciones como en el siguiente ejemplo (Tabla 3):

Minerales	Rocas primarias	Asociaciones
Platino	Gabros básicos, peridotitas, dunitas, serpentinitas.	Magnetita, ilmenita, cromita, olivino, picotita, pleonasma, diamante, corindón.
Oro	Filones de cuarzo asociados a varios tipos de rocas ígneas.	Pirita, galena y otros sulfuros, magnetita, ilmenita.
Diamantes	Rocas ígneas básicas: peridotitas, kimberlitas, lamproitas, conglomerados.	Piropo, ilmenita, magnetita, cromita, olivino, granate, picotita, platino.
Casiterita	Pegmatitas, Filones de cuarzo, greisen, granitos. Rocas de contacto alteradas hidrotermalmente. Pegmatita, gneises, granitos.	Columbo-tantalita, espodumena, turmalina, molibdenita, wolframita. Wolframita, topacio, turmalina, fluorita, scheelita, molibdenita. Granates, sulfuros, piroxenos, cloritas-Fe, anfíboles.
Monacita	Granitoides alcalinos y calcoalcalino,	Ilmenita, circón, granate, apatito rutilo, turmalina, espinela.
Circón	Filones de cuarzo, rocas metamórficas de contacto.	Granate, magnetita, esfena, piroxenos, anfíboles.
Scheelita		Granate, piroxeno, anfíboles, vesuvianita, turmalina, casiterita, topacio.
Cinabrio	Filones de cuarzo-carbonatos e impregnaciones cerca de rocas volcánicas.	Pirita, estibina, rejalgar, oro, baritina, fluorita.
Corindón Rubí y Zafiro.	Dolomía cristalina, calizas, pegmatitas, sienitas.	Granates, espinelas, rutilos, berilo, crisoberilo.

Tabla 3 Asociaciones de minerales en placeres, (Viladevall, 1998).

6.4 Geoestadística aplicación del Kriging:

Es una herramienta de interpolación, conocida como método determinístico de interpolación, ya que está basado en los valores medidos mediante fórmulas matemáticas, que determinando la suavidad de la superficie resultante.

Además de contar en métodos geoestadísticos basados en modelos estadísticos, que incluyen la auto correlación, es decir, relaciones estadísticas entre puntos medidos, no sólo tienen la capacidad de producir una superficie de predicción sino también proporcionar alguna medida certera y precisa de las predicciones. Así mismo, se aplicó dicho método para poder predecir, cuantificar los resultados de las muestras recolectadas y su distribución en el área de estudio mediante el software Surfer y ArcMap 10.8.

La principal características y formas de los yacimientos de placeres, Kartashov describió al yacimiento de tipo placer, de manera autóctona y alóctonos, por medio del cual mejoró la facilidad de clasificar detalladamente los tipos de depósitos, así

<i>Kartashov (1971)</i>	AUTOCTONOS		ALÓCTONOS
	Muro		Por encima del muro
Representados por:	Placeres en canales, valles terrazas y cuencas vertientes.		Placeres de pointbar, delta, llanura aluvial, valle, terrazas y de cuencas vertientes.
Ocurrencia	Proximalas al área fuente.		Más o menos alejados del área fuente siendo separados de ella por zonas de diseminación (dispersión) de los placeres minerales.
Zona de concentración	En la base de un substrato aluvial.	En la base de un perestrato en formación, en la misma situación en el valle de los placeres de muro.	En los horizontes superficiales de un perestrato aluvial en formación aguas abajo de un placer autóctono.
Los minerales pesados	Propios del área fuente o re sedimentados a partir de antiguos placeres y no re-transportados por los ríos de las zonas de concentración.		Transportados por los ríos dentro de la zona de concentración.
Acumulación durante:	En el período de erosión de las mineralizaciones primarias.	En el último estadio de equilibrio y/o agradación del desarrollo del río.	
El encajante aluvial se originó:	En la fase de excavación o en la transición de éste a estadio de equilibrio.	En el estadio de equilibrio o agradación.	
El encajante aluvial al ser erosionado durante una fase de excavación:	No son destruidos, pero sí emplazados a otro nivel.	Desplazados de nivel a uno nuevo y adicionado a placeres de base.	Completamente destruidos.
El mecanismo de concentración del placer:	No dependen esencialmente de las características hidrodinámicas de los flujos acuosos.		Dependen principalmente de las características hidrodinámicas de los flujos acuosos.

Tabla 4. Características y formas de los placeres aluviales. Kartashov, 1971.

Humedad de la muestra:

Es aquella que tiene por objetivo conocer el ambiente de humedad en el que se encuentra el suelo, el contenido de agua es expresado como relación entre el porcentaje de agua contenida en una muestra de suelo y su relación con la misma muestra, pero en seco. Estas dos expresiones están linealmente relacionadas por un coeficiente conocido llamado densidad aparente de suelo muestreado, dando como producto final el porcentaje de humedad que presenta la muestra analizada del lugar *in-situ*.

Pendiente:

Es aquel declive de un terreno, siendo la inclinación con respecto a la horizontal de la vertiente, la cual, a través de datos obtenidos por un modelo digital de elevaciones, realizando mediante la herramienta ArcGis una conversión para obtener el porcentaje de pendiente de una elevación, y a través de ello conocer que tanto material contiene dichas elevaciones.

Uso de Suelo:

Es aquella división territorial, en el cual a través de las diferentes condiciones en las que se presente el suelo y su clasificación con respecto al uso que se le otorgue. A través de él conocer cuáles son los componentes naturales que pudieran agilizar la erosión del suelo y así mismo agilizar el transporte del sedimento, además de otorgarnos una visión amplia para conocer si es fiable un cambio de uso de suelo para la extracción de minerales de uso industrial.

Textura de suelo:

Es aquella que indica el contenido relativo de partículas de diferentes tamaños, teniendo que ver con la facilidad con la que se puede moldear y/o trabajar el suelo teniendo como principal característica la velocidad en el que el agua penetra el suelo, o lo atraviesa; así mismo, es de gran ayuda para conocer acorde al tamaño y textura de las partículas de arena la localización y deposición de las partículas del

oro en los sedimentos.

Zona de recarga:

Es aquellas zonas que, por agentes de la pendiente, precipitaciones, textura del suelo, geología de la zona se establecen las principales zonas donde se genera la acumulación de agua.

Tipo de roca:

Se le considera roca a cada uno de los diversos materiales sólidos compuestos por partículas de uno o más minerales, donde a través de su composición de la roca se puede conocer que tan dura es para resistir los agentes de meteorización y erosión, que permitirá dar un preámbulo del origen del sedimento a través de las arenas.

Minerales nativos:

Son aquellos elementos que se encuentran en la naturaleza en un estado de pureza de los cuales se dividen en no metálicos y metálicos, de los cuales el principal objetivo es conocer las concentraciones de dichos elementos en lo más exacto posible y cercano a la realidad.

Elementos base:

Son todos aquellos elementos metálicos y no metálicos que no se encuentran de su forma nativa, sino que se presentan acompañados por otros elementos, siendo de gran interés conocer de igual forma ciertos elementos metálicos que puedan enriquecer el yacimiento al momento de su extracción.

Granulometría:

Es aquella que sirve para la medición y graduación de los tamaños de granos de una formación sedimentaria de los materiales, con el fin de los análisis tanto de los orígenes como de sus propiedades mecánicas, además de conocer los cálculos en porcentaje de la abundancia que corresponde a cada uno de los tamaños de grano.

7.- MÉTODOS

7.1 Trabajo de campo:

Es importante mencionar que los trabajos de investigación previos, realizados por



Figura 6. Rancho Don Chuy. Foto tomada por Maya-Zúñiga (2019). Eco-Museo de Sitio Paleontológico Rancho Don Chuy.

Flores-Castro y colaboradores desde el 2012, entre otros, se centran en la temática de la cartografía geológica, aspectos estratigráficos y paleontológicos, han permitido que el Eco-Museo (Figura 6) sustente la denominación recibida. Sin embargo, este proyecto de investigación,

dedicado a la exploración geoquímica de sedimentos de arroyo de minerales densos, es pionero en la zona y puede ampliarse regionalmente con la información publicada por el Servicio Geológico Mexicano en sus informes técnicos relacionados a las Cartas Geológico-Mineras y Geoquímicas a escala 1:50,000: Trancas H13-C58, Chorreras H13-C59 y Placer de Guadalupe H13-C48.

7.2 Planeación:

Se realizó con anterioridad, un análisis de escritorio donde se realizó un estudio detallado de la carta topográfica Trancas (H13C58), escala 1: 50,000 editada por el INEGI (2019) en la que se analizó la geomorfología y se ubicaron los arroyos “La Labor” y “El Chalino”, para localizar y clasificar las zonas con mayor concentración de material aluvial mediante imágenes satelitales.

Como base para el diseño del muestreo asociado a los patrones de drenaje intermitentes que vierten al río Conchos (único curso permanente). Se delimitaron las cuencas hidrológicas y se identificaron los patrones de drenaje, así como otros cursos abandonados. El análisis geomorfológico y el cálculo de las pendientes se realizó mediante un Sistema de Información Geográfica ArcMap, versión 10.5, mismos que fueron verificados durante la visita de campo.

7.3 Muestreo:

Se procedió a realizar la recolección de muestras de arenas en los cursos de los arroyos intermitentes denominados “La Labor” y “El Chalino”, en las inmediaciones del Rancho Don Chuy. En dichas zonas de muestreo se recolectaron al menos 2 kg de muestra por cada 50 m de cada curso de arroyo principal, también se tomaron en cuenta las intersecciones con afluentes a ellos, así como aquellos lugares donde a simple vista se observaba una alta concentración de arenas negras.

El muestreo geoquímico de sedimentos de arroyo se llevó a cabo siguiendo los patrones de drenaje de acuerdo con protocolos y metodologías establecidas por el US Geological Survey (Yan-Hong y Shuai,2019); los cuales garantizan que sea sistemático y representativo.

Se tomaron en cuenta los protocolos de muestreo a seguir en la recolección de muestras siendo las siguientes:

- Protocolo sistemático de reconocimiento estratégico, en la que se detalla la recolección de las muestras mediante radiometría e información de campo. Las muestras describen las condiciones generales del entorno en el momento del muestreo, se toma en cuenta la litología, clima, paisaje, uso de suelo, vegetación, actividades antropológicas, propiedades físicas y mineralógicas de las muestras que son: color, humedad, tamaño de partícula, textura, etc. El formato de captura de información en campo para muestreo de sedimentos se presenta con una recolección superficial, esta debe de estar alejada por lo menos a 50 m de zonas urbanas de contaminación, se deben de recolectar 2 kg de muestra bien clasificada, utilizando el método de cuarteo y tener una bolsa de 1 kg como reserva, dichas muestras deben ser manipuladas con guantes, así como sacar sus datos principales *in-situ* (Rincón, 2011).

Toma de muestras:

Para la toma de las muestras se consideró un espaciamiento de 50 m y en total se recolectaron 70 muestras, mismas que fueron georreferenciadas y cuarteadas, partiendo de un aproximado de 100 kg de arenas fluviales, que fueron homogeneizadas y reducidas a mínima expresión de 5 kg. Posteriormente, fueron identificadas y embaladas en bolsas de polietileno, para finalmente ser transportadas por mensajería terrestre hasta el Laboratorio de Geoquímica de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

El cuarteo de sedimentos:

Homogenización y reducción del tamaño de muestra: esta operación consiste en generar un montículo de sedimentos de arroyo de aproximadamente 100 kg (2 m de diámetro), utilizando una pala como herramienta y cuyos vertidos se realizan

desde la base hasta la cima del cono, siguiendo un camino en sentido horario de tres rondas. Al término de estos vertidos el pico del cono es enrasado con la misma pala creando una superficie plana en la cual se traza una cruz que deberá estar orientada con la brújula o bien hacia un punto lejano fijo. A continuación, con la ayuda de la pala se seleccionarán dos cuartos opuestos mismos que serán desechados y retirado del montículo; de esta manera la muestra homogénea se ha reducido al 50%.

Se juntan los cuartos resultantes con la pala y nuevamente se procede con la operación de generación del cono y el camino por tres rondas para continuar con el trazado de la cruz y la selección de dos nuevos cuartos opuestos, mismos que igualmente serán desechados y entonces la muestra se ha reducido al 25%.

Es operación se repetirá tantas veces como sea necesario hasta obtener una muestra estadística reducida a mínima expresión de aproximadamente 5 kg. Para posteriormente ser identificada con código único y embalada.

Los cuadrantes se diferenciarán por letras que serán A, B, C y D. Posteriormente se separaron los cuadrantes opuestos (A y D) y el resto de la muestra se retiró. La nueva muestra (A y D) se homogenizó nuevamente, después realizando el mismo procedimiento de dividir en cuadrantes, se separaron los cuadrantes B y C y lo demás se retiró, este paso se repitió hasta que la muestra quedo mejor homogeneizada y con el peso, deseado (Figura 7).



Figura 7. A) Generación de cono de sedimentos con diámetro ~2 m. B) Aplanado de punta del cono. C) Trazo y orientación de cruz para cuarteo. D) Elección de cuartos opuestos (I y III) a eliminar con una pala reduciendo al 50% la muestra, y así sucesivamente. E) Se repite la operación las veces que sean necesarias hasta reducir la muestra a ~5 kg para su posterior recolección, identificación y embalaje.

7.4 Técnicas de laboratorio:

7.4.1 Preparación de muestras

- a) Esta etapa inicia con la realización de un segundo cuarteo de las muestras colectadas en campo para su reducción a 2 kg.

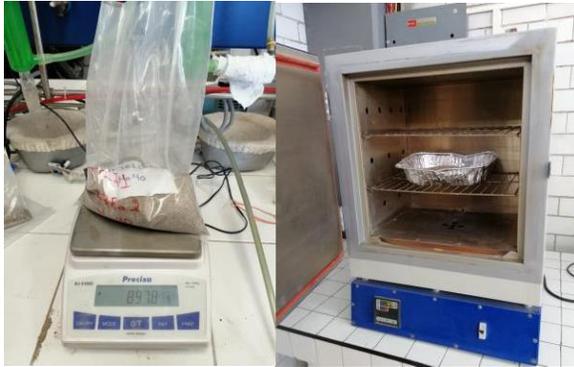


Figura 8. Maya Zúñiga, E. A. (2019). Determinación de humedad del sedimento.

- b) Se prosigue con el secado de las muestras las cuales se pasan a charolas de aluminio y se introducen a una estufa termorregulada a 50° C, por espacio de 24 horas hasta alcanzar el punto de sequedad. Posteriormente se vuelven a pesar para descontar la humedad (Figura 8).
- c) Se continúa con un tercer cuarteo hasta obtener muestras representativas de 100 g de cada una y se procede a pulverizarlas hasta que pasen la malla n. 200, para continuar con los procesos de digestión ácida y finalmente ser analizadas por Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA) y así determinar la Ley de Cabeza (Meléndez, 1987).
- d) Se realiza posteriormente un análisis granulométrico con el restante de los 2 kg de muestra (utilizando los tamices 12, 16, 20, 40, 80 y <80) (Figura 11-A). Se procede a determinar el peso acumulado en cada tamiz y se calcula el porcentaje retenido en cada uno para conocer la distribución granulométrica en los cursos fluviales muestreados.
- e) Posteriormente se vuelven a juntar las muestras separadas correspondientes a los tamices utilizados para proceder a su quebrado (Figura 11-B) y triturado (Figura 11-C) con equipo de quijada, rodillos y finalmente con el pulverizador (Figura 11-D).

- f) Al obtener el sedimento con una fracción más fina se procede a realizar una separación gravimétrica utilizando la mesa *Wilfley* (Figura 11-E), donde se separan los minerales densos de los más ligeros. Nuevamente se repetirá el proceso de secado de las muestras y con el concentrado de minerales densos se repite la operación de tamizado utilizando las mallas 100, 150, 200, 325, 400 y <400. Se realiza a continuación el pesado y cálculo de retención en cada tamiz procurando que el margen de pérdida no supere el 5%.

Separación gravimétrica: la mesa de sacudidas, tipo *Wilfley*, (Figura 9) es uno de los dispositivos de concentración gravimétrica más comunes que se utilizan para separar los minerales por su densidad. Son efectivas en concentrar minerales de alta densidad, tal como metales preciosos teniendo como principal objetivo la separación de minerales de valor económico.

ESPECIFICACIONES DE LA MESA

La mesa presenta un compartimiento en el cual deposita la muestra llamada tolva

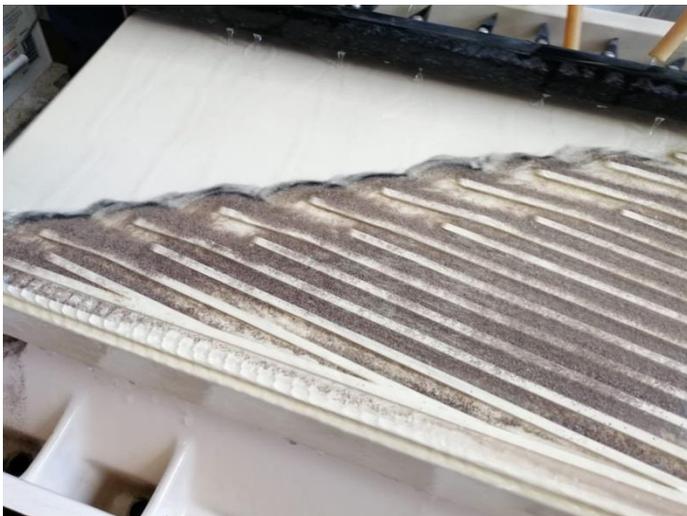


Figura 9. Mesa de sacudidas tipo *Wilfley*. Separación gravimétrica.

(alimentación) que a su vez es alimentada por agua, el compartimiento está compuesto por Fibra de Vidrio. Para que el mecanismo tenga funcionamiento necesita la energía generada por un motor a velocidad constante. Dicho mecanismo presenta un ajustador para el golpe el cual se localiza en el lado extremo de la palanca de apoyo con un

tornillo ajustador, una variación en la longitud de golpe. El dispositivo de distribución de agua tiene como función controlar la cantidad de agua de lavado acorde a las condiciones del uso requerido.

- g) La siguiente operación consiste en aplicar la técnica de separación magnética (Figura 11-F) en cada una de las mallas 100 a la <400, utilizando un imán para la recuperación de minerales magnéticos y se procede al pesado de la fracción magnética y al cálculo de la no magnética.

El golpe y la inclinación son fácilmente ajustados, mientras la máquina es operada.

Separación Magnética:

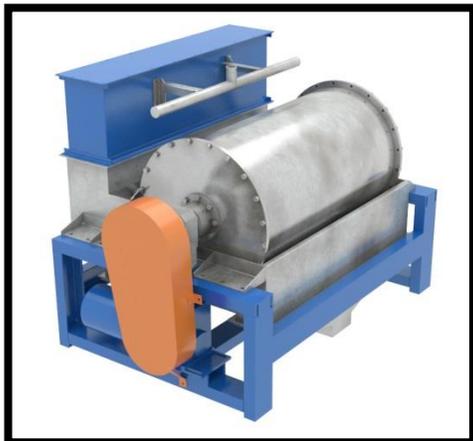


Figura 10. Catch Themes. (2020), Separador magnético húmedo MMSB-15PM.

El equipo de separación de elementos ferromagnéticos (Figura 10) se utilizan para la separación de las partes de acero ferromagnéticos y de minerales magnéticos presentes en las arenas provenientes de una suspensión de material particulado.

Dicho instrumento presenta las propiedades óptimas para el separado de minerales en la cual la velocidad de rotación del sistema magnético es de 40

rev/min teniendo un valor máximo del campo magnético en la superficie exterior de la faja de 330/3300 mT/G (Themes, 2020).



Figura 11. Instrumentos utilizados para la preparación de las muestras a analizar: A) Proceso de tamizado a diferentes mallas, B) Máquina quebradora para rocas de tamaños de guijarros, C) Máquina trituradora para fragmentos de tamaño de arenas, D) Máquina pulverizadora para tamaño de arcillas, E) Mesa de separación gravimétrica Wilfley y F) Separación magnética. Maya Zúñiga, E. A. 2019.

- h) A continuación, se realiza un cuarteo y homogeneizado de cada una de las fracciones separadas por tamices (100, 150, 200, 325, 400 y <400), de los cuales se utilizan 100 g de cada uno y se recuperan 100 g de la muestra obtenida antes de pasar por los tamices del paso (c) y 100 g de muestra procedente del concentrado magnético (Quijandria, 2016).
- i) Para empezar a realizar el proceso de análisis por vía húmeda y vía seca (copelación, ensaye gravimétrico), se debe tener noción del orden que tendrán los resultados obtenidos por cada una de las muestras; por ejemplo, la muestra del paso (c) representará la Ley de Cabeza, los resultados obtenidos para cada malla 100 a la <400 serán los testigos y la muestra magnética representa el concentrado (Viladevall, 2004).
- j) Cabe mencionar que las muestras a analizar en el paso (h) se analizaron por Au y Ag por Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA) y los metales base (Fe, Zn, Pb y Cu) por Plasma Inductivamente Acoplado (ICP).

Análisis por ICP:



Figura 12. Instrumento de medición ICP

Es una técnica cuantitativa altamente sensible y capaz de determinar casi todos los elementos presentes en la tabla periódica, que tengan un potencial de ionización menor que el potencial de ionización del argón (Figura 12).

La muestra, en forma líquida, son transportadas por medio de una bomba peristáltica hasta el sistema nebulizador donde es transformada en aerosol gracias a la acción de gas argón. Dicho aerosol es conducido a la zona de ionización que consiste en un plasma generado al someter un flujo de gas argón a la acción

de un campo magnético oscilante inducido por una corriente de alta frecuencia.

En el interior del plasma se pueden llegar a alcanzar temperaturas de hasta 8000 K. En estas condiciones, los átomos presentes en la muestra son ionizados. Los iones pasan al interior del filtro cuadrupolar a través de una interface de vacío creciente, allí son separados según su relación carga/masa.

Cada una de las masas sintonizadas llega al detector donde se evalúa su abundancia en la muestra (Burgos, 2020). Yong Wang y colaboradores en el 2014, acorde con su investigación a la utilización del aparato ColdBlock™ utilizando también el analizador de ICP para las muestras a digerir por el elemento oro (Au), se produjeron a través de ataques tradicionales de agua regia, así mismo a minimizar la formación de especies de cloruros de oro volátil y formar una nueva mezcla de ácidos que conserve una fuerte capacidad de oxidante, presentaron la iniciativa de incluir ácido bromhídrico que podría ser un componente para agregar a la convencional agua regia, adecuado como la nueva mezcla, así mismo demostraron un rendimiento mejorado en Au, ya que en estudios anteriores no era una combinación de ácido muy favorable, debido, principalmente al alto costo del reactivo.

Finalmente obtuvieron como resultado que los digestantes resultantes se diluyeron a 25 ml con agua ultra-pura y filtrada con una jeringa de 0,45 mm. Todos se diluyeron adicionalmente, con los factores de dilución apropiados para que las concentraciones de oro están entre corchetes cómodamente dentro de la gama de calibración (0-20 ppb).

7.4.2 Análisis por vía seca (copelación - ensaye gravimétrico)

Método de copelación:



Figura 13. Maya-Zúñiga, E. (2019), *Horno de fundición para copelar.*

El proceso para el ensaye de la copelación (Figura 13) se lleva a cabo por vía seca en el cual principalmente se siguen cinco etapas (Mérida-Cano, 2013).

Etapas de fundición: aquí se logra la fusión de los metales. Consiste en introducir crisoles que contienen los minerales y el fundente que se oxidará, con el fin de obtener un botón donde se encontrará el oro y la plata aleados con algún otro metal.

Fundentes: se trata de una sustancia que va a facilitar la fundición, se mezcla con otra para que

sea más fácil su concentración de los elementos en el Doré.

Copelación: se basa en las propiedades que tiene los metales de no ser oxidados a alta temperatura. Tienen como objetivo oxidar el plomo y otras impurezas. Se debe someter a temperaturas entre los 900 y 1000°C.

Separación: una vez que se obtuvo una aleación de oro y plata, se procede a la digestión para poder obtener la cantidad de oro que se encuentra en la muestra. La digestión se realiza con ácido nítrico diluido en un crisol de porcelana, que se calienta, pero sin llegar a su punto de ebullición, hasta que se logre disolver la plata.

Pesaje: se realiza con una microbalanza (μg) certificada de gran precisión y exactitud para poder determinar la cantidad de oro que resulto de la muestra analizada.

Equipos y materiales. Para realizar el ensaye de Au y Ag por vía seca (copelación) se utilizaron hornos de fundición y copelación, balanza analítica (mg) y microbalanza, así como una parrilla de calentamiento, crisoles de cerámica, crisoles de barro de 50 g, copelas de ceniza de hueso, lingotera, martillo, pinzas, granalla de plata, láminas de Pb grado reactivo, bórax, litargirio de tetra-óxido, harina de trigo y carbonato de sodio (Barefoot, 1989).

- a) Primeramente, se realiza la preparación de la mezcla de fundente que contiene 1.2 kg de litargirio de tetra-óxido, 0.44 kg de carbonato de sodio, 0.061 kg de harina de trigo y 0.24 kg de bórax, perfectamente homogeneizado.
- b) Para el proceso de copelación se vierten 45 a 60 g de la preparación homogénea del fundente en un crisol de barro, al que posteriormente se le adicionan 20 g de la muestra problema y para el caso del concentrado se realizan tres testigos para corroborar los datos.

Para muestras de alta ley se agregan 10 g y 20 g para las de baja ley. Se agregan a continuación 0.2 g de granalla de plata y 19 g de bórax, mismos que se mezclan perfectamente. A esta mezcla posteriormente se agregan 9.2 g de Pb reactivo y adicionalmente 38 g de bórax sin agitar.

- c) Se identifican los crisoles y las copelas con gis y se ponen en el horno (mufla) a 920° C por 35 a 40 min.
- d) Al término de este tiempo se vierte el contenido de la copela de barro en una lingotera para que sea depositada la escoria y se deja enfriar, (para reducir el tiempo de enfriamiento se deja caer un poco de la escoria sin llegar a tirar el régulo de plomo).
- e) Posteriormente al estar frío el producto se empieza a martillar la escoria para

la recuperación de los régulos, posteriormente se les da la forma de cubo. Cada regulo de plomo debe de pesar entre 25 g y 35 g. (Cuando la muestra es de alta ley se procede a recuperar su escoria para repetir el proceso de fundición).



- f) El régulo formado se coloca dentro de las copelas de hueso sin sacarlas del horno y se deja copelar a 895 °C por 35 a 40 minutos; posteriormente se verifica que se haga el doré con la formación del botón y se retira para proceder al limpiado con unas pinzas para retirarle restos de la escoria. Finalmente se pesa el botón en la microbalanza (μg).
- g) Se vierte el doré libre de escoria al crisol de cerámica y se agregan 10 mL de HNO_3 al 30 % y se coloca en la parrilla a una temperatura de 100 °C, de esta manera se disuelve la plata y se separa del oro. Para saber si la muestra contiene oro, el doré al momento de la digestión empieza a burbujear tomando un color negro que es indicador de su presencia. El punto negro de oro se lava con agua destilada y se guarda el líquido de nitrato de plata para

su posterior recuperación y reutilización.

- h) Posteriormente el oro que quedo en el crisol se introduce en el horno de copelación a una temperatura de 600 °C para calcinarlo, lo que ocasiona el cambio de coloración de negro a amarillo-naranja.
- i) Finalmente se pesa el botón de oro en la micro balanza y por diferencia se obtiene el cálculo de la plata para su posterior recuperación (Figura 14).

$$\text{Ag} = (\text{Doré} - \text{Au}) - 0.200\text{g}$$

7.4.3 Análisis por vía húmeda

Para realizar la disolución de las muestras, se realizan dos procesos de digestión diferentes para analizar las muestras de oro y plata para su posterior análisis por la técnica de Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA), (Skoog, 2014).

Digestión acida:



Figura 15 Maya- Zúñiga. (2019), Digestión acida para Au y Ag.

Wryan Helmeczi y colaboradores en el 2018 realizaron una variedad de pruebas con diferentes técnicas de digestión acuosas (Figura 15), para la determinación de oro, los métodos de digestión de ácido, están basadas en el uso de agua regia modificada, en el que una mayor proporción de ácido nítrico (HNO_3 : HCl), está involucrado, compite efectivamente con disparar ensayos para

entregar valores exactos y precisos más cercanos a la realidad, bajo un modelo donde no se ve a simple vista las partículas de oro, y así mismo tener resultados del mismo en una fracción del tiempo más corto. Así mismo llegaron a la conclusión que los ataques ácidos (Figura 15) por agua regia la cantidad relativamente baja de

HNO_3 en la digestión, son insuficientes para romper algunas de las matrices que contienen oro y, por tanto, estos métodos no permiten la completa recuperación de oro.

Espectrometría de Absorción Atómica (EAA):



Figura 16. Perkin, E. (2015), *Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA)*.

La técnica de espectrometría de absorción atómica EAA (Figura 16) se lleva a cabo teniendo una muestra líquida evitando sólidos en la muestra, con una fuente emisora que contendrá la muestra líquida, será aspirada y conducida a un nebulizador que la pulverizará e inyectará en forma de micro-gotas, que son conducidas a una flama ionizante que absorberán la radiación

emitida por la lámpara (lámpara de cátodo hueco) en función a su concentración.

Cuando la señal que emite la lámpara pasa por la flama, llega al monocromador, este tiene como finalidad discriminar las radiaciones que no sean de nuestro interés. La radiación electromagnética pasa por un detector, amplificador y por último a un sistema de lectura.

Según Roldán (2017), los componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica son:

- 1) Fuente de radiación que contiene el mineral que nos interesa (lámpara de cátodo hueco en nuestro caso será para el elemento de Au y de Ag).
- 2) Nebulizador que aspire la muestra líquida dicho nebulizador debe de limpiarse siempre con un blanco para evitar interferencias con alguna otra muestra analizada

con anterioridad.

3) Quemador es un tipo de flama (aire-propano) que va a favorecer a la formación de átomos aparte de los componentes en solución dicho aire de propano no debe de sobrepasar los 80 de presión al igual que el oxígeno, ya que si no se apagará la flama.

4) Sistema óptico para separar la radiación del elemento de interés.

5) Detector que transforma la relación proporcional de la radiación electromagnética a señales eléctricas o de corriente.

6) Sistema de lectura para interpretar la transmitancia o absorbancia.

7) Tener un Blanco que será compuesta por agua des ionizada, muestra estandarizada del elemento de interés y la muestra sin sólidos flotando.

Digestión para plata:

Materiales: balanza analítica, vasos de precipitado de 150 ml, piseta, probeta graduada de 100 ml, parrilla, ácido nítrico (HNO_3), ácido clorhídrico (HCl), ácido perclórico (HClO_4), agua destilada y un imán.

- a) Primeramente, se pesa 1 g de la muestra y se agrega a un vaso de precipitados de 250 mL.



Figura 17. Digestión con agua regia y ácido perclórico
Maya Zúñiga, E. A. (2019). Digestión con agua regia y ácido perclórico.

b) Se coloca el vaso de precipitados en una parrilla a una temperatura de 150 °C a 200 °C y se le añaden 10 mL de HCl concentrado para eliminar el exceso de hierro. Posteriormente se pasa un imán por debajo para observar que ya no presente magnetita y entonces se procede a realizar la digestión con agua regia

preparando 10 mL de HCl concentrado, 1 mL de HNO₃ y se agrega a continuación 1 mL de HClO₄, llegando hasta la sequedad en la parrilla (Figura 17).

c) Posteriormente se prepara una probeta de 100 mL con 10 mL de HCl al 50 % y 90 mL de agua destilada que se le verterán a la muestra en seco que quedo en el vaso de precipitados y se agita, para pasar después a reposo por 10 minutos para que cualquier partícula en suspensión se decante. La solución queda lista para pasar al ensaye por Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA).

Digestión para Oro:

Materiales: balanza analítica, vasos de precipitado de 150 ml, piseta, matraz aforado de 25 mL, probeta de 100 mL, parrilla de calentamiento, HNO₃, HCl, agua destilada y un imán.

a) Primeramente, se pesan 2 g de la muestra y se vierten a un vaso de precipitados.

b) Se agregan 10 mL de HCl concentrado, colocándola en la parrilla a una

temperatura de 150 °C a 200 °C evitando las salpicaduras y sin llegar a sequedad.

- c) Posteriormente se hace una preparación de 90 mL de agua destilada y 10 mL de HCl concentrado, que se le vierte a la muestra y se agita para posteriormente dejar en reposo por 24 horas para que los sólidos se decanten.
- d) Después se realiza el ataque ácido con agua regia a una temperatura de 100°C a 150°C hasta sequedad.
- e) Posteriormente se le agregan 10 mL de HCl al 50 % y 15 ml de agua destilada al vaso de precipitados, se agita bien el concentrado y se afora a 25 mL en un matraz aforado pasándolo por papel filtro sin dejar pasar sólidos. Posteriormente se agita la muestra y estará lista para ser analizada por EAA. En este caso se analizará cuatro veces la muestra juntando los resultados de las réplicas y los datos promedio, ya que tendrán que coincidir con los datos obtenidos por la copelación. Así se evita un análisis erróneo por interferencia de hierro en la digestión (Medel, 2019).

7.5 Parámetros y nivel de medición

Concepto	Dimensión	Indicador	Ítems	Codificación	Nivel de medición
Geoquímicas	Clasificación de las muestras	Separación gravimétrica	Con el objetivo principal de separar mediante las densidades de los minerales con respecto al agua para obtener una mayor concentración de arenas negras.	Al momento de realizar el proceso de separación de minerales densos y no densos no debe de superar el error del 5% de pérdida en el proceso.	Razón
		Separación magnética	Con el objetivo principal de separar los elementos magnéticos donde Pueden estar encapsulados por las arenas negras.	Las concentraciones obtenidas por un cuarteo de 1Kg debe de tener por lo mínimo una concentración de minerales ferro magnesianos de 45gr.	Razón
		Humedad de la muestra	Su principal objetivo es dar a conocer el contenido de agua insitu en las muestras de arena tanto en húmedo y seco.	10 gr < 9 gr 8.9 gr < 6 gr 5.9 gr < 3 gr 2.9 gr < 1gr 0.9 gr < 0 gr	Intervalos

Geoquímica	Métodos de análisis cuantitativos	Digestión acida para Au, Ag y elementos base	Conocer el porcentaje, ppm y gr/ton de los elementos de interés mediante técnicas analíticas cuantitativas.	Conocer una ley de corte para cada elemento.	Razón
		Método de copelación para Au y Ag	Con el objetivo de hacer una separación de minerales específicos tangibles que contiene una muestra.	Cálculos realizados con base en los pesos atómicos y moleculares en la composición de las sustancias.	Razón
Geoquímicas	Técnicas analíticas mono y poli elementales	Análisis por ICP	Con el objetivo de identificar las diferentes concentraciones de elementos en solución técnica poli elemental.	Conocer una ley de corte para cada elemento.	Razón
		Espectrometría de absorción atómica	Determina la concentración de un mineral metálico en una muestra acorde con su longitud de onda análisis mono elemental.	Ley de Beer: $A = a \cdot b \cdot c$ A: Absorbancia medida en el aparato a: absortividad molar de la muestra Lt/cm b: camino óptico recorrido a través de la muestra	Razón

Tabla 5 Proceso geoquímico para la clasificación de muestras, Maya Zúñiga, E. A. (2022). Proceso geoquímico para la clasificación de muestras.

Concepto	Dimensión	Indicador	Ítems	Codificación	Nivel de medición
Geológicas	Características geológicas	Pendiente	En el siguiente valor se representa el porcentaje estimado de elevación, que existe en el terreno el cual no debe de exceder del 100% de valor, en dado caso que lo excediera el dato estaría meramente erróneo.	0-2.14 10.2-15 19.9-24.6 29.5-34.7 42- >68.1<100	Intervalo
		Tipo de roca	Conocer cuáles son las características idóneas en las que el tipo de roca presente en la zona será factor muy importante para que se lleve a cabo la posibilidad de recarga en los acuíferos intermitentes y así mismo tener una mayor acumulación de depósitos de sedimentos.	Muy alta Alta Moderada Baja Muy baja	Ordinales
		Textura del suelo	Los valores presentes están expuestos por la edafología de la zona que fueron categorizados.	Gruesa Mediana Fina	Ordinales
Geológicas	Características ambientales	Uso de Suelo	En el siguiente valor se expresará los diferentes usos de suelos presentes en la zona de interés, de la cual serán la limitación de territorio entre zonas.	Matorral Pastizal Vegetación inducida No aplicable	Ordinales

		Zona de recarga	Entendiendo que la parte superficial es menor que la precipitación total al descontar la evaporación, evapotranspiración, almacenamiento, etc. Poder conocer las zonas con mayor concentración del sedimento arrastrado por el agua.	0-24 51-75 110-130 160-180 210-230	Intervalo
--	--	-----------------	--	--	-----------

Tabla 6 Proceso geológicos para la clasificación de muestras, Maya Zúñiga, E. A. (2022). Proceso geológico para la clasificación de muestras.

Concepto	Dimensión	Indicador	Ítems	Codificación	Nivel de medición
Mineralógicas	Clasificación de minerales y dimensiones	Minerales Nativos	Conocer cuál es la abundancia del elemento en estado nativo de alto valor, depositada en los sedimentos de arroyo.	Ag= Valores de ley superiores a 100 ppm Au= Valores Superiores a 0.3 gr/ton Cu= Valores de ley superiores a 50 ppm	Razón
		Elementos base	Conocer cuál es la abundancia de los elementos base metálicos de interés industrial con valor económico, depositada en los sedimentos de arroyo.	Pb= Valores de ley superiores a 50 ppm Zn= Valores de ley superiores a 50 ppm Fe= Valores de ley superiores a 10 %	Razón

		Granulometría	Conocer tanto la procedencia del sedimento en cuestión de su transporte, como conocer la clasificación del sedimento.	Muy mal clasificados Mal clasificados Moderadamente clasificados Bien clasificados Muy bien clasificados	Ordinales
--	--	---------------	---	--	-----------

Tabla 7 Proceso mineralógicos para la clasificación de muestras, Maya Zúñiga, E. A. (2022). Proceso mineralógico para la clasificación de muestras.

Procedimientos para el análisis de datos:

Hipótesis:

Los materiales metálicos de interés, provenientes de diferentes edades y materiales geológicos, no presentan las mismas características para realizar el mismo procedimiento de preparado de muestras convencionales, a través de los resultados se puede determinar que, por la presencia de uraninita en las muestras, un proceso extra a la digestión convencional para la eliminación de dicha interferencia.

Análisis:

Los análisis de las muestras sometidas a las pruebas por vía húmeda y vía seca y realizando una comparación de resultados deben de dar el mismo resultado con un error menor al 5%, a través de la recopilación de los datos obtenidos de las concentraciones de los elementos de interés, se prosigue a realizar un mapa de iso-concentraciones del elemento en el área de estudio utilizando un método estadístico llamado Kriging; así mismo, a través de álgebra de mapas y de variables geológicas y ambientales, permitirán calcular zonas de acumulación de recarga de agua para el conocimiento de las posibles zonas de acumulación de los minerales densos que sufrieron transporte y erosión por agentes mecánicos.

8.- RESULTADOS

8.1 Área de estudio:

Los datos que se presentarán son resultados preliminares de una porción de las muestras que ya fueron analizadas y pasadas por todos los procesos, los cuales nos muestran una representación básica del comportamiento de los metales en los arroyos, las 13 muestras que ya se analizaron fueron de los puntos donde se conectaban varios tributarios en el transcurso del arroyo, a medida que las primeras siete de las muestras son del arroyo “La labor” y otras seis del arroyo “El Chalino”. En la siguiente tabla se muestra la ley mínima explotable para los elementos metálicos en cuerpos mineralizados de placer (Tabla 8).

Elemento	Ley promedio mínima explotable cuerpo mineralizado	Ley promedio mínima explotable en placer
Al	30 %	15 %
Fe	25 %	10 %
Cu	400 ppm	100 ppm
Ni	0,5 %	0,1 %
Zn	4 %	1 %
Mn	35 %	11 %
Sn	0,5 %	0,1 %
Ag	150 ppm	20 ppm
Pb	10 ppm	1 ppm
Au	1 g/t	0.3 g/t

Tabla 8 Valores de leyes mínimas explotables de los principales elementos con valor económico para yacimientos, recuperado en Geo virtual, 2.4 Evaporitas.

8.2 Método de Copelación:

Ensaye gravimétrico de A

Se obtuvieron los siguientes resultados los cuales de color azul son los valores con menor ley de los elementos a analizar solo para Oro (Au) y Plata (Ag), ya que el método de copelación (Tabla 9) se realizó para identificar esos elementos en específico, están marcados de color rojo los valores con mayor ley. Cabe destacar que para un yacimiento de placer para ser económicamente explotable tendría que tener de ley para oro superior a 0.3 g/ton y de plata 25 ppm (Viladevall, 1998).

N	Nombre	Muestra (g)	Ag (g)	Pb (g)	Regulo (g)	Dore (g)	Au (g/ton)	Ag (ppm)
L 1	LB7	20.000	0.201	9.002	26.588	0.204	0.400	2.500
L 2	LB16	20.002	0.200	9.007	25.088	0.207	0.100	7.100
L 3	LBB1	20.000	0.202	9.006	26.399	0.205	0.150	2.400
L 4	LB10	20.000	0.201	9.001	25.663	0.204	0.300	2.200
L 5	LB3	20.002	0.201	9.004	27.922	0.205	0.500	3.800
L 6	LB5	20.003	0.204	9.005	25.649	0.208	0.100	3.800
C 7	LB13	20.001	0.201	9.002	28.873	0.204	0.500	2.000
C 8	LBBb1	20.001	0.202	9.010	25.924	0.205	0.100	2.400
C 9	LB6	20.004	0.202	9.006	25.965	0.205	0.200	2.300
C10	LB14	20.003	0.201	9.009	26.708	0.204	0.100	2.700
C 11	LBBa2	20.009	0.201	9.500	25.559	0.205	0.200	3.500
C 12	LB15	20.006	0.205	9.582	25.318	0.225	0.100	19.800
C 13	LBBa1	20.009	0.202	9.553	25.671	0.214	0.100	12.300

Tabla 9 Resultados obtenidos en el proceso de copelación oro (Au) y plata (Ag).

8.3 Espectrometría de Absorción Atómica para Au y Ag

Los datos obtenidos de la Espectrometría de Absorción Atómica (Tabla 10) deben de coincidir o tener un margen de error muy mínimo con los resultados obtenidos por Vía seca (Copelación), ya que el método de copelación es más preciso, con un resultado tangible.

N°	ID. Muestra	Muestra para Ag (g)	Muestra para Au (g)	Au (g/ton)	Ag (ppm)
L 1	LB7	0.100	0.200	0.395	2.450
L 2	LB16	0.100	0.200	0.123	7.100
L 3	LBB1	0.100	0.200	0.149	2.380
L 4	LB10	0.100	0.200	0.295	2.168
L 5	LB3	0.100	0.200	0.450	3.750
L 6	LB5	0.100	0.200	0.150	3.800
C 7	LB13	0.100	0.200	0.500	1.998
C 8	LBBb1	0.100	0.200	0.100	2.395
C 9	LB6	0.100	0.200	0.195	2.297
C 10	LB14	0.100	0.200	0.950	2.700
C 11	LBBa2	0.100	0.200	0.200	3.494
C 12	LB15	0.100	0.200	0.100	19.780
C 13	LBBa1	0.100	0.200	0.100	12.300

Tabla 10 Resultados obtenidos en el proceso de digestión ácida para Au y Ag mediante el método de Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA).

8.4 Plasma de acoplamiento inductivo (ICP) para Cu, Fe, Zn y Pb

Se realizó la interpretación de los datos obtenidos del ICP calibrándolo a: 0, 5, 10, 15, 20 y 25 mg/L para obtener una calibración en los datos obtenidos por cada elemento, y realizando las operaciones convencionales, para la obtención de las concentraciones de elementos por cada muestra, con color rojo se representan las muestras que obtuvieron mayor ley y de color azul las muestras que obtuvieron menor ley (Tabla 11).

N°	ID. Muestra	Fe (%)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)
L 1	LB7	15.053	73.608	72.198	70.743
L 2	LB16	15.438	59.869	75.179	51.638
L 3	LBB1	15.031	59.681	67.930	52.061
L 4	LB10	16.131	66.906	80.381	58.600
L 5	LB3	17.028	77.811	82.979	52.451
L 6	LB5	16.760	84.859	85.486	49.339
C 7	LB13	16.569	79.186	77.090	52.594
C 8	LBBb1	17.315	73.901	75.003	52.651
C 9	LB6	15.948	82.360	70.806	55.293
C 10	LB14	16.235	70.055	79.090	54.008
C 11	LBBa2	11.598	78.450	74.049	199.136
C 12	LB15	16.694	76.445	110.419	109.122
C 13	LBBa1	15.053	73.608	72.198	70.743

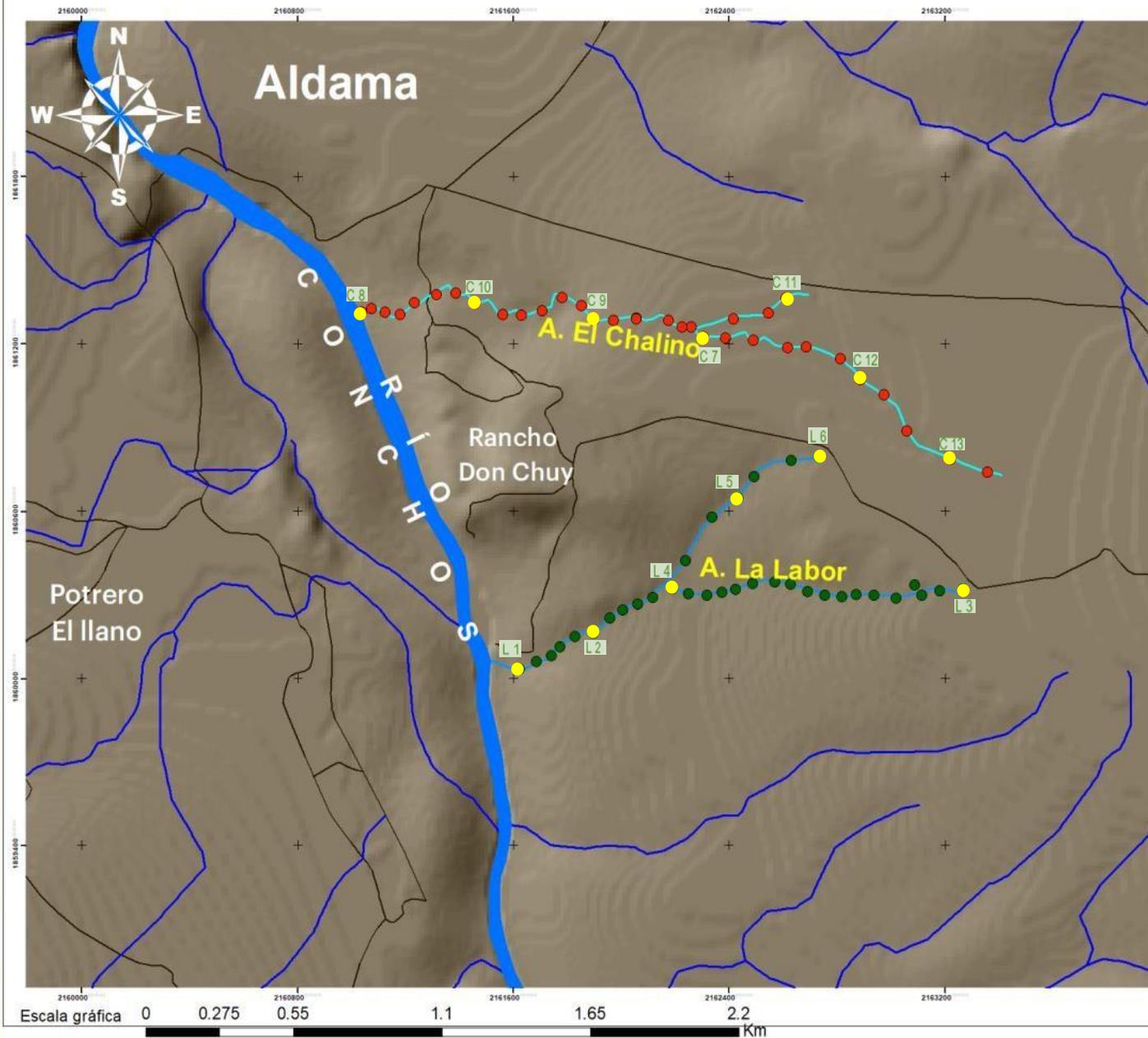
Tabla 11 Resultados obtenidos para metales base (Fe, Zn, Pb y Cu) por PlasmaInductivamente Acoplado (ICP).

8.5 Mapa Muestreo

N°	ID. Muestra	X	Y	Au (g/ton)	Ag (ppm)
L 1	LB7	454136	3182703	0.395	2.450
L 2	LB16	454409	3182838	0.123	7.100
L 3	LBB1	455778	3183021	0.149	2.380
L 4	LB10	454697	3183002	0.295	2.168
L 5	LB3	454935	3183332	0.450	3.750
L 6	LB5	455232	3183488	0.150	3.800
C 7	LB13	454796	3183909	0.500	1.998
C 8	LBBb1	453525	3183972	0.100	2.395
C 9	LB6	454387	3183962	0.195	2.297
C 10	LB14	453945	3184014	0.950	2.700
C 11	LBBa2	455101	3184054	0.200	3.494
C 12	LB15	455380	3183769	0.100	19.780
C 13	LBBa1	455720	3183488	0.100	12.300

Tabla 12. Ubicación de las muestras recolectadas en los arroyos La Labor y el Chalino, Potrero del Llano, Aldama, México.

En el siguiente mapa se plasma la localización de las muestras recolectadas en campo, y analizadas en el laboratorio acorde a la tabla 12, cómo se muestren la figura se tienen los 7 muestreos en el arroyo El Chalino, y los 6 muestreos en el arroyo La Labor (Figura 18).



Potrero El Llano municipio de
Aldama Chihuahua



Simbología

- Municipios
- Río Conchos
- Carreteras vecinales

Muestras
recolectadas

- Chalino
- Labor

Arroyo

- Afluentes
- A. El Chalino
- A. La Labor

DATUM

Escala:	Proyección:	Fecha:
1:10,000	Ubicación del muestreo realizado.	20/04/2019

Figura 18. Mapa de ubicación de muestras en los arroyos El Chalino y La Labor. Potrero El Llano, Aldama Chihuahua. DEM obtenido del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2019) digitalización de muestras y de cuerpo de agua creación propia.

8.6 Mapa de zona de recarga

Zonas de recarga:

Una vez teniendo el mapa de zona de recarga (Figura 19), se llegó como resultado, que cuando hay precipitaciones abundantes, se llega a depositar el agua a las faldas de las montañas y con ello arrastrando una cantidad considerable de sedimentos, donde llegan a tener minerales de interés, y así mismo concentradas en los centros de los valles, por lo cual se observó que las zonas donde se encuentra el Rancho Don Chuy, tiene una alta capacidad para la deposición de los sedimentos acarreado por el agua, a través de los diferentes tributarios conectados a los arroyos estudiados, provenientes de las diferentes montañas.

Para la realización del mapa de Zona de Recarga se tuvo que realizar con anterioridad la elaboración de los mapas de Pendiente, Uso de Suelo, Cobertura vegetal, Tipo de suelo y Tipo de roca, las cuales fueron discriminadas con ponderaciones de cero a cinco acordes a su característica de cada una de ellas, al obtener dichas reclasificaciones, se procedió a realizar el álgebra de mapas para calcular la Zona de Recarga la cual se utilizó la siguiente formula.

$$ZR = [0.27(Pendiente_{ZR}) + 0.23(Tipo_Suelo_{ZR}) + 0.12(Cobertura_Vegetal_{ZR}) + 0.13(Uso_de_Suelo_{ZR})]$$

Posibilidad de recarga	Ponderación
Muy alta	4.1-5
Alta	3.5-4.09
Moderada	2.6-3.49
Baja	2-2.59
Muy baja	1-1.99

Tabla 13 Valores dados a la reclasificación de uso de suelo.

En la siguiente tabla se puede observar las diferentes ponderaciones en las que se clasificó el mapa de zonas de recarga, principalmente para conocer qué tan rica es la deposición de los sedimentos en el área de estudio, el cual nos dio como resultado una ponderación de 3.0 a 3.86 de alta a

muy alta, área de deposición final de sedimento de arrastre por medio de meteorización mecánica mediante fenómeno de precipitación.

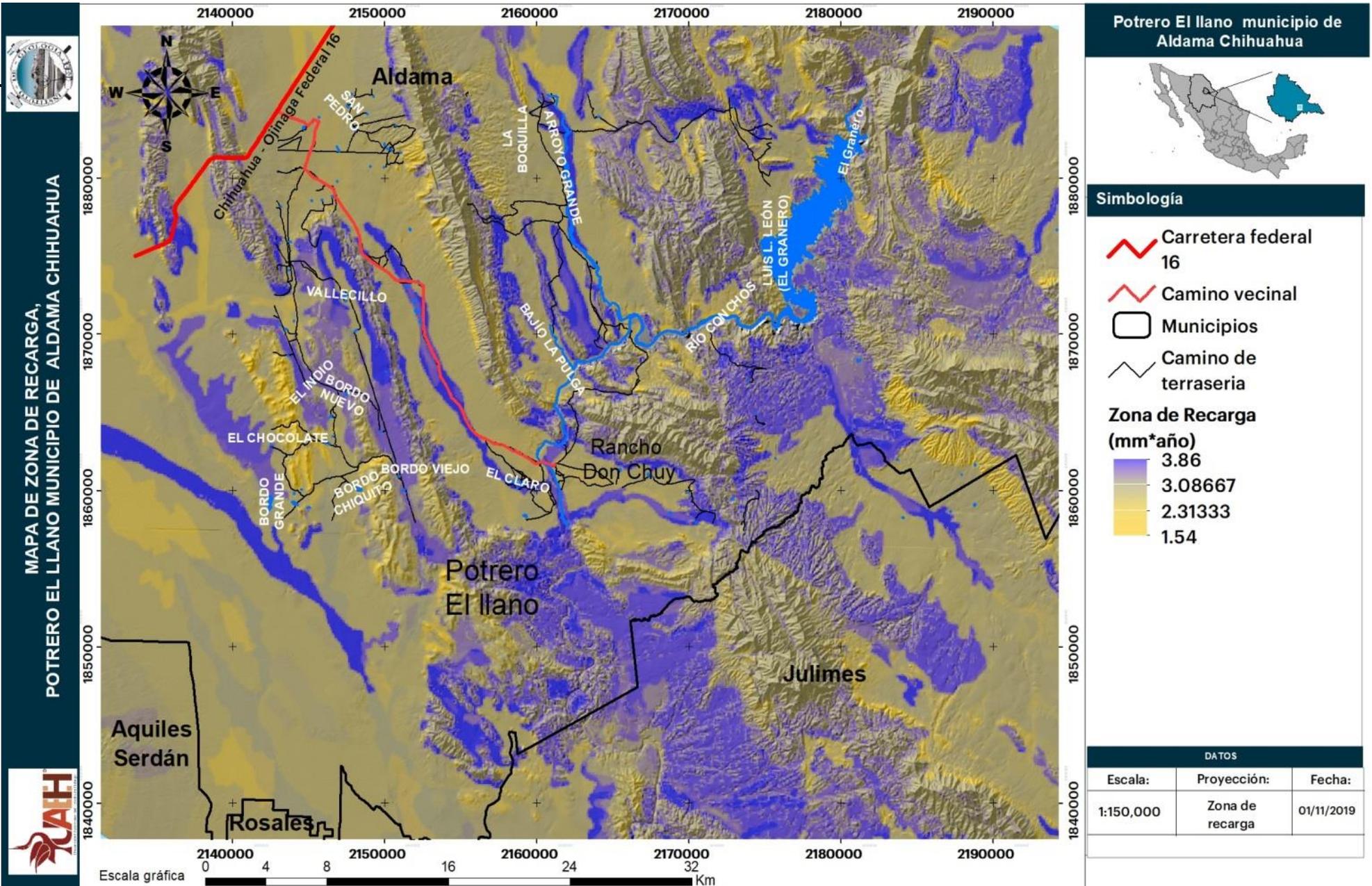


Figura 19. Mapa de Zona de Recarga, Potrero El Llano, Aldama, Chihuahua. Maya Zúñiga, E. A. (2019). Mapa de Zona de Recarga.

8.7 Mapa de iso-concentraciones de los elementos Au, Ag, Cu, Fe, Zn y Pb

A través de los resultados obtenidos por los distintos métodos de análisis cuantitativos, se plasmaron los resultados utilizando el método de Kriging para conocer la dispersión de las concentraciones elementales en la superficie. Comparando la geología de las zonas cercanas al área de estudio, se infiere una hipótesis:

- En que los sedimentos ricos en Cobre (Cu) (Figura 65) provienen del distrito minero de Julimes.
- Las altas concentraciones de Plomo (Pb) (Figura 66), y Zinc (Zn) (Figura 67) provenientes de la zona minera de Plomosas.
- Así mismo, las altas concentraciones de Oro (Au) (Figura 68) y Plata (Ag) (Figura 69), son provenientes de la zona minera Placer de Guadalupe, Rancho Santo Domingo.
- Las altas concentraciones de Hierro (Fe) (Figura 70) se prevé que su origen viene de la zona mineralizada de Gómez.

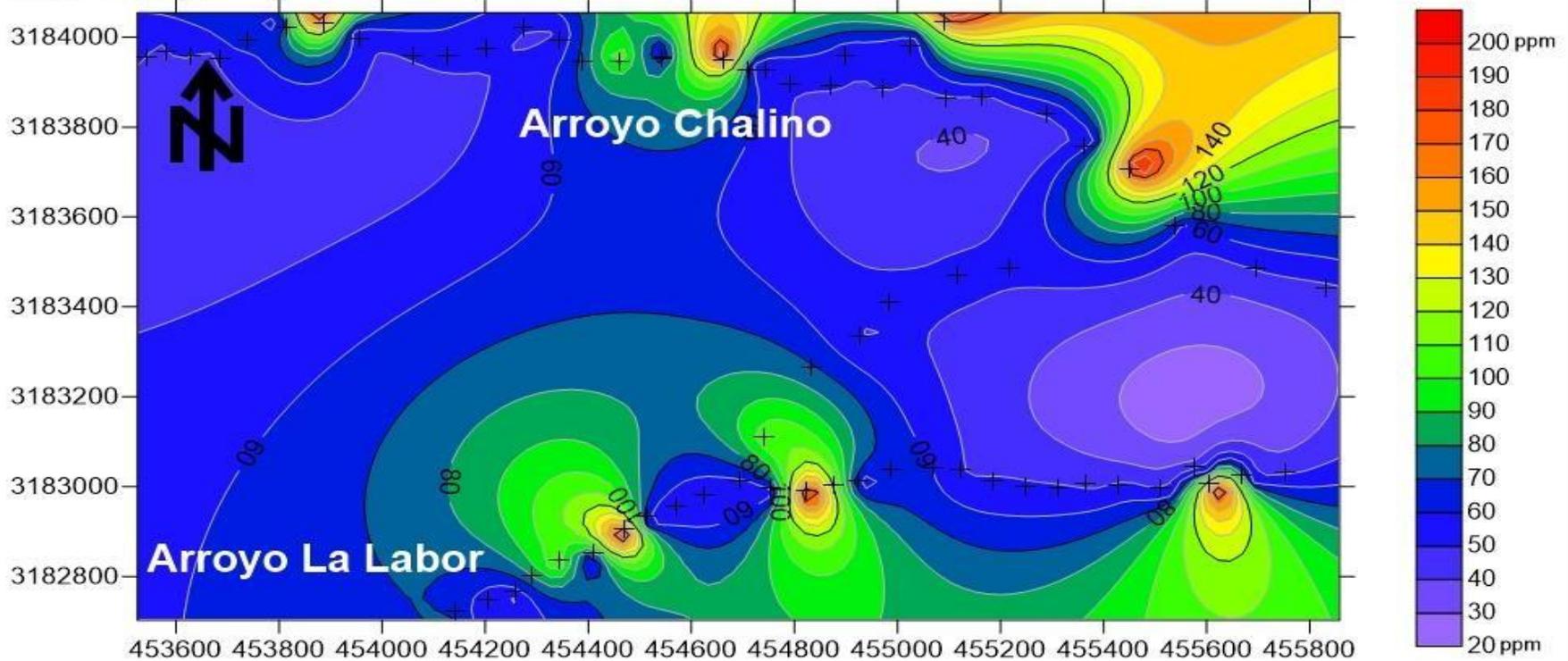
Acordes los análisis geoquímicos descritos por el Servicio Geológico Mexicano en el informe técnico de Chorreras el área que está cercana a la zona de estudio, área mineralizada de carrizalillo, presenta un tipo de veteo con mineralización rica en elementos metálicos, alojadas en calizas de la formación Montoya, se presenta un reporte hasta con un 46.7% de hierro, donde esa está asociada a un halo de oxidación tipo hidrotermal, donde se presentan esquiras con valores de 0.3 g/t de Oro y 59 g/t de plata, en donde el marco geológico que presenta el área es muy favorable para el emplazamiento estructural y mineralizada en el distrito minero de plumosas.

Otra de las zonas prospectivas cercanas al área de estudio, se recomienda el área mineralizada el caballo, ya que sobre ella presenta manifestaciones de mineralización representada por Vetas y vetillas con mineralización de óxido dentro de la formación la casita, dentro de los muestreos superficiales se encontraron esquirlas que reportaban valores anómalos de entre 2 g/t Oro, presentando un origen hidrotermal de tipo metamorfismo de contacto (Minera Terra Resources, 2003).

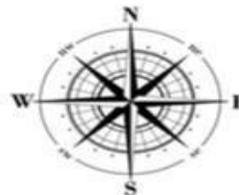
Se realizaron una serie de muestreos donde indicaron valores de entre 0.084% a 0.092% de cobre, a 0.021g/t a 0.030 g/t de Oro y 2 g/t de Plata, el 0.040% de Plomo dicho esto las estructuras se consideran favorables ya que se encuentran en la parte central del trend mineralizado (Galván, 2002).

Haciendo dicha comparación con las muestras realizadas por el ingeniero Galván y en comparación con las mías, se tiene una correlación de porcentajes, ya que pertenecen de la misma paragénesis mineral y llevada a cabo por la misma meteorización mecánica.

Mapa de distribución de Cobre (Cu) en ppm.



Escala gráfica

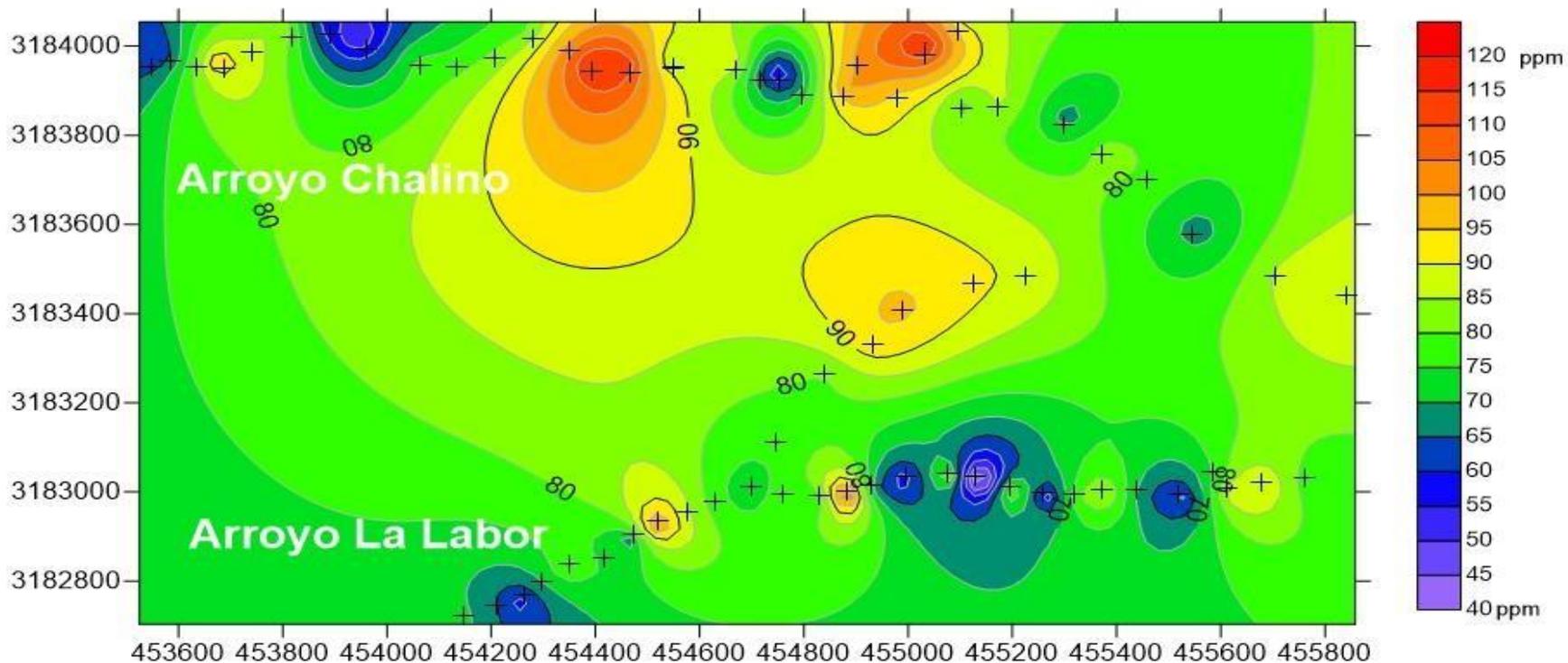


PROYECCIÓN DEL ELEMENTO COBRE (CU)

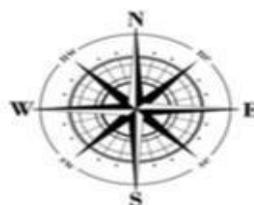
Ubicación: Potrero El Llano, Rancho Don Chuy
 Proyección: WGS_84_UTM_zone_13N
 Escala: 1: 10 000
 Fecha: 27/06/2019
 Autor: Evaris Alan Maya Zúñiga

Figura 20 Mapa de Iso concentraciones para Cobre (Cu), Potrero El Llano, Aldama Chihuahua. Maya Zúñiga., (2019). Mapa de Iso-concentraciones para Cobre (Cu) .

Mapa de distribución de Plomo (Pb) en ppm.



Escala gráfica



PROYECCIÓN DEL ELEMENTO PLOMO (Pb)
 Ubicación: Potrero El Llano, Rancho Don Chuy
 Proyección: WGS_84_UTM_zone_13N
 Escala: 1: 10 000
 Fecha: 27/06/2019
 Autor: Evaris Alan Maya Zúñiga

Figura 21. Mapa de Iso concentraciones para Plomo (Pb), Potrero El Llano, Aldama Chihuahua. Maya -Zúñiga, (2019). Mapa de Iso-concentraciones para Plomo (Pb) .

Mapa de distribución de Zinc (Zn) en ppm.

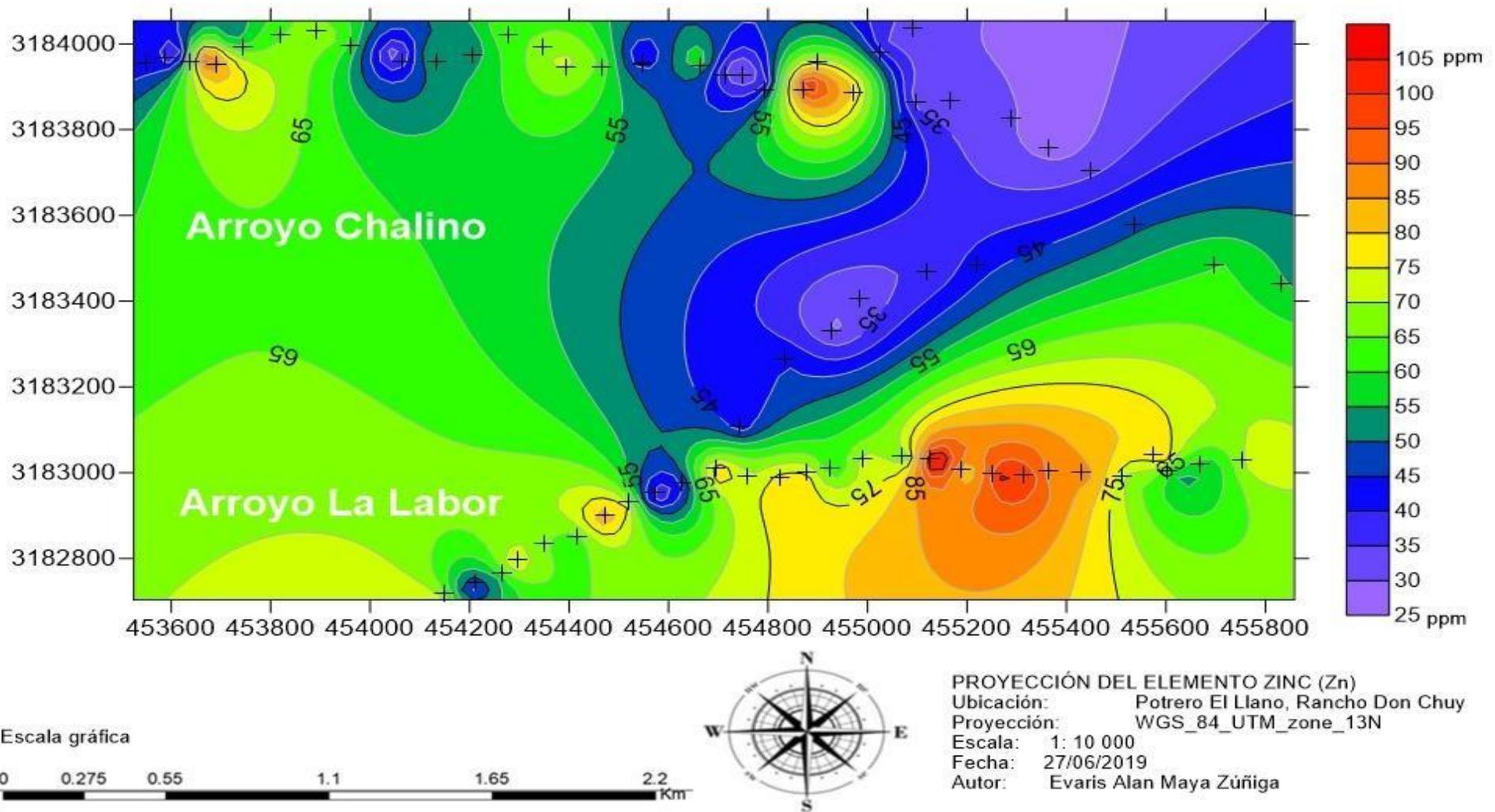


Figura 22 Mapa de Iso concentraciones para Zinc (Zn), Potrero El Llano, Aldama Chihuahua. Maya -Zúñiga, (2019). Mapa de Iso -concentraciones para Zinc (Zn).



Mapa de distribución de Oro (Au) en g/ton.

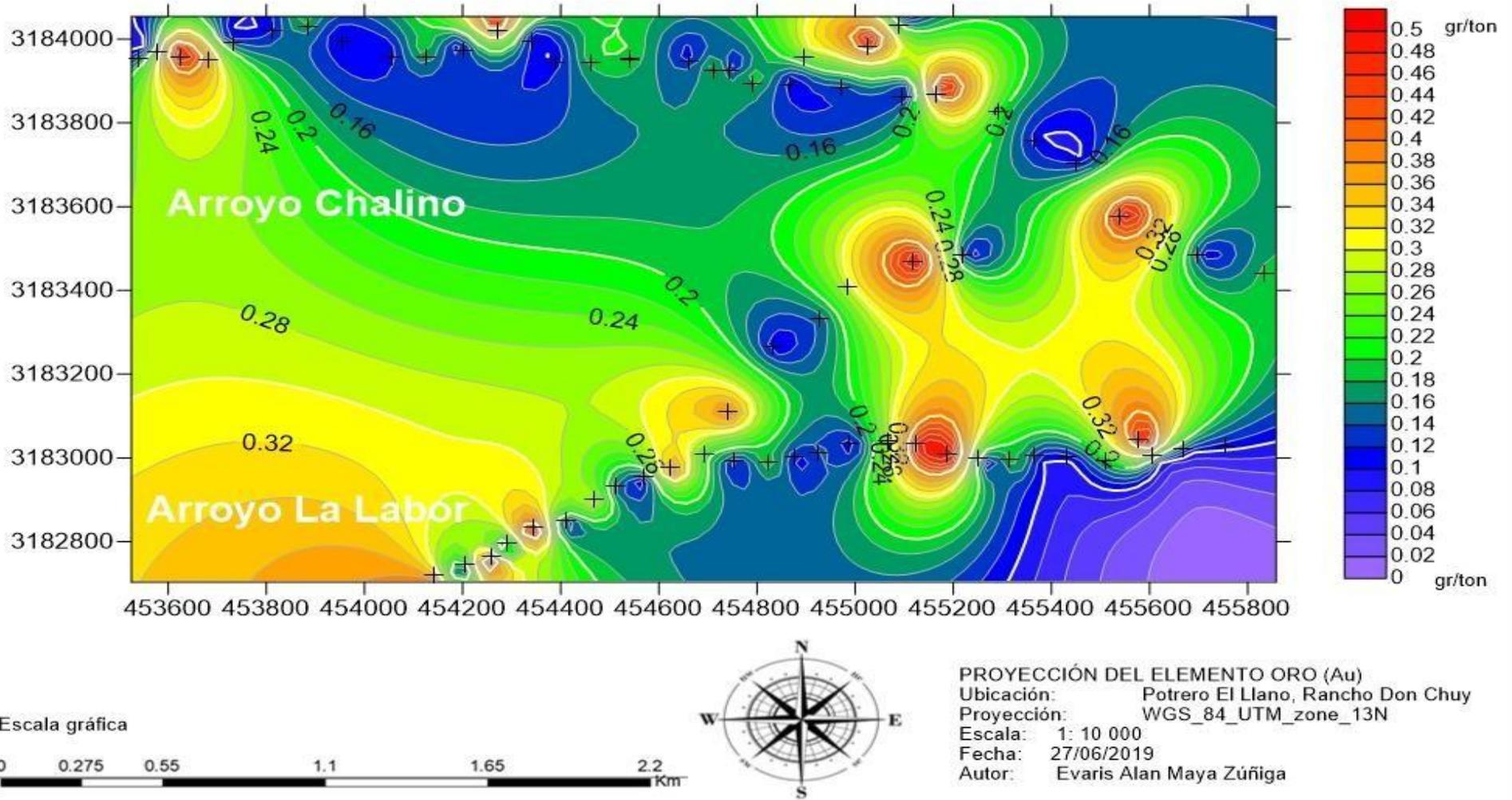


Figura 23. Mapa de Iso concentraciones para Oro (Au), Potrero El Llano, Aldama Chihuahua. Maya -Zúñiga, (2019). Mapa de Iso-concentraciones para Zinc (Zn).

Mapa de distribución de Plata (Ag) en ppm.

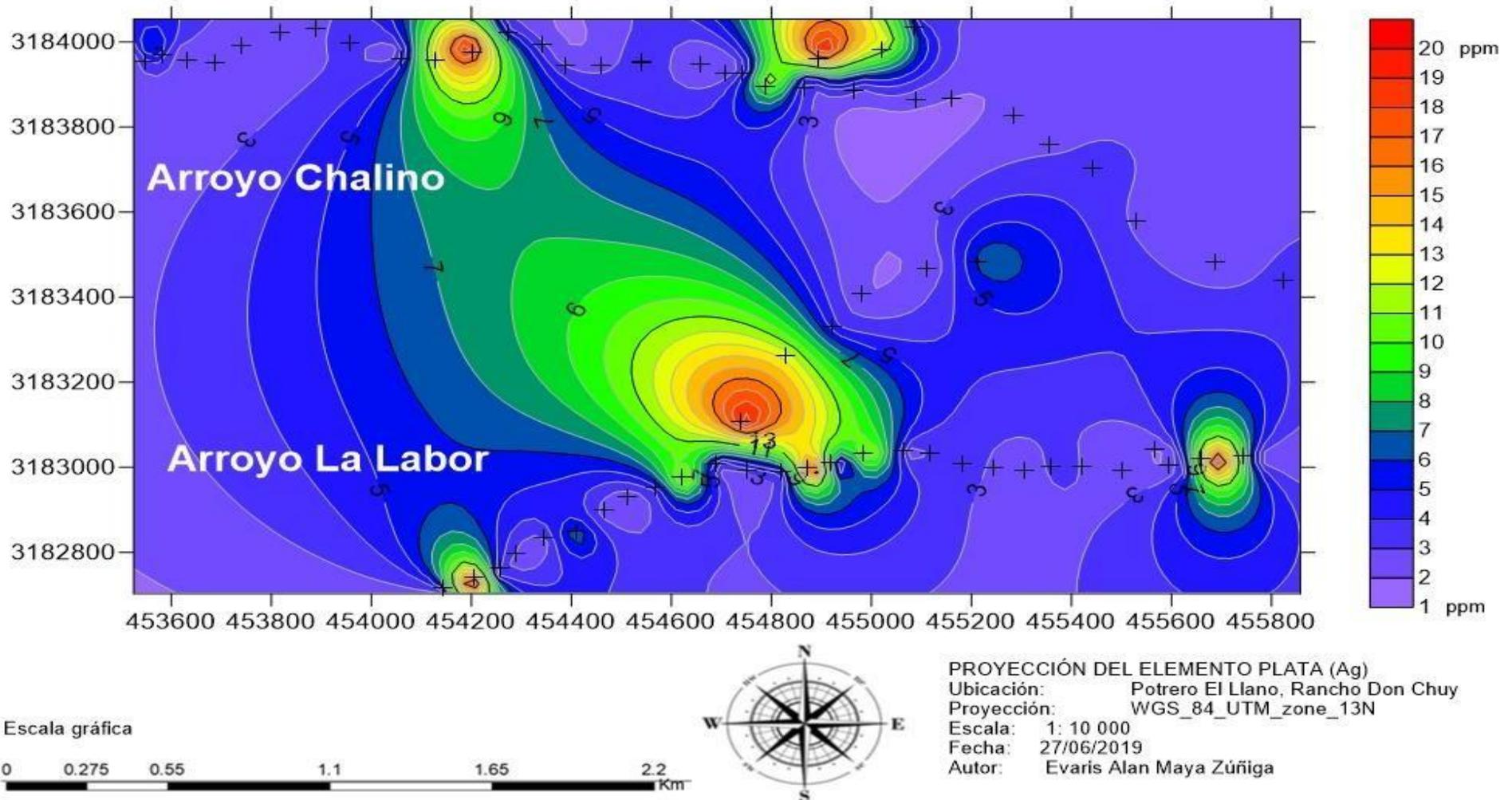


Figura 24. Mapa de Iso concentraciones para Plata (Ag), Potrero El Llano, Aldama Chihuahua. Maya-Zúñiga, (2019). Mapa de Iso-concentraciones para Plata (Ag).

Mapa de distribución de Hierro (Fe) en %.

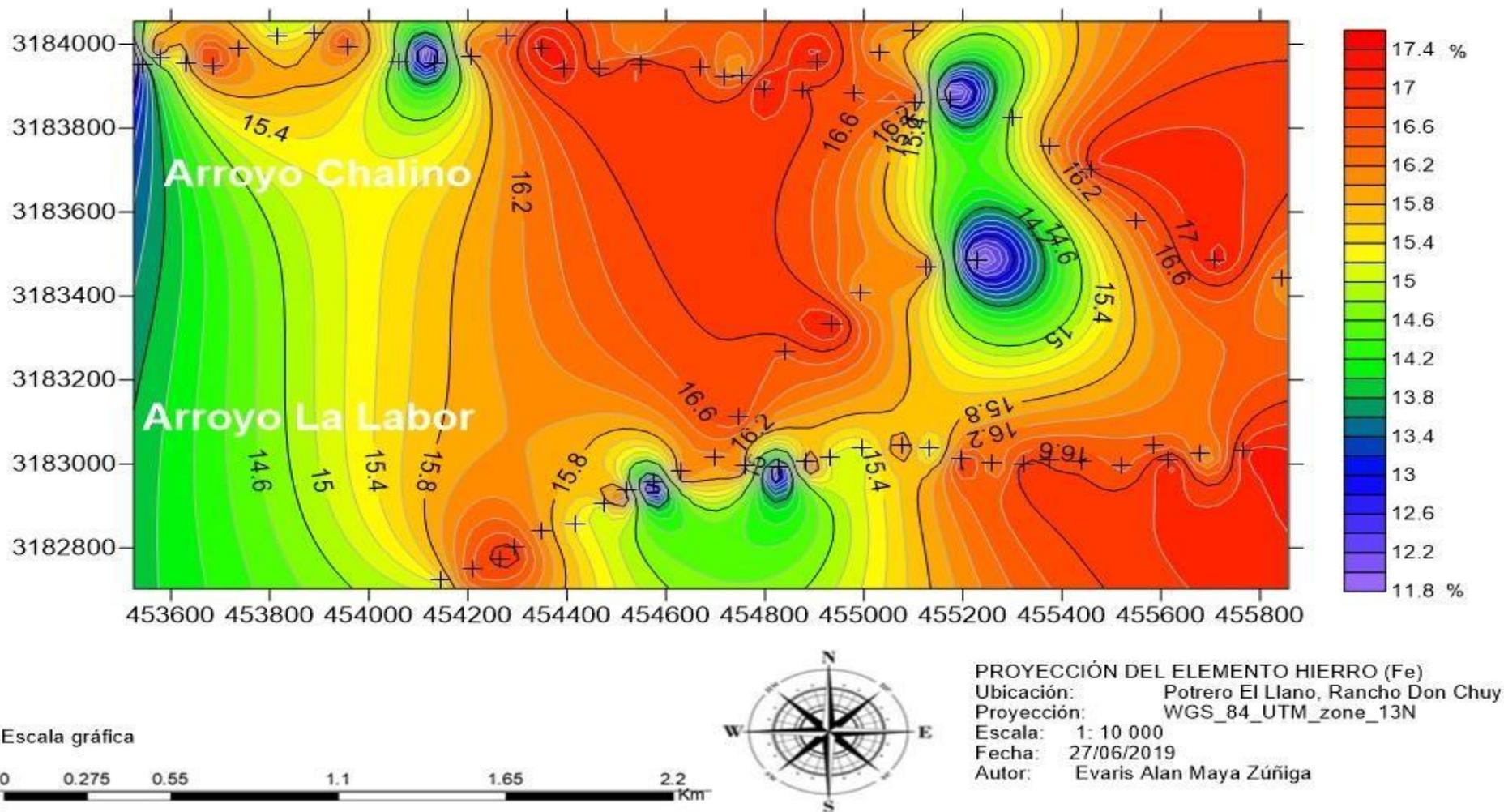


Figura 25. Mapa de Iso concentraciones para Hierro (Fe), Potrero El Llano, Aldama Chihuahua. Maya-Zúñiga, (2019). Mapa de Iso-concentraciones para Plata (Ag).

9.- DISCUSIÓN

1.- Unos de los principales conflictos que se obtuvo, fue en la preparación de las muestras por digestión ácida, de las cuales se probaron dos técnicas distintas para la digestión, una usando una parrilla con agitación y la otra usando un reactor de microondas, las cuales a mi punto de vista y al haber realizado ambas pruebas la digestión con parrilla aunque su único defecto es la expulsión de gases al ambiente, tienes mayor control de las muestras durante el proceso de digestión con condición manual para controlar la temperatura, a diferencia del microondas que tienes que precisar de manera correcta la temperatura y la presión y como se encuentra sellada no expide gases al ambiente pero si no se digesto bien la muestra atiene que volver a repetirse, por lo tanto se optó por realizar la digestión por el método convencional por parrilla.

2.- Al realizar por el método convencional la digestión ácida por agua regia para los elementos de Oro (Au) y Plata (Ag), tuvieron que tener modificaciones de digestado, ya que las muestras presentaban alto contenido en Hierro y resultaba difícil el diagnóstico de Oro en las muestras por interferencia de longitud de ondas semejante al del hierro y al momento de usar ácido perclórico para destrucción total del hierro en la muestras, se obtuvo mayor ley en las lecturas por Espectroscopia de Absorción atómica y de esa manera si llegaba al resultado obtenido por la copelación.

3.- Por medio de la copelación y la ley de cabecera que se realizó antes de sacar todas las muestras se percató que al tener baja ley de Plata el Doré, se le agrego Nitrato de plata dándole algo nuevo al método convencional de copelación, ya que con ello, el botón de Doré tendrá buen tamaño y podrá encapsular al Oro. Si la plata es de baja ley no logrará encapsular al oro, por lo tanto, al agregarle el nitrato de plata se hará de tal forma que la ley de plata sea alta y así mismo pueda encapsular al oro, y para poder sacar el valor de la plata solo es cuestión de restar el peso del doré con oro obtenido y así mismo restarle lo que se le agrego de itrato de plata

con ello obtener el valor de la plata de cada muestra.

4.- Para los elementos de mayor interés en explotar se optó por la técnica mono elemental de Espectroscopia de Absorción atómica, ya que se buscaba tener un resultado más preciso evitando así las interferencias por longitudes de onda al elemento de interés, teniendo como referencia los estándares para cada elemento. Y posteriormente para los elementos metálicos base como Cu, Fe, Pb y Zn se optó por realizarlo en Plasma de acoplamiento inductivo para obtener resultados sometidos a diferentes disoluciones que servirán de apoyo para balancear las leyes al momento de vender el concentrado de arenas negras.

5.- Acorde a los resultados obtenidos y comparándolos con los proyectos de Placer de Guadalupe (Echagaray, 1954), Santo Domingo (Minera Terra Resources, 2003). Se tienen como resultado una semejanza en los valores de enriquecimiento de los minerales de interés, por medio del cual cumple con una semejanza tal en los porcentajes que dan como respuesta una buena zona para la explotación del yacimiento de tipo placer.

10.- CONCLUSIONES

- Las principales áreas anómalas se encuentran ubicadas en las intersecciones y conexiones de líneas tributarias de los arroyos, además de acumularse en zonas con baja depresión, en los meandros, áreas accidentadas mayores, menores y en las paredes donde ocurre la meteorización mecánica en las limitaciones de los arroyos.

- En las muestras analizadas reflejan un ponderado de resultado por elemento, donde los resultados analíticos revelaron una concentración de Au de 0.3 a 0.5 g/ton, Ag 20 g/ton, Cu 199 g/ton, Pb 110 g/ton, Zn 85 g/ton y Fe 17.28% en peso.

- La técnica analítica por Vía Seca (Copelación, ensaye gravimétrico) resulta ser un método muy efectivo que da resultados tangibles y permite corroborar los resultados obtenidos por vía húmeda (EAA y/o ICP).

- Las características del yacimiento de placer, motivo de estudio, y acorde con los datos obtenidos mediante las técnicas analíticas empleadas para Au y Ag, permiten argumentar que este sitio es interesante para explotar a cielo abierto aplicando tecnologías amigables con el medio ambiente, como los implementados en la Comunidad Europea y descritos por Viladevall (2004).

- Los metales base analizados por ICP: Fe, Zn, Pb y Cu, muestran valores bajos en general; sin embargo, el volumen total de las arenas que entran al proceso de separación gravimétrica se enriquecen sustancialmente en varios órdenes de magnitud, tornándolos de interés.

-A través de los diferentes mapas de iso valores con el mapa de zona de recarga se llegó a apreciar que efectivamente donde se realiza el cúmulo de agua en los arroyos intermitentes, es donde se están depositando los sedimentos de arenas negras de interés económico, siendo el mapa de Zona de recarga útil para corroborar el origen de su depositación de las arenas negras.

11.- RECOMENDACIONES

- Para este tipo de muestras se recomienda realizar la digestión acida por método convencional, usando la parrilla, además de agregar el agua regia, añadirle ácido perclórico para la destrucción completa del hierro.
- Al obtener el concentrado mineral listo para su análisis, primero debe pasar por el proceso de copelación ya que dichas muestras contienen uraninita, y pueden interferir en las lecturas correctas para poder sacar el blanco.

- Se debe analizar más puntos de muestra bajo este método, para dar mayor panorama y mejor predicción de los resultados, ya que hicieron falta más datos para realizar mayor sondaje.
- Presentar una reunión de las comunidades aledañas a la zona de estudio, para plantear la propuesta de explotación y así mismo tener buenas relaciones con la comunidad, ya que a su vez se le puede dar empleo, siendo que de las comunidades depende mucho que se permita llevar a cabo dicha actividad.
- Realizar principalmente una extracción de arenas negras de manera artesanal, mediante un concentrador gravimétrico de tipo Falcón con el cual ayudará a iniciar la explotación a baja escala para ir recuperando capital para más inversiones a futuro dando como producto final una concentración de arenas negras.
- Utilizar todo el material de la zona de los minerales metálicos como no metálicos utilizando la arena sobrante como material de construcción vendida por toneladas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alam, M., Li, S.-R., Santosh, M., & Yuan, M.-W. 2018. Morphology and chemistry of placer gold in the Bagrote and Dainter streams, northern Pakistan: Implications for provenance and exploration. *Geological Journal*. doi:10.1002/gj.3262
- Anjaneya, P. 2015. Determination of Infiltration Parameter Estimation Rates in a Small Region in Andhra Pradesh. *International Journal of earth sciences and engineering*, 8(2), 212-214. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/307470883_Determination_of_infiltration_parameter_estimation_rates_in_a_small_region_in_Andhra_Pradesh
- Arenas, J. M, Carrero, G., Galache, J., Mediavilla, C., Silgado, A. y Vázquez, E. M. 2001. Actuaciones realizadas tras el accidente de Aznalcóllar. *Boletín Geológico y Minero*. Vol. Especial, 35-56. ISSN 0366-0176.
- Balasubramanian, A. 2017. Placers and placer mining. *Centre for Advanced Studies in Earth Science, University of Mysore*, doi: <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.27654.78403>
- Barefoot, J. V. 1989. *Analytical Methods for Geochemical Exploration*. San Diego, California (U.S.A.): Academic Press, Inc.
- Burgos, U. d. 04 de 03 de 2020. Espectrometría de Masas de Plasma (ICP-MS). Obtenido de <https://www.ubu.es/parque-cientifico-tecnologico/servicios-cientifico-tecnicos/espectrometria/espectrometria-de-masas-de-plasma-icp-ms>
- Burrows, H.R. 1910. *Geology of Northern México*. *Bol. Soc. Geol. Mexicana*, v. 7, p. 85-103.

- Cabrera, F., Narváez, G., Chávez M., Hernández, R., Alcantara., J y Gómez.,F 2020 Exploración carbonífera en la Cuenca de Ojinaga, Chihuahua. Boletín de la Sociedad Geológica mexicana, 1-21. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM1984v45n3a3>
- Capitán-López, C. V. 2021. Bioestratigrafía de una sucesión marina con base en ammonites (Mollusca, Cephalopoda Cuvier 1797) en Rancho Don Chuy, municipio de Aldama, Chihuahua, México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tesis Profesional. 62 p. Inédita.
- Castañeda, J. L. R., Quintana, J. R., & Rivera, A. O. 2015. Mesozoic gliding and Tertiary basin and range tectonics in eastern Sonora, Mexico. *Geofísica Internacional*, 54(3), 221–244. doi:10.1016/j.gi.2015.04.018.
- Cerceau, C. I., Carvalho, C. de F., Rabelo, A. C. S., dos Santos, C. G., Gonçalves, S. M. D., & Varejão, E. V. V. 2016. Recovering lead from cupel waste generated in gold analysis by Pb-Fire assay. *Journal of Environmental Management*, 183, 771–776. doi:10.1016/j.jenvman.2016.08.052.
- COREMI.1994. Soils and sediments affected by the dispersion of metal sulfide from inactive tailings in the Santa (1,571 Kb) Barbara mining area, Chihuahua, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 170-184.
- Craw, D., Mackenzie, D., y Grieve, D. 2015. Supergene gold mobility in orogenic gold deposits, Otago Schist, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 58, n. 2. p. 123-136. doi: 10.1080 / 00288306.2014.997746
- Eberle, D., Bastian, D., Ebel, N., & Schwarz, R. 2017. Locating hidden channels for placer gold exploration in the Cariboo District, British Columbia,

Canada: A case study. *Journal of Applied Geophysics*. v. 136, p. 61–79.
doi:10.1016/j.jappgeo.2016.10.023

- Echagaray, F. A. 1954. Informe preliminar de yacimientos de Uranio y Oro en Placer de Guadalupe y Puerto del Aire, municipio de Aldama, estado de Chihuahua. México D.F: SGM.
- Evdokimov, S. I., & Evdokimov, V. S. 2017. Enhanced gold recovery based on joint ore and waste processing. *Journal of Mining Science*. v. 53, n. 2, p. 358–366. doi:10.1134/s1062739117022236
- Galindo-Castillo E., Otazo-Sánchez, E., Ma., Reyes Gutiérrez, L. R., Arellano-Islas, S. M., Gordillo-Martínez, A., González-Ramírez, C. A. 2010: “Balance hídrico y afectaciones a la recarga para el año 2021 en el acuífero Cuautitlán Pachuca.”, *GeoFocus (Informes y comentarios)*, nº 10, p. 65-90. ISSN:1578-5157.
- Galván, I. J. 2002. Carta Chorreras clave H13-C59. Chorreras: SGM.
- García, E.1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México D.F.
- Griem-Klee, S. 2016. Apuntes Exploraciones Mineras Geoquímica en la prospección. Obtenido de: <https://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC/TEXT/0300-geoquimica-exploracion.htm>
- Helmeczi, W., Helmeczi, E., Baker, L. A., Wang, Y., & Brindle, I. D. 2018. Development of a general acid method for the digestion of gold ore samples together with a comparison of extraction solvents for gold and determination by microwave-induced plasma-atomic emission spectrometry (MIP-AES). *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. v. 33, n. 8, p. 1336–1344.

doi:10.1039/c8ja00136g.

- Hernández, N. L., Carrizales, A. A., Ávila, L. F., Ramírez, T. E., 2000. Texto explicativo de la cartografía geológico – minera y geoquímica, carta Ciudad Delicias clave H13-11, escala 1: 250,000. Estado de Chihuahua. Consejo de Recursos Minerales.
- Hou, L., Wang, X.-S., Hu, B. X., Shang, J., & Wan, L. 2016. Experimental and numerical investigations of soil water balance at the hinterland of the Badain Jaran Desert for groundwater recharge estimation. *Journal of Hydrology*. v. 540, p. 386–396. doi:10.1016/j.jhydrol.2016.06.036
- IGME, 2001. Las aguas y los suelos tras el accidente de Aznalcóllar. *Boletín Geológico y Minero*. Volumen especial. 294 p. ISSN 0366-0
- INAH. 2021. Rancho Don Chuy y su riqueza paleontológica. *Secretaria de cultura, Boletín Núm. 6*.
- INEGI. 2019. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, consulta y descarga de los mapas de distintos temas geográficos. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>
- Izaguirre, A.A, Camprubí, A.B., Iriando, A.C. 2015. Mesozoic orogenic gold deposits in Mexico. *Elsevier*. v. 81, n. 3, p. 1172-1183. doi:10.1016/j.oregeorev.2015.10.006
- Jack y Dangermond, L. 2018. *ArcGIS (ArcMap 10.6.1) [Windows]*. Redlands, California, Estados Unidos.

- Jara, J. J., Moreno, F., Jara, R., Dubournais, F., Mata, R., Peters, D., Lagos, G. 2018. Ranking of Placer Gold Prospects in Chile Through Analytic Hierarchy Process. *Natural Resources Research*. doi:10.1007/s11053-018-9420-5.
- Kartashov I.P. 1971 Geological features of alluvial placers. *Econom. Geol.*, v. 66, pp. 879-885.
- Kryazhov, A., Panova, S., Kolpakova, N., & Pshenichkin, A. 2014. Determination of Au, Pb, Ni and Co in Mineral Raw Materials by Atomic Absorption Spectroscopy with Graphite Furnace. *Procedia Chemistry*, 10, 437–440. doi:10.1016/j.proche.2014.10.073.
- Lalomov, A. V., Chefranov, R. M., Naumov, V. A., Naumova, O. B., LeBarge, W., & Dilly, R. A. 2017. Typomorphic features of placer gold of Vagran cluster (the Northern Urals) and search indicators for primary bedrock gold deposits. *Ore Geology Reviews*, 85, 321–335. doi:10.1016/j.oregeorev.2016.06.018
- Levresse, G., Villarreal-Fuentes, J., Nieto-Samaniego, A.F., Alexandre, P., Corona-Esquivel, R., y Sole, J. 2017. New metallogenic model of telescoped Eocene-Miocene Au-U epithermal mineral deposit in the Placer de Guadalupe district, Chihuahua, Mexico. *Ore Geology Reviews*, 91, 133-152. doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.10.011
- Maya-Zúñiga, E., Flores-Castro, K., Pérez-Moreno, F., Cadena-Zamudio, J.L. 2019. Exploración geoquímica por Au en el Rancho Don Chuy, Potrero El Llano, Aldama, Chihuahua (México): implicaciones analíticas. *Actas INAGEQ*, v.25. p. 182-196. ISSN-Latindex 2310-2799.
- McKee, J.W., Jones, N.W., Anderson, T.H., 1988, Las Delicias basin: A

record of late Paleozoic arc volcanism in northeastern Mexico: *Geology*, 16(1), 37–40.

- Medel, M. A. 2019. Técnicas analíticas para análisis de oro y plata por vía húmeda y vía seca. (E. A. Zúñiga, comunicación personal).
- Melchiorre, E. B., & Henderson, J. 2019. Topographic Gradients and lode gold sourcing recorded by placer gold morphology, geochemistry, and mineral inclusions in the east fork San Gabriel river, California, U.S.A. *Ore Geology Reviews*. doi:10.1016/j.oregeorev.2019.04.022
- Méndez-Díaz, C. 2018. Geoquímica orgánica de la madera del género fósil *Agathoxylon* (Araucariaceae) del Cretácico Superior Potrero El Llano, Aldama, Chihuahua (México). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tesis profesional. 90p.
- Mérida-Cano, M. E. 2013. Evaluación del plomo presente en cada etapa del proceso de la determinación analítica de oro y plata en un laboratorio metalúrgico. Universidad de San Carlos de Guatemala: Tesis. Obtenida desde: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1377_Q.pdf.
- México, E. d. 2020, 01. Aldama. <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM08chihuahua/municipios/08002a.html>
- Minera Terra Resources, S. d. 2003. Manifestación de impacto ambiental modalidad particular. del proyecto Santo. Chihuahua: TEGGEO.
- Moufti, A. M. B. 2014. Opaque mineralogy and resource potential of placer gold in the stream sediments between Duba and Al Wajh, Red Sea coast, northwestern Saudi Arabia. *Journal of African Earth Sciences*. V. 99, p. 188–

201. doi:10.1016/j.jafrearsci.2013.10.011

- Nguimatsia Dongmo, F. W., Chapman, R. J., Bolarinwa, A. T., Yongue, R. F., Banks, D. A., & Olajide-Kayode, J. O. 2018. Microchemical characterization of placer gold grains from the Meyos-Essabikoula area, Ntem complex, southern Cameroon. *Journal of African Earth Sciences*. doi:10.1016/j.jafrearsci.2018.12.006
- Nikiforova Z.S. Geological-structural control and criteria of forecasting the types of primary sources of placer gold on the East of Siberian platform. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2018; v. 5, p. 17-24. (In Russ.) <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2018-5-17-24>.
- O, S. A., & A, A. A. 2018. Aquifer, Classification and Characterization. *Aquifers - Matrix and Fluids*. doi:10.5772/intechopen.72692
- Oliver, M. A. 1990. "Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems". *International Journal of Geographic Information Systems*. v. 4, p. 313–332.
- Perkin, E. 2015, Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA)[Fotografía], Recuperada el 19 de abril 2020 desde: <http://www.cab.cnea.gov.ar/dfc-ctp/index.php/equipamiento-y-tecnicas-de-estudios/laboratorio-de-absorcion-atmica>
- Pineda, I. J. 2019. TRANCAS H13-C58 ESCALA 1:50,000. Chihuahua: SGM.
- Quintero, O. y Guerrero, J.C 1985. Una nueva localidad del basamento precámbrico de Chihuahua, en el área de Carrizalillo. *Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología, Revista*. v. 6, p. 98-99.

- Rincón, G. P. 2011. Manual de Geoquímica. Bogotá: INGEOMINAS.
- Roldan, B. 2017. Espectrofotometría de absorción atómica. Obtenido de <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-de-salta/quimica-analitica/practica/espectrofotometria-de-absorcion-atmica/2899177/view>
- Roy, S., Upton, P., & Craw, D. 2018. Gold in the hills: patterns of placer gold accumulation under dynamic tectonic and climatic conditions. *Mineralium Deposita*. doi:10.1007/s00126-017-0789-6.
- Sinclair, A.J. 1991. A fundamental approach to threshold estimation in exploration geochemistry: probability plots revisited. v. 41, n. 1-2, p. 0–22. doi:10.1016/0375-6742(91)90071-2
- SGM. 2019. [Mapa Geológico de la ciudad de Delicias]. Recuperado el 17 de abril del 2020, de: http://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/46_H13-11_GM.pdf
- SGM. 2022. ¿Qué es la Geoquímica? Pachuca de Soto: Gob.mx.
- SGM. 22 de 03 de 2017. Geoquímica. Obtenido de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Geoquimica/Introduccion-geoquimica.html>
- Themes, C. 2020. Separador magnético húmedo MMSB-15PM. Obtenido de <http://itomakla.com/producto/separadores-magneticos-humedos/separador-magnetico-humedo-mmsb-15pm/>
- Vásquez, H. 1997. Exploración Geoquímica. Universidad Eafit, p. 133-161.

- Vaughan, T. W. 1900. Reconnaissance in Rio Grande coal fields of Texas. U.S. Geol. Survey Bull. v. 164, p. 73-88
- Viladevall, M. 1998. La geoquímica del oro como herramienta de prospección de menas auríferas. Boletín Geológico y Minero de España. v. 109, n. 5-6, p 521-534.
- Villarreal-Fuentes, J., Levresse, G., Nieto-Samaniego, A.F., y Corona-Esquivel, R. 2014. New geological and geochronological data of the Placer de Guadalupe uplift, Mexico: a new piece of the Late Triassic–Jurassic Nazas Arc. *International Geology Reviews*. v. 56, n. 16, p. 2000–2014. doi.org/10.1080/00206814.2014.984353
- Wang, Y., & Brindle, I. D. 2014. Rapid high-performance sample digestion for ICP determination by ColdBlock™ digestion: part 2: gold determination in geological samples with memory effect elimination. *J. Anal. At. Spectrom.*, v. 29, n.10, p. 1904–1911. doi:10.1039/c4ja00189c.
- Wang, Y., Baker, L.A., Helmeczi, E., y Brindle, I.D. 2016 Rapid high-performance sample digestion of base metal ores using high-intensity infrared radiation with determination by nitrogen- based microwave plasma optical spectrometry. *Analytical chemistry research*. v. 7, p. 17-22. doi:10.1016/j.ancr.2016.02.002
- Webb, D.S., 1969, Facets of the geology of the Sierra del Presidio area, north–central Chihuahua, in *The Border Region: New Mexico Geological Society, 29th Field Conference Guidebook*. p.182–185.
- Wiyantoko, B. 2018. Quantitative analysis of gold concentrate using fire assay by gravimetry and spectrophotometry method. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. v. 118, n. 24, n. 1-19.

- Wolleben, J.A. 1966. Biostratigraphy of the Ojinaga and San Carlos formations of west Texas and northeastern Chihuahua. University of Texas at Austin, Ph. D. dissertation, p. 62.
- Yan-Hong, L., Wan,B., Ding-shuai,X.2019. Sample Digestion and Combined Preconcentration Methods for the Determination of Ultra-Low Gold Levels in Rocks. *Molecules*. v. 24, n. 9, 1778. doi:10.3390/molecules24091778.