

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

Estudio Geológico-Minero del Área Jarillas-Las Casas, municipio de San Nicolás
Yaxe, estado de Oaxaca.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A
FRANCISCO DAVID MARTINEZ CERVANTES
Directora: M. en C. Guadalupe Villaseñor Cabral



MARZO DE 2012

Agradecimientos

En primer lugar agradezco al Instituto de Geofísica de la UNAM, de donde se obtuvo la beca para tesis de licenciatura para así poder realizar este trabajo.

Agradezco al Dr. Carles Canet Miquel por el apoyo brindado para usar el equipo del laboratorio de Petrografía y Microtermometría del Instituto de Geofísica de la UNAM, además de sus valiosos comentarios y sugerencias que ayudaron a enriquecer este trabajo.

Agradezco a la M. en C. Guadalupe Villaseñor Cabral por aceptar dirigir mi tesis y por sus observaciones y comentarios acerca de este trabajo.

Agradezco al Ing. Jesús Castro Mora que fue precursor y director de este proyecto de tesis, pero que por diversos motivos no pudo continuar con la dirección del trabajo hasta el final y que fungió como codirector de este mismo. Además agradezco el apoyo otorgado en las campañas de campo.

Agradezco a la empresa minera Aurea por permitirme trabajar en su proyecto y permitirme consultar reportes internos de la misma.

Agradezco al Ing. Alfredo Victoria Morales por su apoyo incondicional y sus atinadas observaciones en los estudios petrográficos y mineragráficos.

Agradezco al Dr. Carlos Garza González Vélez y al M. en C. Enrique Gonzales Torres por su apoyo y comentarios para la mejora de mi trabajo escrito.

Agradezco la Dra. Teresa Pi responsable del Laboratorio de difracción de rayos X del Instituto de Geología de la UNAM.

Agradezco a mis padres y hermanos por su apoyo y confianza durante este importante proceso en mi vida académica.

Finalmente agradezco a la UNAM por brindarme la educación que me ha permitido llegar hasta donde me he propuesto hasta ahora.

Contenido	
RESUMEN	5
OBJETIVOS	6
PROBLEMÁTICA	6
INTRODUCCIÓN	7
1. ANTECEDENTES	8
1.1 Desarrollo de la minería en el Estado de Oaxaca.	8
1.2 Aspectos Sociodemográficos.....	10
2. SÍNTESIS GEOGRÁFICA.....	12
2.1 Localización y vías de acceso.....	12
2.2 Clima y Vegetación	13
2.3 Fisiografía.....	16
3. SÍNTESIS GEOLÓGICA.....	18
3.1 Marco Tectónico	18
3.2 Estratigrafía Regional.....	22
3.3 Geología Estructural Regional.....	23
4. GEOLOGÍA LOCAL DEL AREA JARILLAS- LAS CASAS	24
4.1 Distribución espacio-temporal de las unidades litológicas	24
4.2 Marco Estructural Local.....	29
5. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS.....	31
6. CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS Y MINERAGRÁFICAS DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS	36
7. DISTRIBUCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES. 41	
6.1 Metodología.....	41
6.2 Mapeo de Alteraciones	42
8. CONTENIDOS METÁLICOS DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS.....	48
9. DISCUSIÓN.....	54
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS.....	63

Estudio Geológico-Minero del Área Jarillas-Las Casas, municipio de San Nicolás Yaxe, estado de Oaxaca

FIGURA 1 ILUSTRACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DEL METAL EN EL CÓDICE FLORENTINO TOMADA DE .	8
FIGURA 2 REGIONES ECONÓMICAS DE OAXACA (MODIFICADO DE CASTRO-MORA <i>ET AL.</i> , 1996).	11
FIGURA 3 LOCALIZACIÓN Y ACCESO AL ÁREA JARILLAS-LAS CASAS	12
FIGURA 4 MAPA DE CLIMAS DE OAXACA (MODIFICADO DE CASTRO-MORA <i>ET AL.</i> , 1996).	14
FIGURA 5 MAPA DE VEGETACIÓN DE OAXACA (MODIFICADO DE CASTRO-MORA <i>ET AL.</i> , 1996).	15
FIGURA 6 PROVINCIAS FISIGRÁFICAS DE OAXACA (MODIFICADO DE CASTRO-MORA <i>ET AL.</i> , 1996).	17
FIGURA 7 TERRENOS TECTONOESTRATIGRÁFICOS DE OAXACA (MODIFICADO DE CASTRO-MORA <i>ET AL.</i> , 1996).	20
FIGURA 8 COLUMNA GEOLÓGICA DEL ÁREA JARILLAS-LAS CASAS	25
FIGURA 9 DIAGRAMA DE ROSETAS CON LAS TENDENCIAS DE INCLINACIÓN DE LOS PLANOS DE FALLA Y FRACTURAS DE LA ZONA JARILLAS-LAS CASAS. FIGURA 10 DIAGRAMA DE ROSETAS CON LAS DIRECCIONES PRINCIPALES DE LAS FALLAS Y FRACTURAS EN EL ÁREA JARILLAS- LAS CASAS.	30
FIGURA 11 DETALLE DE VETA PRINCIPAL EN EL ÁREA LAS CASAS.	35
FIGURA 12 SECUENCIA PARAGENÉTICA EN RELACIÓN A LAS FASES DE MINERALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS.	39
FIGURA 13 ESPECTROS SWIR DE ALUNITA CLORITA Y ESMECTITA.	44
FIGURA 14 ESPECTROS SWIR DE ILLITA.	44
FIGURA 15 DIFRACTOGRAMA QUE MUESTRA CAOLINITA (K), CUARZO (Qz) Y PLAGIOCLASA (PL) IDENTIFICADOS.	45
FIGURA 16 DIFRACTOGRAMA QUE MUESTRA CAOLINITA (K), CUARZO (Qz), Y FELDESPATO POTÁSICO (FK) IDENTIFICADOS.	45
FIGURA 17 MAPA DE ALTERACIONES DEL ÁREA JARILLAS	46
FIGURA 18 MAPA DE ALTERACIONES DE LA ZONA LAS CASAS.	47
FIGURA 19 CONTENIDOS DE AU EN LA ZONA JARILLAS, SOBRE UNA IMAGEN GOOGLE EARTH 2010.	50
FIGURA 20 CONTENIDOS DE AU EN LA ZONA LAS CASAS, SOBRE UNA IMAGEN GOOGLE EARTH 2010.	51
FIGURA 21 CONTENIDO DE AG EN EL ÁREA JARILLAS, SOBRE UNA IMAGEN GOOGLE EARTH 2010.	52
FIGURA 22 CONTENIDOS DE AG EN LA ZONA LAS CASAS, SOBRE UNA IMAGEN GOOGLE EARTH 2010.	53
TABLA 1 ALTERACIONES HIDROTERMALES EN DEPÓSITOS EPITERMALES DE ALTA Y BAJA SULFURACIÓN (HEDENQUIST 2000).	42
TABLA 2 CONTENIDO DE ORO Y PLATA EN LAS ESTRUCTURAS PRINCIPALES DEL ÁREA JARILLAS-LAS CASAS (CASTRO MORA <i>ET AL.</i> , 2011).	49
TABLA 3 SUMATORIA DE PROFUNDIDADES DE LOS BARRENOS PROPUESTOS EN EL PROGRAMA DE EXPLORACIÓN RECOMENDADO.	56
TABLA 4 PRESUPUESTO ESTIMADO PARA UNA CAMPAÑA DE EXPLORACIÓN EN EL ÁREA JARILLAS-LAS CASAS.	57

RESUMEN

El área Jarillas-Las Casas ubicada en el centro del Estado de Oaxaca, alberga un depósito mineral con contenidos interesantes de Au y Ag. Abarca una superficie de más de 18 000 hectáreas aproximadamente. Las vetas están encajonadas en rocas volcánicas y subvolcánicas depositadas en el terciario.

En las estructuras mineralizadas, se reconocen texturas de cuarzo de crecimiento primario que indican profundidades de emplazamiento someras. Según la mineralización y características texturales, podría clasificarse como un depósito epitermal de baja sulfuración.

El levantamiento geológico se realizó apoyándose de fotografías satelitales, ubicación de puntos mediante un navegador GPS. La información geoquímica, petrográfica y observaciones de campo se recopilaron en un GIS.

Se realizaron mapas de alteraciones con ayuda de imágenes satelitales multiespectrales del Servicio Geológico Mexicano y con estudios de difracción de rayos X, espectroscopía SWIR y petrografía.

OBJETIVOS

Realizar una cartografía a detalle con el objeto de recabar datos de alteraciones, petrografía y contenidos metálicos en el área y de esta manera determinar si las vetas de cuarzo con valores de oro y plata de la zona que se pretende estudiar, pueden constituir un yacimiento mineral, con base a las condiciones del mercado actual de los metales preciosos.

El trabajo realizado pretende que pueda significar un aporte de nuevos datos que ayuden a comprender la evolución metalogenética de la zona. De comprobar la hipótesis planteada, las aportaciones serían en dos sentidos: 1.- Sentar las bases para el descubrimiento de una nueva mina de oro y plata, con el beneficio social que esto conlleva y 2.- Se generarían nuevas aportaciones al conocimiento metalogenético de la región de los Valles Centrales de Oaxaca.

PROBLEMATICA

La principal problemática a resolver es determinar los principales sitios de alta concentración en metales preciosos y la continuidad de las menas, tomando en consideración el marco estructural, las zonas de alteración hidrotermal y la roca encajonante. Otra problemática de la zona es la falta de trabajos realizados en el área tanto de cartografía geológica a detalle como de yacimientos minerales.

INTRODUCCIÓN

México es un país con amplia tradición minera y en la actualidad, los precios tan elevados de los metales han permitido la evaluación y exploración por estos elementos en diversas localidades de la República Mexicana, tras el colapso de la economía mundial en los años 2003 y 2008.

El presente estudio se realizó con la finalidad de llevar a cabo una exploración geológico-minera de la zona denominada Ejutla II por la empresa minera New Strike Capital Inc., a través de su subsidiaria Minera Aurea S.A. de C. V., con base en una cartografía geológica a detalle en dicha zona, mapeo de alteraciones.

La metodología del trabajo consistió en el mapeo correspondiente y la planeación de tres secciones geológicas trazadas de manera estratégica con el fin de cubrir parte de la zona de extensión del lote minero, el cual cubre una superficie de más de 18,000hectáreas.

Se creó una base de datos para elaborar un mapa geológico-minero y uno de alteraciones, con el apoyo de un sistema de información geográfica para descargar los datos recopilados en campo y representarlos en una base altimétrica con la escala adecuada.

Con el fin de tener más certeza en el tipo de depósito y su evaluación, se colectaron muestras de campo para análisis por difracción de rayos X, espectroscopia de infrarrojo cercano de reflexión “SWIR”, petrografía y minerografía, además de análisis geoquímico de oro y plata.

1. ANTECEDENTES

1.1 Desarrollo de la minería en el Estado de Oaxaca.

El historial minero en el Estado de Oaxaca se remonta a la época prehispánica, cuando sus pobladores con propias técnicas obtenían metales como el oro y la plata para elaborar adornos personales. Se sabe por obras de Sahagún y Biringuccio que los indígenas en la época prehispánica tenían conocimientos de prospección, “buscando diferentes coloraciones en las cúspides de las montañas” (Muñoz-Joaquín, 1986).

Actualmente la geoquímica se basa en técnicas analíticas precisas para realizar la prospección de los depósitos minerales pero, en etapas preliminares de exploración, se siguen utilizando dichas coloraciones que los indígenas ya señalaban, y que hoy día se conoce como prospección de anomalías de color. Ésta se puede apoyar con técnicas espectroscópicas de radiación visible infrarroja.



Figura 1 Ilustración del proceso de fundición del metal en el Códice Florentino tomada de .

Los historiadores afirman que no solo yacimientos de oro y plata fueron explotados en Oaxaca durante la época prehispánica, sino también

yacimientos de cobre, que constituía un importante producto comercial introducido por los zapotecas hasta las lejanas tierras de la península de Yucatán.

La explotación minera en el Estado de Oaxaca comenzó inmediatamente después de la conquista. En regiones como Atoyaquillo, Tonalá y Tlaxiaco se explotaban depósitos auríferos. En ese tiempo una de las áreas más importantes en la entidad fue la zona de Chinantla, por la abundancia de los placeres de oro en sus ríos.

Más tarde, en el siglo XVIII, se comenzaron trabajos de extracción en la Mixteca y en la Sierra Sur. A finales del siglo XIX gracias a Porfirio Díaz la minería en Oaxaca tuvo un giro importante, sobre todo en lo que respecta a la promoción y difusión de las actividades y de la riqueza minera de la entidad, manteniéndose como eje de la política económica la inversión extranjera.

A inicios del siglo XX, los distritos mineros del estado eran los de Ocotlán, Ejutla e Ixtlán. Se afirma que en los primeros años del siglo XX, solo se había explotado la décima parte de las zonas mineras del Estado de Oaxaca (Cabrera-Ramírez, 2004). Actualmente debido al aumento en los precios de varios metales, la exploración, desarrollo y producción minera disfrutaban de una nueva ola de actividad en México (Clark y Fitch, 2009).

1.2 Aspectos Sociodemográficos

Oaxaca está conformado por 570 municipios distribuidos en 30 distritos políticos, los cuales para fines económicos se agrupan en ocho regiones. La zona de estudio se ubica dentro de los Valles Centrales (Figura 2).

El total de población en el Estado de Oaxaca es del orden de tres millones ochocientos mil habitantes, lo que representa el 3.4% del total nacional. La tasa de crecimiento en México entre los años 2000 al 2005 fue del 1%, mientras que Oaxaca registró una de 0.4% en el mismo periodo (INEGI 2008).

El idioma oficial de México es el español, sin embargo existen 16 familias lingüísticas que a su vez se dividen en 60 lenguas distintas. Oaxaca es el estado con mayor porcentaje de población de 5 años, o más que hablan una lengua indígena con 35.2%, y el 14% de la población no habla español (INEGI 2008). Su dinámica demográfica es inestable, presenta flujos migratorios hacia otras zonas del país y los Estados Unidos de América.

La zona de estudio se circunscribe a los municipios de San Nicolás Yaxe, San Baltazar Chichicapan y San Pedro Taviche, que forman parte del distrito de Ocotlán; además de Santa María Zoquitlan que forma parte del distrito de Tlacolula.

En cuanto a infraestructura social y de comunicaciones, los municipios cuentan con un centro de salud, agua potable, y alumbrado público. Sin embargo, esto no garantiza una buena calidad de vida ya que las oportunidades de empleo son escasas.

La agricultura es la actividad principal en el municipio, únicamente por encima de la industria minera. Además, una pequeña parte de la población se dedica a la elaboración y comercialización del mezcal.

Estudio Geológico-Minero del Área Jarillas-Las Casas, municipio de San Nicolás Yaxe, estado de Oaxaca

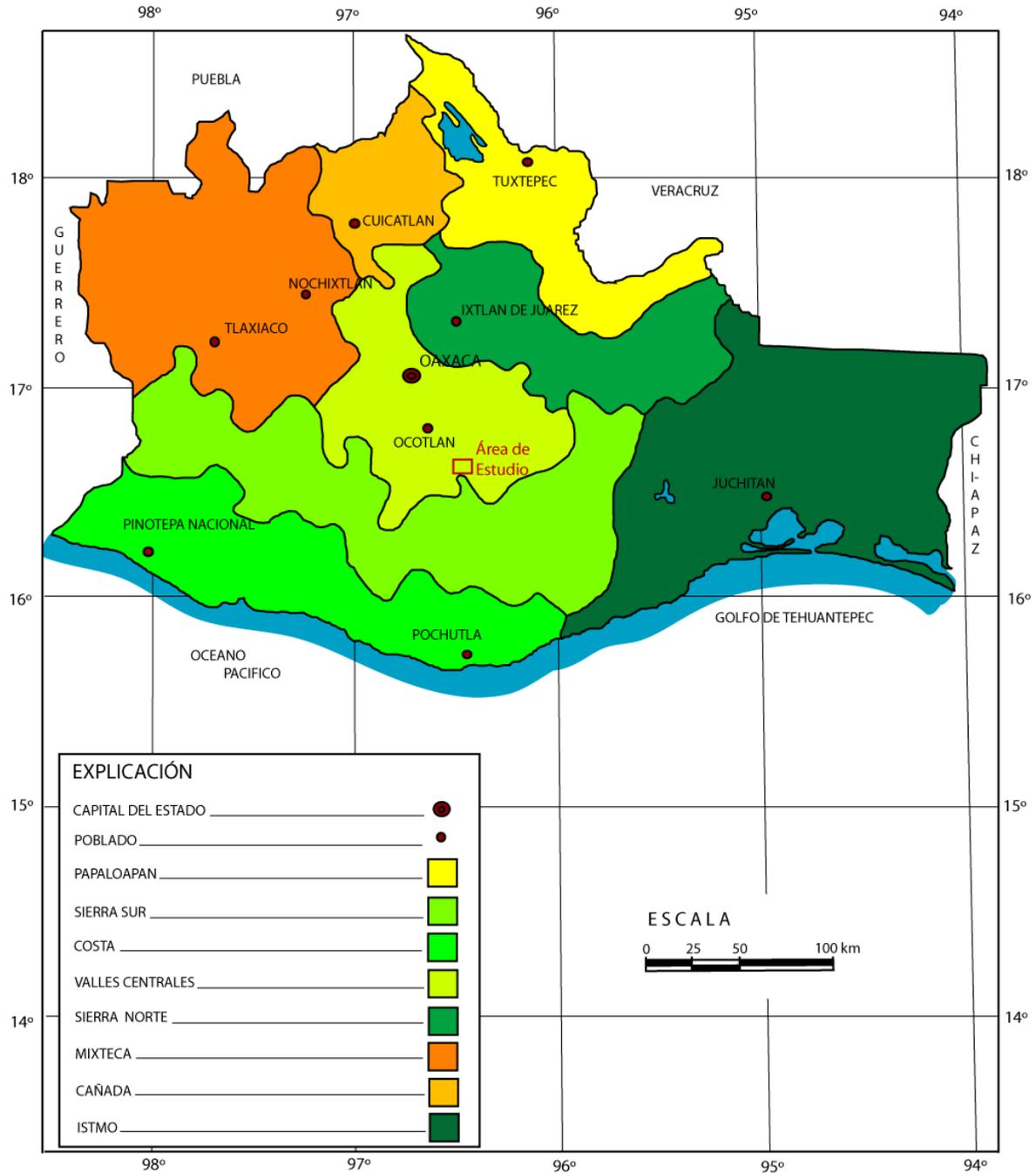


Figura 2 Regiones Económicas de Oaxaca (modificado de Castro-Mora *et al.*, 1996).

2. SÍNTESIS GEOGRÁFICA

2.1 Localización y vías de acceso

El área Jarillas-Las Casas se localiza en la parte central del Estado de Oaxaca, entre las coordenadas geográficas 16° 43' latitud norte y 96° 28' longitud oeste, a una altitud promedio de 1,500 metros sobre el nivel del mar; aproximadamente a 63 kilómetros de distancia de la ciudad de Oaxaca (Figura 3).

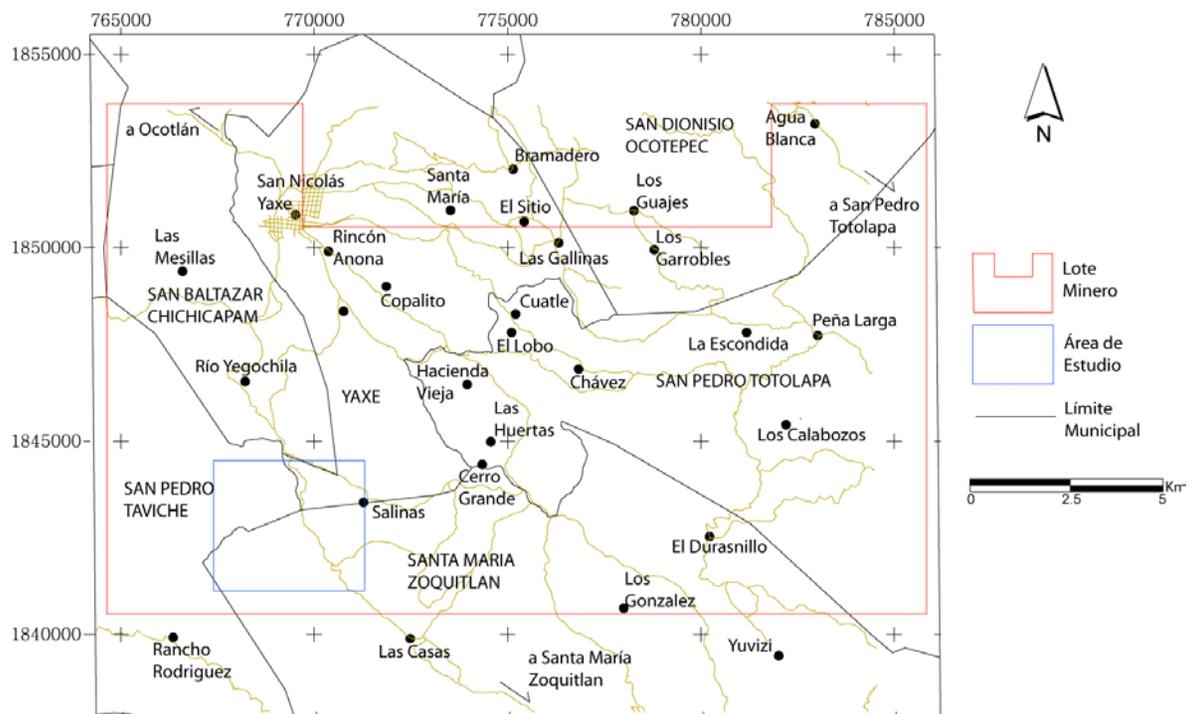


Figura 3 Localización y acceso al Área Jarillas-Las Casas

El acceso al área Jarillas-Las Casas consiste en tomar desde Ocotlan de Morelos la carretera que comunica con San Baltazar Chichicapam dirigirse al poblado de Yaxe; para posteriormente tomar un camino de terracería al sur de este mismo.

2.2 Clima y Vegetación

El clima es seco semi-cálido, la temperatura promedio anual es de 21°C, con una precipitación anual de 644mm concentrada en verano y un periodo de sequía entre julio y agosto según pobladores. De octubre a febrero el clima es frío, presentándose heladas, y en abril y mayo el calor es predominante en la región (Figura 4).

Los tipos de vegetación en el Estado de Oaxaca están bien delimitados de acuerdo a la fisiografía y las condiciones climáticas (Fotografía 1). Los valles centrales se caracterizan por tener una vegetación de bosque aciculiesclerófilo con pastizales inducidos, que consisten en una gran variedad de pinos y encinos, copal, diversos tipos de maguey, pitahayo, órgano y palo verde (INEGI, cartas de usos de suelo y vegetación 2004-2009). (Figura 5).



Fotografía 1 Vegetación en el área en verano.

Estudio Geológico-Minero del Área Jarillas-Las Casas, municipio de San Nicolás Yaxe, estado de Oaxaca

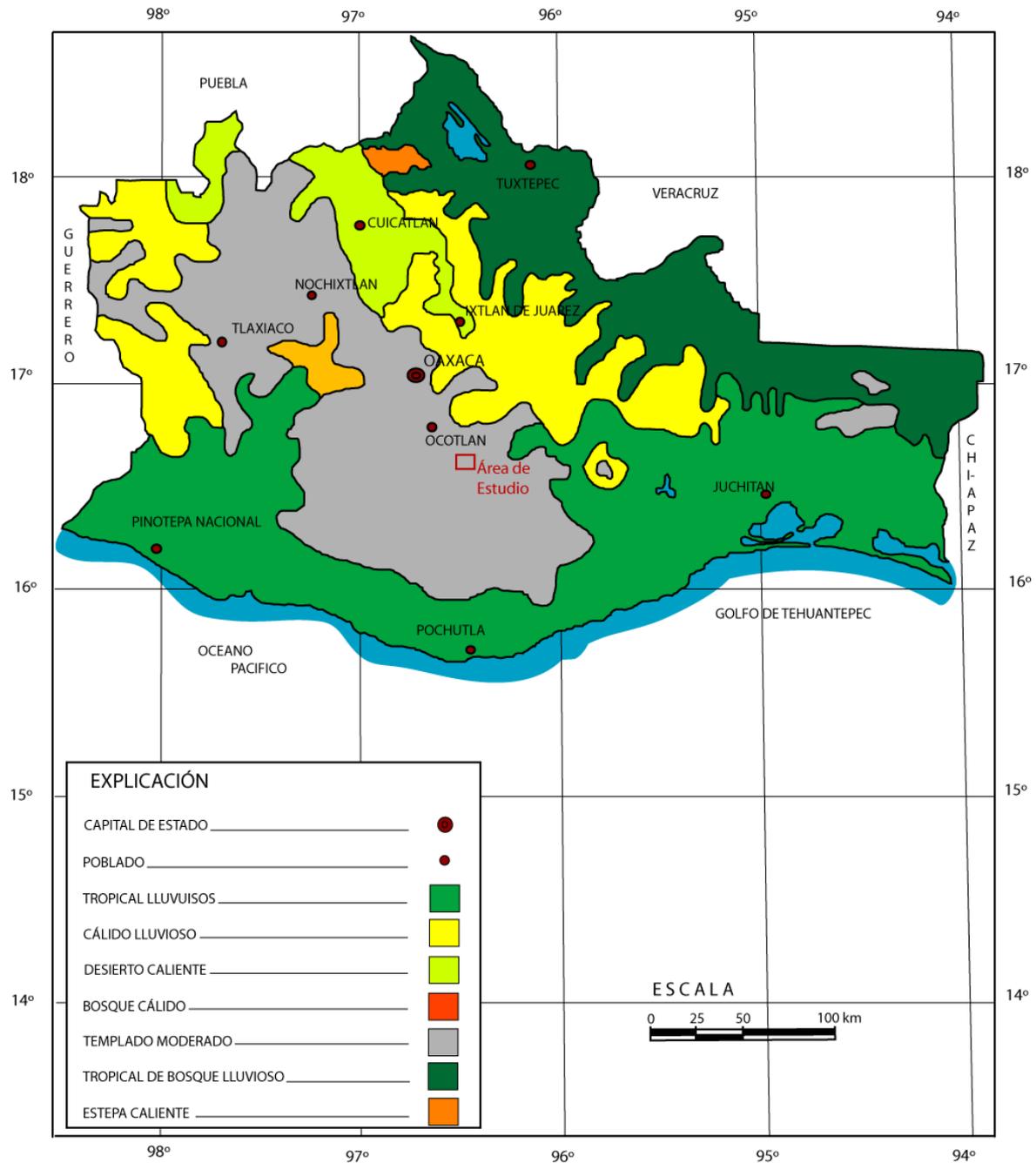


Figura 4 Mapa de Climas de Oaxaca (modificado de Castro-Mora *et al.*, 1996).

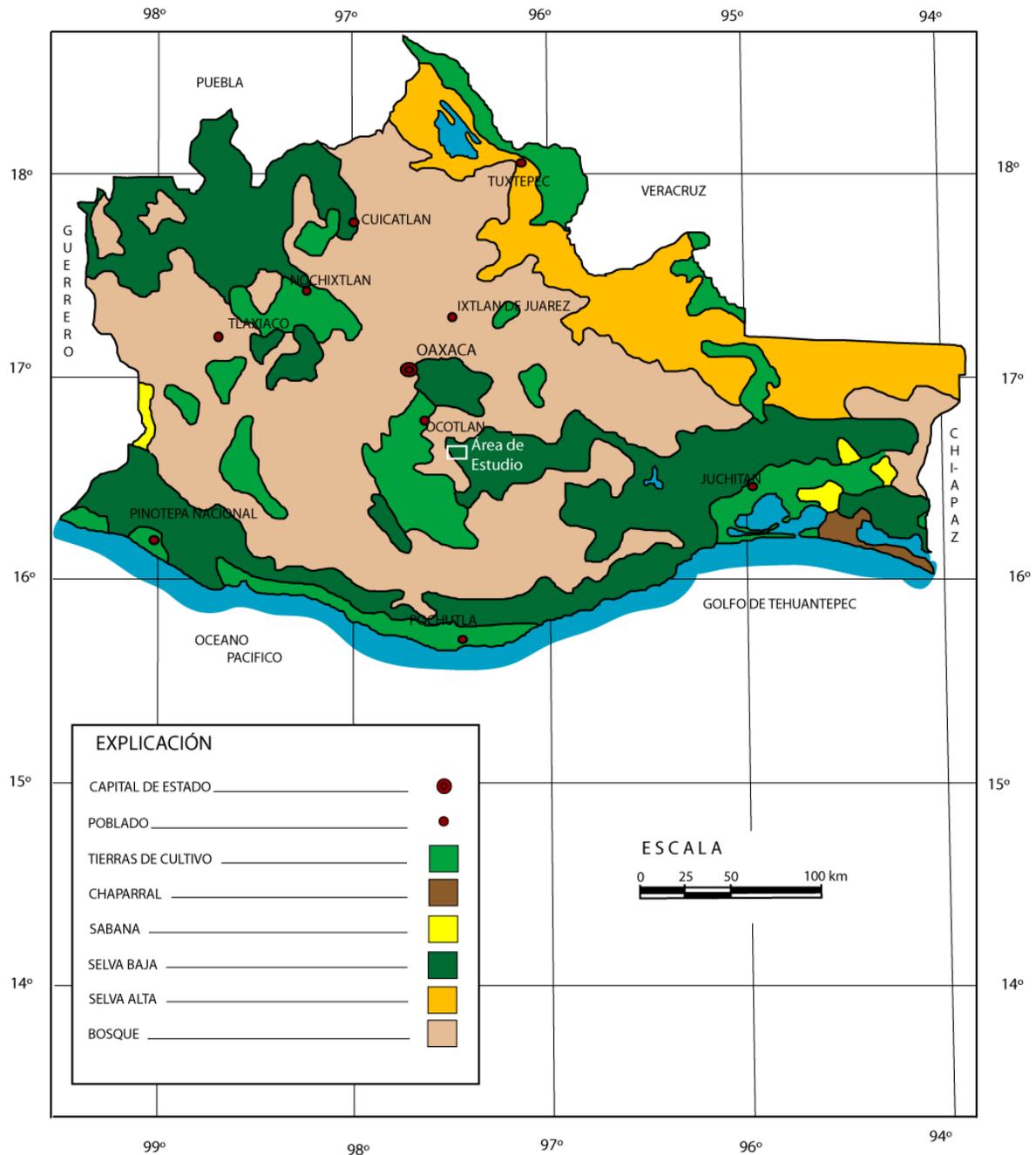


Figura 5 Mapa de Vegetación de Oaxaca (modificado de Castro-Mora *et al.*, 1996).

2.3 Fisiografía

El territorio oaxaqueño queda comprendido dentro de tres provincias fisiográficas: Sierra Madre del Sur, Llanura Costera del Golfo y Cordillera Centroamericana (Raisz, 1962).

La Sierra Madre de Sur se localiza en la parte centro-occidental de la entidad, desde el centro de la misma hasta las costas del Pacífico y el Istmo de Tehuantepec.

Las montañas de este sistema y las sierras frontales hacia el mar quedan tan cerca del océano que prácticamente no existe llanura costera, con excepción de algunas franjas angostas. En algunos lugares los flancos de las sierras terminan abruptamente en el mar. En general, las crestas de las sierras que comprenden este sistema son uniformes, excepto en algunos casos en que los picos o cumbres aisladas se levantan sobre el nivel promedio de las cadenas montañosas (Figura 6).

El área de estudio está ubicada en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur y en la subprovincia de las Tierras Altas de Oaxaca. La subprovincia de las Tierras Altas de Oaxaca se caracteriza por ser un terreno predominantemente montañoso, burdamente dividido por los valles de los ríos Grande y Atoyac, de tal forma que la sierra Mixteca queda en la porción occidental y la sierra de Juárez en la oriental. En la porción central del estado se sitúan algunos valles intermontanos que en conjunto se conocen como los Valles Centrales de Oaxaca.

Estudio Geológico-Minero del Área Jarillas-Las Casas, municipio de San Nicolás Yaxe, estado de Oaxaca

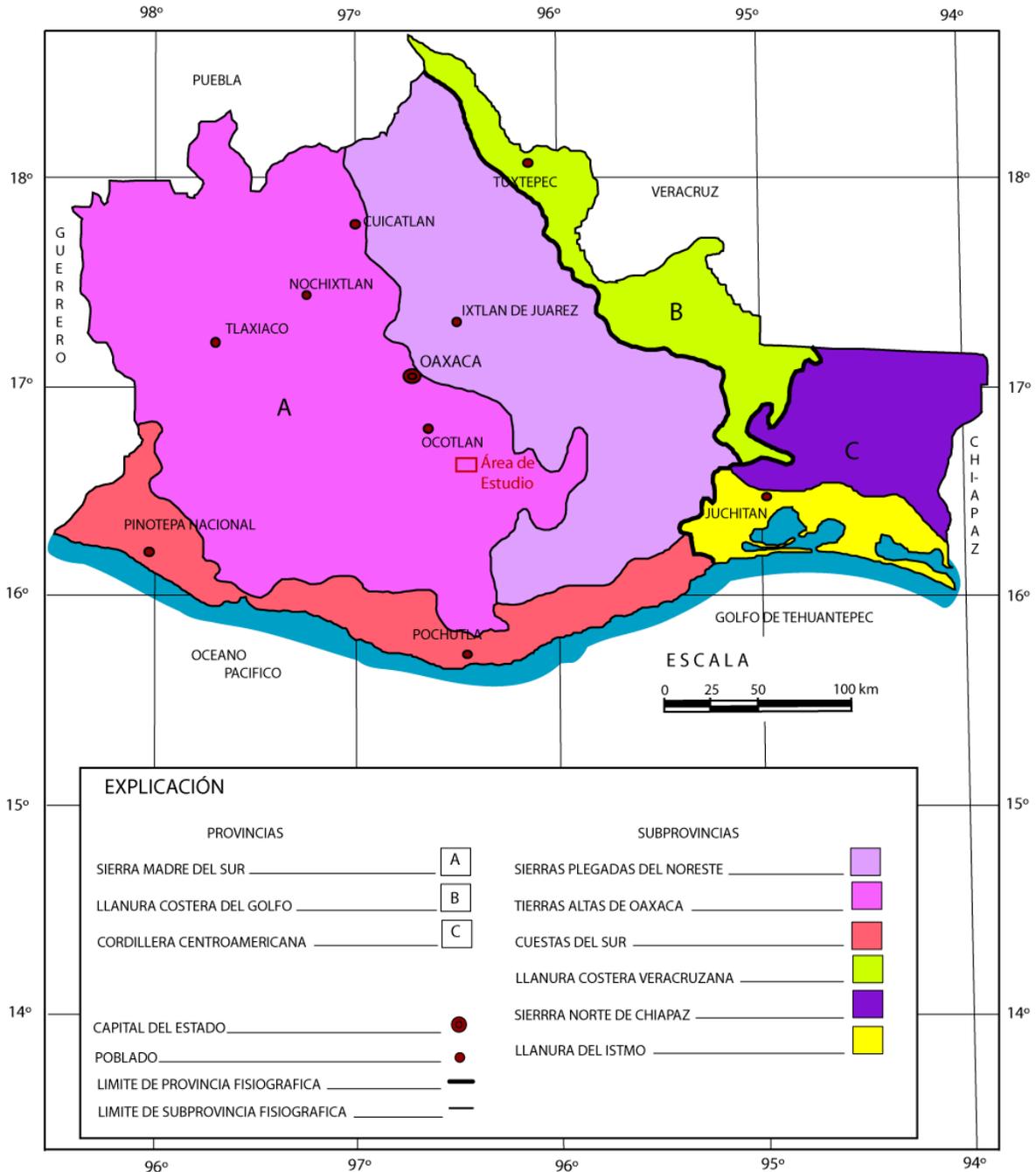


Figura 6 Provincias Fisiográficas de Oaxaca (modificado de Castro-Mora et al., 1996).

3. SÍNTESIS GEOLÓGICA

3.1 Marco Tectónico

El Estado de Oaxaca alberga cinco terrenos tectonoestratigráficos (Sedlock *et al.*, 1993): Cuicateco, Zapoteco, Maya, Chatino y Mixteco (Figura 7).

La zona de estudio se encuentra dentro del Terreno Zapoteco (Sedlock *et al.*, 1993), el cual fue definido anteriormente como Terreno Oaxaca (Campa y Coney, 1983).

El Terreno Zapoteco se extiende desde la parte central de Oaxaca hasta el centro del Estado de Puebla. Colinda al oriente con el Terreno Cuicateco, al poniente con el Terreno Mixteco y al sur-suroeste con el Terreno Chatino. Asimismo, está delimitado por una serie de fallas a nivel regional.

El Terreno Zapoteco está formado por un basamento de rocas metamórficas en facies granulita y por anortosita. Sobre las cuales existe una cubierta de sedimentos paleozoicos, formando en su conjunto el Complejo Oaxaqueño (Sedlock *et al.*, 1993).

Falla Oaxaca

Es un sistema formado por fallas orientadas preferentemente al N y NW. Está expuesta a lo largo de 200km aproximadamente, desde el poblado de Miahuatlan, al sur de la Ciudad de Oaxaca, hasta Tehuacán, en Puebla. Forma el frente montañoso occidental de las Sierras Mazateca y Juárez, y se asocia al levantamiento de las mismas (Centeno-García, 1988). Se sobrepone a una zona de cizalla antigua, a la que se le estima actividad en diferentes épocas y con distinta cinemática, siendo la Falla Oaxaca producto de su más reciente reactivación, la cual ocurrió durante el Cenozoico como falla normal (Alaníz-Álvarez, 1996).

Falla Caltepec

La Falla Caltepec tuvo actividad como falla lateral dercha durante un régimen transpresivo ocurrido en el Pérmico (Elías-Herrea y Ortega-Gutiérrez, et al., 2005). Es una zona de cizalla de gran duración, con deformaciones dúctil y frágil sobrepuestas; se ha reactivado en el Mesozoico y durante el Cenozoico (Elías-Herrera, *et al.*, 2005). Su orientación preferente es al NNW y tiene un ancho que varía de 2 a 6km. En su porción oriental tiene como basamento el Complejo Oaxaqueño y una cobertura Jurásica continental. Por otro lado, en el sector occidental muestra rocas del Complejo Acatlán, con una cobertura Jurásica de origen palustre, y principalmente marino. La Falla Caltepec es interpretada como el límite tectónico entre los Terrenos Mixteco y Zapoteco (Sedlock *et al.*, 1993). A esta estructura también se le ha llamado Falla Tamazulapan (López-Ticha, 1985).

Falla Chacalapa

Es una estructura localizada en la porción sur del Estado de Oaxaca, ubicada hacia la costa del Pacífico; su traza pasa al norte del poblado de Pochutla. A ella se le asocian rocas de origen cataclástico que en orden cronológico de formación son: ultramilonita, milonita, protomilonita, pseudotaquilita, filonita y cataclasita (Tolson, 1998). Es una estructura con cinemática lateral izquierda que se desarrolló durante el Oligoceno (Tolson, 2005). Esta estructura es señalada como el límite norte del Terreno Chatino con los Terrenos Zapoteco y Mixteco (Sedlock *et al.*, 1993).

Estudio Geológico-Minero del Área Jarillas-Las Casas, municipio de San Nicolás Yaxe, estado de Oaxaca

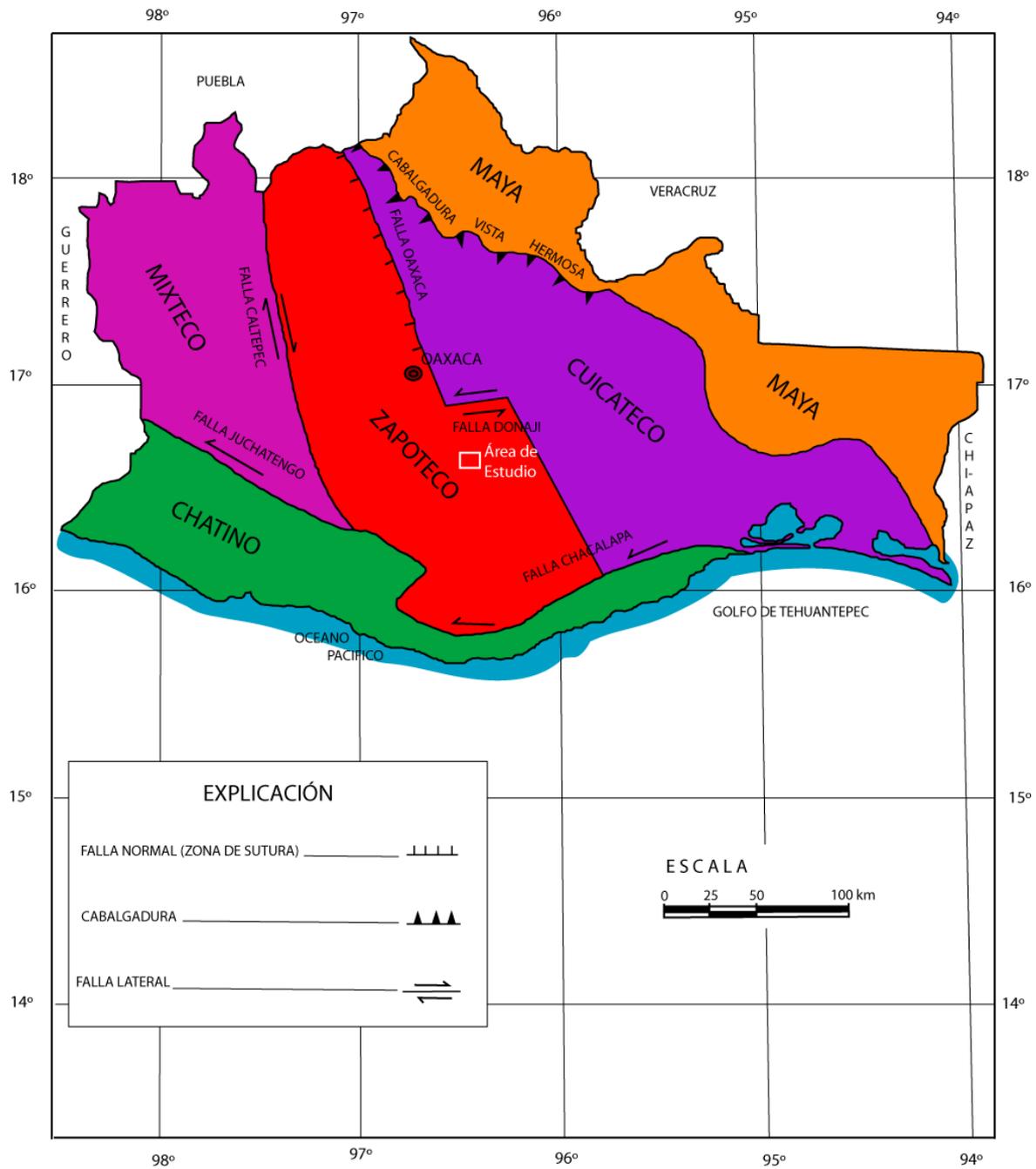


Figura 7 Terrenos Tectonoestratigráficos de Oaxaca (modificado de Castro-Mora *et al.*, 1996).

Falla Donaji

La Falla Donají se localiza en el sur del complejo milonítico Sierra Juárez, con una dirección casi E-W. Intersecta a la falla Oaxaca, por lo que se considera sincrónica a esta última por un ajuste lateral entre ambas estructuras. Es de tipo normal pues quedan en contacto rocas volcánicas terciarias y sedimentos marinos cretácicos con rocas miloníticas, se considera de edad cenozoica (Nieto-Samaniego *et al.*, 1995).

Falla Vista Hermosa

La Falla Vista Hermosa (Ortega-Gutierrez *et al.*, 1990) es una cabalgadura que delimita a las rocas pertenecientes al Terreno Cuicateco, situado al SW de la falla, y la Formación Todos Santos, ubicadas al NE de la falla. Se le atribuye una edad Laramídica (Ortega-Gutierrez, 1992). Su extensión no es muy clara debido a que hacia la zona del Istmo no es posible determinar su continuidad, pero se considera que al menos tiene una longitud de 300km.

3.2 Estratigrafía Regional

El basamento de la región es el Complejo Oaxaqueño, compuesto por diversas unidades litológicas representadas por: ortogneis, paragneis, gneis sienítico, mármol “cipolino” y charnockita. Sobre este basamento yacen rocas pertenecientes a las formaciones Jaltepetongo y Teposculula.

La Formación Jaltepetongo, del Cretácico Inferior está constituida por secuencias de arenisca, conglomerado y limolita. La Formación Teposculula, del Cretácico Superior, está compuesta por secuencias de caliza con horizontes arcillosos, y se encuentra intrusionada por cuerpos graníticos de composición intermedia-ácida.

Un conjunto de rocas extrusivas con una composición que varía de intermedia a ácida se encuentran cubriendo de manera discordante a las rocas de las formaciones Teposculula y Jaltepetongo (García-Díaz, *et al.*, 1997).

La secuencia paleozoica que cubre de manera discordante al basamento cristalino comienza con intercalaciones de lutita negra y caliza plegada de la Formación Tiñu, estas rocas son del Cámbrico-Ordovícico (Robinson y Panotja-Alor, 1968). Continúa con rocas misisípicas de la Formación Santiago que son areniscas calcáreas y conglomerados, sobreyacidas por caliza marina, limolita calcárea y lutita (Navarro-Santillán *et al.*, 2002). Le sobreyace la Formación Ixcaltepec que son intercalaciones de arenisca, limolita, lutita y caliza; esta formación contiene abundante fauna del Pensilvánico (Sour-Tovar y Quiroz-Barroso, 1989); las unidades de la cima de la secuencia paleozoica son (a) la Formación Matzitz: que consiste en una alternancia de arenisca cuarzo-feldepatita y arenisca conglomerática con lutitas del Carbonífero-Pérmico (Carrillo y Martínez, 1983; Martínez-Amador *et al.*, 2001); y (b) la Formación Yododeñe, constituida por conglomerado, arenisca, limolita y escasa lutita escasa (Pérmico(?),

Centeno-García y Keppie, 1999; Pérmico-Jurásico(?), Navarro-Santillan *et al.*, 2002).

El Complejo Oaxaqueño está formado principalmente por ortogneis cuarzofeldespatico, charnockita, metasedimentos (calco-silicatos), metgabro y mármol intrusionado por anortosita (Sedlock *et al.*, 1993; Ortega-Gutierrez *et al.*, 1994). La edades del protolito para rocas del basamento cristalino son del Proterozoico; datos isotópicos de U-Pb dan edades entre 990 y 1300 Ma (Keppie *et al.*, 2003).

3.3 Geología Estructural Regional

Existen sistemas de fallas normales y laterales que afectan a las unidades presentes en la región, y que posiblemente están asociadas a un sistema transtensivo (García-Díaz, *et al.*, 1997). Este sistema conjugado tiene un fallamiento lateral dextral en las orientaciones preferenciales entre N70°E y N70°W, y fallas laterales sinistralas en la dirección N10°E y S40°W. Se asocian fallas normales y diaclasas orientadas en dirección N40°W (García-Díaz, *et al.*, 1997).

Probablemente el sistema antes descrito continúe activo en el presente, ya que también controla depósitos de aluviones cuaternarios y las direcciones preferenciales de drenaje.

4. GEOLOGÍA LOCAL DEL AREA JARILLAS- LAS CASAS

4.1 Distribución espacio-temporal de las unidades litológicas

En la región es posible diferenciar seis unidades litológicas expuestas. La más antigua corresponde al complejo oaxaqueño, seguido de las calizas, probablemente de la Formación Teposculula, que afloran en la parte central de la zona (Figura 8).

Por encima de esta unidad descansa un paquete de tobas de composición félsica, de coloración blanca a rosada, altamente silicificadas y con microgeodas. Sobre este paquete de tobas yace una unidad vulcanoclástica continental con una coloración morada en clastos y verdosa en la matriz.

También se identificó, sobre la unidad vulcanoclástica, una brecha volcánica de color blanco a verdoso (indicando alteración propilítica; clorita-epidota) y con clastos de angulosos a subangulosos de hasta 20cm de diámetro.

Asimismo, en la parte central también está expuesto un dique de color blanco a pardo, de composición félsica con una longitud de un kilómetro aproximadamente, una orientación al NW y un espesor de hasta 100m. Además, hay una serie de diques de composición andesítica que, debido a las reducidas dimensiones de los afloramientos, no fué posible representar en la carta geológica.

Por otra parte, la roca encajonante de la mayoría de las estructuras mineralizadas (vetas) es un pórfido probablemente de composición riolítica a riodacítica de coloración pardo y altamente silicificado.

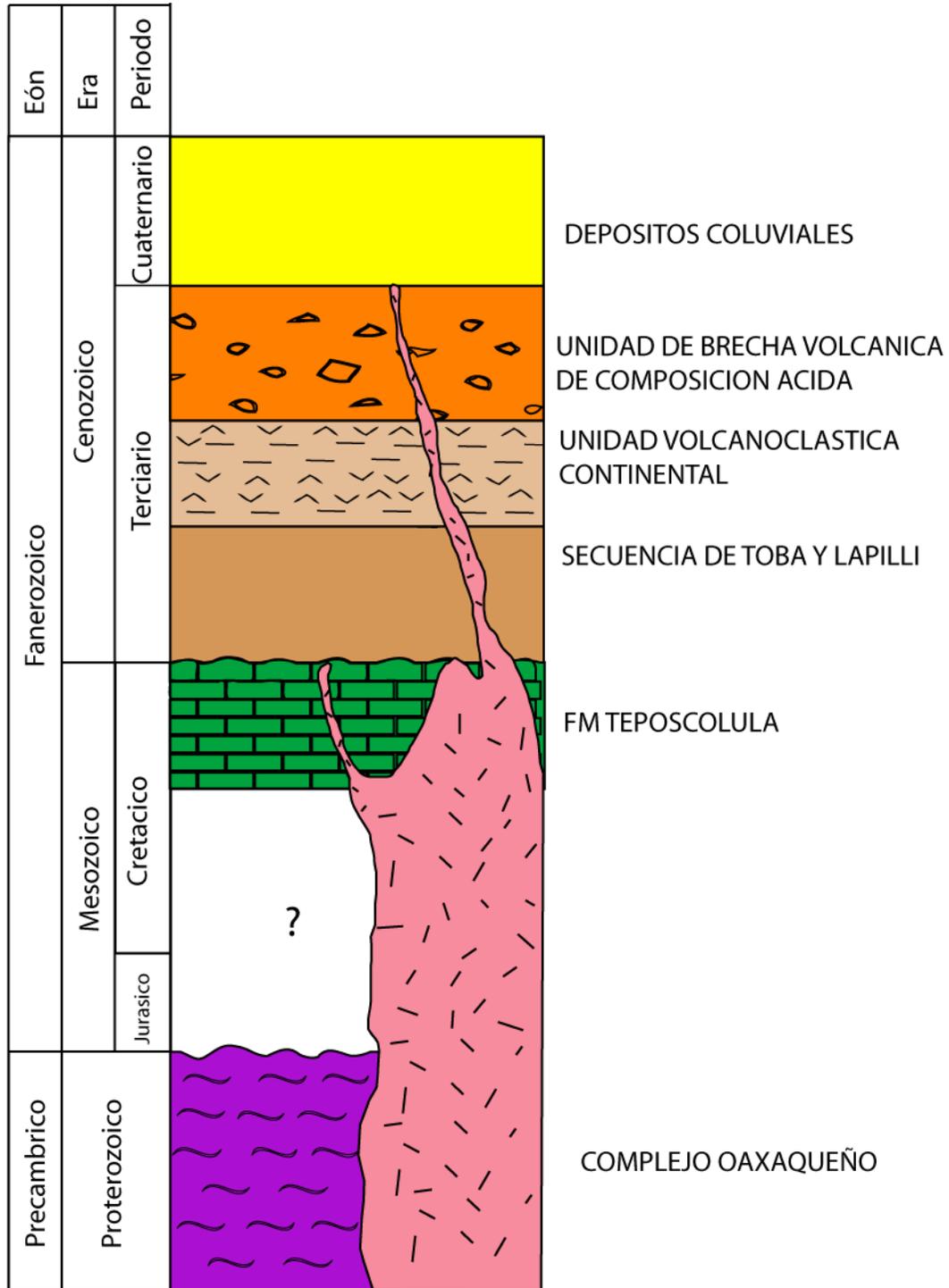


Figura 8 Columna Geológica del área Jarillas-Las Casas

Caliza (Kc)

Calizas atribuidas a la Formación Teposcolula con bandas y nódulos de pedernal, además presentan facies de plataforma carbonatada, y se caracterizan por ser *wackestone-packstone* y *mudstone*, con miliólidos, ostrácodos y foraminíferos bentónicos y rudistas (Ortega-Gonzalez y Lambarria-Silva, 1991), con intercalaciones de dolomías y calizas arcillosas (fotografía 2).

Unidad Vulcanoclástica Continental

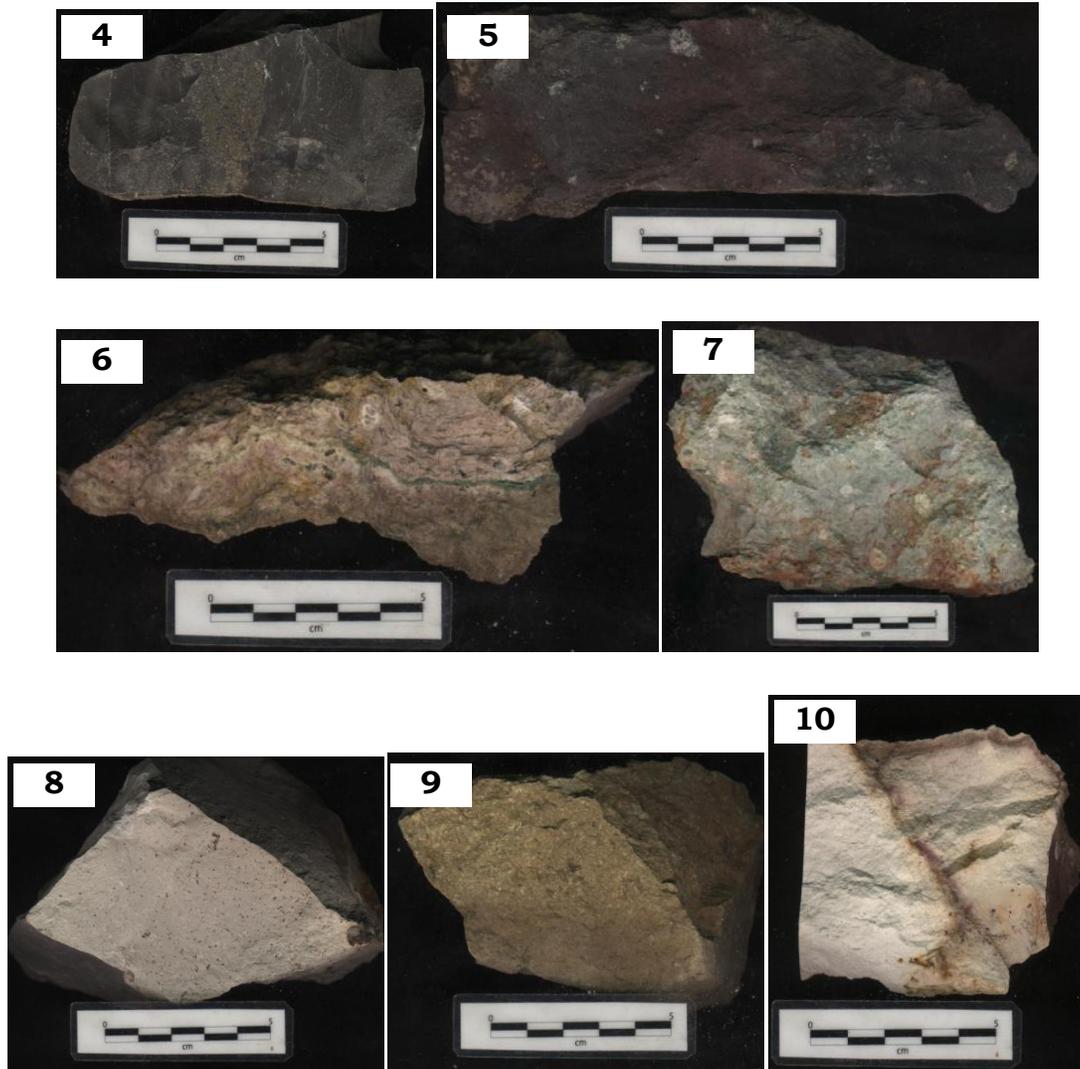
Unidad de rocas vulcanoclásticas con algunos depósitos de tipo *lahar*. Se pueden distinguir clastos redondeados en su mayoría y con un diámetro de uno a treinta centímetros y hasta un metro en algunos afloramientos. Estas rocas tienen una coloración morada y están contenidos en una matriz tobácea de composición similar pero con una coloración verdosa (fotografía 3).

Brecha Volcánica

Se observó una brecha de color verdoso con alteración y fragmentos líticos de la unidad vulcanoclástica antes descrita. Los fragmentos angulosos que la componen van de 3 a 5 centímetros y en algunos casos hasta 10 centímetros. Cementada por sílice y de coloración verde por alteración hidrotermal (propilítica), se puede clasificar por su composición como intermedia a ácida (fotografía 5).

Secuencia de Toba y Lapilli (Tpc)

Se trata de una toba de composición ácida de color blanco a rosado y con algunas laminaciones verdosas. Se observan cavidades rellenas por cuarzo y bandeamiento de flujo, además de silicificación, dicha unidad tiene un espesor que va de los 30m a 40m en algunos afloramientos (fotografía 4).



Fotografía 4 Muestra de mano de Caliza atribuida a la Formación Teposcolula. Fotografía 5 Muestra de mano de unidad vulcanoclástica continental. Fotografía 2 Muestra de mano de Toba de composición ácida a intermedia. se observan microgeodas en el centro de esta misma. Fotografía 7 Muestra de mano de brecha volcánica. Fotografía 8 Muestra de mano de pórfido de composición ácida. Fotografía 9 Muestra de mano de dique de composición intermedia. Fotografía 10 Muestra de mano de dique de composición ácida (apófisis de un stock porfídico).

Pórfido de composición ácida (Tp)

Pórfido de coloración parda y composición probablemente riolítico-riodacítico, pues está altamente silicificado. Esta unidad es una roca félsica con textura microgranítica y composición cuarzo-feldespática. Dicho pórfido tiene una variación, no solo en su textura, sino también en su composición de ácida a intermedia que es posible observar en los diques expuestos en la zona de estudio a manera de apófisis del sistema magmático del que provienen (fotografía 8).

Dique de composición ácida (Tda)

En la zona aflora un dique encajonado en el pórfido antes mencionado, dicho dique de color blanco, composición granítica y de grano fino (aplítico) (fotografía 6), tiene una longitud aproximada a un kilómetro, una potencia de 100m y un rumbo de N30°W; no ha sido posible medir su disposición, por lo que se supone sea vertical. En sección delgada, se observan cuarzo y feldespatos en una matriz criptocrystalina con textura porfirítica y fenocristales de sanidina. Este dique presenta silicificación y adicionalmente se han encontrado illita y caolinita en estudios de difracción de rayos X.

Dique de composición intermedia

En el área de estudio también se ha observado la existencia de una serie de diques encajonados en el pórfido, los cuales quizá son de composición dacítica-andesítica con coloración que va de negro a marrón debido a la alteración propilítica, una potencia de hasta 5m, en dichos afloramientos no se ha podido medir su disposición, presentan textura porfidica, muy poco cuarzo y presencia de óxidos de fierro debido a intemperismo (fotografía 7).

4.2 Marco Estructural Local

La zona de estudio presenta los mismos controles estructurales que se observan en los sistemas de vetas del distrito minero Taviche, un sistema paralelo epitermal de baja sulfuración con vetas polimetálicas ricas en oro y plata (<http://www.newstrikecapital.com/projects/oaxaca/oaxaca-claims/>). El lote incluye varias vetas expuestas en superficie, algunas de ellas con afloramientos espectaculares.

Dentro de la zona de estudio, la mayoría de las estructuras corresponden a un sistema principal de fallas con una tendencia de NW 45° SE y otro en NE50° SW. La mayoría de las fallas son de tipo normal con una componente lateral derecha (fotografía 12). Aunque también fue localizada una de falla de tipo inversa (fotografía 13).

En los diagramas de rosetas se encuentran graficados los datos estructurales las fallas (Figuras 9 y 10).



Fotografía 11 Falla inversa entre las unidades de toba (de color blanco) y brecha volcánica (de color morado).
Fotografía 12 Estrías con inclinación (pitch) de 30° en plano falla normal N44°W, 66° sobre estructura principal.

Fig. 9

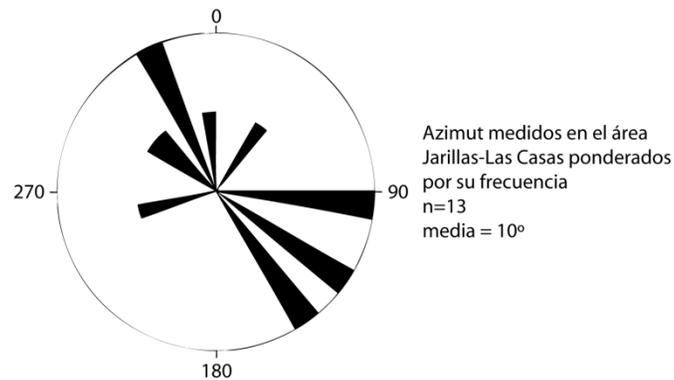


Fig. 10

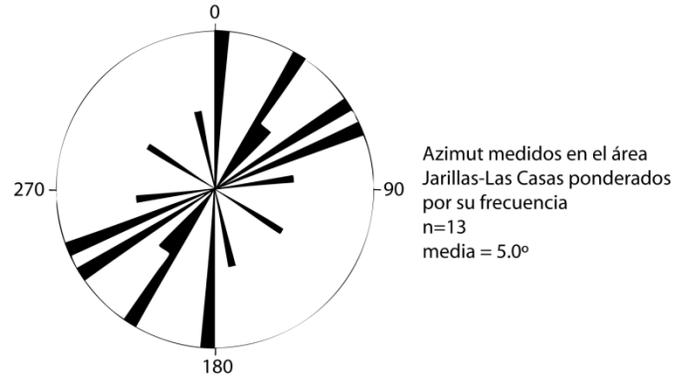


Figura 9 Diagrama de Rosetas con las tendencias de Inclinación de los planos de falla y fracturas de la zona Jarillas-Las Casas. Figura 10 Diagrama de Rosetas con las direcciones principales de las fallas y fracturas en el área Jarillas- Las Casas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

Estudio Geológico-Minero del Área Jarillas-Las Casas, municipio de San Nicolás
Yaxe, estado de Oaxaca.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A
FRANCISCO DAVID MARTINEZ CERVANTES
Directora: M. en C. Guadalupe Villaseñor Cabral



MARZO DE 2012

Agradecimientos

En primer lugar agradezco al Instituto de Geofísica de la UNAM, de donde se obtuvo la beca para tesis de licenciatura para así poder realizar este trabajo.

Agradezco al Dr. Carles Canet Miquel por el apoyo brindado para usar el equipo del laboratorio de Petrografía y Microtermometría del Instituto de Geofísica de la UNAM, además de sus valiosos comentarios y sugerencias que ayudaron a enriquecer este trabajo.

Agradezco a la M. en C. Guadalupe Villaseñor Cabral por aceptar dirigir mi tesis y por sus observaciones y comentarios acerca de este trabajo.

Agradezco al Ing. Jesús Castro Mora que fue precursor y director de este proyecto de tesis, pero que por diversos motivos no pudo continuar con la dirección del trabajo hasta el final y que fungió como codirector de este mismo. Además agradezco el apoyo otorgado en las campañas de campo.

Agradezco a la empresa minera Aurea por permitirme trabajar en su proyecto y permitirme consultar reportes internos de la misma.

Agradezco al Ing. Alfredo Victoria Morales por su apoyo incondicional y sus atinadas observaciones en los estudios petrográficos y mineragráficos.

Agradezco al Dr. Carlos Garza González Vélez y al M. en C. Enrique Gonzales Torres por su apoyo y comentarios para la mejora de mi trabajo escrito.

Agradezco la Dra. Teresa Pi responsable del Laboratorio de difracción de rayos X del Instituto de Geología de la UNAM.

Agradezco a mis padres y hermanos por su apoyo y confianza durante este importante proceso en mi vida académica.

Finalmente agradezco a la UNAM por brindarme la educación que me ha permitido llegar hasta donde me he propuesto hasta ahora.

Contenido	
RESUMEN	5
OBJETIVOS	6
PROBLEMÁTICA	6
INTRODUCCIÓN	7
1. ANTECEDENTES	8
1.1 Desarrollo de la minería en el Estado de Oaxaca.	8
1.2 Aspectos Sociodemográficos.....	10
2. SÍNTESIS GEOGRÁFICA.....	12
2.1 Localización y vías de acceso.....	12
2.2 Clima y Vegetación	13
2.3 Fisiografía.....	16
3. SÍNTESIS GEOLÓGICA.....	18
3.1 Marco Tectónico	18
3.2 Estratigrafía Regional.....	22
3.3 Geología Estructural Regional.....	23
4. GEOLOGÍA LOCAL DEL AREA JARILLAS- LAS CASAS	24
4.1 Distribución espacio-temporal de las unidades litológicas	24
4.2 Marco Estructural Local.....	29
5. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS.....	31
6. CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS Y MINERAGRÁFICAS DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS	36
7. DISTRIBUCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES. 41	
6.1 Metodología.....	41
6.2 Mapeo de Alteraciones	42
8. CONTENIDOS METÁLICOS DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS.....	48
9. DISCUSIÓN.....	54
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS.....	63

Estudio Geológico-Minero del Área Jarillas-Las Casas, municipio de San Nicolás Yaxe, estado de Oaxaca

FIGURA 1 ILUSTRACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DEL METAL EN EL CÓDICE FLORENTINO TOMADA DE .	8
FIGURA 2 REGIONES ECONÓMICAS DE OAXACA (MODIFICADO DE CASTRO-MORA <i>ET AL.</i> , 1996).	11
FIGURA 3 LOCALIZACIÓN Y ACCESO AL ÁREA JARILLAS-LAS CASAS	12
FIGURA 4 MAPA DE CLIMAS DE OAXACA (MODIFICADO DE CASTRO-MORA <i>ET AL.</i> , 1996).	14
FIGURA 5 MAPA DE VEGETACIÓN DE OAXACA (MODIFICADO DE CASTRO-MORA <i>ET AL.</i> , 1996).	15
FIGURA 6 PROVINCIAS FISIGRÁFICAS DE OAXACA (MODIFICADO DE CASTRO-MORA <i>ET AL.</i> , 1996).	17
FIGURA 7 TERRENOS TECTONOESTRATIGRÁFICOS DE OAXACA (MODIFICADO DE CASTRO-MORA <i>ET AL.</i> , 1996).	20
FIGURA 8 COLUMNA GEOLÓGICA DEL ÁREA JARILLAS-LAS CASAS	25
FIGURA 9 DIAGRAMA DE ROSETAS CON LAS TENDENCIAS DE INCLINACIÓN DE LOS PLANOS DE FALLA Y FRACTURAS DE LA ZONA JARILLAS-LAS CASAS. FIGURA 10 DIAGRAMA DE ROSETAS CON LAS DIRECCIONES PRINCIPALES DE LAS FALLAS Y FRACTURAS EN EL ÁREA JARILLAS- LAS CASAS.	30
FIGURA 11 DETALLE DE VETA PRINCIPAL EN EL ÁREA LAS CASAS.	35
FIGURA 12 SECUENCIA PARAGENÉTICA EN RELACIÓN A LAS FASES DE MINERALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS.	39
FIGURA 13 ESPECTROS SWIR DE ALUNITA CLORITA Y ESMECTITA.	44
FIGURA 14 ESPECTROS SWIR DE ILLITA.	44
FIGURA 15 DIFRACTOGRAMA QUE MUESTRA CAOLINITA (K), CUARZO (Qz) Y PLAGIOCLASA (PL) IDENTIFICADOS.	45
FIGURA 16 DIFRACTOGRAMA QUE MUESTRA CAOLINITA (K), CUARZO (Qz), Y FELDESPATO POTÁSICO (FK) IDENTIFICADOS.	45
FIGURA 17 MAPA DE ALTERACIONES DEL ÁREA JARILLAS	46
FIGURA 18 MAPA DE ALTERACIONES DE LA ZONA LAS CASAS.	47
FIGURA 19 CONTENIDOS DE AU EN LA ZONA JARILLAS, SOBRE UNA IMAGEN GOOGLE EARTH 2010.	50
FIGURA 20 CONTENIDOS DE AU EN LA ZONA LAS CASAS, SOBRE UNA IMAGEN GOOGLE EARTH 2010.	51
FIGURA 21 CONTENIDO DE AG EN EL ÁREA JARILLAS, SOBRE UNA IMAGEN GOOGLE EARTH 2010.	52
FIGURA 22 CONTENIDOS DE AG EN LA ZONA LAS CASAS, SOBRE UNA IMAGEN GOOGLE EARTH 2010.	53
TABLA 1 ALTERACIONES HIDROTERMALES EN DEPÓSITOS EPITERMALES DE ALTA Y BAJA SULFURACIÓN (HEDENQUIST 2000).	42
TABLA 2 CONTENIDO DE ORO Y PLATA EN LAS ESTRUCTURAS PRINCIPALES DEL ÁREA JARILLAS-LAS CASAS (CASTRO MORA <i>ET AL.</i> , 2011).	49
TABLA 3 SUMATORIA DE PROFUNDIDADES DE LOS BARRENOS PROPUESTOS EN EL PROGRAMA DE EXPLORACIÓN RECOMENDADO.	56
TABLA 4 PRESUPUESTO ESTIMADO PARA UNA CAMPAÑA DE EXPLORACIÓN EN EL ÁREA JARILLAS-LAS CASAS.	57

RESUMEN

El área Jarillas-Las Casas ubicada en el centro del Estado de Oaxaca, alberga un depósito mineral con contenidos interesantes de Au y Ag. Abarca una superficie de más de 18 000 hectáreas aproximadamente. Las vetas están encajonadas en rocas volcánicas y subvolcánicas depositadas en el terciario.

En las estructuras mineralizadas, se reconocen texturas de cuarzo de crecimiento primario que indican profundidades de emplazamiento someras. Según la mineralización y características texturales, podría clasificarse como un depósito epitermal de baja sulfuración.

El levantamiento geológico se realizó apoyándose de fotografías satelitales, ubicación de puntos mediante un navegador GPS. La información geoquímica, petrográfica y observaciones de campo se recopilaron en un GIS.

Se realizaron mapas de alteraciones con ayuda de imágenes satelitales multiespectrales del Servicio Geológico Mexicano y con estudios de difracción de rayos X, espectroscopía SWIR y petrografía.

OBJETIVOS

Realizar una cartografía a detalle con el objeto de recabar datos de alteraciones, petrografía y contenidos metálicos en el área y de esta manera determinar si las vetas de cuarzo con valores de oro y plata de la zona que se pretende estudiar, pueden constituir un yacimiento mineral, con base a las condiciones del mercado actual de los metales preciosos.

El trabajo realizado pretende que pueda significar un aporte de nuevos datos que ayuden a comprender la evolución metalogenética de la zona. De comprobar la hipótesis planteada, las aportaciones serían en dos sentidos: 1.- Sentar las bases para el descubrimiento de una nueva mina de oro y plata, con el beneficio social que esto conlleva y 2.- Se generarían nuevas aportaciones al conocimiento metalogenético de la región de los Valles Centrales de Oaxaca.

PROBLEMATICA

La principal problemática a resolver es determinar los principales sitios de alta concentración en metales preciosos y la continuidad de las menas, tomando en consideración el marco estructural, las zonas de alteración hidrotermal y la roca encajonante. Otra problemática de la zona es la falta de trabajos realizados en el área tanto de cartografía geológica a detalle como de yacimientos minerales.

INTRODUCCIÓN

México es un país con amplia tradición minera y en la actualidad, los precios tan elevados de los metales han permitido la evaluación y exploración por estos elementos en diversas localidades de la República Mexicana, tras el colapso de la economía mundial en los años 2003 y 2008.

El presente estudio se realizó con la finalidad de llevar a cabo una exploración geológico-minera de la zona denominada Ejutla II por la empresa minera New Strike Capital Inc., a través de su subsidiaria Minera Aurea S.A. de C. V., con base en una cartografía geológica a detalle en dicha zona, mapeo de alteraciones.

La metodología del trabajo consistió en el mapeo correspondiente y la planeación de tres secciones geológicas trazadas de manera estratégica con el fin de cubrir parte de la zona de extensión del lote minero, el cual cubre una superficie de más de 18,000hectáreas.

Se creó una base de datos para elaborar un mapa geológico-minero y uno de alteraciones, con el apoyo de un sistema de información geográfica para descargar los datos recopilados en campo y representarlos en una base altimétrica con la escala adecuada.

Con el fin de tener más certeza en el tipo de depósito y su evaluación, se colectaron muestras de campo para análisis por difracción de rayos X, espectroscopia de infrarrojo cercano de reflexión “SWIR”, petrografía y minerografía, además de análisis geoquímico de oro y plata.

1. ANTECEDENTES

1.1 Desarrollo de la minería en el Estado de Oaxaca.

El historial minero en el Estado de Oaxaca se remonta a la época prehispánica, cuando sus pobladores con propias técnicas obtenían metales como el oro y la plata para elaborar adornos personales. Se sabe por obras de Sahagún y Biringuccio que los indígenas en la época prehispánica tenían conocimientos de prospección, “buscando diferentes coloraciones en las cúspides de las montañas” (Muñoz-Joaquín, 1986).

Actualmente la geoquímica se basa en técnicas analíticas precisas para realizar la prospección de los depósitos minerales pero, en etapas preliminares de exploración, se siguen utilizando dichas coloraciones que los indígenas ya señalaban, y que hoy día se conoce como prospección de anomalías de color. Ésta se puede apoyar con técnicas espectroscópicas de radiación visible infrarroja.



Figura 1 Ilustración del proceso de fundición del metal en el Códice Florentino tomada de .

Los historiadores afirman que no solo yacimientos de oro y plata fueron explotados en Oaxaca durante la época prehispánica, sino también

yacimientos de cobre, que constituía un importante producto comercial introducido por los zapotecas hasta las lejanas tierras de la península de Yucatán.

La explotación minera en el Estado de Oaxaca comenzó inmediatamente después de la conquista. En regiones como Atoyaquillo, Tonalá y Tlaxiaco se explotaban depósitos auríferos. En ese tiempo una de las áreas más importantes en la entidad fue la zona de Chinantla, por la abundancia de los placeres de oro en sus ríos.

Más tarde, en el siglo XVIII, se comenzaron trabajos de extracción en la Mixteca y en la Sierra Sur. A finales del siglo XIX gracias a Porfirio Díaz la minería en Oaxaca tuvo un giro importante, sobre todo en lo que respecta a la promoción y difusión de las actividades y de la riqueza minera de la entidad, manteniéndose como eje de la política económica la inversión extranjera.

A inicios del siglo XX, los distritos mineros del estado eran los de Ocotlán, Ejutla e Ixtlán. Se afirma que en los primeros años del siglo XX, solo se había explotado la décima parte de las zonas mineras del Estado de Oaxaca (Cabrera-Ramírez, 2004). Actualmente debido al aumento en los precios de varios metales, la exploración, desarrollo y producción minera disfrutaban de una nueva ola de actividad en México (Clark y Fitch, 2009).

1.2 Aspectos Sociodemográficos

Oaxaca está conformado por 570 municipios distribuidos en 30 distritos políticos, los cuales para fines económicos se agrupan en ocho regiones. La zona de estudio se ubica dentro de los Valles Centrales (Figura 2).

El total de población en el Estado de Oaxaca es del orden de tres millones ochocientos mil habitantes, lo que representa el 3.4% del total nacional. La tasa de crecimiento en México entre los años 2000 al 2005 fue del 1%, mientras que Oaxaca registró una de 0.4% en el mismo periodo (INEGI 2008).

El idioma oficial de México es el español, sin embargo existen 16 familias lingüísticas que a su vez se dividen en 60 lenguas distintas. Oaxaca es el estado con mayor porcentaje de población de 5 años, o más que hablan una lengua indígena con 35.2%, y el 14% de la población no habla español (INEGI 2008). Su dinámica demográfica es inestable, presenta flujos migratorios hacia otras zonas del país y los Estados Unidos de América.

La zona de estudio se circunscribe a los municipios de San Nicolás Yaxe, San Baltazar Chichicapan y San Pedro Taviche, que forman parte del distrito de Ocotlán; además de Santa María Zoquitlan que forma parte del distrito de Tlacolula.

En cuanto a infraestructura social y de comunicaciones, los municipios cuentan con un centro de salud, agua potable, y alumbrado público. Sin embargo, esto no garantiza una buena calidad de vida ya que las oportunidades de empleo son escasas.

La agricultura es la actividad principal en el municipio, únicamente por encima de la industria minera. Además, una pequeña parte de la población se dedica a la elaboración y comercialización del mezcal.

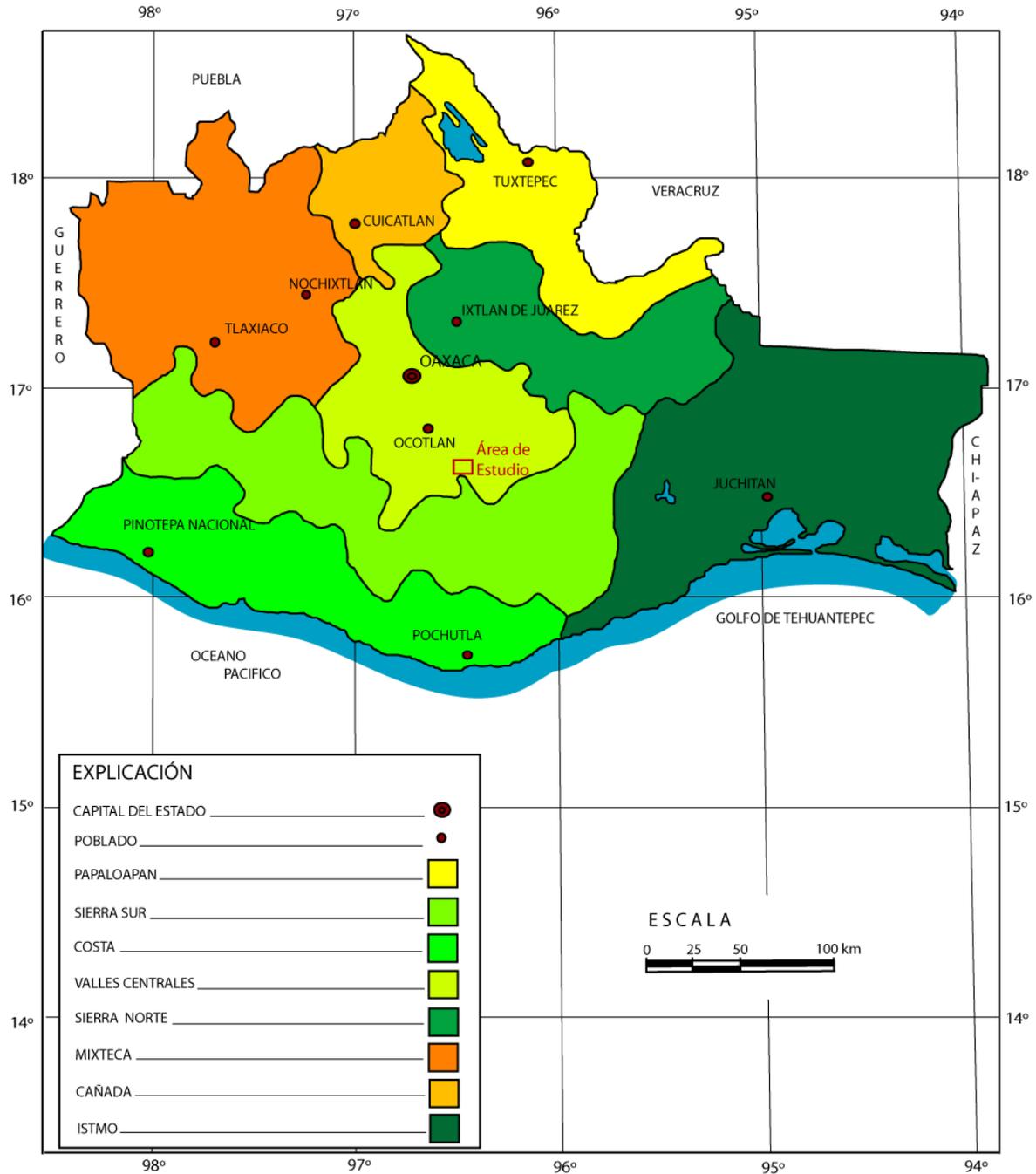


Figura 2 Regiones Económicas de Oaxaca (modificado de Castro-Mora *et al.*, 1996).

2. SÍNTESIS GEOGRÁFICA

2.1 Localización y vías de acceso

El área Jarillas-Las Casas se localiza en la parte central del Estado de Oaxaca, entre las coordenadas geográficas $16^{\circ} 43'$ latitud norte y $96^{\circ} 28'$ longitud oeste, a una altitud promedio de 1,500 metros sobre el nivel del mar; aproximadamente a 63 kilómetros de distancia de la ciudad de Oaxaca (Figura 3).

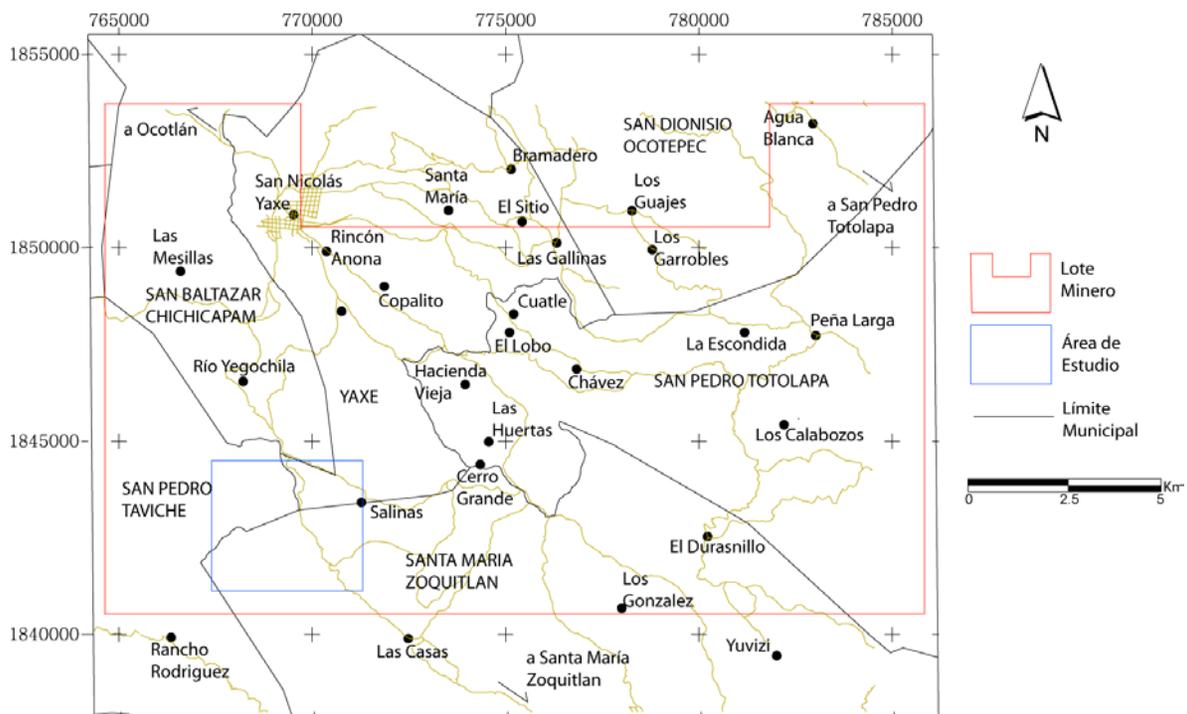


Figura 3 Localización y acceso al Área Jarillas-Las Casas

El acceso al área Jarillas-Las Casas consiste en tomar desde Ocotlan de Morelos la carretera que comunica con San Baltazar Chichicapam dirigirse al poblado de Yaxe; para posteriormente tomar un camino de terracería al sur de este mismo.

2.2 Clima y Vegetación

El clima es seco semi-cálido, la temperatura promedio anual es de 21°C, con una precipitación anual de 644mm concentrada en verano y un periodo de sequía entre julio y agosto según pobladores. De octubre a febrero el clima es frío, presentándose heladas, y en abril y mayo el calor es predominante en la región (Figura 4).

Los tipos de vegetación en el Estado de Oaxaca están bien delimitados de acuerdo a la fisiografía y las condiciones climáticas (Fotografía 1). Los valles centrales se caracterizan por tener una vegetación de bosque aciculesclerófilo con pastizales inducidos, que consisten en una gran variedad de pinos y encinos, copal, diversos tipos de maguey, pitahayo, órgano y palo verde (INEGI, cartas de usos de suelo y vegetación 2004-2009). (Figura 5).



Fotografía 1 Vegetación en el área en verano.

Estudio Geológico-Minero del Área Jarillas-Las Casas, municipio de San Nicolás Yaxe, estado de Oaxaca

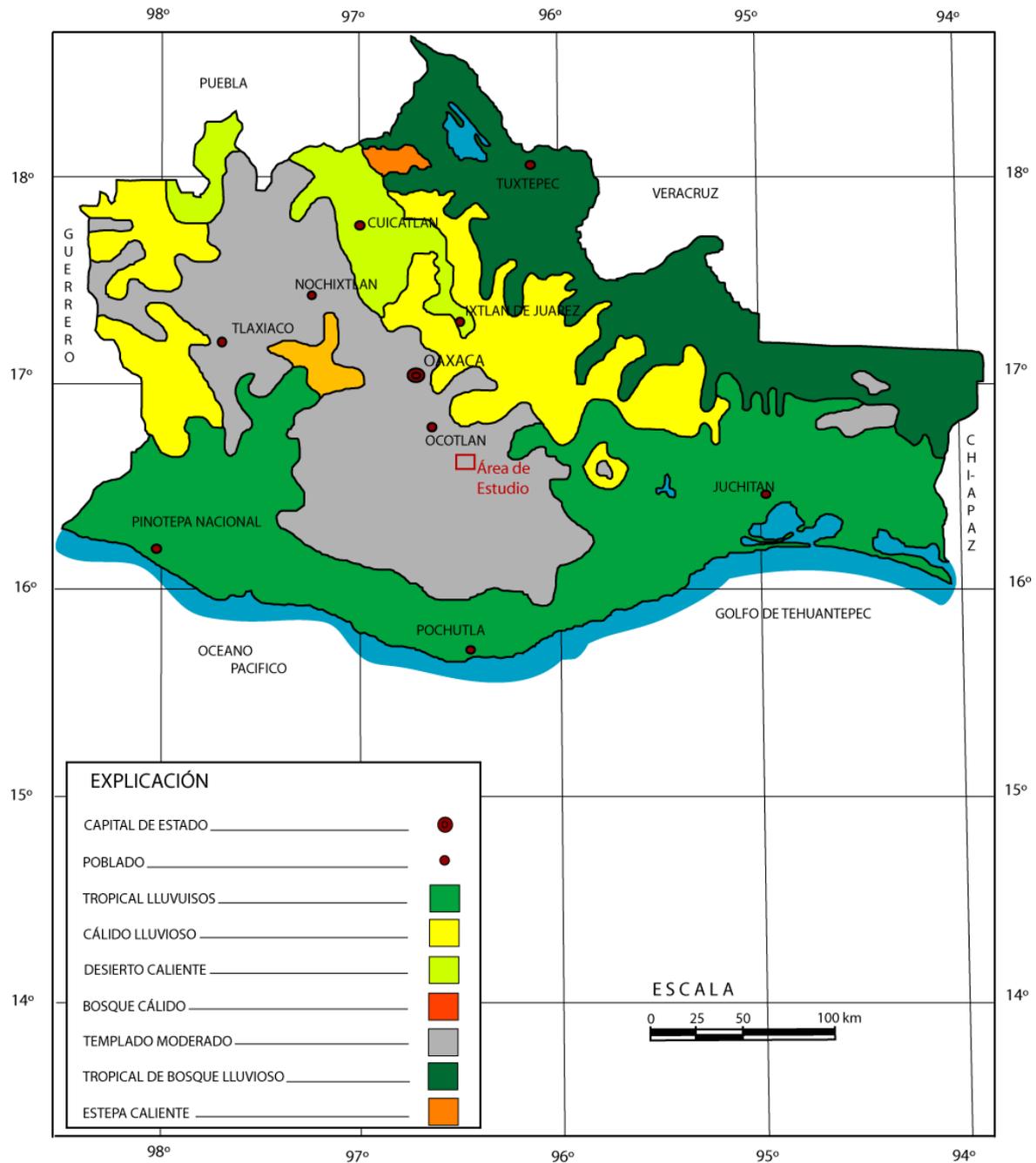


Figura 4 Mapa de Climas de Oaxaca (modificado de Castro-Mora *et al.*, 1996).

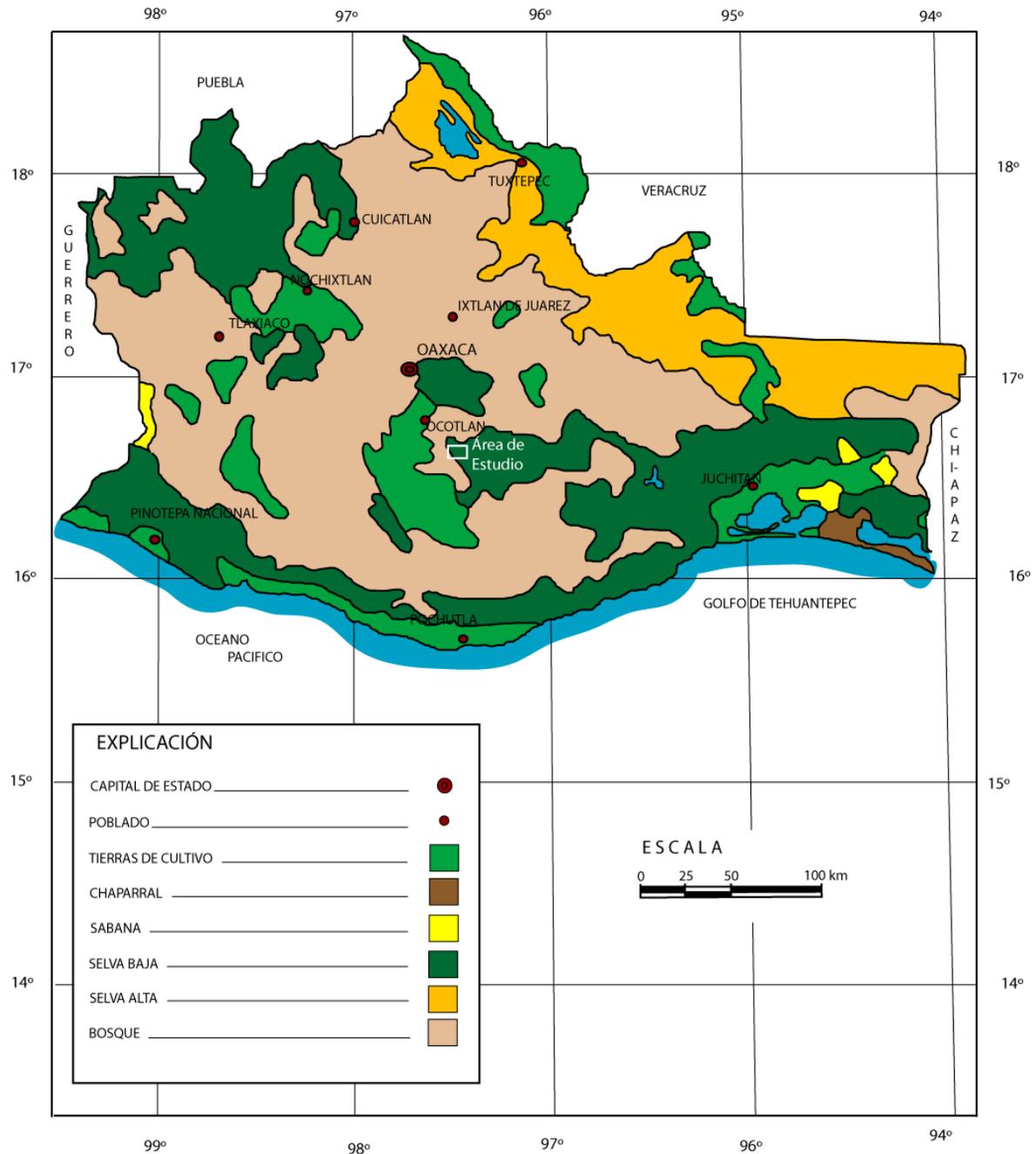


Figura 5 Mapa de Vegetación de Oaxaca (modificado de Castro-Mora *et al.*, 1996).

2.3 Fisiografía

El territorio oaxaqueño queda comprendido dentro de tres provincias fisiográficas: Sierra Madre del Sur, Llanura Costera del Golfo y Cordillera Centroamericana (Raisz, 1962).

La Sierra Madre de Sur se localiza en la parte centro-occidental de la entidad, desde el centro de la misma hasta las costas del Pacífico y el Istmo de Tehuantepec.

Las montañas de este sistema y las sierras frontales hacia el mar quedan tan cerca del océano que prácticamente no existe llanura costera, con excepción de algunas franjas angostas. En algunos lugares los flancos de las sierras terminan abruptamente en el mar. En general, las crestas de las sierras que comprenden este sistema son uniformes, excepto en algunos casos en que los picos o cumbres aisladas se levantan sobre el nivel promedio de las cadenas montañosas (Figura 6).

El área de estudio está ubicada en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur y en la subprovincia de las Tierras Altas de Oaxaca. La subprovincia de las Tierras Altas de Oaxaca se caracteriza por ser un terreno predominantemente montañoso, burdamente dividido por los valles de los ríos Grande y Atoyac, de tal forma que la sierra Mixteca queda en la porción occidental y la sierra de Juárez en la oriental. En la porción central del estado se sitúan algunos valles intermontanos que en conjunto se conocen como los Valles Centrales de Oaxaca.

Estudio Geológico-Minero del Área Jarillas-Las Casas, municipio de San Nicolás Yaxe, estado de Oaxaca

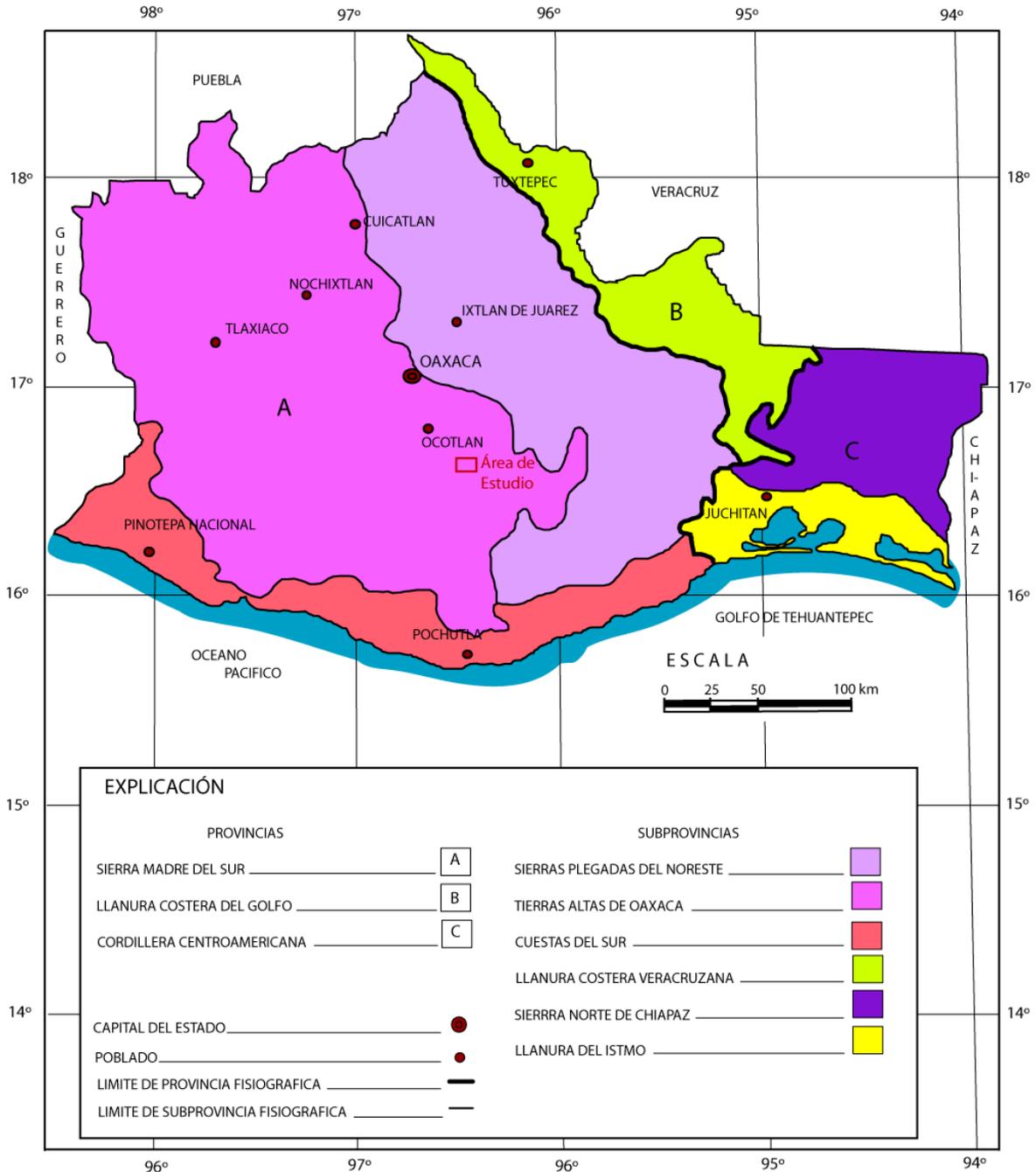


Figura 6 Provincias Fisiográficas de Oaxaca (modificado de Castro-Mora *et al.*, 1996).

3. SÍNTESIS GEOLÓGICA

3.1 Marco Tectónico

El Estado de Oaxaca alberga cinco terrenos tectonoestratigráficos (Sedlock *et al.*, 1993): Cuicateco, Zapoteco, Maya, Chatino y Mixteco (Figura 7).

La zona de estudio se encuentra dentro del Terreno Zapoteco (Sedlock *et al.*, 1993), el cual fue definido anteriormente como Terreno Oaxaca (Campa y Coney, 1983).

El Terreno Zapoteco se extiende desde la parte central de Oaxaca hasta el centro del Estado de Puebla. Colinda al oriente con el Terreno Cuicateco, al poniente con el Terreno Mixteco y al sur-suroeste con el Terreno Chatino. Asimismo, está delimitado por una serie de fallas a nivel regional.

El Terreno Zapoteco está formado por un basamento de rocas metamórficas en facies granulita y por anortosita. Sobre las cuales existe una cubierta de sedimentos paleozoicos, formando en su conjunto el Complejo Oaxaqueño (Sedlock *et al.*, 1993).

Falla Oaxaca

Es un sistema formado por fallas orientadas preferentemente al N y NW. Está expuesta a lo largo de 200km aproximadamente, desde el poblado de Miahuatlan, al sur de la Ciudad de Oaxaca, hasta Tehuacán, en Puebla. Forma el frente montañoso occidental de las Sierras Mazateca y Juárez, y se asocia al levantamiento de las mismas (Centeno-García, 1988). Se sobrepone a una zona de cizalla antigua, a la que se le estima actividad en diferentes épocas y con distinta cinemática, siendo la Falla Oaxaca producto de su más reciente reactivación, la cual ocurrió durante el Cenozoico como falla normal (Alaníz-Álvarez, 1996).

Falla Caltepec

La Falla Caltepec tuvo actividad como falla lateral derecha durante un régimen transpresivo ocurrido en el Pérmico (Elías-Herrea y Ortega-Gutiérrez, et al., 2005). Es una zona de cizalla de gran duración, con deformaciones dúctil y frágil sobrepuestas; se ha reactivado en el Mesozoico y durante el Cenozoico (Elías-Herrera, *et al.*, 2005). Su orientación preferente es al NNW y tiene un ancho que varía de 2 a 6km. En su porción oriental tiene como basamento el Complejo Oaxaqueño y una cobertura Jurásica continental. Por otro lado, en el sector occidental muestra rocas del Complejo Acatlán, con una cobertura Jurásica de origen palustre, y principalmente marino. La Falla Caltepec es interpretada como el límite tectónico entre los Terrenos Mixteco y Zapoteco (Sedlock *et al.*, 1993). A esta estructura también se le ha llamado Falla Tamazulapan (López-Ticha, 1985).

Falla Chacalapa

Es una estructura localizada en la porción sur del Estado de Oaxaca, ubicada hacia la costa del Pacífico; su traza pasa al norte del poblado de Pochutla. A ella se le asocian rocas de origen cataclástico que en orden cronológico de formación son: ultramilonita, milonita, protomilonita, pseudotaquilita, filonita y cataclasita (Tolson, 1998). Es una estructura con cinemática lateral izquierda que se desarrolló durante el Oligoceno (Tolson, 2005). Esta estructura es señalada como el límite norte del Terreno Chatino con los Terrenos Zapoteco y Mixteco (Sedlock *et al.*, 1993).

Estudio Geológico-Minero del Área Jarillas-Las Casas, municipio de San Nicolás Yaxe, estado de Oaxaca

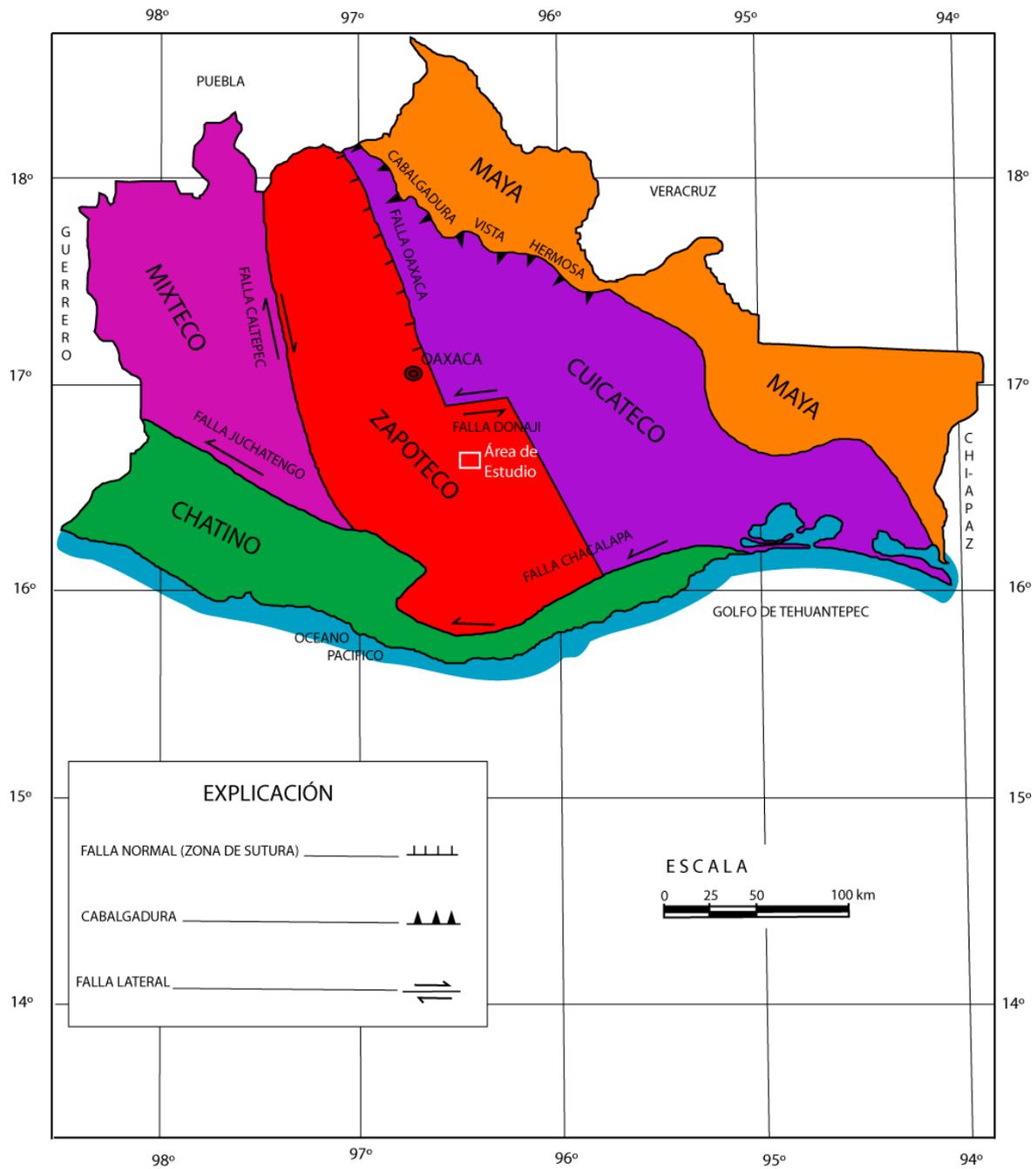


Figura 7 Terrenos Tectonoestratigráficos de Oaxaca (modificado de Castro-Mora *et al.*, 1996).

Falla Donaji

La Falla Donají se localiza en el sur del complejo milonítico Sierra Juárez, con una dirección casi E-W. Intersecta a la falla Oaxaca, por lo que se considera sincrónica a esta última por un ajuste lateral entre ambas estructuras. Es de tipo normal pues quedan en contacto rocas volcánicas terciarias y sedimentos marinos cretácicos con rocas miloníticas, se considera de edad cenozoica (Nieto-Samaniego *et al.*, 1995).

Falla Vista Hermosa

La Falla Vista Hermosa (Ortega-Gutierrez *et al.*, 1990) es una cabalgadura que delimita a las rocas pertenecientes al Terreno Cuicateco, situado al SW de la falla, y la Formación Todos Santos, ubicadas al NE de la falla. Se le atribuye una edad Laramídica (Ortega-Gutierrez, 1992). Su extensión no es muy clara debido a que hacia la zona del Istmo no es posible determinar su continuidad, pero se considera que al menos tiene una longitud de 300km.

3.2 Estratigrafía Regional

El basamento de la región es el Complejo Oaxaqueño, compuesto por diversas unidades litológicas representadas por: ortogneis, paragneis, gneis sienítico, mármol “cipolino” y charnockita. Sobre este basamento yacen rocas pertenecientes a las formaciones Jaltepetongo y Teposculula.

La Formación Jaltepetongo, del Cretácico Inferior está constituida por secuencias de arenisca, conglomerado y limolita. La Formación Teposculula, del Cretácico Superior, está compuesta por secuencias de caliza con horizontes arcillosos, y se encuentra intrusionada por cuerpos graníticos de composición intermedia-ácida.

Un conjunto de rocas extrusivas con una composición que varía de intermedia a ácida se encuentran cubriendo de manera discordante a las rocas de las formaciones Teposculula y Jaltepetongo (García-Díaz, *et al.*, 1997).

La secuencia paleozoica que cubre de manera discordante al basamento cristalino comienza con intercalaciones de lutita negra y caliza plegada de la Formación Tiñu, estas rocas son del Cámbrico-Ordovícico (Robinson y Panotja-Alor, 1968). Continúa con rocas misisípicas de la Formación Santiago que son areniscas calcáreas y conglomerados, sobreyacidas por caliza marina, limolita calcárea y lutita (Navarro-Santillán *et al.*, 2002). Le sobreyace la Formación Ixcaltepec que son intercalaciones de arenisca, limolita, lutita y caliza; esta formación contiene abundante fauna del Pensilvánico (Sour-Tovar y Quiroz-Barroso, 1989); las unidades de la cima de la secuencia paleozoica son (a) la Formación Matzitz: que consiste en una alternancia de arenisca cuarzo-feldepatita y arenisca conglomerática con lutitas del Carbonífero-Pérmico (Carrillo y Martínez, 1983; Martínez-Amador *et al.*, 2001); y (b) la Formación Yododeñe, constituida por conglomerado, arenisca, limolita y escasa lutita escasa (Pérmico(?),

Centeno-García y Keppie, 1999; Pérmico-Jurásico(?), Navarro-Santillan *et al.*, 2002).

El Complejo Oaxaqueño está formado principalmente por ortogneis cuarzofeldespatico, charnockita, metasedimentos (calco-silicatos), metgabro y mármol intrusionado por anortosita (Sedlock *et al.*, 1993; Ortega-Gutierrez *et al.*, 1994). La edades del protolito para rocas del basamento cristalino son del Proterozoico; datos isotópicos de U-Pb dan edades entre 990 y 1300 Ma (Keppie *et al.*, 2003).

3.3 Geología Estructural Regional

Existen sistemas de fallas normales y laterales que afectan a las unidades presentes en la región, y que posiblemente están asociadas a un sistema transtensivo (García-Díaz, *et al.*, 1997). Este sistema conjugado tiene un fallamiento lateral dextral en las orientaciones preferenciales entre N70°E y N70°W, y fallas laterales sinistralas en la dirección N10°E y S40°W. Se asocian fallas normales y diaclasas orientadas en dirección N40°W (García-Díaz, *et al.*, 1997).

Probablemente el sistema antes descrito continúe activo en el presente, ya que también controla depósitos de aluviones cuaternarios y las direcciones preferenciales de drenaje.

4. GEOLOGÍA LOCAL DEL AREA JARILLAS- LAS CASAS

4.1 Distribución espacio-temporal de las unidades litológicas

En la región es posible diferenciar seis unidades litológicas expuestas. La más antigua corresponde al complejo oaxaqueño, seguido de las calizas, probablemente de la Formación Teposculula, que afloran en la parte central de la zona (Figura 8).

Por encima de esta unidad descansa un paquete de tobas de composición félsica, de coloración blanca a rosada, altamente silicificadas y con microgeodas. Sobre este paquete de tobas yace una unidad vulcanoclástica continental con una coloración morada en clastos y verdosa en la matriz.

También se identificó, sobre la unidad vulcanoclástica, una brecha volcánica de color blanco a verdoso (indicando alteración propilítica; clorita-epidota) y con clastos de angulosos a subangulosos de hasta 20cm de diámetro.

Asimismo, en la parte central también está expuesto un dique de color blanco a pardo, de composición félsica con una longitud de un kilómetro aproximadamente, una orientación al NW y un espesor de hasta 100m. Además, hay una serie de diques de composición andesítica que, debido a las reducidas dimensiones de los afloramientos, no fué posible representar en la carta geológica.

Por otra parte, la roca encajonante de la mayoría de las estructuras mineralizadas (vetas) es un pórfido probablemente de composición riolítica a riodacítica de coloración pardo y altamente silicificado.

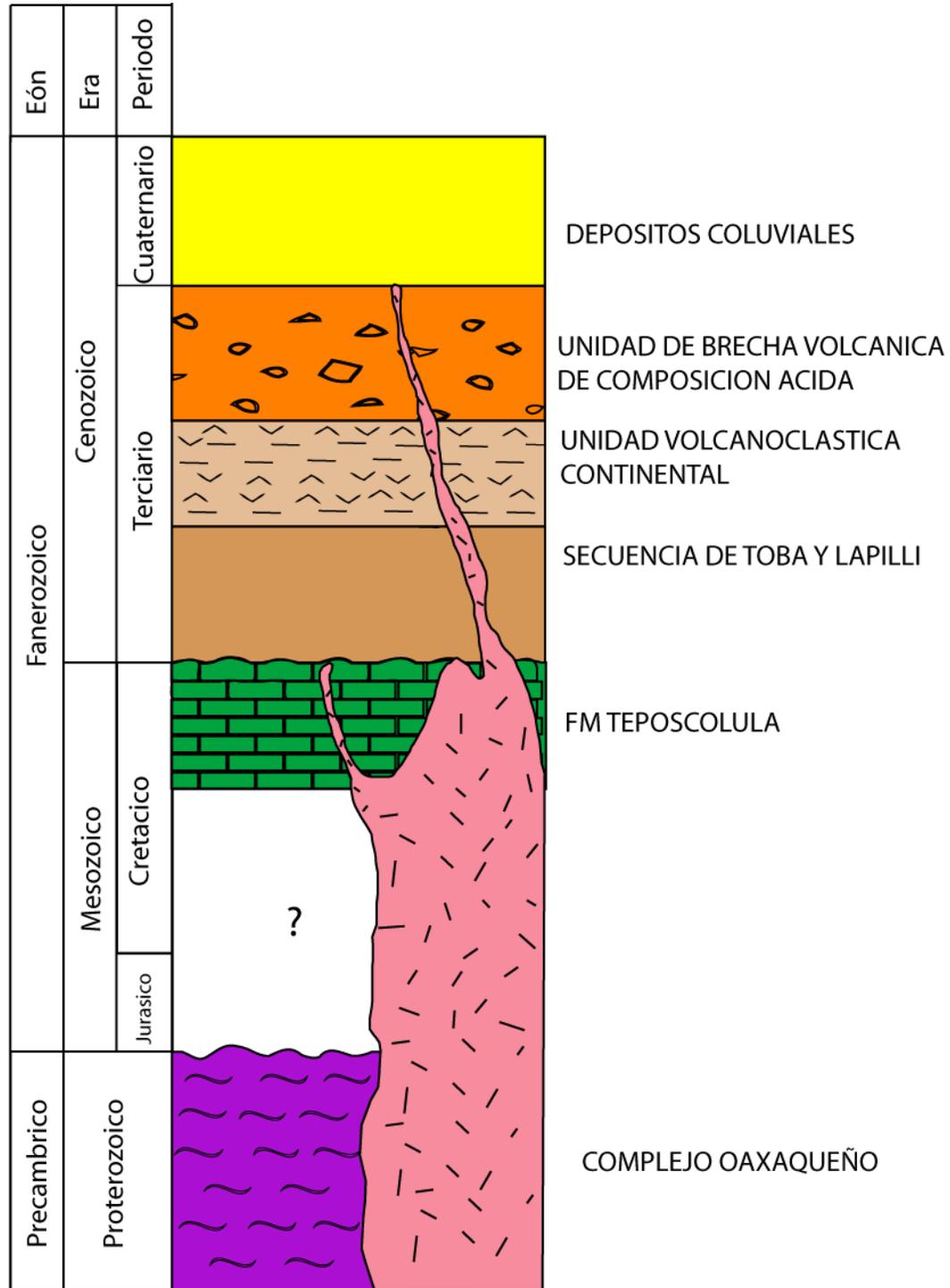


Figura 8 Columna Geológica del área Jarillas-Las Casas

Caliza (Kc)

Calizas atribuidas a la Formación Teposcolula con bandas y nódulos de pedernal, además presentan facies de plataforma carbonatada, y se caracterizan por ser *wackestone-packstone* y *mudstone*, con miliólidos, ostrácodos y foraminíferos bentónicos y rudistas (Ortega-Gonzalez y Lambarria-Silva, 1991), con intercalaciones de dolomías y calizas arcillosas (fotografía 2).

Unidad Vulcanoclástica Continental

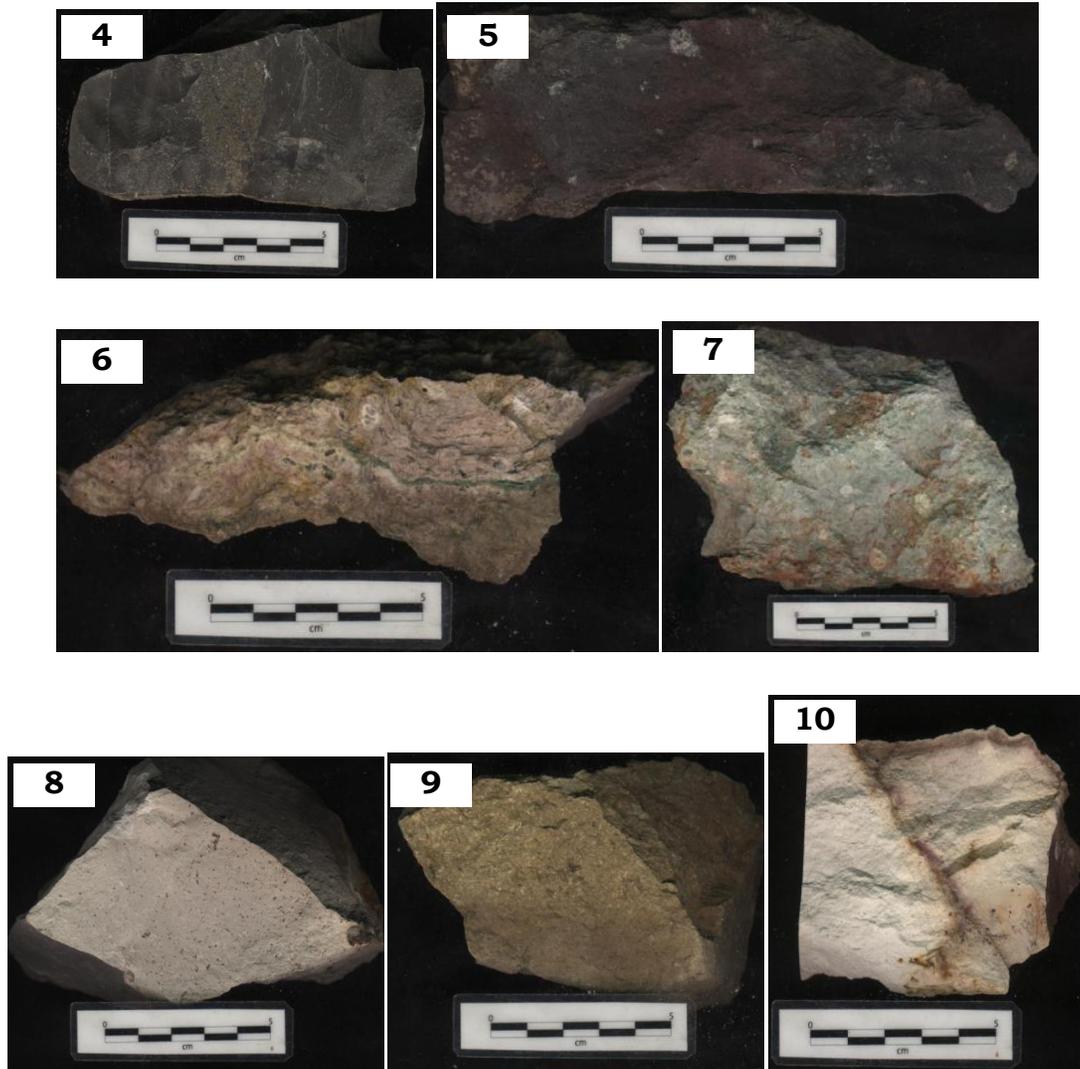
Unidad de rocas vulcanoclásticas con algunos depósitos de tipo *lahar*. Se pueden distinguir clastos redondeados en su mayoría y con un diámetro de uno a treinta centímetros y hasta un metro en algunos afloramientos. Estas rocas tienen una coloración morada y están contenidos en una matriz tobácea de composición similar pero con una coloración verdosa (fotografía 3).

Brecha Volcánica

Se observó una brecha de color verdoso con alteración y fragmentos líticos de la unidad vulcanoclástica antes descrita. Los fragmentos angulosos que la componen van de 3 a 5 centímetros y en algunos casos hasta 10 centímetros. Cementada por sílice y de coloración verde por alteración hidrotermal (propilítica), se puede clasificar por su composición como intermedia a ácida (fotografía 5).

Secuencia de Toba y Lapilli (Tpc)

Se trata de una toba de composición ácida de color blanco a rosado y con algunas laminaciones verdosas. Se observan cavidades rellenas por cuarzo y bandeamiento de flujo, además de silicificación, dicha unidad tiene un espesor que va de los 30m a 40m en algunos afloramientos (fotografía 4).



Fotografía 4 Muestra de mano de Caliza atribuida a la Formación Teposcolula. Fotografía 5 Muestra de mano de unidad vulcanoclástica continental. Fotografía 2 Muestra de mano de Toba de composición ácida a intermedia. se observan microgeodas en el centro de esta misma. Fotografía 7 Muestra de mano de brecha volcánica. Fotografía 8 Muestra de mano de pórfido de composición ácida. Fotografía 9 Muestra de mano de dique de composición intermedia. Fotografía 10 Muestra de mano de dique de composición ácida (apófisis de un stock porfídico).

Pórfido de composición ácida (Tp)

Pórfido de coloración parda y composición probablemente riolítico-riodacítico, pues está altamente silicificado. Esta unidad es una roca félsica con textura microgranítica y composición cuarzo-feldespática. Dicho pórfido tiene una variación, no solo en su textura, sino también en su composición de ácida a intermedia que es posible observar en los diques expuestos en la zona de estudio a manera de apófisis del sistema magmático del que provienen (fotografía 8).

Dique de composición ácida (Tda)

En la zona aflora un dique encajonado en el pórfido antes mencionado, dicho dique de color blanco, composición granítica y de grano fino (aplítico) (fotografía 6), tiene una longitud aproximada a un kilómetro, una potencia de 100m y un rumbo de N30°W; no ha sido posible medir su disposición, por lo que se supone sea vertical. En sección delgada, se observan cuarzo y feldespatos en una matriz criptocristalina con textura porfirítica y fenocristales de sanidina. Este dique presenta silicificación y adicionalmente se han encontrado illita y caolinita en estudios de difracción de rayos X.

Dique de composición intermedia

En el área de estudio también se ha observado la existencia de una serie de diques encajonados en el pórfido, los cuales quizá son de composición dacítica-andesítica con coloración que va de negro a marrón debido a la alteración propilítica, una potencia de hasta 5m, en dichos afloramientos no se ha podido medir su disposición, presentan textura porfidica, muy poco cuarzo y presencia de óxidos de fierro debido a intemperismo (fotografía 7).

4.2 Marco Estructural Local

La zona de estudio presenta los mismos controles estructurales que se observan en los sistemas de vetas del distrito minero Taviche, un sistema paralelo epitermal de baja sulfuración con vetas polimetálicas ricas en oro y plata (<http://www.newstrikecapital.com/projects/oaxaca/oaxaca-claims/>). El lote incluye varias vetas expuestas en superficie, algunas de ellas con afloramientos espectaculares.

Dentro de la zona de estudio, la mayoría de las estructuras corresponden a un sistema principal de fallas con una tendencia de NW 45° SE y otro en NE50° SW. La mayoría de las fallas son de tipo normal con una componente lateral derecha (fotografía 12). Aunque también fue localizada una de falla de tipo inversa (fotografía 13).

En los diagramas de rosetas se encuentran graficados los datos estructurales las fallas (Figuras 9 y 10).



Fotografía 11 Falla inversa entre las unidades de toba (de color blanco) y brecha volcánica (de color morado).
Fotografía 12 Estrías con inclinación (pitch) de 30° en plano falla normal N44°W, 66° sobre estructura principal.

Fig. 9

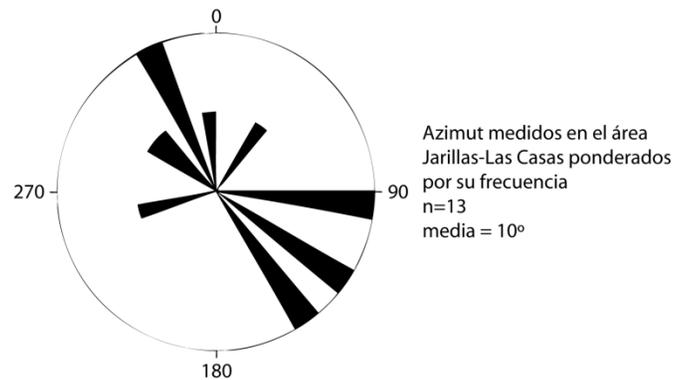


Fig. 10

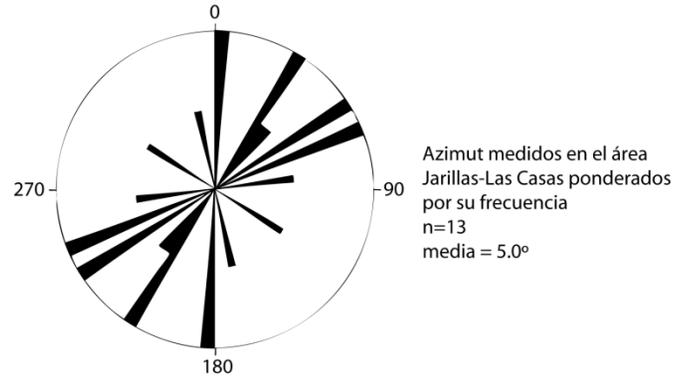


Figura 9 Diagrama de Rosetas con las tendencias de Inclinación de los planos de falla y fracturas de la zona Jarillas-Las Casas. Figura 10 Diagrama de Rosetas con las direcciones principales de las fallas y fracturas en el área Jarillas- Las Casas.

5. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS

Las estructuras en la zona corresponden a un sistema de vetas en su mayoría con una orientación NW-SE y con espesores expuestos en superficie que van desde los 50cm hasta más de 10m (fotografías 13, 14, 15 y 16); estas vetas conforman la parte somera del ambiente epitermal.

Algunas estructuras son apreciadas en forma de crestones prominentes, y algunas veces por los cambios de coloración en el suelo y el tipo de vegetación (fotografía 15).

La composición mineral de las estructuras esencialmente es el cuarzo, producto de la silicificación que se manifiesta en forma de vetas, venillas, brechas y *stockwork* (fotografía 17). La mayoría de las estructuras tienen una coloración blanca y marrón debido al contenido de óxidos de Fe.

Las vetas encontradas en la zona tienen un ancho promedio de 2m y una extensión en superficie que va de los 4 o 5 metros hasta un kilómetro de longitud, aunque la estructura principal en el área las casas, tiene 16 metros de potencia (Figura 11) y hasta un kilómetro de extensión. Las estructuras silicificadas (crestones) tienen una longitud de hasta 45m expuestas en superficie y un ancho de unos 6m.

En dicho sistema existen pequeñas obras de explotación minera, y que según pobladores de la región, fueron trabajados como fuente de plata.



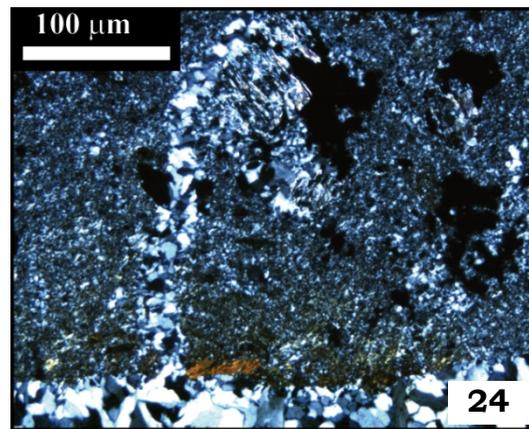
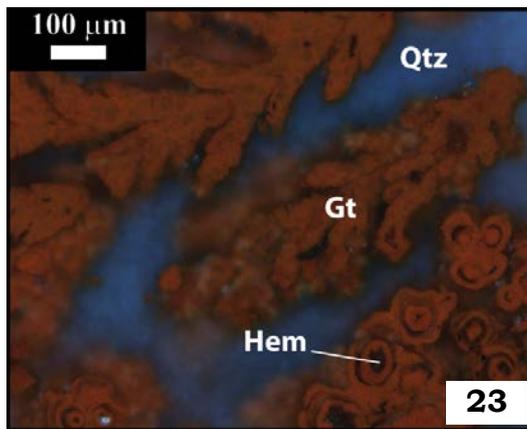
Fotografía 13 Estructura Principal con un espesor aproximado de 12m. Fotografía 14 Veta con espesor de 30cm localizada en la zona con las mejores concentraciones de Au (1.16 g/t). Fotografía 15 Veta con espesor de 10m y rumbo NW-SE. Fotografía 16 Veta con espesor de 2m, se observa la inclinación hacia el NE. Fotografía 17 Detalle de creston silicificado. Fotografía 18 Muestra de veta principal en área las casas. Se observa la textura de brecha.

El análisis de las texturas el cuarzo hidrotermal fue realizado en muestras de superficie de vetas y se reconocieron texturas de crecimiento primario (Dong, et al., 1995).

Las texturas de crecimiento primario reconocidas son

- a) *Masiva*: constituida por agregados microcristalinos de color blanco lechoso de aspecto vítreo, integrados por cristales subhedrales y equigranulares sin arreglo particular (fotografía 21).
- b) *En Peine*: Conformada por cristales de cuarzo de aspecto hialino y lechoso, a los cuales se asocia adularia y sericita, esta textura aparece generalmente en las estructuras de *stockwork*, como única textura de relleno (fotografías 22 y 24).
- c) *Cristales de zonación*: aunque esta textura propiamente no fue reconocida en el cuarzo, es posible apreciarla en minerales producto de la meteorización, se observan zonas concéntricas de óxidos de hierro (goethita) alrededor de cristales de hematita (fotografía 23).

Adicionalmente fueron reconocidas texturas tipo *vuggy* con fantasmas de cristales probablemente de feldespatos que fueron disueltos quedando únicamente sílice amorfa (fotografía 20). Por otra parte algunas estructuras mineralizadas presentan textura de brecha, algunas con clastos de la roca encajonante en su mayoría el pórfido (fotografía 18).



Fotografía 19 Textura en enrejado "stockwork" en veta principal. Fotografía 20 Textura Vuggy. Fotografía 21 Textura masiva en veta de cuarzo. Fotografía 22 Relleno de oquedades y cuarzo de textura *cocks comb*. Fotografía 23 Textura de crecimiento concéntrico de goethita alrededor de hematita en veta (luz reflejada y polarizada). Fotografía 24 Se observa textura de cuarzo con textura en peine rellenando cavidades (luz transmitida y polarizada).

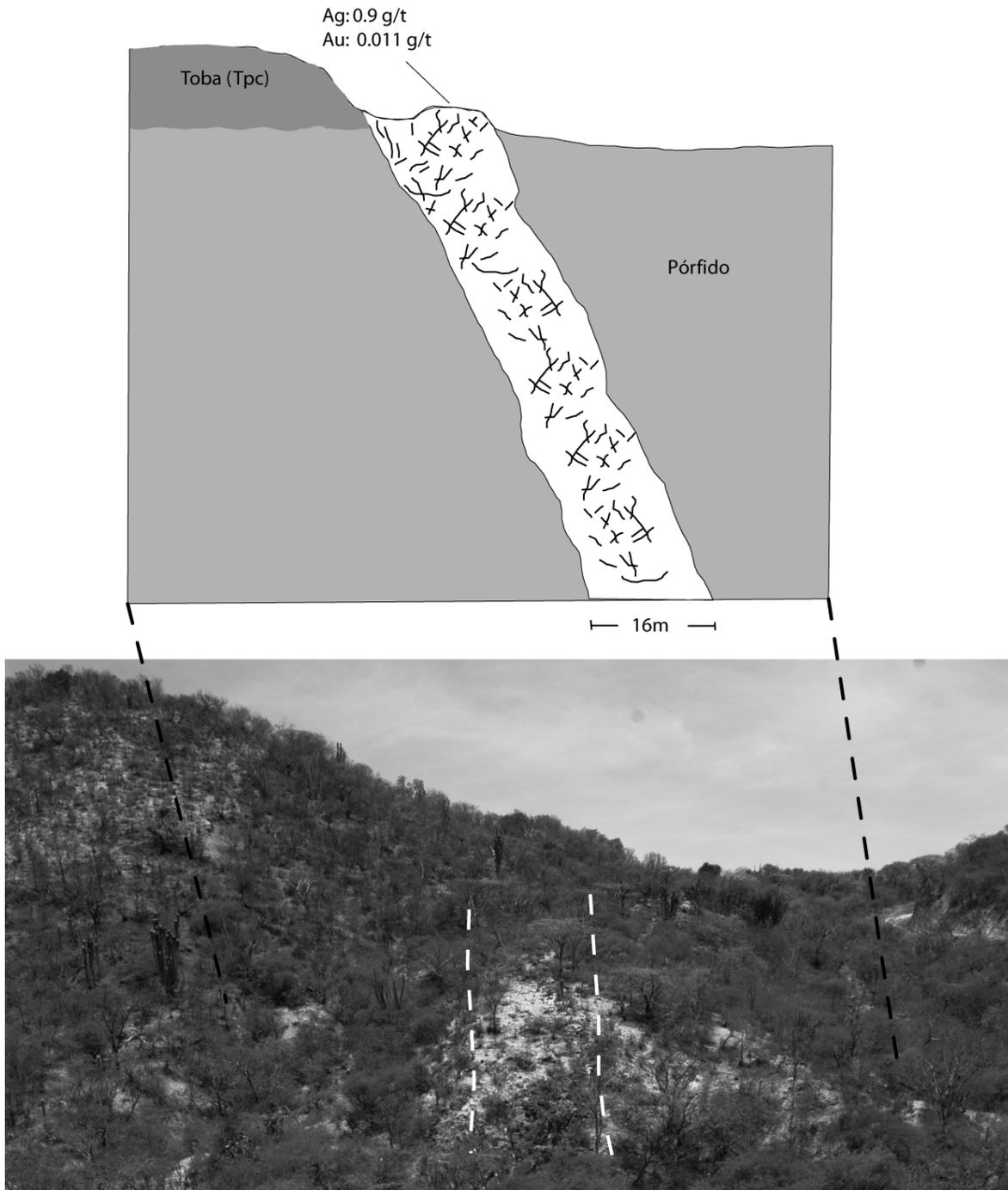


Figura 11 Detalle de veta principal en el área Las Casas.

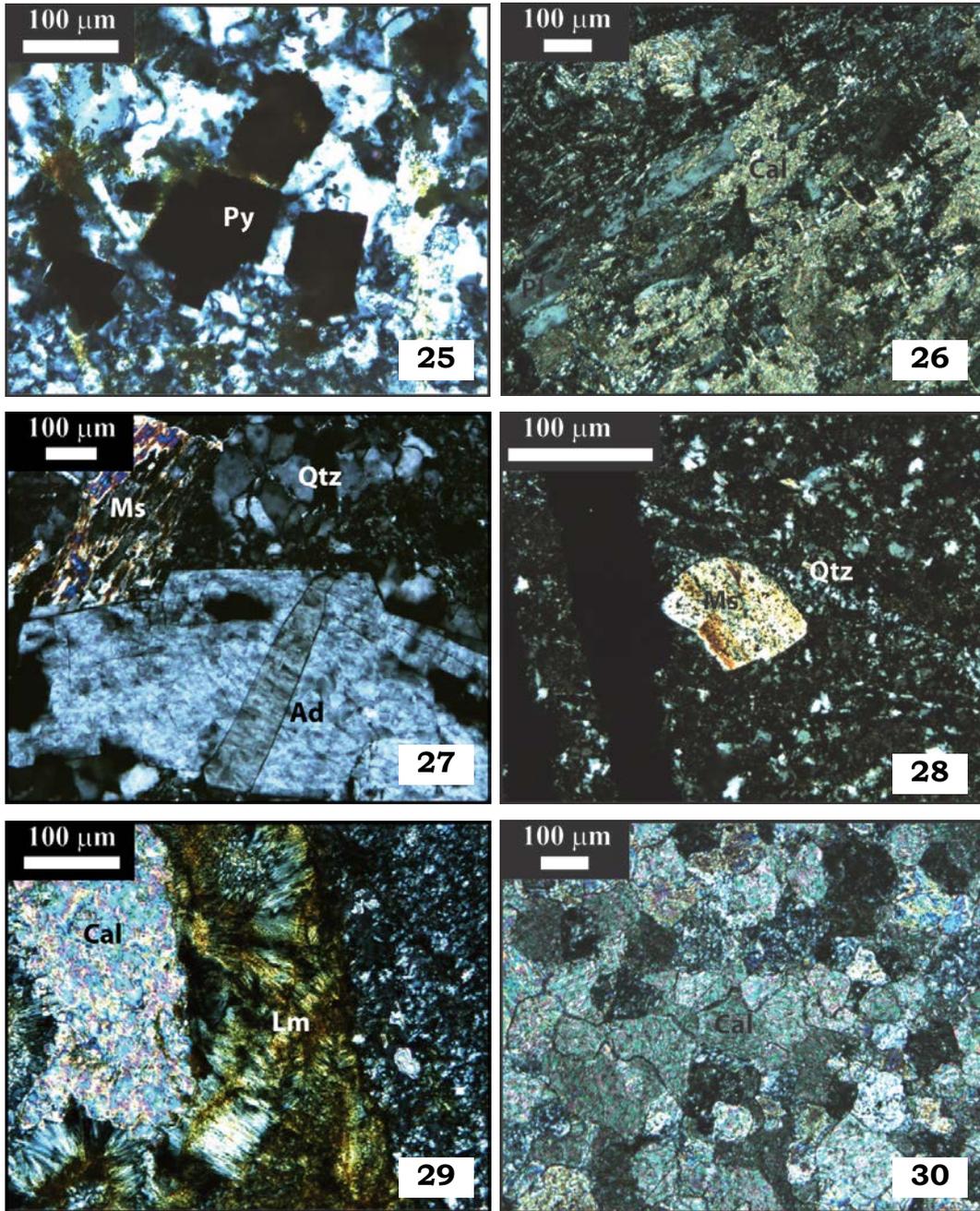
6. CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS Y MINERAGRÁFICAS DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS

Los estudios petrográficos de las estructuras mineralizadas permiten reconocer las texturas y proporcionar ideas sobre el ambiente de formación, además de ayudar a identificar los tipos de alteración relacionados con la mineralización.

Aunque el mineral esencial en las estructuras mineralizadas es cuarzo con todas sus texturas descritas, también se encontró asociado con adularia, sericita, pirita, hematita, goethita y óxidos de hierro.

En la toba de composición ácida, se observan relictos de cristales euedrales de feldespatos incluidos en una matriz criptocristalina con un poco de moscovita y alta silicificación; también es posible observar cristales de pirita y óxidos de hierro. Asimismo se detectaron caolinita e illita en los estudios de difracción de rayos X y SWIR.

Por otra parte, el dique de composición intermedia es una roca cloritizada y carbonatada (alteración propilítica), con textura porfirítica. Se observan relictos de plagioclasa que es reemplazada por calcita; no se observa cuarzo primario, como también se encontraron calcita, limonita y clorita, se concluye que es una posible dacita-andesita pues no es posible determinarlo con exactitud debido a la alteración que presenta.



Fotografía 25 Detalle de cristales de pirita en una matriz criptocristalina en toba. Fotografía 26 Cristal de plagioclasas el remplazamiento por calcita debido a la alteración hidrotermal en dique de composición intermedia. Fotografía 27 Lamina de una veta, se observa muscovita en la parte superior y adularia en la parte inferior (Qtz: cuarzo; Ms: muscovita; Ad: adularia). Fotografía 28 Cristal de muscovita y cuarzo policristalino en una matriz criptocristalina en toba (Qtz: cuarzo; Ms: muscovita). Fotografía 29 Calcita en la parte izquierda, limonita en la parte central y la textura criptocristalina del dique de composición intermedia en la parte derecha. Fotografía 30 Re cristalización incipiente de calcita a causa de la intrusión del dique de composición intermedia en las Formacion Tepesculula.

Como anteriormente se mencionó, se localizó expuesto un dique de composición intermedia que intrusión a la caliza de la Formación Teposcolula. Dicho dique, de textura porfírica, y cristales subedrales está constituido esencialmente por una matriz de plagioclasa cálcica. Se observa calcita reemplazada por goethita, además de sericita y rutilo. A su vez, la calcita reemplaza a feldespatos y es posible observar apatita. La roca es una posible dacita-andesita pues la alteración que presenta no permite detallar más.

Fue muestreada la zona en las áreas de exposición de este dique con el objeto de analizar la alteración que le pudo haber ocasionado a la caliza. Se observan cristales inequigranulares anedrales de calcita pero no se observa marmorización en la caliza, llegando únicamente a una recristalización incipiente.

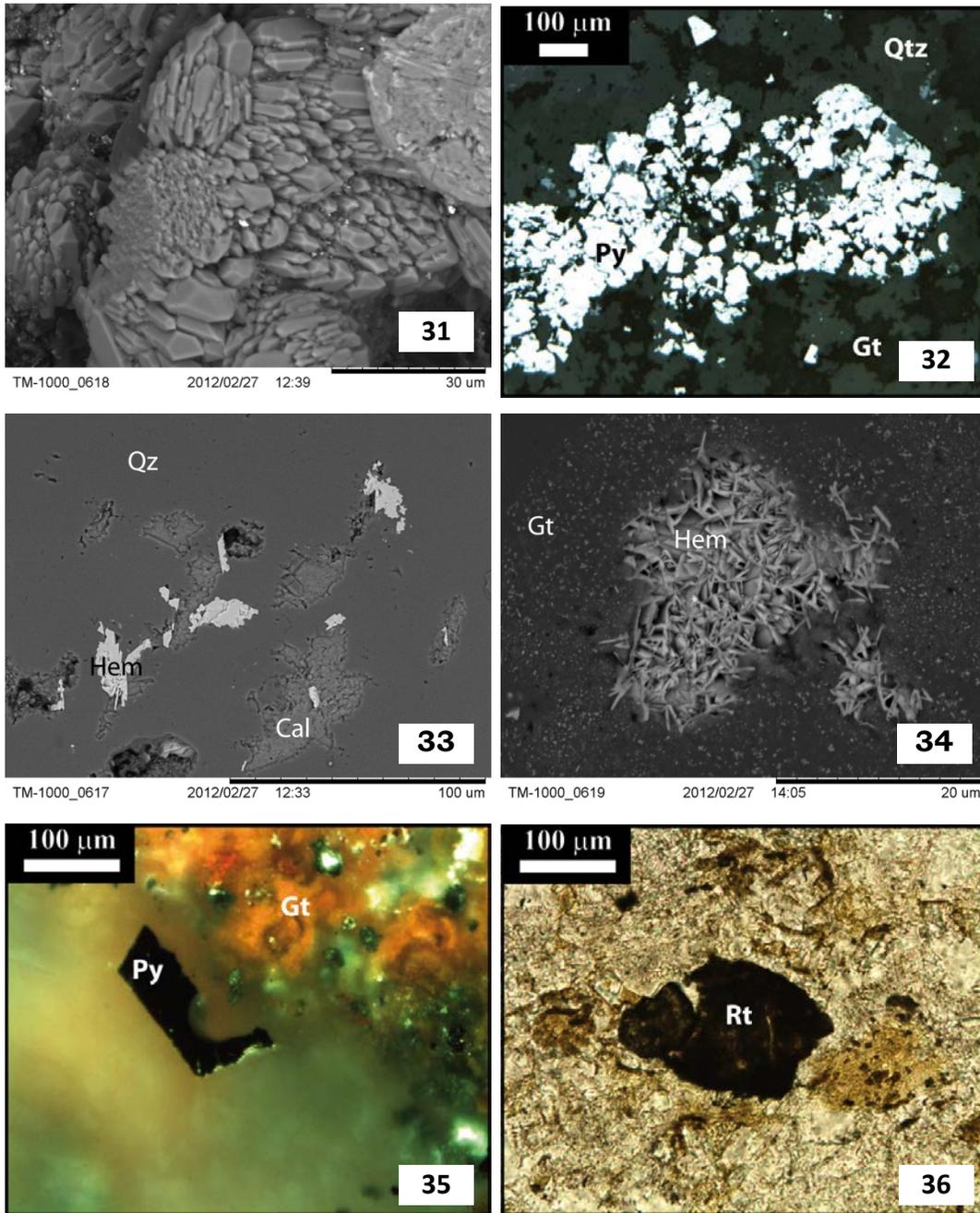
En algunos sectores el dique muestra silicificación y sericitización, de textura porfírica criptocristalina, con fenocristales de plagioclasas; se observa que el cuarzo predomina sobre los feldespatos y las plagioclasas están alteradas a sericita; Otros minerales secundarios constituyen calcita y sericita.

Los minerales metálicos observados en muestras de la superficie son la pirita y calcopirita, los cuales se ha encontrado alterándose a goethita-limonita, por alteración supergénica. Asimismo, la pirita se encuentra asociada con el cuarzo y los feldspatos de las estructuras mineralizadas (vetas).

Adicionalmente a los estudios minerográficos, las secciones pulidas fueron analizadas en un microscopio electrónico de barrido (SEM) Hitachi TM-1000, que permitió la obtención de electrones retrodispersados (EEB), imágenes (fotografías 33 y 34) y análisis químico cualitativo por energía dispersiva de espectrometría de rayos X (EDS).

	alteración hidrotermal	alteración supergénica
cuarzo	████████████████████	
calcita	████████████████████	
moscovita-sericita	████	
adularia	████████████████████	
illita	████████████	
esmectita	████████████████████	
alunita	████████████████████	
pirita	████████████████████	
calcopirita	████████████████████	
hematita	████████████████████	
goethita		████████████████████

Figura 12 Secuencia paragenética en relación a las fases de mineralización de las estructuras.



Fotografía 31 Cristal euedrales de cuarzo en veta imagen obtenida con microscopio electrónico de barrido. Fotografía 32 cristales de pirita, con cuarzo y goethita luz (reflejada). Fotografía 33 Cristales de hematita y clacita en una matriz de cuarzo. Imagen de veta obtenida con microscopio electrónico de barrido. Fotografía 34 Cristales de hematita con crecimiento de goethita a su alrededor. Imagen obtenida con microscopio electrónico de barrido. Fotografía 35 Cristal de pirita con golfo de abrasión causado por intemperismo (luz reflejada y polarizada). Fotografía 36 Cristal de rutilo y óxidos de Fe en dique de composición intermedia (luz transmitida).

7. DISTRIBUCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES

6.1 Metodología

La identificación y caracterización de asociaciones de minerales de alteración es importante para la exploración de depósitos hidrotermales. Debido a que las herramientas convencionales de mapeo no brindan mucha ayuda para la identificación de minerales de grano fino o variaciones en su composición, es necesario recurrir a otras técnicas, como la difracción de rayos X y la espectroscopía de infrarrojo cercano de reflexión “SWIR” la cual permite una rápida identificación de minerales.

Los minerales detectados con SWIR, correlacionados con otros datos de exploración, son utilizados para establecer la ubicación de las posibles perforaciones y para guiar programas de exploración.

La espectroscopía SWIR (Short Wave Infrared) detecta minerales tales como filosilicatos, arcillas, carbonatos y algunos sulfatos, además de las variaciones de composición en minerales individualmente. Asimismo es usada en varios ambientes de mineralización tales como los depósitos epitermales alta y baja sulfuración.

De esta manera es como los espectrómetros SWIR asisten en la rápida evaluación de la alteración de un depósito y consecuentemente aumentan la eficiencia en la toma de decisión durante un programa de exploración.

6.2 Mapeo de Alteraciones

La alteración en depósitos de baja sulfuración se caracteriza por la silicificación restringida a las cercanías de las estructuras, y a zonas de alteración argílica en la parte superior del depósito. Las zonas de alteración de tipo ácida ocurren debido a aguas calentadas por vapor (Buchanan, 1981).

Alteración	Baja sulfuración	Alta Sulfuración
Sílica	Vetas y Vetillas de Cuarzo, brechas y/o stockwork silicificadas, silicificación poco profunda incluyendo calcedonia y/o mantos de ópalo; sinter	Cuerpos de cuarzo residual a menudo denominado en campo “vuggy silica”; silicificación parcial a masiva; vetas de cuarzo y brechas silicificadas, silicificación somera, calcedonia y/o mantos de de opalina, sin sinter
Argílica Avanzada	Caolinita-Alunita-(Illita/esmectita-azufre nativo)±mantos de ópalo calentados por vapor, comúnmente bajo mantos de calcedonia Caolinita/halloysita-alunita-jarosita mantos o zonas de origen supergénico	Alunita-Caolinita/dickita-pirofilita-diaspora de origen hipogénico, típicamente rodeando núcleos de sílice, también raíces de sericita y pirofilita Caolinita-alunita mantos de origen supergénico o a aguas meteóricas calentadas por vapor
Argílica	Illita/esmectita aureolas a vetas±aureolas de smectita a zonas de sericita profundas	Illita e illita/esmectita halo a núcleo de argílica avanzada
Propilitica	Distribución amplia, en algunos casos de origen deutérico y de cuestionable relación genética directa al sistema mineral epitermal, formando normalmente cloritización (no epidota), excepto a niveles profundos	
Sericítica/Filitica	Roca predominantemente sericitizada, típicamente como aureola a veta de cuarzo	Bases de sericita a áreas de argílica avanzada; puede ser de transicional a argílica avanzada

Tabla 1 Alteraciones hidrotermales en depósitos epitermales de alta y baja sulfuración (Hedenquist 2000).

La variación en alteraciones a minerales arcillosos hacia afuera de la mineralización es típicamente muy difícil de definir en campo, pero podría ser detectado con el uso de espectroscopía SWIR.

Las características de estas zonas están descritas por numerosos autores, incluyendo White y Hedenquist (2000) y Sillitoe (1993). El ancho de las zonas de alteración varía de centímetros a metros. Las zonas calentadas por vapor de alteración argílica avanzada podrían también cubrir o desarrollarse lateralmente a la mineralización de baja sulfuración.

La caracterización de las diversas zonas de alteración es crítica para la exploración en este ambiente. Los mapas de alteraciones se basaron en interpretación de imágenes satelitales multiespectrales del Servicio Geológico Mexicano, observaciones macroscópicas de campo y con el apoyo de algunos estudios petrográficos, espectroscopía SWIR (figuras 11 y 12) y de difracción de rayos X (figuras 14 y 15).

La espectroscopía de reflectancia de las muestras se realizó utilizando un equipo portátil Espectrofotómetro LabSpec Pro (Analytical Spectral Devices, Inc.).

Los difractogramas se obtuvieron en un Difractómetro Shimadzu XRD-6000 equipado con filtro de Ni, tubo de cobre y monocromador. Las muestras se molturaron y homogenizaron mediante un mortero de ágata y posteriormente se analizaron en fracción no orientada utilizando un portamuestras de aluminio en el intervalo angular 2θ de 4° a 70° y velocidades de $2^\circ/\text{minuto}$.

A continuación se muestran el mapa de alteraciones, el que para fines prácticos fue dividido en dos áreas por separado (Figuras 11 y 12) y que en el mapa geológico están delimitadas por líneas discontinuas.

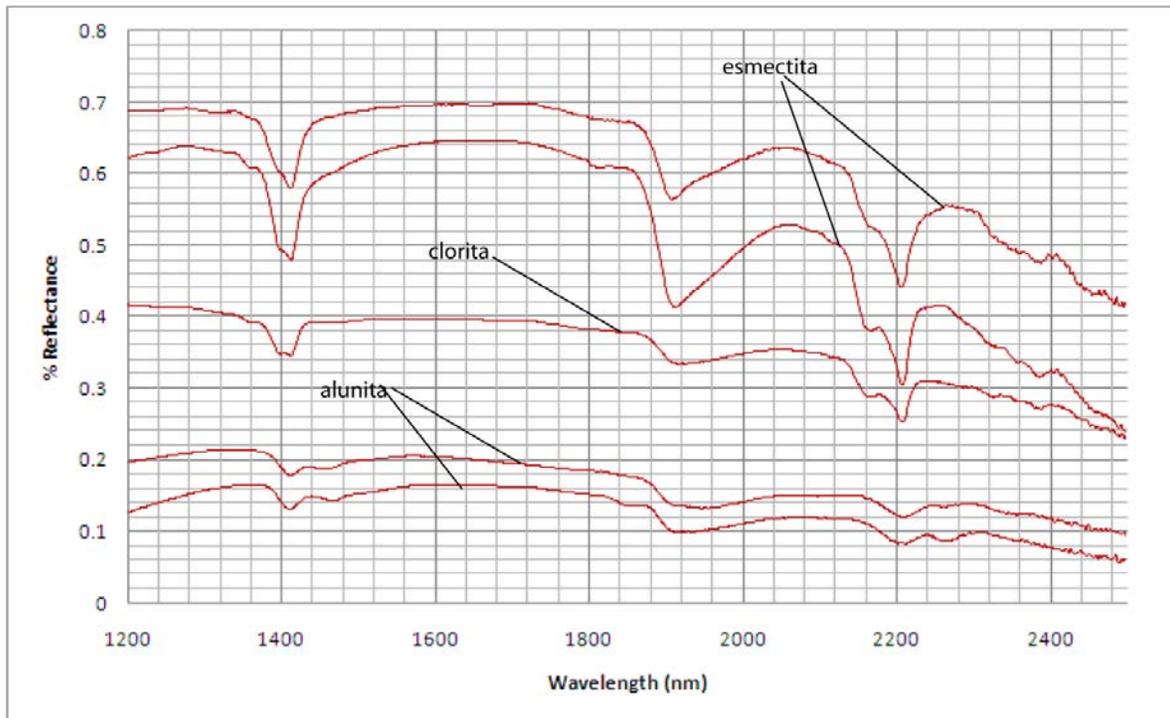


Figura 13 Espectros SWIR de alunite clorita y esmeclita.

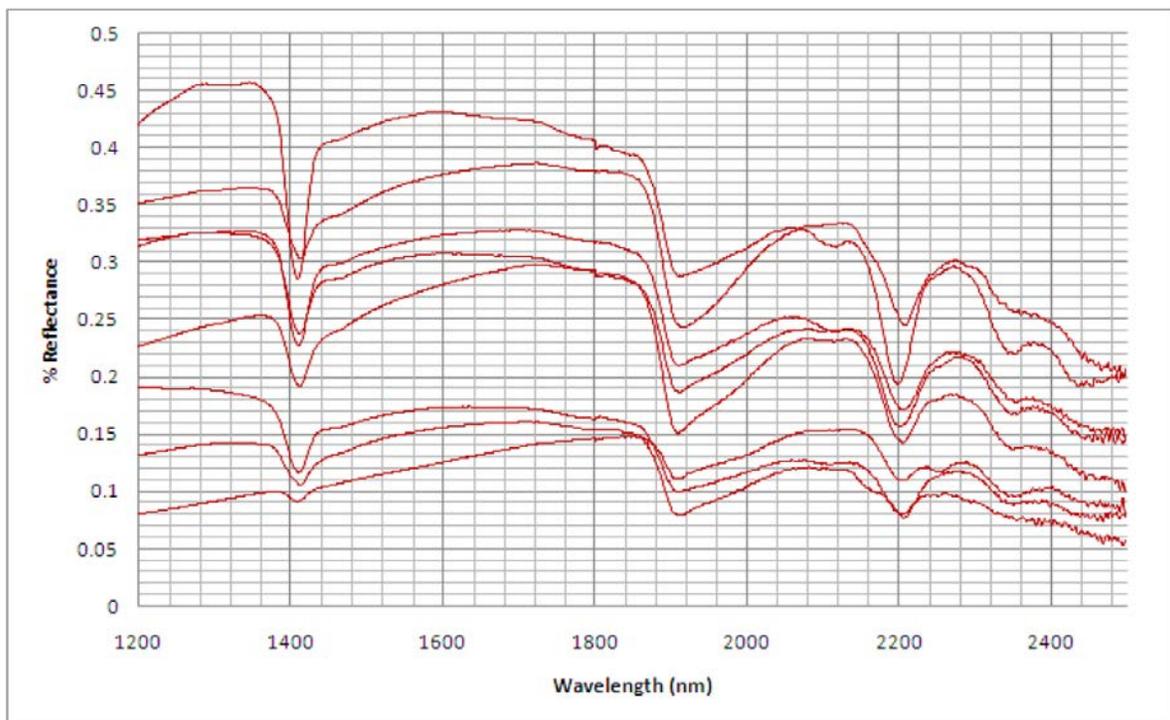


Figura 14 Espectros SWIR de illita.

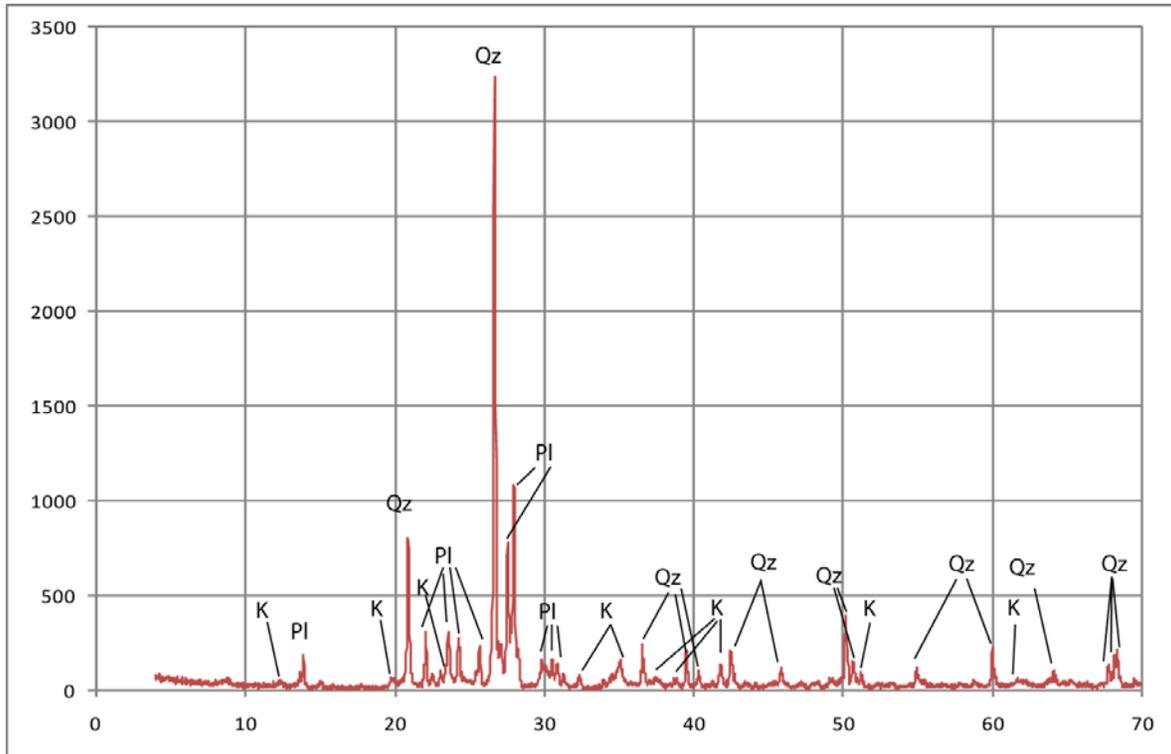


Figura 15 Difractograma que muestra caolinita (K), cuarzo (Qz) y Plagioclasa (Pl) identificados.

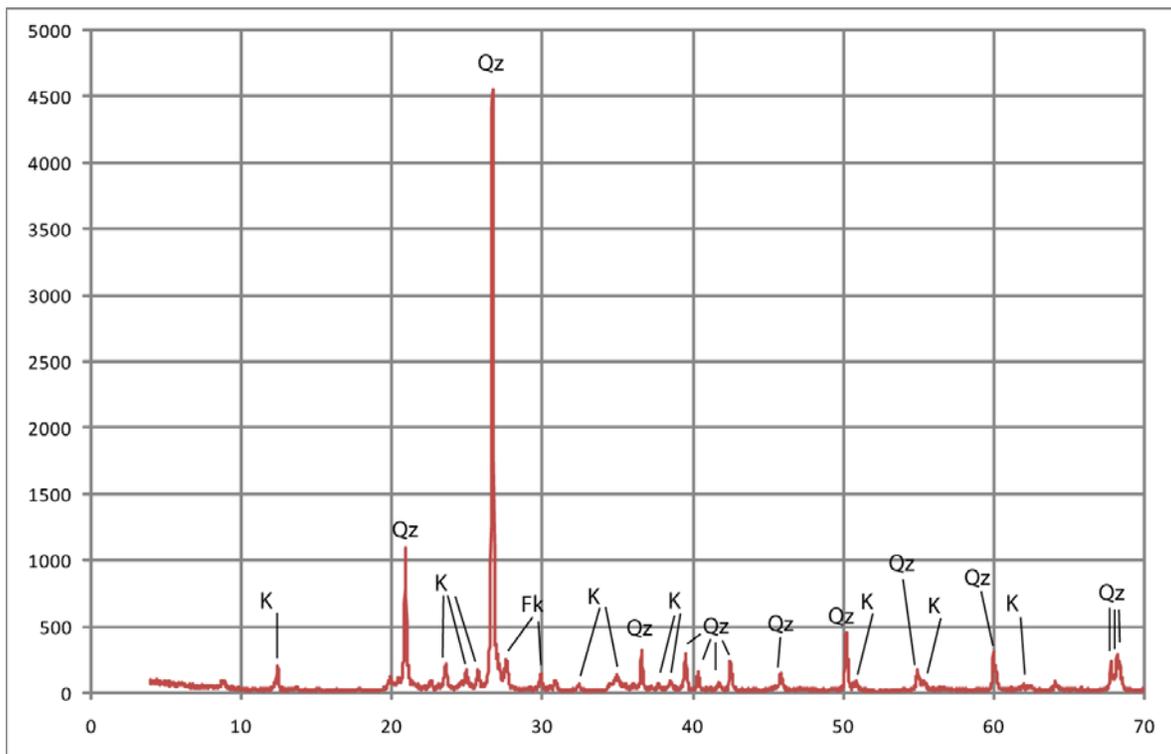


Figura 16 Difractograma que muestra caolinita (K), cuarzo (Qz), y feldespato potásico (Fk) identificados.

Mapa de Alteraciones del Área Jarillas

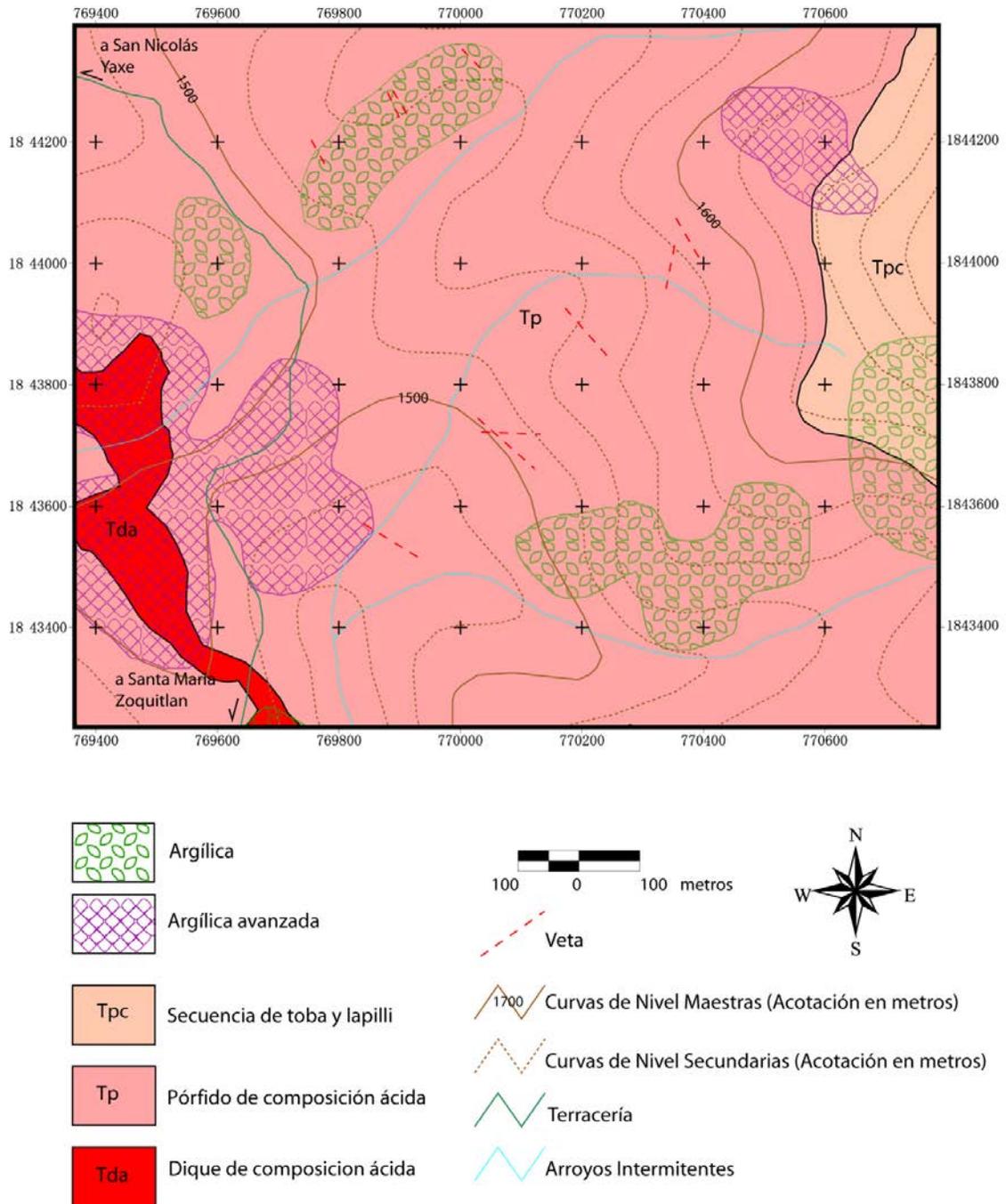


Figura 17 Mapa de alteraciones del área Jarillas

Mapa de alteraciones del Área Las Casas

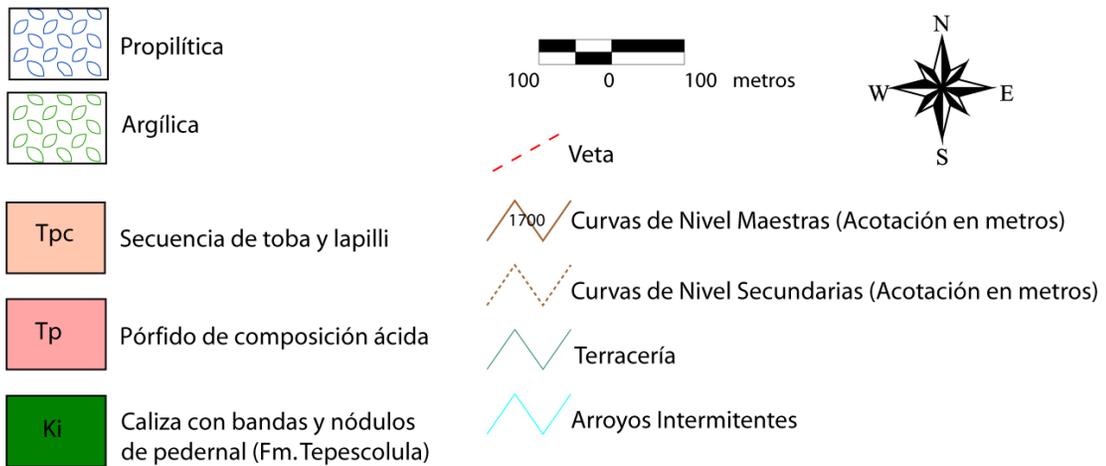
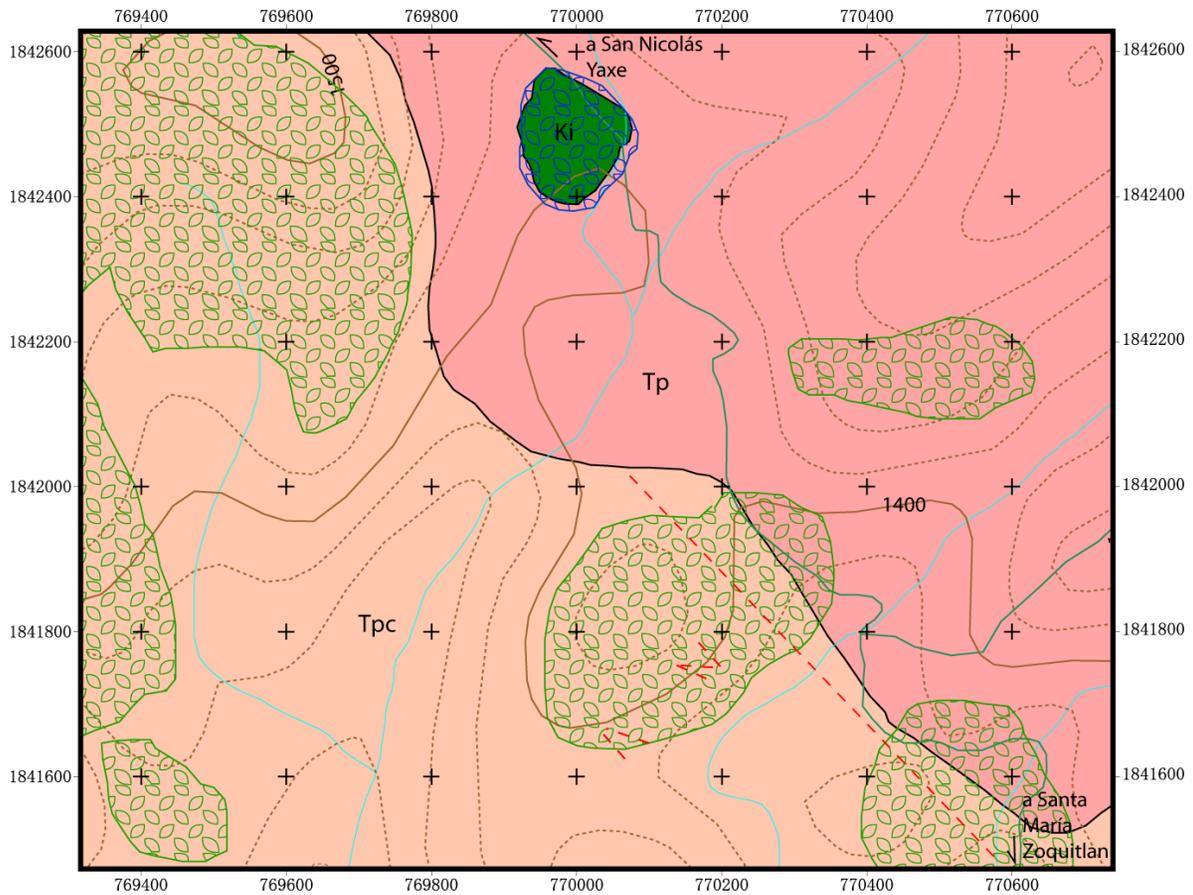


Figura 18 Mapa de alteraciones de la zona Las Casas

8. CONTENIDOS METÁLICOS DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS

El Distrito Minero de Taviche es conocido por sus numerosas estructuras mineralizadas. Dichas estructuras se manifiestan en forma de vetas, así como en relleno de fisuras, las cuales se alojan principalmente en rocas volcánicas; dichas estructuras pueden reconocerse en la zona de Jarillas-Las Casas. En dicha zona existen estructuras mineralizadas en forma de vetas alojadas en rocas volcánicas. Además existen vetas tardías de calcita

Con el objeto de encontrar valores económicamente importantes de Au y Ag, se realizó un muestreo en superficie tomando en cuenta las estructuras encontradas en cada sección.

El muestreo se realizó bajo controles y estándares de calidad basados en la norma oficial canadiense (N43-101). De manera que las prácticas y procedimientos usados en el programa de muestreo, deberían ser los adecuados según los objetivos del programa.

Con base a la norma N43-101, los programas de muestreo deberían ser llevados de una manera cuidadosa y diligente, usando prácticas de muestreo científicamente establecidas, designadas y probadas para asegurar resultados con veracidad y representatividad.

De esta manera, se colectaron muestras en superficie de cada estructura encontrada de manera perpendicular al rumbo de la veta; asimismo, fueron muestreadas las estructuras principales a lo largo de las mismas cada tres metros. Para cada muestra se tomó posición UTM mediante un GPS navegador.

Las Muestras fueron preparadas en el laboratorio localizado en Guadalajara de ALS Minerals y el análisis se hizo en Vancouver a cargo del mismo laboratorio. Los métodos de análisis fueron para Au Absorción

Estudio Geológico-Minero del Área Jarillas-Las Casas, municipio de San Nicolás Yaxe, estado de Oaxaca

Atómica (AAS). El segundo método utilizado fue espectroscopia de plasma acoplada de emisión atómica (ISP-AES) para análisis por 35 elementos incluyendo Ag. En el presente estudio solo se muestran los valores de Au y Ag mostrados en la tabla 2.

Muestra	Este (X)	Norte (Y)	Descripción	Espesor (m)	Au (g/t)	Ag (g/t)
JCEII-67	770347	1843999	No fue posible medir su disposición	-	0.005	89.3
JCEII-52	769941	1842169	falla	-	0.008	1.2
JCEII-31	769967	1842591	zona de oxidación contacto intrusivo-caliza		0.008	<0.2
JCEII-70	770079	1843694	crestón muy potente en la ladera sur	10 a 15	0.01	1.6
JCEII-57	769517	1843769	veta	5	0.01	<0.2
JCEII-32	770281	1841808	wall rock	12 muestra	0.011	0.9
JCEII-51	769905	1842196	veta	-	0.013	0.8
JCEII-23	770397	1841696	intersección de vetas	2	0.013	<0.2
JCEII-33	770129	1841964	veta	-	0.019	0.4
JCEII-58	769486	1843787	veta	-	0.023	<0.2
JCEII-39	770118	1841969	intersección de vetas	12 a 15	0.024	5.5
JCEII-22	770397	1841696	intersección de vetas	2	0.025	0.4
JCEII-37	770236	1841827	falla	-	0.026	0.2
JCEII-56	770408	1841685	estructura silicificada	-	0.026	<0.2
JCEII-38	770118	1841969	intersección de vetas	12 a 15	0.028	0.7
JCEII-49	769980	1842134	veta	-	0.033	0.9
JCEII-53	769964	1842160	veta	20	0.034	0.9
JCEII-36	770236	1841827	falla	-	0.035	0.2
JCEII-42	770098	1841988	veta	-	0.037	0.4
JCEII-43	770119	1841979	veta	8 a 10	0.039	0.6
JCEII-55	770415	1841678	veta	3	0.043	0.5
JCEII-50	769965	1842153	veta	45	0.05	1.1
JCEII-41	770049	1842118	veta	-	0.053	6.3
JCEII-45	770151	1841999	veta	8 a 10	0.056	1.3
JCEII-47	768863	1848810	veta	0.6	0.065	75.8
JCEII-68	770204	1843883	Veta alojada en pórfido sección SW35*	-	0.067	8.1
JCEII-35	770195	1841881	veta	-	0.073	0.9
JCEII-48 Y 49	770003	1842172	intersección de vetas	4 a 30	0.086	3.9
JCEII-34	770174	1841906	veta	-	0.09	0.9
JCEII-59	769611	1843969	dique félsico	-	0.095	8
JCEII-40	770038	1842067	veta	-	0.125	28.7
JCEII-46	768863	1848810	veta	0.6	0.131	>100
JCEII-54	770442	1841652	veta	3	0.16	1
JCEII-69	770078	1843723	veta con sulfuros y óxidos	0.5	0.253	1.5
JCEII-60	770115	1843745	terrero	-	0.3	>100
JCEII-44	770132	1841989	veta	8 a 10	0.308	1.4
JCEII-74	769895	1843542	veta con sulfuros diseminados	0.5	1.16	43.9
JCEII-20	770425	1844094	estructura silicificada con sulfuros diseminados	3	<0.005	<0.2
JCEII-21	770438	1844128	estructura silicificada	4 a 5	<0.005	<0.2
JCEII-24	769330	1844568	intrusión silicificada con stockwork de hematita	0.3	<0.005	<0.2
JCEII-25	769330	1844568	intrusión silicificada con stockwork de hematita	0.3	<0.005	<0.2
JCEII-26	770365	1844098	pórfido con sulfuros diseminados	-	<0.005	<0.2
JCEII-27	770381	1844172	dique félsico	-	<0.005	<0.2
JCEII-28	770414	1844178	dique félsico	-	<0.005	<0.2
JCEII-29	770490	1844158	veta	-	<0.005	<0.2
JCEII-30	770617	1844127	veta	-	<0.005	<0.2

Tabla 2 Contenido de oro y plata en las estructuras principales del área Jarillas-Las Casas (Castro Mora *et al.*, 2011).

Contenidos de Au en el área Las Jarillas

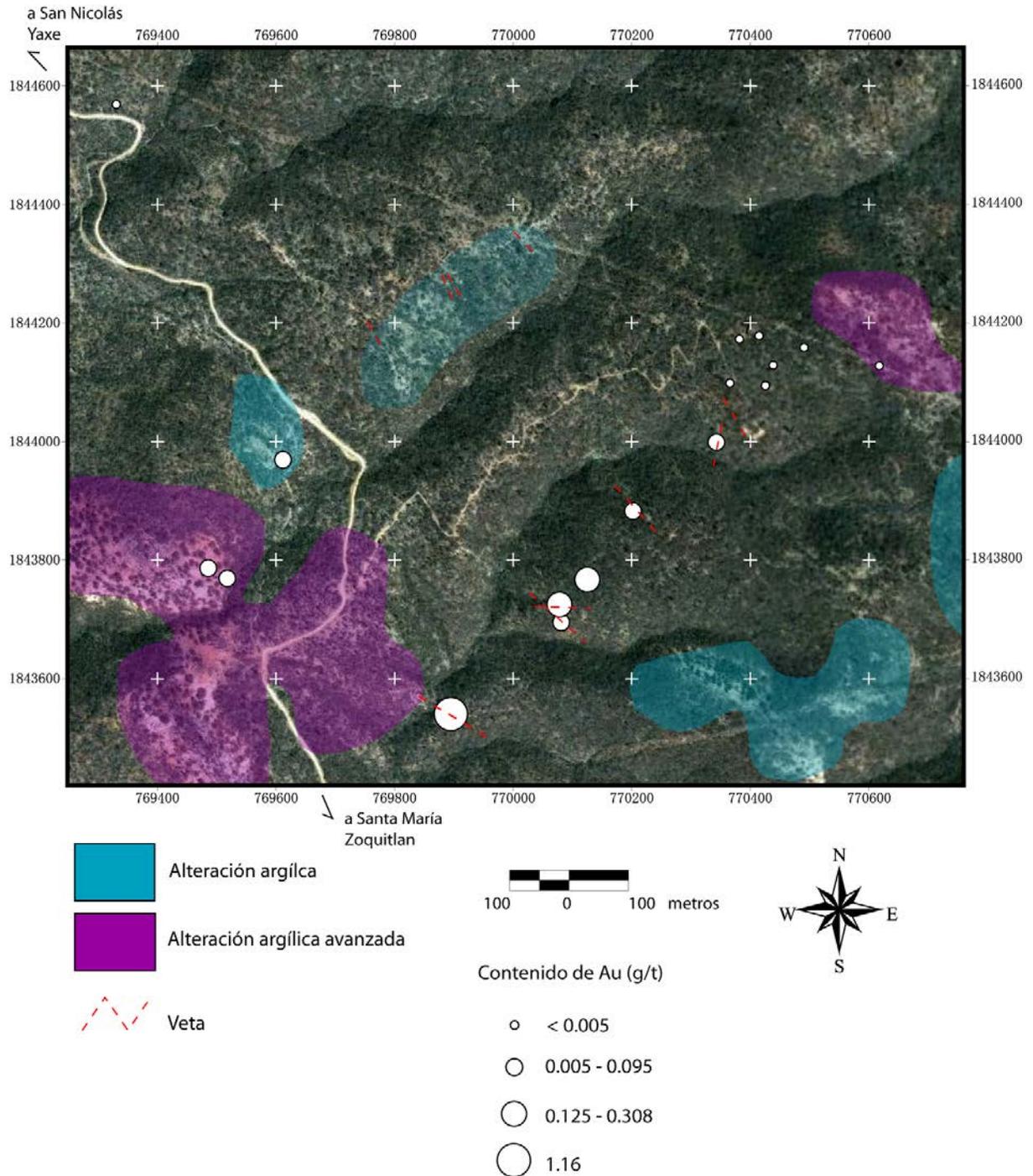


Figura 19 Contenidos de Au en la zona Jarillas, sobre una imagen google earth 2010.

Contenidos de Au en el área Las Casas

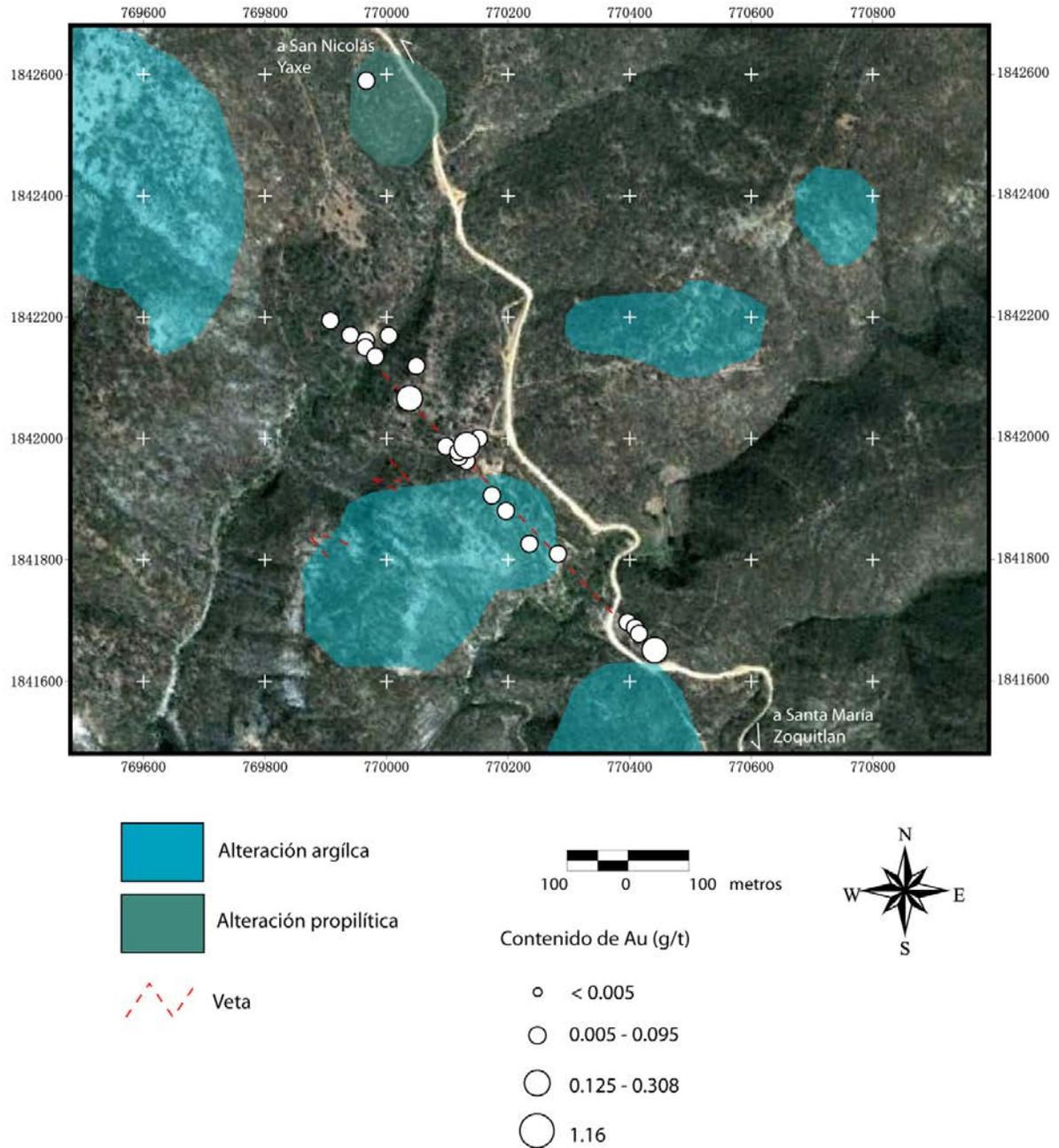


Figura 20 Contenidos de Au en la zona Las Casas, sobre una imagen google earth 2010.

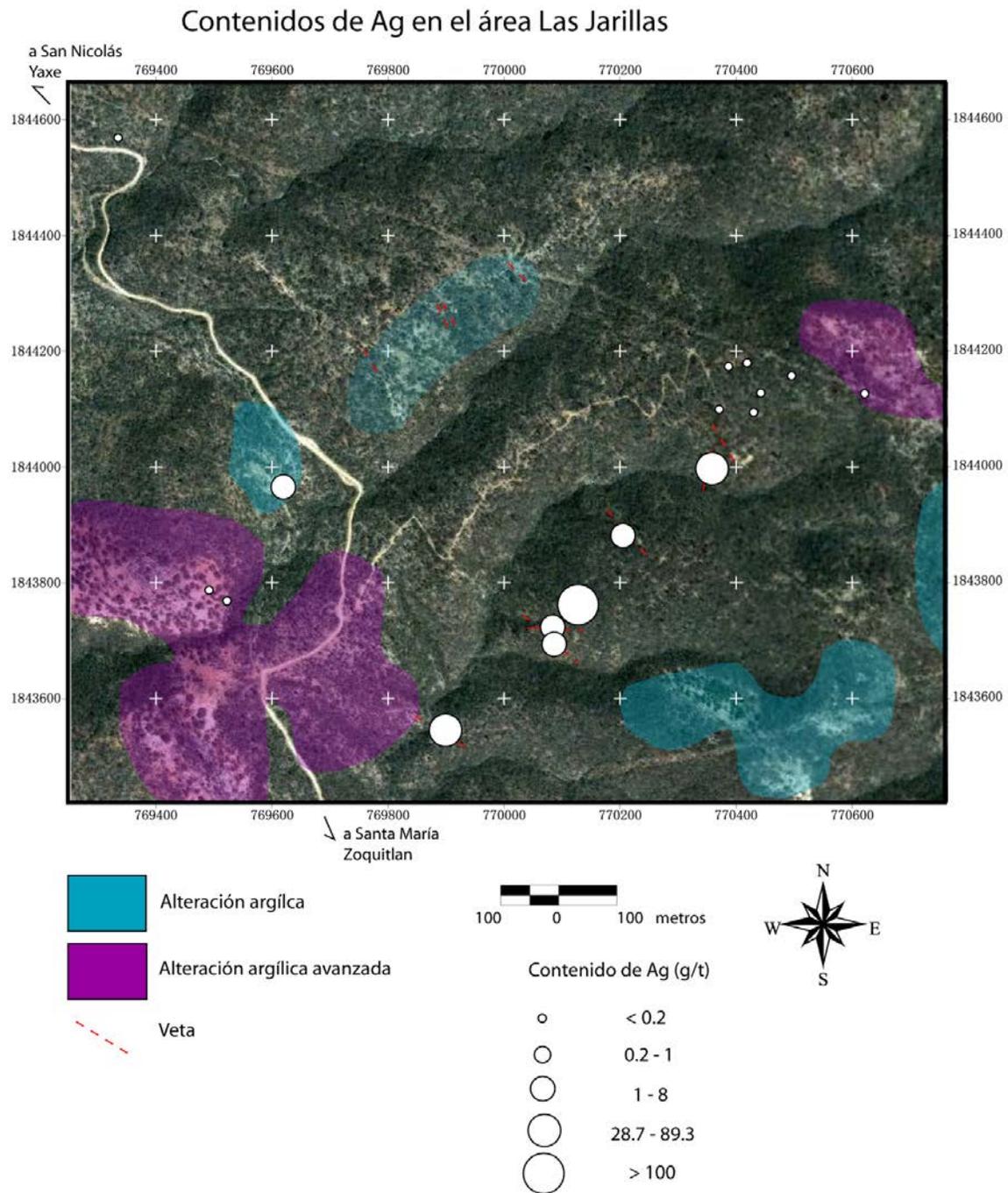


Figura 21 Contenido de Ag en el área Jarillas, sobre una imagen google earth 2010.

Contenidos de Ag en el área Las Casas

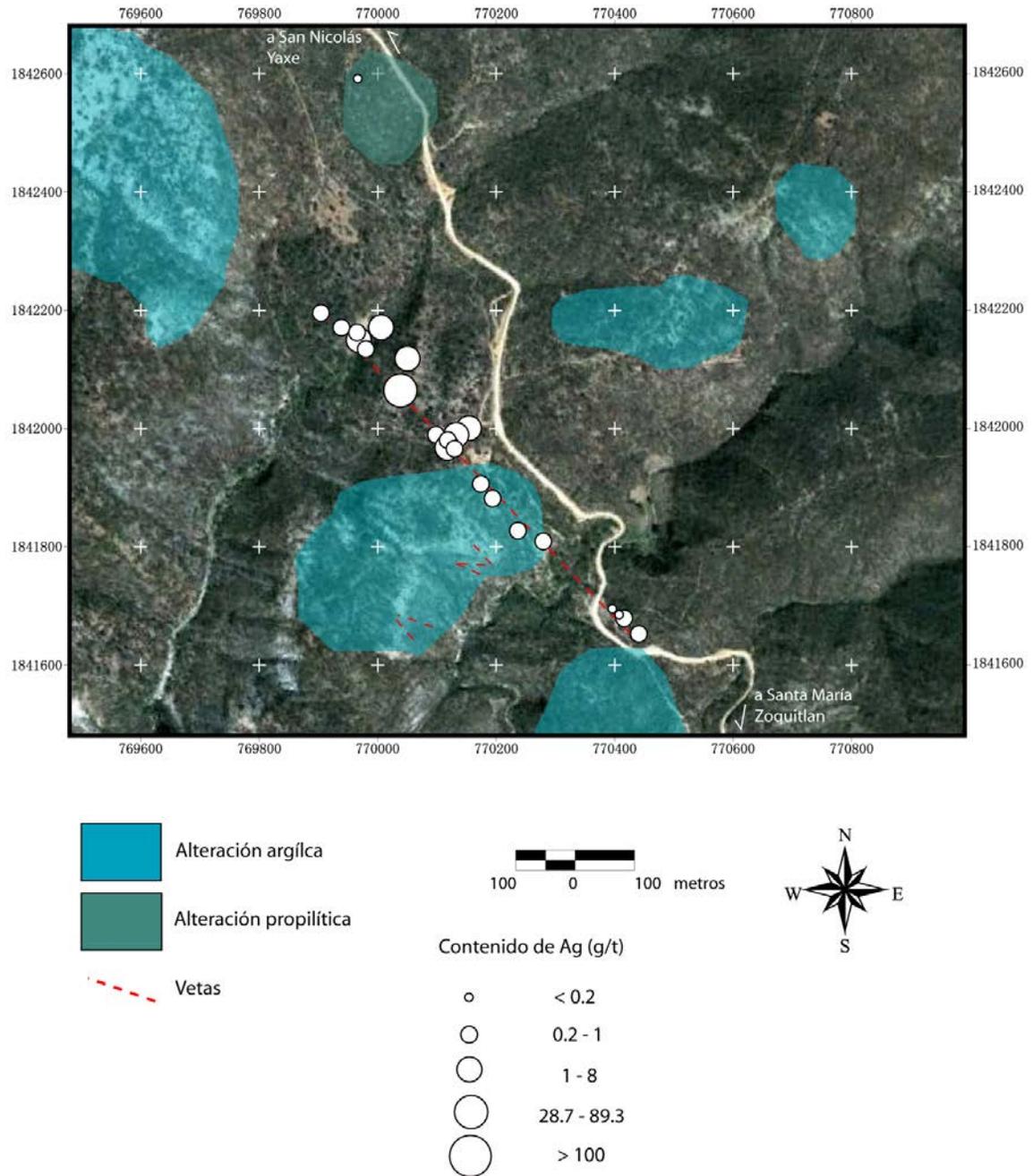


Figura 22 Contenidos de Ag en la zona Las Casas, sobre una imagen google earth 2010.

9. DISCUSIÓN

Las condiciones de formación para los depósitos epitermales implican una temperatura entre 150°C y 400°C, con profundidades de hasta 2km (Sillitoe, 1988). Por otra parte se consideran dos ambientes en los cuales se desarrollan este tipo de yacimientos alta sulfuración y baja sulfuración (Hedenquist, 1987).

Los fluidos de los sistemas de baja sulfuración, son pobres en azufre y reducidos, con un pH cercano al neutral y además presentan una menor contribución magmática (Sillitoe, 1993).

El área de estudio se encuentra en la parte más somera de un sistema hidrotermal de baja temperatura y baja sulfuración, relacionado a un ambiente volcánico y subvolcánico.

La zona Jarillas-Las Casas podría estar controlada estructuralmente por el sistema fracturas que alojan las vetas de Taviche. Dicha zona forma la parte de un gran sistema mineralizado en el Distrito Minero de Taviche.

Con base en las condiciones del mercado actual de los metales preciosos y a los resultados obtenidos en los análisis de valores de oro y plata de las vetas, la zona de estudio puede constituir un yacimiento mineral.

Debido al modelo de yacimiento, las concentraciones interesantes de metales preciosos no deberían estar muy alejadas de la superficie considerando una tasa de erosión constante. Es posible esperar un aumento en el contenido metálico a partir de los cien metros de profundidad, ya que se ha observado que, en la mayoría de los sistemas hidrotermales de baja temperatura los valores económicos de Au y Ag ocurren entre los 150 – 250m de profundidad, aproximadamente (Buchanan, 1981).

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en la mineralogía de alteraciones y características texturales observadas en las estructuras de la zona de estudio, se pudo definir un ambiente hidrotermal de baja temperatura. Dichos depósitos se encuentran a poca profundidad con respecto a la superficie terrestre y es la parte somera de sistemas hidrotermales naturales (Lindgren, 1922).

Las características texturales observadas de las estructuras mineralizadas y los estudios de minerales de alteración señalan que se trata de un depósito epitermal de baja sulfuración.

Con el objeto de localizar más vetas, que pudieran ser paralelas a los sistemas expuestos, se hicieron tres secciones perpendiculares al rumbo de las estructuras principales; de esta manera se lograron reconocer varios cuerpos que fueron muestreados y en los cuales se encontraron valores importantes de oro y plata.

Con base en la información obtenida, es posible proponer un programa de exploración con un presupuesto del orden de 565,000 U. S. dólares el cual cubriría análisis geoquímico multielemental, barrenación con diamante; y exploración geofísica (tabla).

Para estimar los contenidos metálicos en las vetas a mayor profundidad se requiere de barrenación a diamante, por lo que se propone un programa de exploración compuesto por una campaña de barrenación con diámetro en NQ, que cubriría 5000m de perforación. Además, se debería complementar de un muestreo multielemental, sobre un 20% de los núcleos recuperados de la barrenación.

barreno	inclinación	profundidad (m)
a₁	72°	500
a₂	85°	300
a₃	88°	200
a₄	88°	350
b₁	76°	250
b₂	86°	250
b₃	76°	250
b₄	69°	250
b₅	84°	400
b₆	81°	450
b₇	77°	400
c₁	84°	250
c₂	87°	300
c₃	80°	300
c₄	86°	200
c₅	82°	350
		5000
		total

Tabla 3 Sumatoria de profundidades de los barrenos propuestos en el programa de exploración recomendado.

Como se observa en el programa de exploración, se proponen una serie de planillas de barrenación con el rumbo e inclinación adecuada para cortar las vetas en el ángulo adecuado y así reconocer a profundidad las vetas.

La campaña de barrenación puede ser sustentada con un programa de exploración geofísica para reconocer la continuidad de las vetas. Se propone una campaña de exploración geofísica (polarización inducida), con un tendido de 3000m lineales a cada 1000m a lo ancho de la zona para un total de 12km de tendido, como se explica en el programa de exploración propuesto (mapas y secciones anexas).

Estudio Geológico-Minero del Área Jarillas-Las Casas, municipio de San Nicolás Yaxe,
estado de Oaxaca

Concepto	Precio unitario	Cantidad solicitada	Costo total
Barrenación NQ	100 dll	5000m	500000 dll
Geoquímica multielemental	35 dll	1000 muestras	35000 dll
Polarización inducida	2500 dll	12000m	30 000 dll
		gran total	565000 dll

Tabla 4 Presupuesto estimado para una campaña de exploración en el área Jarillas-Las Casas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alaniz-Álvarez, S. A., 1996, Edad, cinemática e implicaciones tectónicas de los eventos de deformación de la Zona de Cizalla de Oaxaca, México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Ciencias y Humanidades, Tesis de Doctorado, 70 pp.
- Buchanan, L. J., 1981, Precious metal deposits associated with volcanic environments in the Southwest. Arizona Geological Society Digest, v14, pp 237-262.
- Cabrera-Ramirez, J. C., 2004, Los Minerales estratégicos de Oaxaca en el Contexto del Mercado Mundial: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía, Tesis de Licenciatura, 213 pp.
- Campa, M.F., Coney P. J., 1983, Tectonostratigraphic terranes and mineral resources distribution in Mexico. Canadian Journal of Earth Sciences, v20, pp 1040-1051.
- Carrillo M., Martínez E., 1983, Evidencias de facies continentales en la Formación Matzitzi, Estado de Puebla: Revista del Instituto de Geología, v. 5, pp. 117-118.
- Centeno-García, E., 1988, Evolución estructural de la falla Oaxaca durante el Cenozoico: México D. F. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis de Maestría, 156 pp.
- Centeno-García, E., Keppie, D. J., 1999, Latest Paleozoic-Early Mesozoic structures in the central Oaxaca Terrane of southern Mexico: Deformation near a triple junction. Tectonophysics, no 301, pp. 231-242.
- Castro-Mora, J., Castillo-Nieto, F., Rodríguez-Luna, E., 1996, Monografía Geológico-Minera del estado de Oaxaca, 1ª ed. Consejo de Recursos Minerales, 298 pp.

- Castro-Mora, J.; Luncenford, R., 2010, Report of the Preliminary Field Examinations of the Ejutla II Claim, San Nicolás Yaxe, Oaxaca. Newstrikecapital, Inc., 15p (inedito).
- Clark, K.F., and Fitch, D.C., 2009. Evolución de depositos metalicos en tiempo y espacio en Mexico. In: Clark, K.F., Salas-Pizá, G., and Cubillas-Estrada, R. (eds.), Geología Económica de México, II Edición. Servicio Geológico Mexicano, 953 pp.
- Dong, G., Morrison, G. y Jaireth, S., 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland – Clasiffication, origin and implications. *Economic Geology*, 90: 1841-1856.
- Elias-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., Sánchez-Zavala, J.L., Macías-Romo, C., Ortega-Rivera, A., Iriondo, A., 2005, La falla de Caltepec: raíces expuestas de una frontera tectónica de larga vida entre los terrenos continentales del sur de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario, vol. 57, pp. 83-109.
- García-Díaz, J. L., Torreblanca-Castro, T., Campa-Uranga, M. F., Onofre-Espinosa, L., Zarate-López, J., Arceo y Cabrilla, F. A., 1997, Carta Geológica-Minera Santa María Zoquitlan E14-D68 Oaxaca, Servicio Geológico Mexicano, Escala 1:50 000, 1 Hoja.
- Hedenquist, J. W., 1987, Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Basin, en *Transactions 4th Circum Pacific Energy and Mineral Resources Conference*, Singapore, pp. 1-26.
- Hedenquist, J. W., 2000, Exploration for epitermal gold deposits: *SEG Reviews*, vol. 13, pp. 245-277.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2008, II
Censo de Población y Vivienda 2005, Perfil Sociodemográfico de
Oaxaca, 130 pp.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2004-
2009, Cartas de uso de suelo y vegetación

Keppie, J. D., Dostal, J., Cameron, K.L., Solari, L.A., Ortega-Gutiérrez, F.,
Lopez, R., 2003, Geochronology and geochemistry of Grenvillian
igneous suites in the northern Oaxacan Complex, southern Mexico.
Tectonic implication: *Precambrian Research*, 120, pp. 365–389.

Lindgren, W., 1922 A suggestion for the terminology of certain mineral
deposits: *Economic Geology*, 17, pp 207-294.

López-Ticha D., 1985, Revisión de la estratigrafía y el potencial petrolero
de la cuenca de Tlaxiaco: *Boletín de la Asociación Mexicana de
Geólogos Petroleros*, v. 37, pp. 49-92.

Martínez-Amador, H., Zárate-Barradas, R., Loaeza-García, J. P., Saenz-
Pita, R., Cardozo-Vázquez, E. A., 2001, Carta Geológico-Minera
Orizaba, E 14-6: México, Consejo de Recursos Minerales, Escala 1:250
000, 1 Hoja.

Muñoz J., 1986, La minería en Mexico. Bosquejo Histórico: Universidad
Nacional Autónoma de México, Universidad Complutense de Madrid,
Quinto Centenario vol. 11, pp. 145-156.

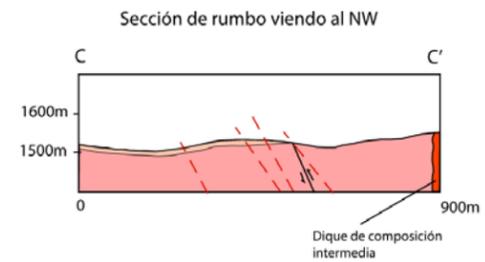
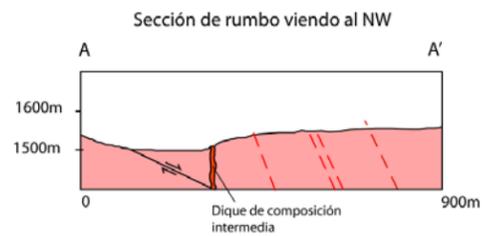
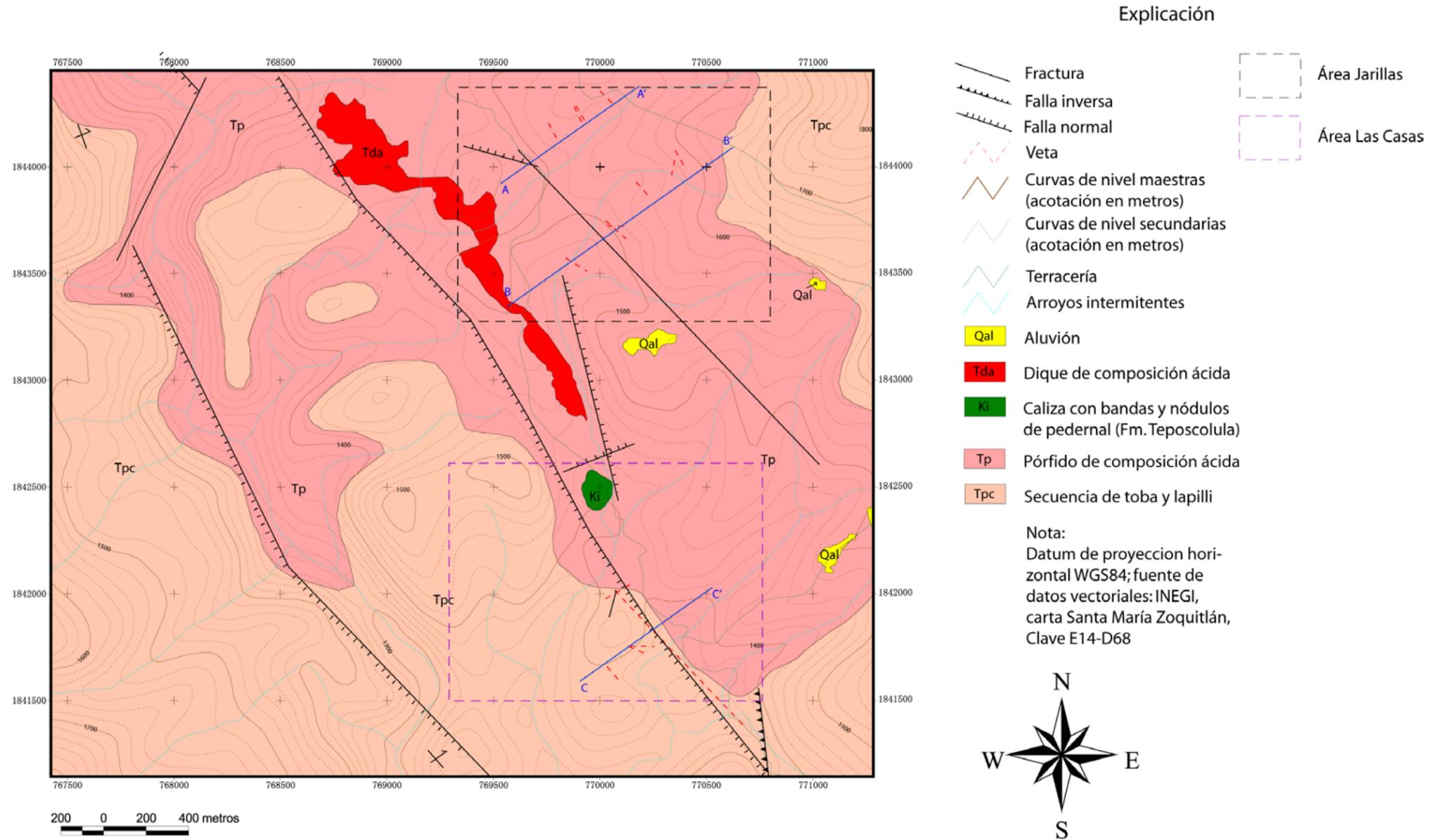
Navarro-Santillan, D., Sour-Tovar, F., Centeno-García, E., 2002, Lowe
Mississippian (Osagean) brachiopods from the Santiago Formation,
Oaxaca, México: Stratigraphic and tectonic implications. *Journal of
Southamerican Earth Sciences*, vol. 15, pp. 327-336.

- Nieto-Samaniego, A. F., Alaniz Álvarez S. A., Ortega Gutierrez F., 1995. Estructura interna de la falla de Oaxaca (México) e influencia de las anisotropías litológicas durante su actividad cenozoica. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 12, núm. 1, pp. 1-8.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Roldán Quintana, J., Sánchez-Rubio, G., De-la-Fuente, M., 1990. North American Continent-Ocean Transect Program Transect H-3 Acapulco Trench to the Gulf of Mexico across southern Mexico: Geological Society of America, Decade of North American Geology Program, 9 pp., mapa y secciones.
- Ortega-Gutiérrez, F., Sedlock, R. L., Speed, R. C., 1994, Phanerozoic tectonic evolution of Mexico. In Speed, R. C. (Ed), Phanerozoic Evolution of north American continental-ocean transitions: Boulder Colorado, Geological Society of America, DNAG Continent-Ocean Transect Volume.
- Ortega-Gutiérrez, Fernando, Mitre-Salazar, L M., Alaniz-Álvarez. Susana, Roldán-Quintana, Jaime, Aranda-Gómez, J. J., Nieto-Samaniego, Á. F., Y Morán-Zenteno, D. J., 1991, Geologic provinces of Mexico -a new proposal and bases for their definition: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; Universidad Autónoma de Hidalgo. Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra; Sociedad Mexicana de Mineralogía; y Secretaria de Educación Pública. Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica, Convención sobre la evolución geológica de México y Primer Congreso Mexicano de Mineralogía, Pachuca, Hidalgo, Memoria, pp. 143- 144.
- Raisz, E., 1962. Landforms of Mexico, 1ª ed Cambridge, Mass, Physiographic Geography Branch of the Office of Naval Research, escala 1:3 000 000.

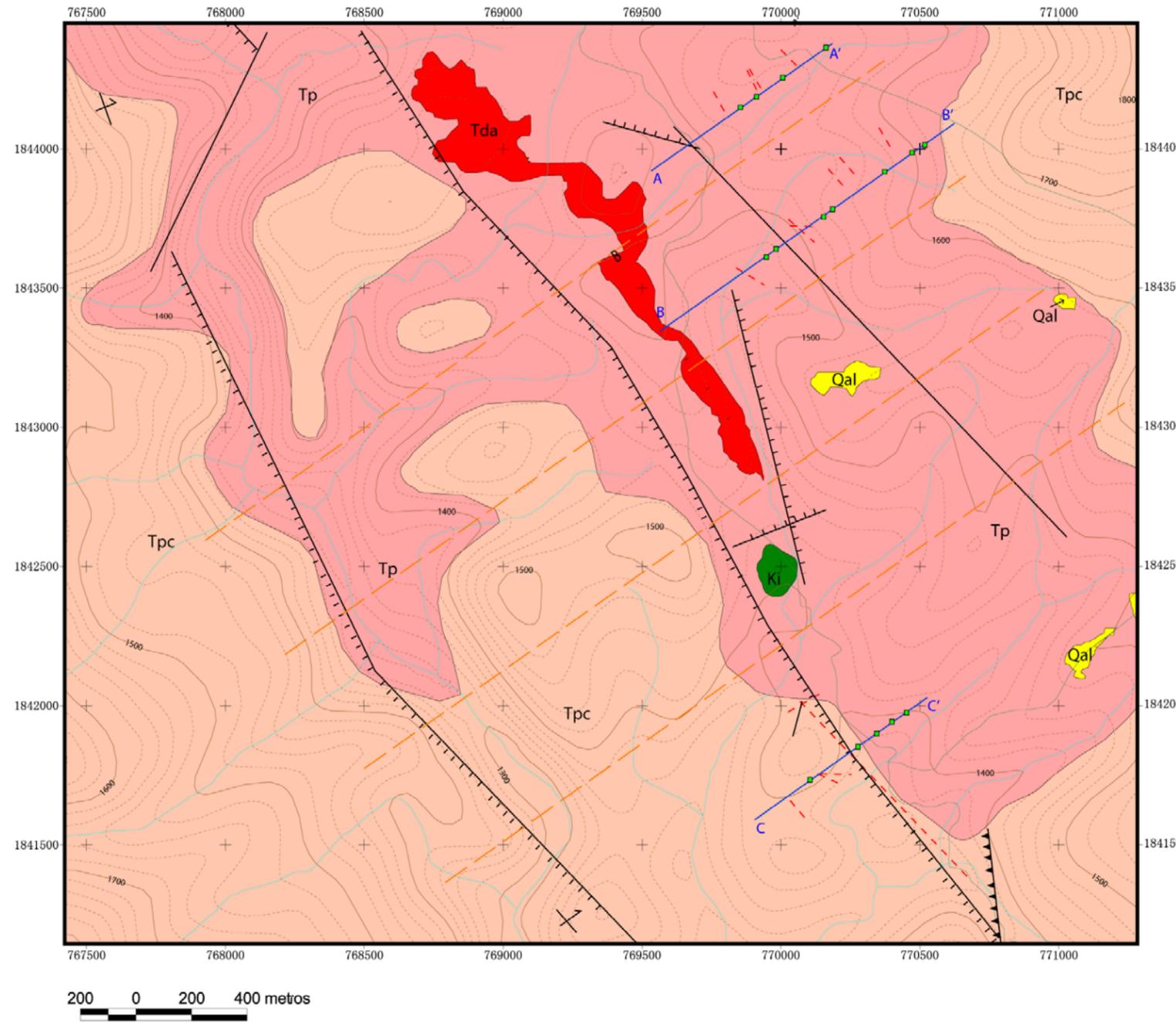
- Robinson, R., Pantoja-Alor, J., 1968, Tremadocian trilobites from Nochixtlan Region, Oaxaca, Mexico: *Journal of Paleontology*, v. 42, pp. 767-800.
- Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez, F., Speed, R. C., 1993. Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico. *Geological Society of America Special Paper*, pp. 278-153.
- Sillitoe, R. H., 1993, Epithermal models: Genetic types genetic controls and shallow features. In: Kirkman, R. V., Sinclair, W. D., Thorpe, R. I., and Duke, J.M., (eds), *Mineral Exploration Modeling*. Geological Association of Canada, Special Paper, v.40, pp.403-417.
- Sour-Tovar, F., Quiroz-Barroso, S. A., 1989, Braquiópodos Pensilvánicos (Strophomenida) de la formación Ixcaltepec, Oaxaca: *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, vol. 2, no. 1, pp. 5-17.
- Tolson, G., 2005, La falla Chacalapa en el sur de Oaxaca: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo LVII, no 1, pp. 111-122.
- White, N. C., y Hedenquist, J. W. 1990, Ambientes epitermales y estilos de mineralización: Variaciones y sus causas y sus guías para la exploración: *Journal of Geothermal Exploration*, v. 36, pp. 445-474.

ANEXOS

Mapa Geológico del Área Jarillas -Las Casas San Nicolas Yaxe, Oaxaca



Mapa Geológico del Área Jarillas -Las Casas San Nicolas Yaxe Estado de Oaxaca, Mostrando Esquema de Exploración.

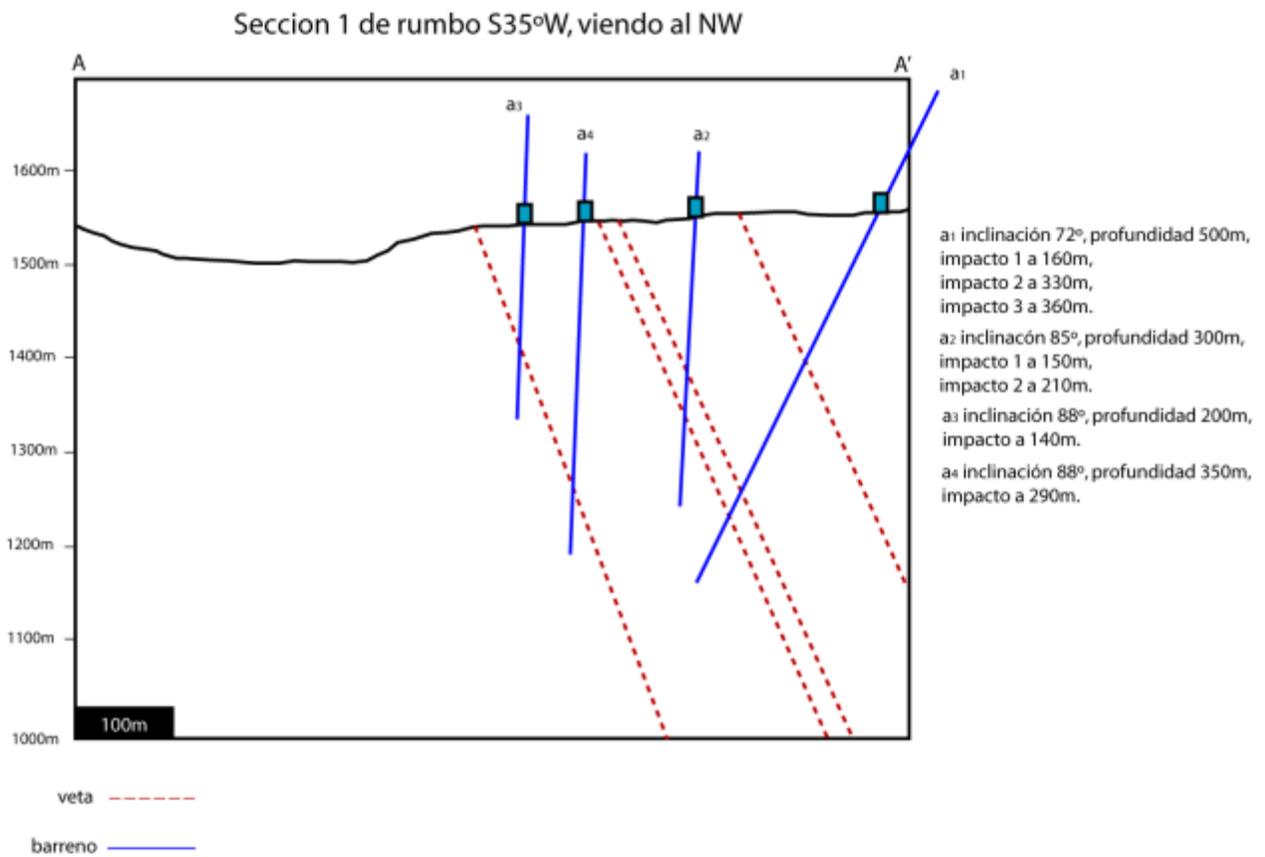


Explicación

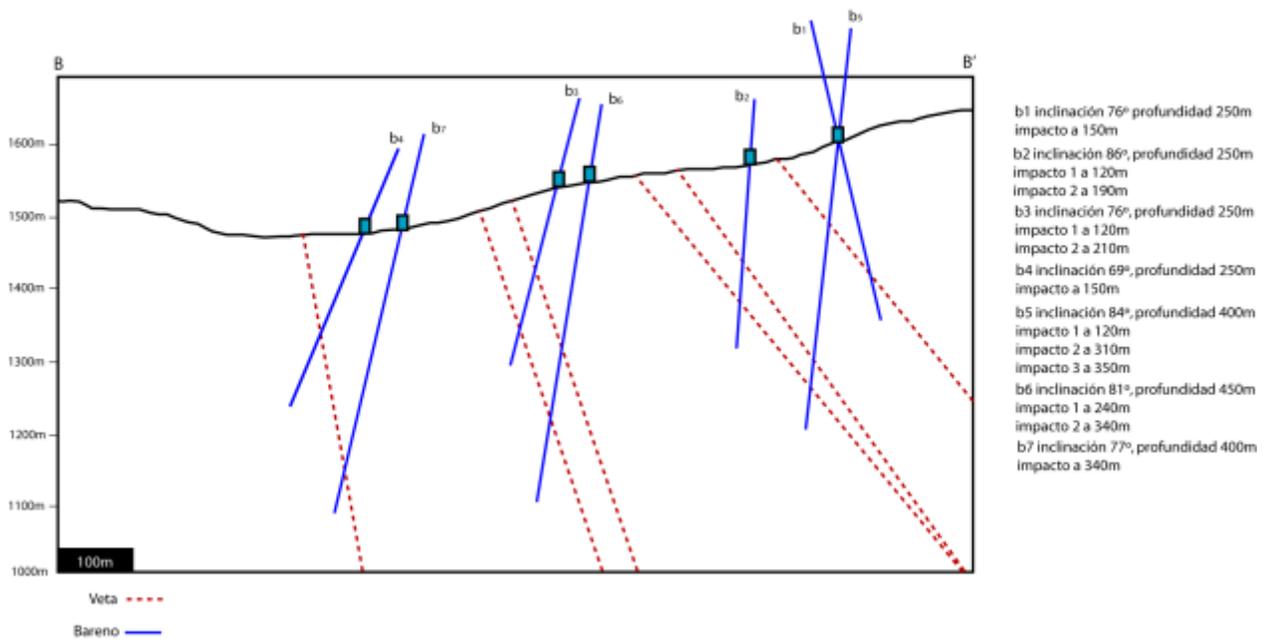
- | | | | |
|--|---|--|-------------------------|
| | Fractura | | Tendido de PI Propuesto |
| | Falla inversa | | Secciones realizadas |
| | Falla normal | | Barreno propuesto |
| | Veta | | |
| | Curvas de nivel maestras (acotación en metros) | | |
| | Curvas de nivel secundarias (acotación en metros) | | |
| | Terracería | | |
| | Arroyos intermitentes | | |
| | Aluvi3n | | |
| | Dique de composici3n 1cida | | |
| | Caliza con bandas y n3dulos de pedernal (Fm. Teposcolula) | | |
| | P3rfido de composici3n 1cida | | |
| | Secuencia de toba y lapilli | | |

Nota:
Datum de proyeccion horizontal WGS84; fuente de datos vectoriales: INEGI, carta Santa Mar1a Zoquitl1n, Clave E14-D68

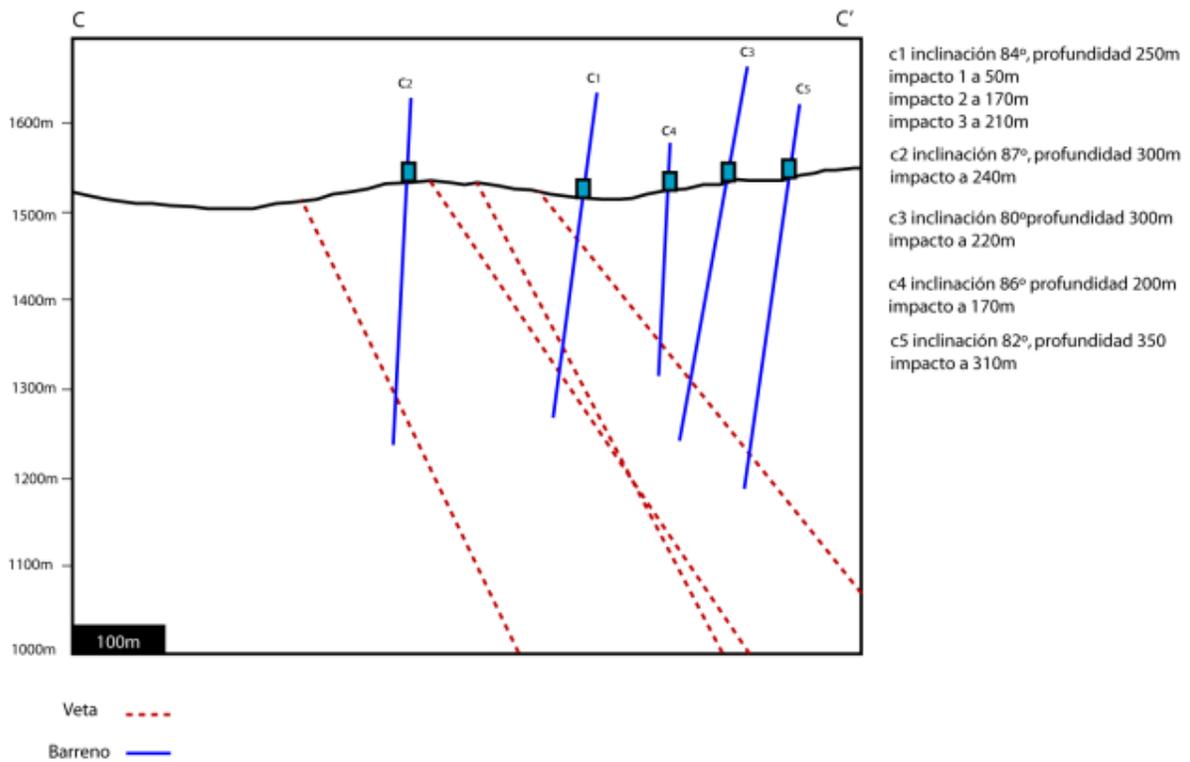




Seccion 2 de rumbo S35°W, viendo al NW



Sección 3 de rumbo S35°W, viendo al NW



7. DISTRIBUCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES

6.1 Metodología

La identificación y caracterización de asociaciones de minerales de alteración es importante para la exploración de depósitos hidrotermales. Debido a que las herramientas convencionales de mapeo no brindan mucha ayuda para la identificación de minerales de grano fino o variaciones en su composición, es necesario recurrir a otras técnicas, como la difracción de rayos X y la espectroscopía de infrarrojo cercano de reflexión “SWIR” la cual permite una rápida identificación de minerales.

Los minerales detectados con SWIR, correlacionados con otros datos de exploración, son utilizados para establecer la ubicación de las posibles perforaciones y para guiar programas de exploración.

La espectroscopía SWIR (Short Wave Infrared) detecta minerales tales como filosilicatos, arcillas, carbonatos y algunos sulfatos, además de las variaciones de composición en minerales individualmente. Asimismo es usada en varios ambientes de mineralización tales como los depósitos epitermales alta y baja sulfuración.

De esta manera es como los espectrómetros SWIR asisten en la rápida evaluación de la alteración de un depósito y consecuentemente aumentan la eficiencia en la toma de decisión durante un programa de exploración.

6.2 Mapeo de Alteraciones

La alteración en depósitos de baja sulfuración se caracteriza por la silicificación restringida a las cercanías de las estructuras, y a zonas de alteración argílica en la parte superior del depósito. Las zonas de alteración de tipo ácida ocurren debido a aguas calentadas por vapor (Buchanan, 1981).

Alteración	Baja sulfuración	Alta Sulfuración
Sílica	Vetas y Vetillas de Cuarzo, brechas y/o stockwork silicificadas, silicificación poco profunda incluyendo calcedonia y/o mantos de ópalo; sinter	Cuerpos de cuarzo residual a menudo denominado en campo “vuggy silica”; silicificación parcial a masiva; vetas de cuarzo y brechas silicificadas, silicificación somera, calcedonia y/o mantos de de opalina, sin sinter
Argílica Avanzada	Caolinita-Alunita-(Illita/esmectita-azufre nativo)±mantos de ópalo calentados por vapor, comúnmente bajo mantos de calcedonia Caolinita/halloysita-alunita-jarosita mantos o zonas de origen supergénico	Alunita-Caolinita/dickita-pirofilita-diaspora de origen hipogénico, típicamente rodeando núcleos de sílice, también raíces de sericita y pirofilita Caolinita-alunita mantos de origen supergénico o a aguas meteóricas calentadas por vapor
Argílica	Illita/esmectita aureolas a vetas±aureolas de smectita a zonas de sericita profundas	Illita e illita/esmectita halo a núcleo de argílica avanzada
Propilitica	Distribución amplia, en algunos casos de origen deutérico y de cuestionable relación genética directa al sistema mineral epitermal, formando normalmente cloritización (no epidota), excepto a niveles profundos	
Sericítica/Filitica	Roca predominantemente sericitizada, típicamente como aureola a veta de cuarzo	Bases de sericita a áreas de argílica avanzada; puede ser de transicional a argílica avanzada

Tabla 1 Alteraciones hidrotermales en depósitos epitermales de alta y baja sulfuración (Hedenquist 2000).

La variación en alteraciones a minerales arcillosos hacia afuera de la mineralización es típicamente muy difícil de definir en campo, pero podría ser detectado con el uso de espectroscopía SWIR.

Las características de estas zonas están descritas por numerosos autores, incluyendo White y Hedenquist (2000) y Sillitoe (1993). El ancho de las zonas de alteración varía de centímetros a metros. Las zonas calentadas por vapor de alteración argílica avanzada podrían también cubrir o desarrollarse lateralmente a la mineralización de baja sulfuración.

La caracterización de las diversas zonas de alteración es crítica para la exploración en este ambiente. Los mapas de alteraciones se basaron en interpretación de imágenes satelitales multiespectrales del Servicio Geológico Mexicano, observaciones macroscópicas de campo y con el apoyo de algunos estudios petrográficos, espectroscopía SWIR (figuras 11 y 12) y de difracción de rayos X (figuras 14 y 15).

La espectroscopía de reflectancia de las muestras se realizó utilizando un equipo portátil Espectrofotómetro LabSpec Pro (Analytical Spectral Devices, Inc.).

Los difractogramas se obtuvieron en un Difractómetro Shimadzu XRD-6000 equipado con filtro de Ni, tubo de cobre y monocromador. Las muestras se molturaron y homogenizaron mediante un mortero de ágata y posteriormente se analizaron en fracción no orientada utilizando un portamuestras de aluminio en el intervalo angular 2θ de 4° a 70° y velocidades de $2^\circ/\text{minuto}$.

A continuación se muestran el mapa de alteraciones, el que para fines prácticos fue dividido en dos áreas por separado (Figuras 11 y 12) y que en el mapa geológico están delimitadas por líneas discontinuas.

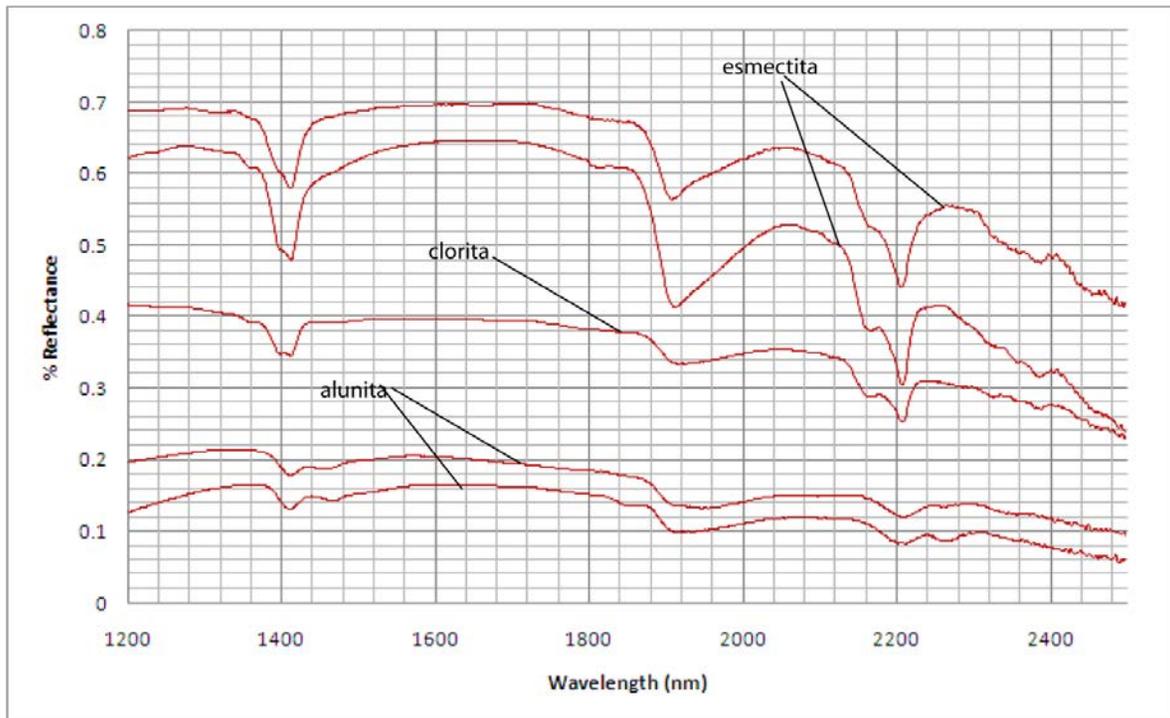


Figura 13 Espectros SWIR de alunite clorita y esmeclita.

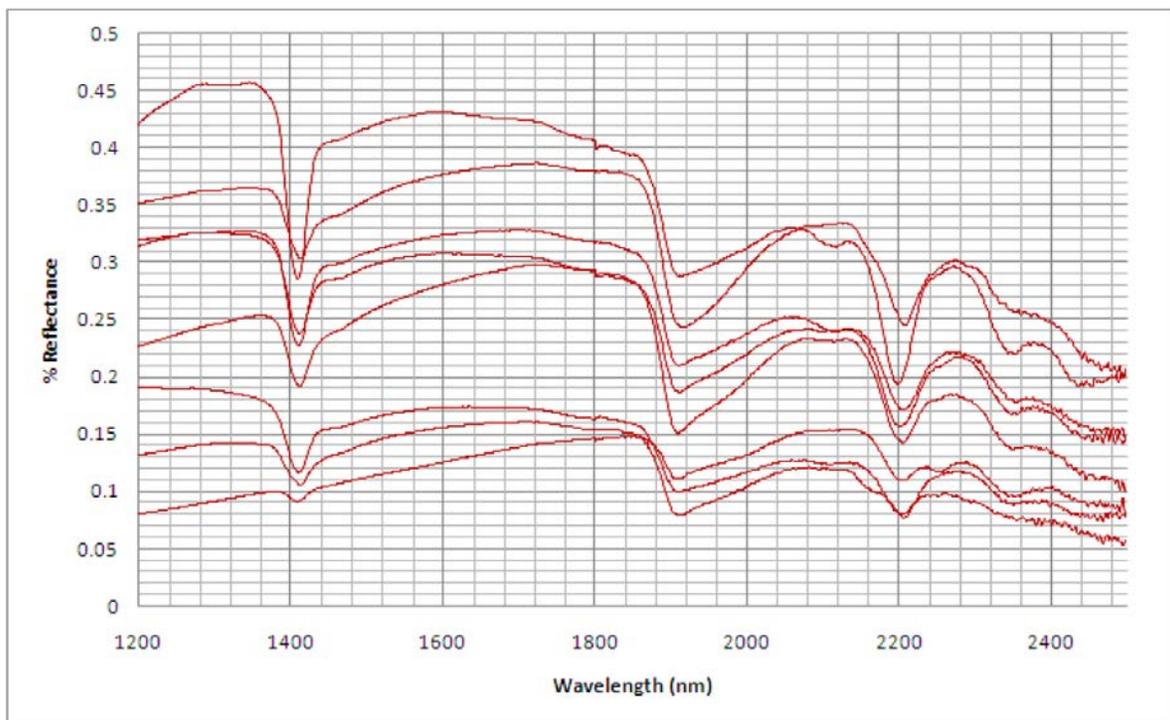


Figura 14 Espectros SWIR de illita.

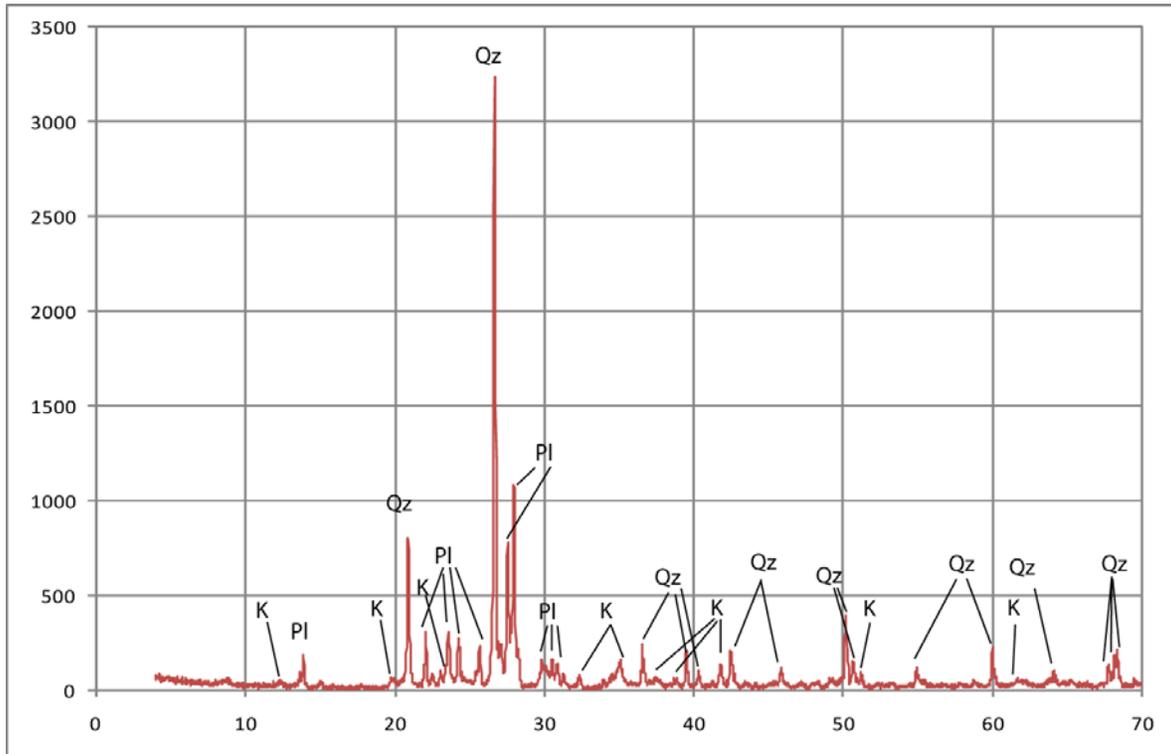


Figura 15 Difractograma que muestra caolinita (K), cuarzo (Qz) y Plagioclasa (Pl) identificados.

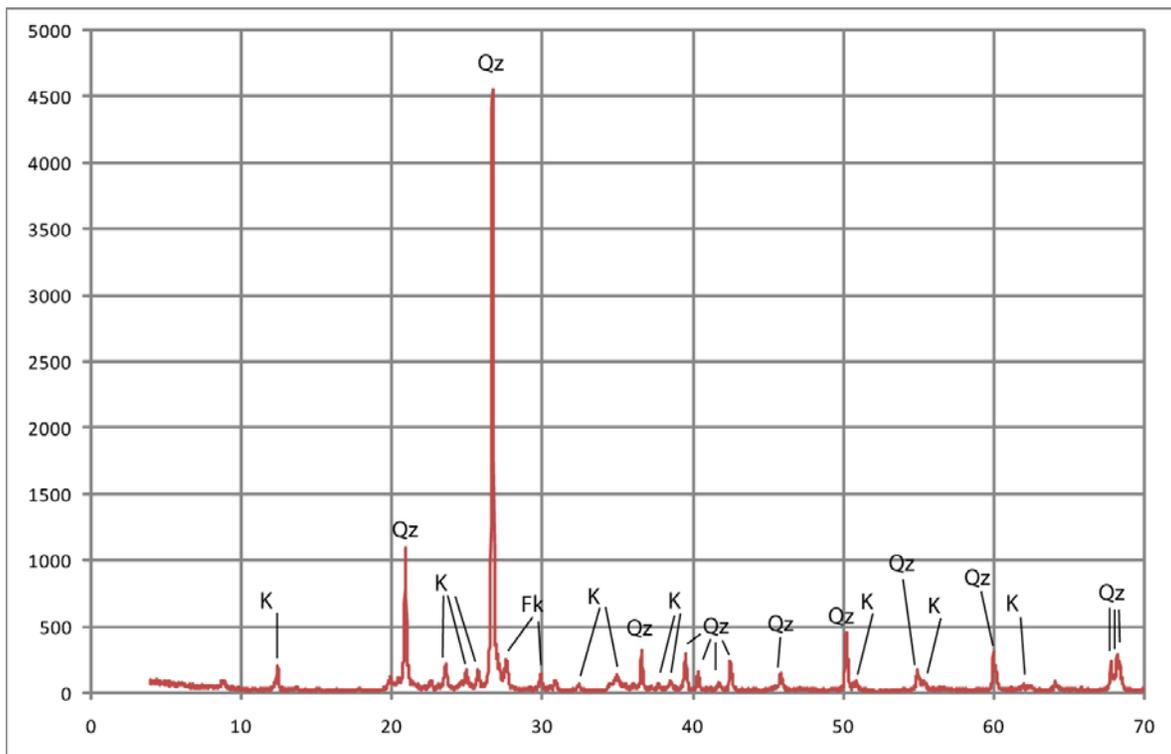


Figura 16 Difractograma que muestra caolinita (K), cuarzo (Qz), y feldespato potásico (Fk) identificados.

Mapa de Alteraciones del Área Jarillas

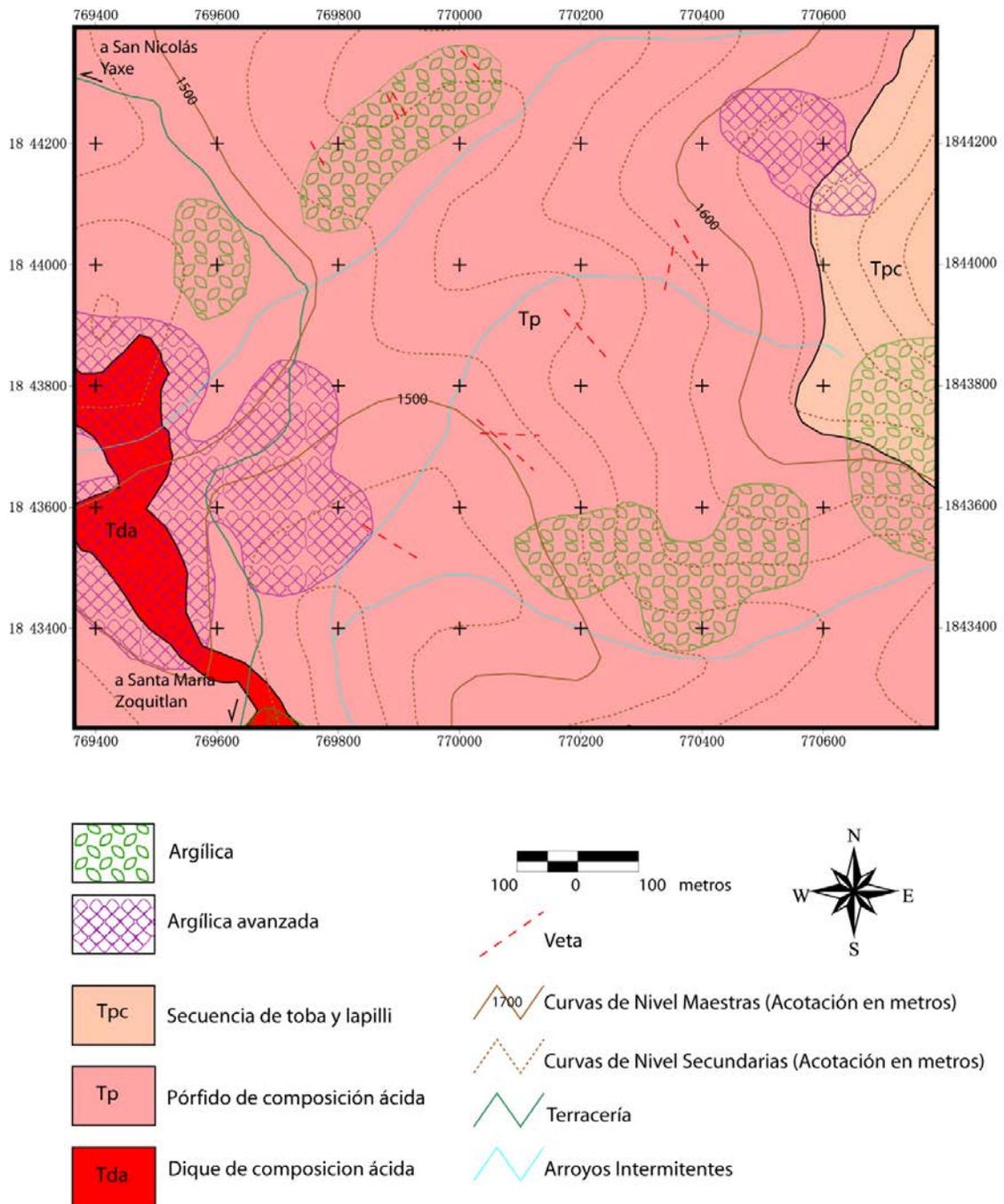


Figura 17 Mapa de alteraciones del área Jarillas

Mapa de alteraciones del Área Las Casas

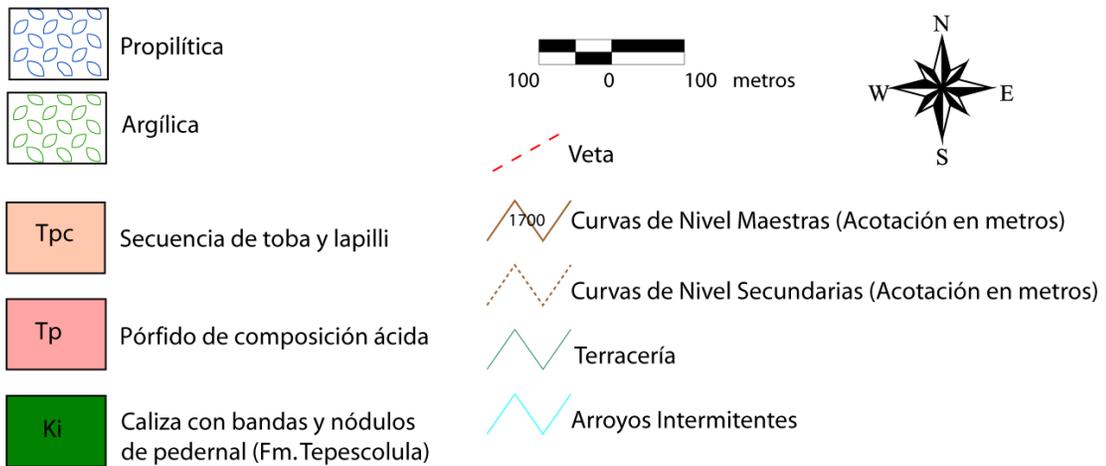
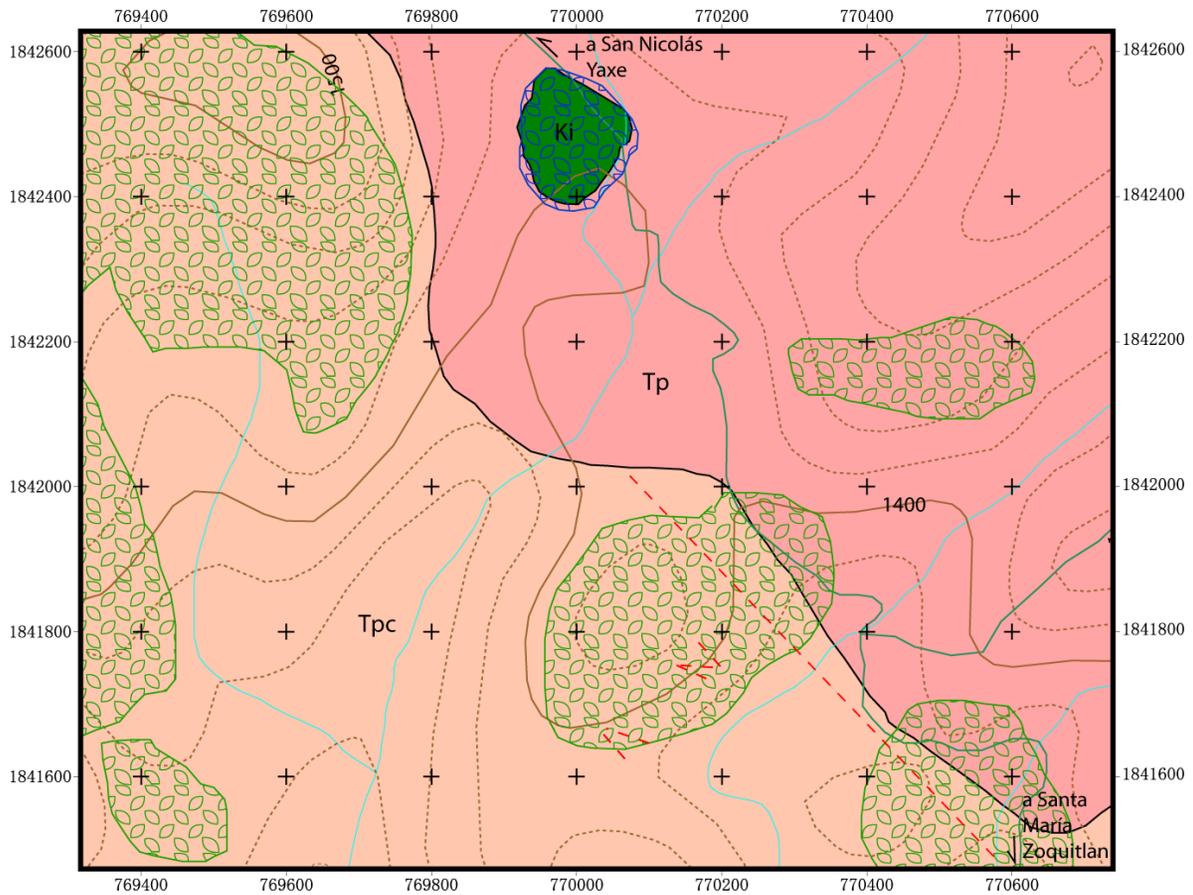


Figura 18 Mapa de alteraciones de la zona Las Casas

8. CONTENIDOS METÁLICOS DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS

El Distrito Minero de Taviche es conocido por sus numerosas estructuras mineralizadas. Dichas estructuras se manifiestan en forma de vetas, así como en relleno de fisuras, las cuales se alojan principalmente en rocas volcánicas; dichas estructuras pueden reconocerse en la zona de Jarillas-Las Casas. En dicha zona existen estructuras mineralizadas en forma de vetas alojadas en rocas volcánicas. Además existen vetas tardías de calcita

Con el objeto de encontrar valores económicamente importantes de Au y Ag, se realizó un muestreo en superficie tomando en cuenta las estructuras encontradas en cada sección.

El muestreo se realizó bajo controles y estándares de calidad basados en la norma oficial canadiense (N43-101). De manera que las prácticas y procedimientos usados en el programa de muestreo, deberían ser los adecuados según los objetivos del programa.

Con base a la norma N43-101, los programas de muestreo deberían ser llevados de una manera cuidadosa y diligente, usando prácticas de muestreo científicamente establecidas, designadas y probadas para asegurar resultados con veracidad y representatividad.

De esta manera, se colectaron muestras en superficie de cada estructura encontrada de manera perpendicular al rumbo de la veta; asimismo, fueron muestreadas las estructuras principales a lo largo de las mismas cada tres metros. Para cada muestra se tomó posición UTM mediante un GPS navegador.

Las Muestras fueron preparadas en el laboratorio localizado en Guadalajara de ALS Minerals y el análisis se hizo en Vancouver a cargo del mismo laboratorio. Los métodos de análisis fueron para Au Absorción

Estudio Geológico-Minero del Área Jarillas-Las Casas, municipio de San Nicolás Yaxe, estado de Oaxaca

Atómica (AAS). El segundo método utilizado fue espectroscopia de plasma acoplada de emisión atómica (ISP-AES) para análisis por 35 elementos incluyendo Ag. En el presente estudio solo se muestran los valores de Au y Ag mostrados en la tabla 2.

Muestra	Este (X)	Norte (Y)	Descripción	Espesor (m)	Au (g/t)	Ag (g/t)
JCEII-67	770347	1843999	No fue posible medir su disposición	-	0.005	89.3
JCEII-52	769941	1842169	falla	-	0.008	1.2
JCEII-31	769967	1842591	zona de oxidación contacto intrusivo-caliza		0.008	<0.2
JCEII-70	770079	1843694	crestón muy potente en la ladera sur	10 a 15	0.01	1.6
JCEII-57	769517	1843769	veta	5	0.01	<0.2
JCEII-32	770281	1841808	wall rock	12 muestra	0.011	0.9
JCEII-51	769905	1842196	veta	-	0.013	0.8
JCEII-23	770397	1841696	intersección de vetas	2	0.013	<0.2
JCEII-33	770129	1841964	veta	-	0.019	0.4
JCEII-58	769486	1843787	veta	-	0.023	<0.2
JCEII-39	770118	1841969	intersección de vetas	12 a 15	0.024	5.5
JCEII-22	770397	1841696	intersección de vetas	2	0.025	0.4
JCEII-37	770236	1841827	falla	-	0.026	0.2
JCEII-56	770408	1841685	estructura silicificada	-	0.026	<0.2
JCEII-38	770118	1841969	intersección de vetas	12 a 15	0.028	0.7
JCEII-49	769980	1842134	veta	-	0.033	0.9
JCEII-53	769964	1842160	veta	20	0.034	0.9
JCEII-36	770236	1841827	falla	-	0.035	0.2
JCEII-42	770098	1841988	veta	-	0.037	0.4
JCEII-43	770119	1841979	veta	8 a 10	0.039	0.6
JCEII-55	770415	1841678	veta	3	0.043	0.5
JCEII-50	769965	1842153	veta	45	0.05	1.1
JCEII-41	770049	1842118	veta	-	0.053	6.3
JCEII-45	770151	1841999	veta	8 a 10	0.056	1.3
JCEII-47	768863	1848810	veta	0.6	0.065	75.8
JCEII-68	770204	1843883	Veta alojada en pórfido sección SW35*	-	0.067	8.1
JCEII-35	770195	1841881	veta	-	0.073	0.9
JCEII-48 Y 49	770003	1842172	intersección de vetas	4 a 30	0.086	3.9
JCEII-34	770174	1841906	veta	-	0.09	0.9
JCEII-59	769611	1843969	dique félsico	-	0.095	8
JCEII-40	770038	1842067	veta	-	0.125	28.7
JCEII-46	768863	1848810	veta	0.6	0.131	>100
JCEII-54	770442	1841652	veta	3	0.16	1
JCEII-69	770078	1843723	veta con sulfuros y óxidos	0.5	0.253	1.5
JCEII-60	770115	1843745	terrero	-	0.3	>100
JCEII-44	770132	1841989	veta	8 a 10	0.308	1.4
JCEII-74	769895	1843542	veta con sulfuros diseminados	0.5	1.16	43.9
JCEII-20	770425	1844094	estructura silicificada con sulfuros diseminados	3	<0.005	<0.2
JCEII-21	770438	1844128	estructura silicificada	4 a 5	<0.005	<0.2
JCEII-24	769330	1844568	intrusión silicificada con stockwork de hematita	0.3	<0.005	<0.2
JCEII-25	769330	1844568	intrusión silicificada con stockwork de hematita	0.3	<0.005	<0.2
JCEII-26	770365	1844098	pórfido con sulfuros diseminados	-	<0.005	<0.2
JCEII-27	770381	1844172	dique félsico	-	<0.005	<0.2
JCEII-28	770414	1844178	dique félsico	-	<0.005	<0.2
JCEII-29	770490	1844158	veta	-	<0.005	<0.2
JCEII-30	770617	1844127	veta	-	<0.005	<0.2

Tabla 2 Contenido de oro y plata en las estructuras principales del área Jarillas-Las Casas (Castro Mora *et al.*, 2011).

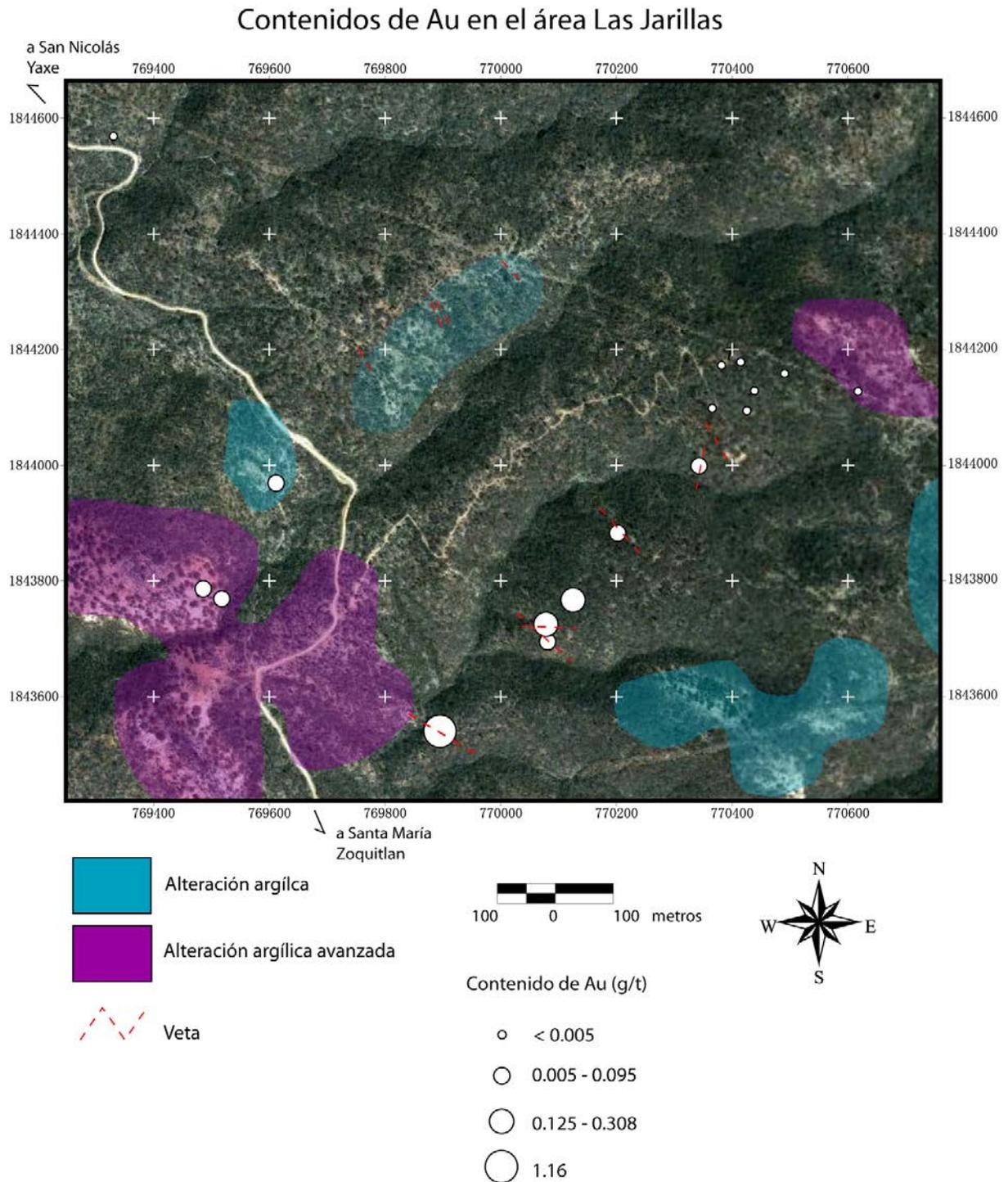


Figura 19 Contenidos de Au en la zona Jarillas, sobre una imagen google earth 2010.

Contenidos de Au en el área Las Casas

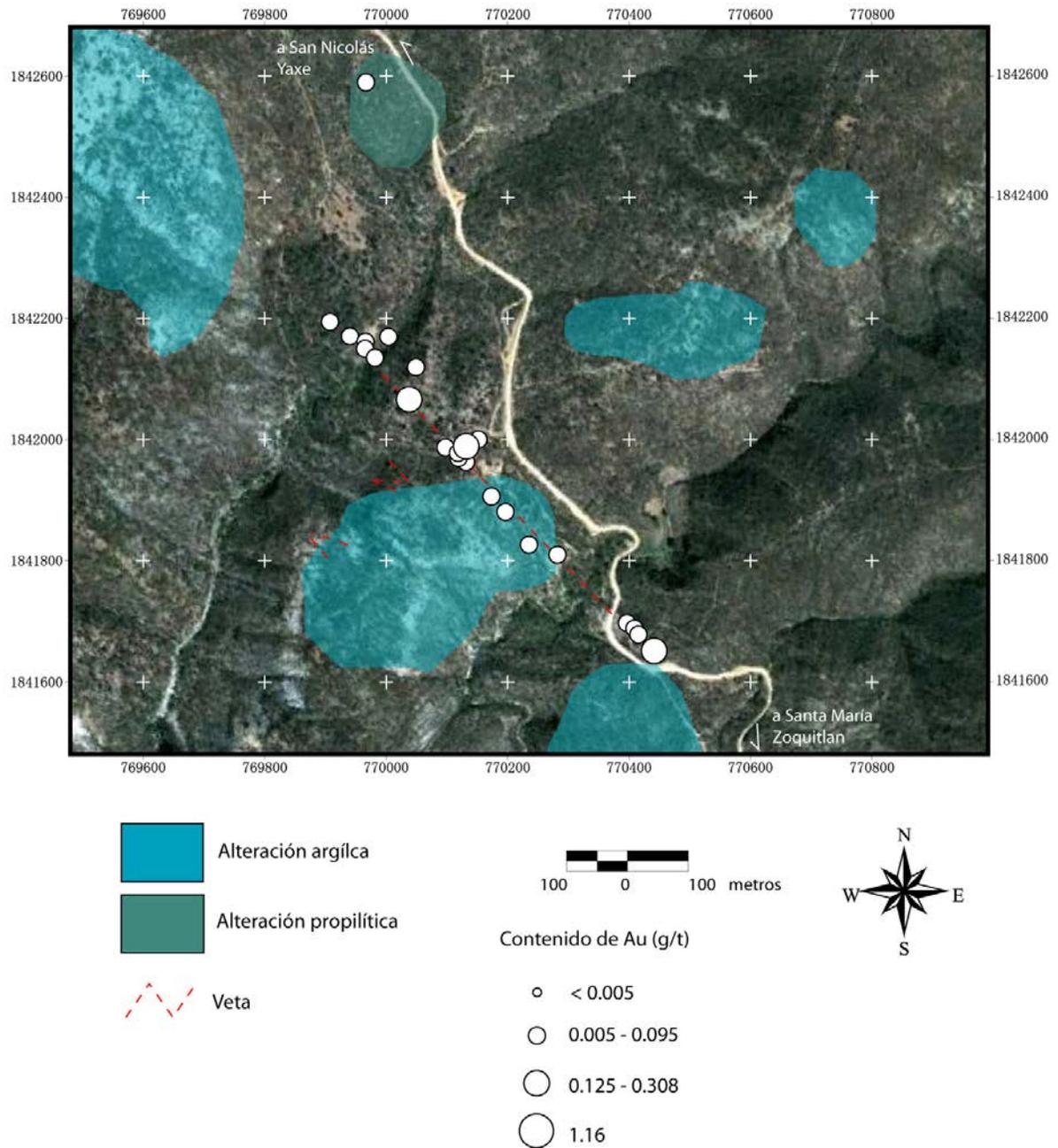


Figura 20 Contenidos de Au en la zona Las Casas, sobre una imagen google earth 2010.

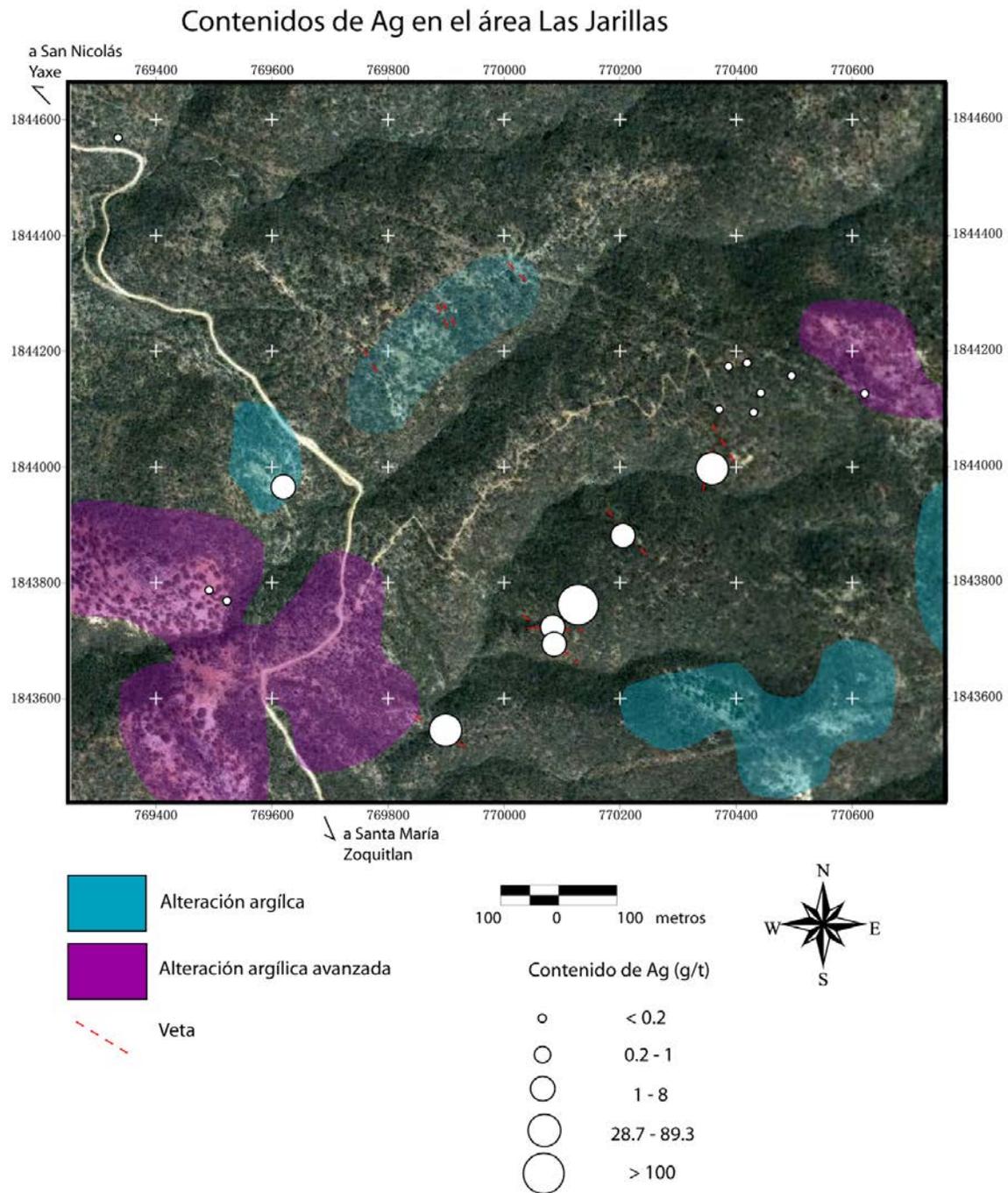


Figura 21 Contenido de Ag en el área Jarillas, sobre una imagen google earth 2010.

Contenidos de Ag en el área Las Casas

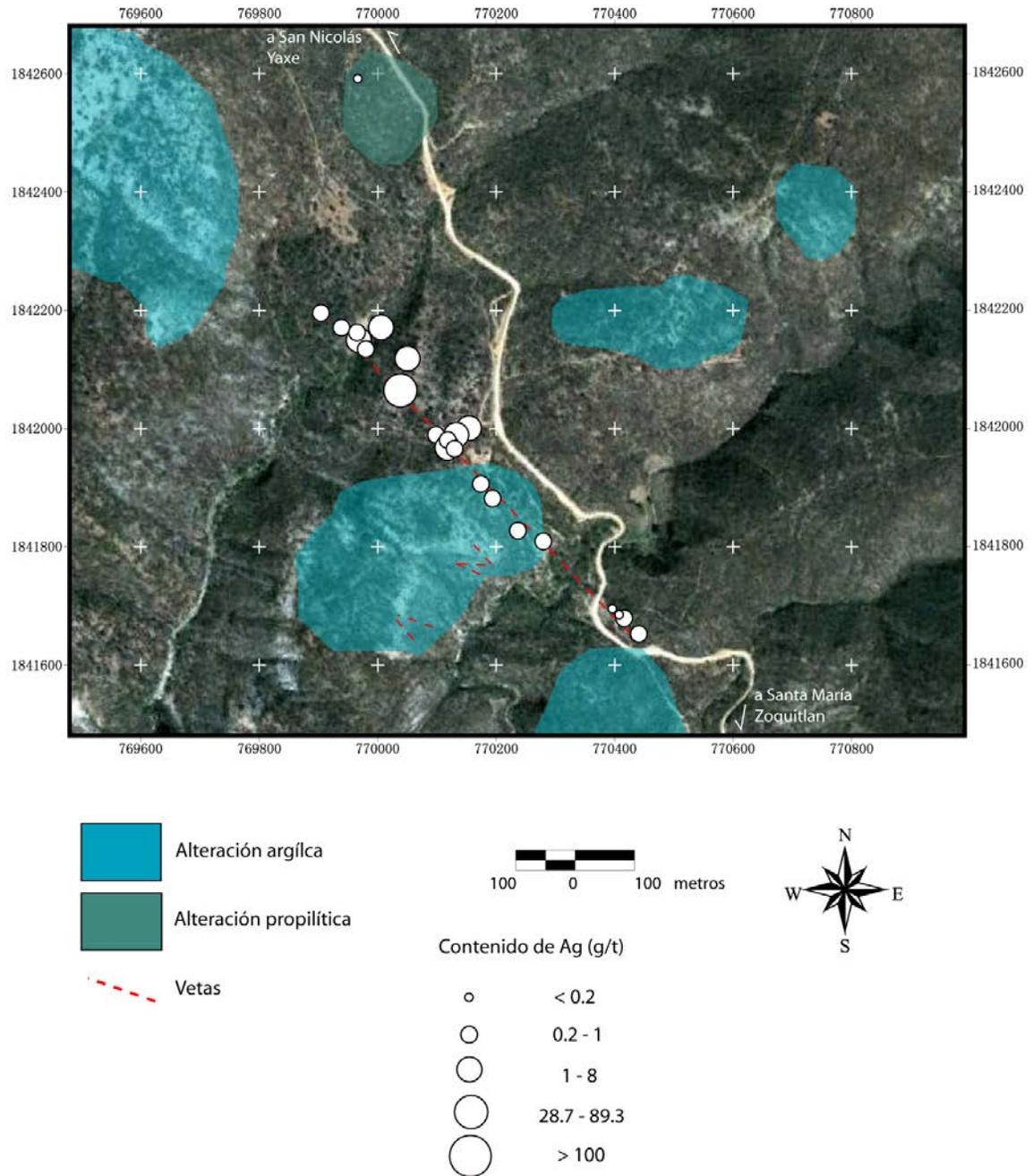


Figura 22 Contenidos de Ag en la zona Las Casas, sobre una imagen google earth 2010.

9. DISCUSIÓN

Las condiciones de formación para los depósitos epitermales implican una temperatura entre 150°C y 400°C, con profundidades de hasta 2km (Sillitoe, 1988). Por otra parte se consideran dos ambientes en los cuales se desarrollan este tipo de yacimientos alta sulfuración y baja sulfuración (Hedenquist, 1987).

Los fluidos de los sistemas de baja sulfuración, son pobres en azufre y reducidos, con un pH cercano al neutral y además presentan una menor contribución magmática (Sillitoe, 1993).

El área de estudio se encuentra en la parte más somera de un sistema hidrotermal de baja temperatura y baja sulfuración, relacionado a un ambiente volcánico y subvolcánico.

La zona Jarillas-Las Casas podría estar controlada estructuralmente por el sistema fracturas que alojan las vetas de Taviche. Dicha zona forma la parte de un gran sistema mineralizado en el Distrito Minero de Taviche.

Con base en las condiciones del mercado actual de los metales preciosos y a los resultados obtenidos en los análisis de valores de oro y plata de las vetas, la zona de estudio puede constituir un yacimiento mineral.

Debido al modelo de yacimiento, las concentraciones interesantes de metales preciosos no deberían estar muy alejadas de la superficie considerando una tasa de erosión constante. Es posible esperar un aumento en el contenido metálico a partir de los cien metros de profundidad, ya que se ha observado que, en la mayoría de los sistemas hidrotermales de baja temperatura los valores económicos de Au y Ag ocurren entre los 150 - 250m de profundidad, aproximadamente (Buchanan, 1981).

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en la mineralogía de alteraciones y características texturales observadas en las estructuras de la zona de estudio, se pudo definir un ambiente hidrotermal de baja temperatura. Dichos depósitos se encuentran a poca profundidad con respecto a la superficie terrestre y es la parte somera de sistemas hidrotermales naturales (Lindgren, 1922).

Las características texturales observadas de las estructuras mineralizadas y los estudios de minerales de alteración señalan que se trata de un depósito epitermal de baja sulfuración.

Con el objeto de localizar más vetas, que pudieran ser paralelas a los sistemas expuestos, se hicieron tres secciones perpendiculares al rumbo de las estructuras principales; de esta manera se lograron reconocer varios cuerpos que fueron muestreados y en los cuales se encontraron valores importantes de oro y plata.

Con base en la información obtenida, es posible proponer un programa de exploración con un presupuesto del orden de 565,000 U. S. dólares el cual cubriría análisis geoquímico multielemental, barrenación con diamante; y exploración geofísica (tabla).

Para estimar los contenidos metálicos en las vetas a mayor profundidad se requiere de barrenación a diamante, por lo que se propone un programa de exploración compuesto por una campaña de barrenación con diámetro en NQ, que cubriría 5000m de perforación. Además, se debería complementar de un muestreo multielemental, sobre un 20% de los núcleos recuperados de la barrenación.

barreno	inclinación	profundidad (m)
a ₁	72°	500
a ₂	85°	300
a ₃	88°	200
a ₄	88°	350
b ₁	76°	250
b ₂	86°	250
b ₃	76°	250
b ₄	69°	250
b ₅	84°	400
b ₆	81°	450
b ₇	77°	400
c ₁	84°	250
c ₂	87°	300
c ₃	80°	300
c ₄	86°	200
c ₅	82°	350
		5000
		total

Tabla 3 Sumatoria de profundidades de los barrenos propuestos en el programa de exploración recomendado.

Como se observa en el programa de exploración, se proponen una serie de planillas de barrenación con el rumbo e inclinación adecuada para cortar las vetas en el ángulo adecuado y así reconocer a profundidad las vetas.

La campaña de barrenación puede ser sustentada con un programa de exploración geofísica para reconocer la continuidad de las vetas. Se propone una campaña de exploración geofísica (polarización inducida), con un tendido de 3000m lineales a cada 1000m a lo ancho de la zona para un total de 12km de tendido, como se explica en el programa de exploración propuesto (mapas y secciones anexas).

Estudio Geológico-Minero del Área Jarillas-Las Casas, municipio de San Nicolás Yaxe,
estado de Oaxaca

Concepto	Precio unitario	Cantidad solicitada	Costo total
Barrenación NQ	100 dll	5000m	500000 dll
Geoquímica multielemental	35 dll	1000 muestras	35000 dll
Polarización inducida	2500 dll	12000m	30 000 dll
		gran total	565000 dll

Tabla 4 Presupuesto estimado para una campaña de exploración en el área Jarillas-Las Casas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alaniz-Álvarez, S. A., 1996, Edad, cinemática e implicaciones tectónicas de los eventos de deformación de la Zona de Cizalla de Oaxaca, México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Ciencias y Humanidades, Tesis de Doctorado, 70 pp.
- Buchanan, L. J., 1981, Precious metal deposits associated with volcanic environments in the Southwest. Arizona Geological Society Digest, v14, pp 237-262.
- Cabrera-Ramirez, J. C., 2004, Los Minerales estratégicos de Oaxaca en el Contexto del Mercado Mundial: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía, Tesis de Licenciatura, 213 pp.
- Campa, M.F., Coney P. J., 1983, Tectonostratigraphic terranes and mineral resources distribution in Mexico. Canadian Journal of Earth Sciences, v20, pp 1040-1051.
- Carrillo M., Martínez E., 1983, Evidencias de facies continentales en la Formación Matzitzzi, Estado de Puebla: Revista del Instituto de Geología, v. 5, pp. 117-118.
- Centeno-García, E., 1988, Evolución estructural de la falla Oaxaca durante el Cenozoico: México D. F. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis de Maestría, 156 pp.
- Centeno-García, E., Keppie, D. J., 1999, Latest Paleozoic-Early Mesozoic structures in the central Oaxaca Terrane of southern Mexico: Deformation near a triple junction. Tectonophysics, no 301, pp. 231-242.
- Castro-Mora, J., Castillo-Nieto, F., Rodríguez-Luna, E., 1996, Monografía Geológico-Minera del estado de Oaxaca, 1ª ed. Consejo de Recursos Minerales, 298 pp.

- Castro-Mora, J.; Luncenford, R., 2010, Report of the Preliminary Field Examinations of the Ejutla II Claim, San Nicolás Yaxe, Oaxaca. Newstrikecapital, Inc., 15p (inedito).
- Clark, K.F., and Fitch, D.C., 2009. Evolución de depositos metalicos en tiempo y espacio en Mexico. In: Clark, K.F., Salas-Pizá, G., and Cubillas-Estrada, R. (eds.), Geología Económica de México, II Edición. Servicio Geológico Mexicano, 953 pp.
- Dong, G., Morrison, G. y Jaireth, S., 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland – Clasiffication, origin and implications. *Economic Geology*, 90: 1841-1856.
- Elias-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., Sánchez-Zavala, J.L., Macías-Romo, C., Ortega-Rivera, A., Iriondo, A., 2005, La falla de Caltepec: raíces expuestas de una frontera tectónica de larga vida entre los terrenos continentales del sur de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario, vol. 57, pp. 83-109.
- García-Díaz, J. L., Torreblanca-Castro, T., Campa-Uranga, M. F., Onofre-Espinosa, L., Zarate-López, J., Arceo y Cabrilla, F. A., 1997, Carta Geológica-Minera Santa María Zoquitlan E14-D68 Oaxaca, Servicio Geológico Mexicano, Escala 1:50 000, 1 Hoja.
- Hedenquist, J. W., 1987, Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Basin, en *Transactions 4th Circum Pacific Energy and Mineral Resources Conference*, Singapore, pp. 1-26.
- Hedenquist, J. W., 2000, Exploration for epitermal gold deposits: *SEG Reviews*, vol. 13, pp. 245-277.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2008, II
Censo de Población y Vivienda 2005, Perfil Sociodemográfico de
Oaxaca, 130 pp.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2004-
2009, Cartas de uso de suelo y vegetación

Keppie, J. D., Dostal, J., Cameron, K.L., Solari, L.A., Ortega-Gutiérrez, F.,
Lopez, R., 2003, Geochronology and geochemistry of Grenvillian
igneous suites in the northern Oaxacan Complex, southern Mexico.
Tectonic implication: *Precambrian Research*, 120, pp. 365–389.

Lindgren, W., 1922 A suggestion for the terminology of certain mineral
deposits: *Economic Geology*, 17, pp 207-294.

López-Ticha D., 1985, Revisión de la estratigrafía y el potencial petrolero
de la cuenca de Tlaxiaco: *Boletín de la Asociación Mexicana de
Geólogos Petroleros*, v. 37, pp. 49-92.

Martínez-Amador, H., Zárate-Barradas, R., Loaeza-García, J. P., Saenz-
Pita, R., Cardozo-Vázquez, E. A., 2001, Carta Geológico-Minera
Orizaba, E 14-6: México, Consejo de Recursos Minerales, Escala 1:250
000, 1 Hoja.

Muñoz J., 1986, La minería en Mexico. Bosquejo Histórico: Universidad
Nacional Autónoma de México, Universidad Complutense de Madrid,
Quinto Centenario vol. 11, pp. 145-156.

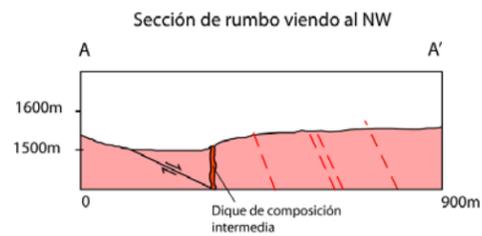
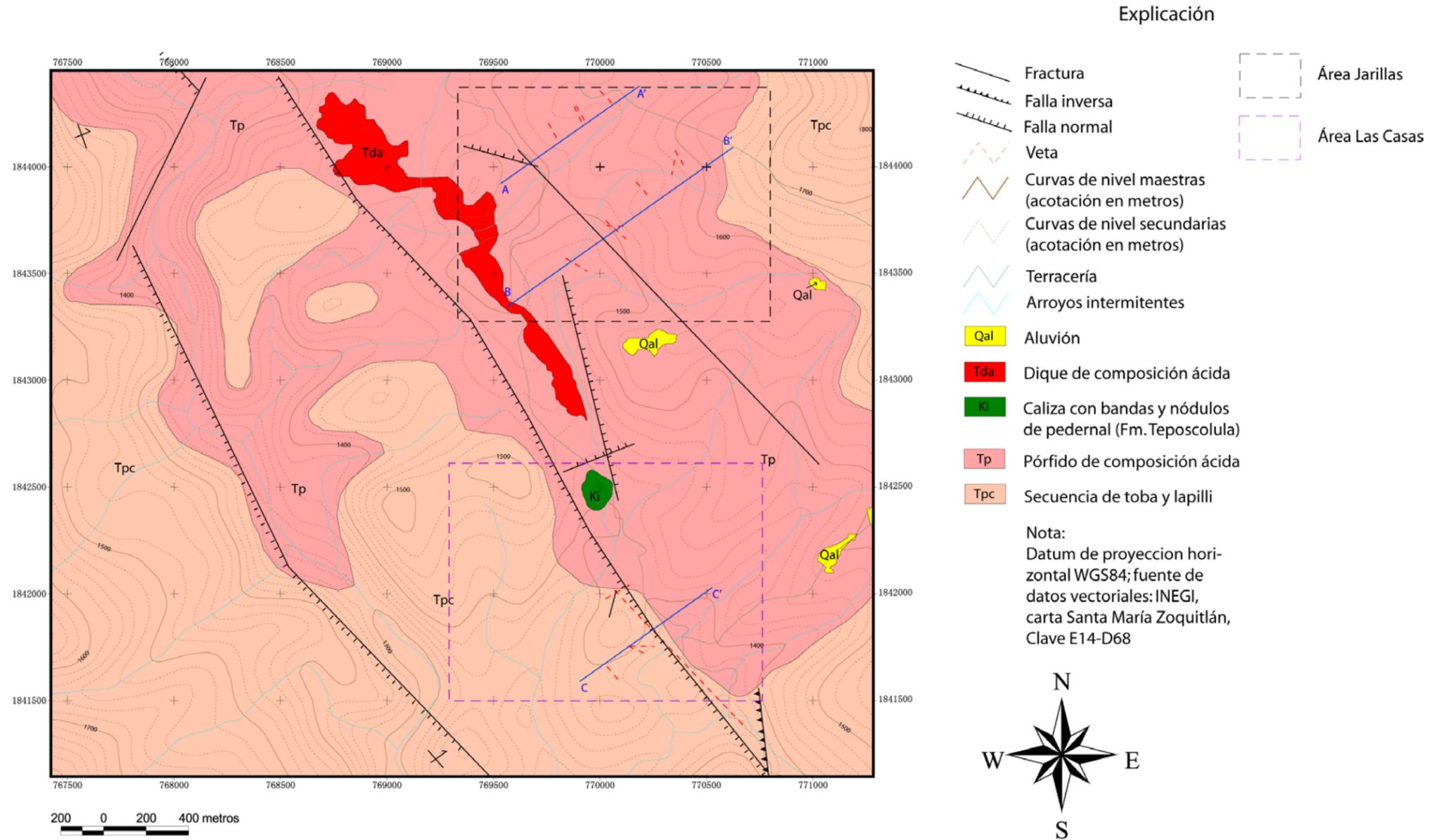
Navarro-Santillan, D., Sour-Tovar, F., Centeno-García, E., 2002, Lowe
Mississippian (Osagean) brachiopods from the Santiago Formation,
Oaxaca, México: Stratigraphic and tectonic implications. *Journal of
Southamerican Earth Sciences*, vol. 15, pp. 327-336.

- Nieto-Samaniego, A. F., Alaniz Álvarez S. A., Ortega Gutierrez F., 1995. Estructura interna de la falla de Oaxaca (México) e influencia de las anisotropías litológicas durante su actividad cenozoica. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 12, núm. 1, pp. 1-8.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Roldán Quintana, J., Sánchez-Rubio, G., De-la-Fuente, M., 1990. North American Continent-Ocean Transect Program Transect H-3 Acapulco Trench to the Gulf of Mexico across southern Mexico: Geological Society of America, Decade of North American Geology Program, 9 pp., mapa y secciones.
- Ortega-Gutiérrez, F., Sedlock, R. L., Speed, R. C., 1994, Phanerozoic tectonic evolution of Mexico. In Speed, R. C. (Ed), Phanerozoic Evolution of north American continental-ocean transitions: Boulder Colorado, Geological Society of America, DNAG Continent-Ocean Transect Volume.
- Ortega-Gutiérrez, Fernando, Mitre-Salazar, L M., Alaniz-Álvarez. Susana, Roldán-Quintana, Jaime, Aranda-Gómez, J. J., Nieto-Samaniego, Á. F., Y Morán-Zenteno, D. J., 1991, Geologic provinces of Mexico -a new proposal and bases for their definition: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; Universidad Autónoma de Hidalgo. Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra; Sociedad Mexicana de Mineralogía; y Secretaria de Educación Pública. Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica, Convención sobre la evolución geológica de México y Primer Congreso Mexicano de Mineralogía, Pachuca, Hidalgo, Memoria, pp. 143- 144.
- Raisz, E., 1962. Landforms of Mexico, 1ª ed Cambridge, Mass, Physiographic Geography Branch of the Office of Naval Research, escala 1:3 000 000.

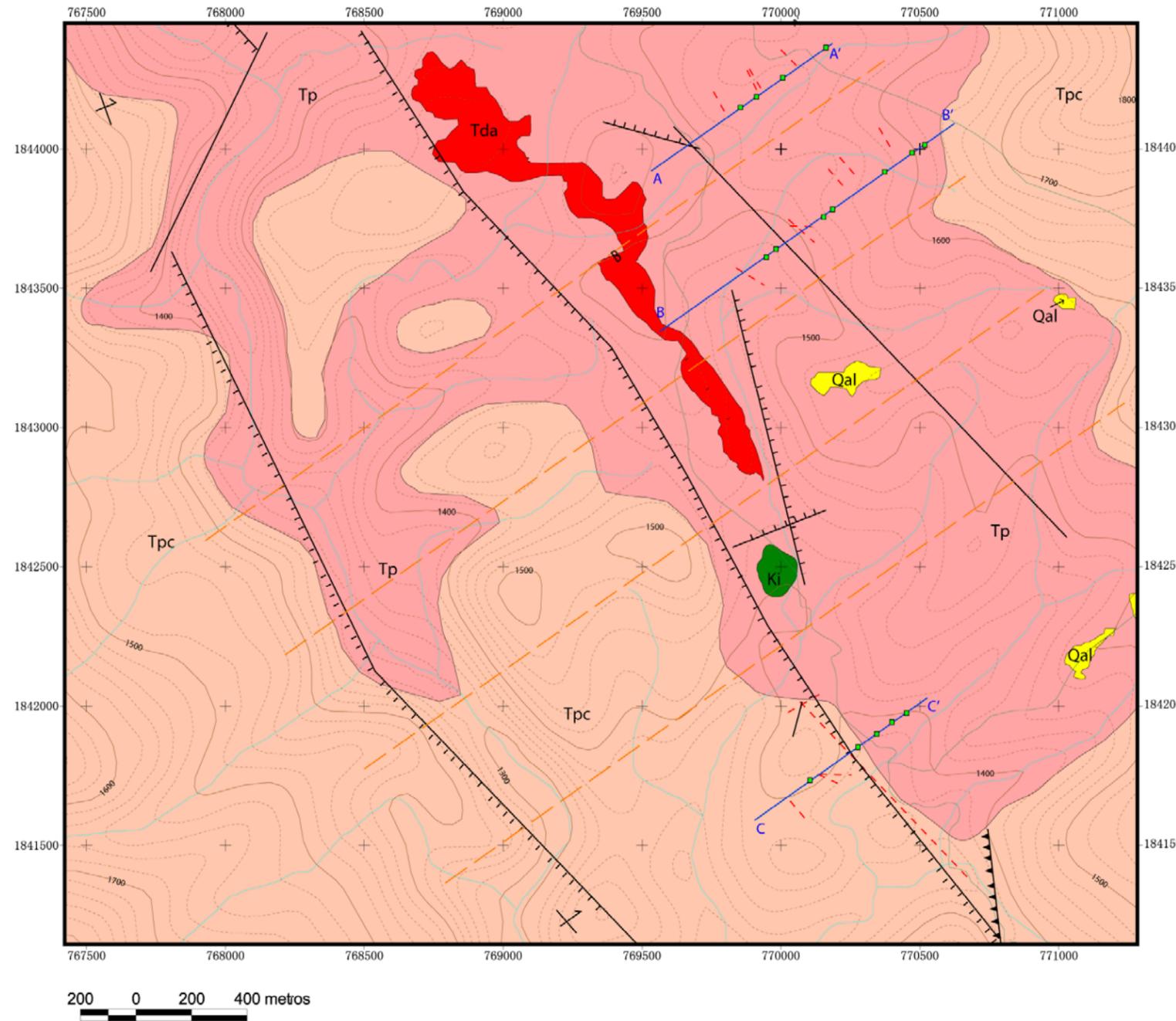
- Robinson, R., Pantoja-Alor, J., 1968, Tremadocian trilobites from Nochixtlan Region, Oaxaca, Mexico: *Journal of Paleontology*, v. 42, pp. 767-800.
- Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez, F., Speed, R. C., 1993. Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico. *Geological Society of America Special Paper*, pp. 278-153.
- Sillitoe, R. H., 1993, Epithermal models: Genetic types genetic controls and shallow features. In: Kirkman, R. V., Sinclair, W. D., Thorpe, R. I., and Duke, J.M., (eds), *Mineral Exploration Modeling*. Geological Association of Canada, Special Paper, v.40, pp.403-417.
- Sour-Tovar, F., Quiroz-Barroso, S. A., 1989, Braquiópodos Pensilvánicos (Strophomenida) de la formación Ixcaltepec, Oaxaca: *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, vol. 2, no. 1, pp. 5-17.
- Tolson, G., 2005, La falla Chacalapa en el sur de Oaxaca: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo LVII, no 1, pp. 111-122.
- White, N. C., y Hedenquist, J. W. 1990, Ambientes epitermales y estilos de mineralización: Variaciones y sus causas y sus guías para la exploración: *Journal of Geothermal Exploration*, v. 36, pp. 445-474.

ANEXOS

Mapa Geológico del Área Jarillas -Las Casas San Nicolas Yaxe, Oaxaca



Mapa Geológico del Área Jarillas -Las Casas San Nicolas Yaxe Estado de Oaxaca, Mostrando Esquema de Exploración.

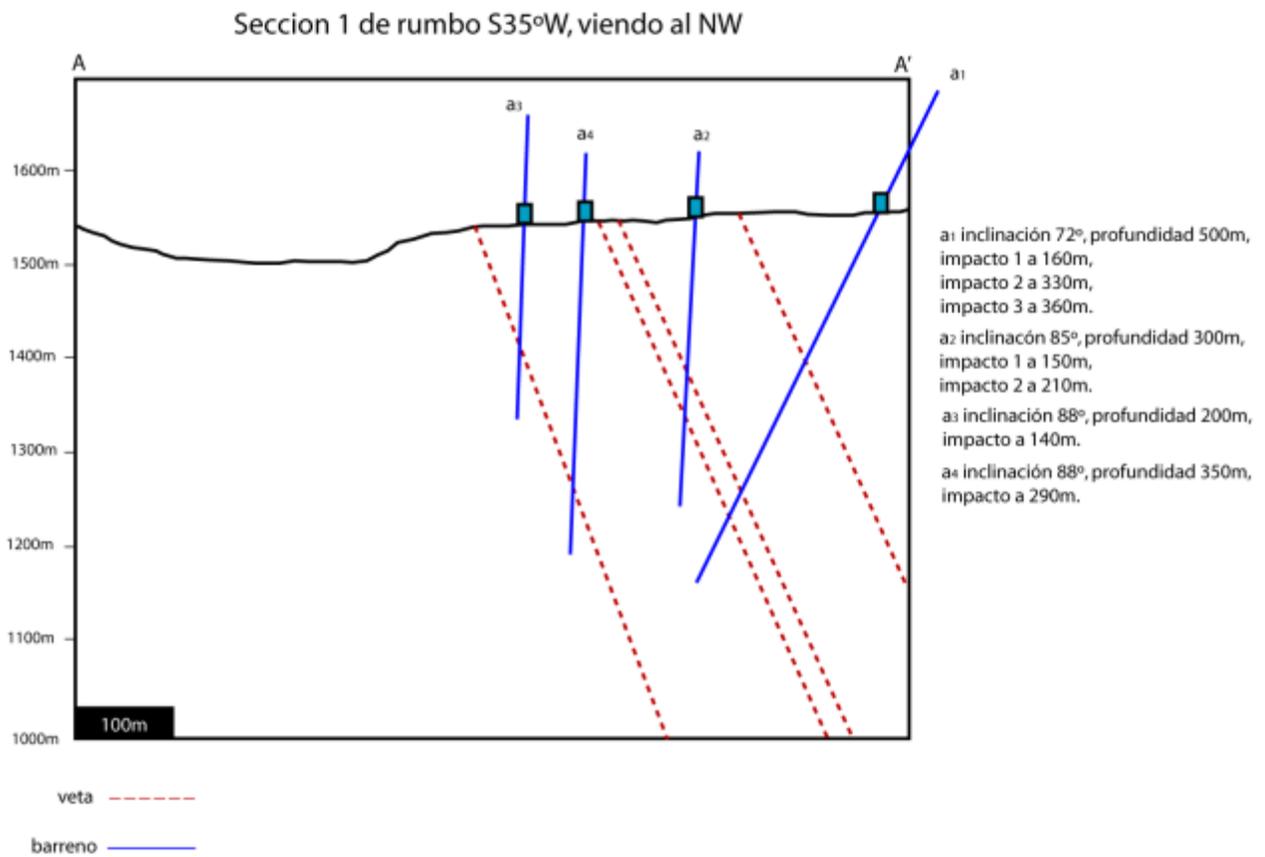


Explicación

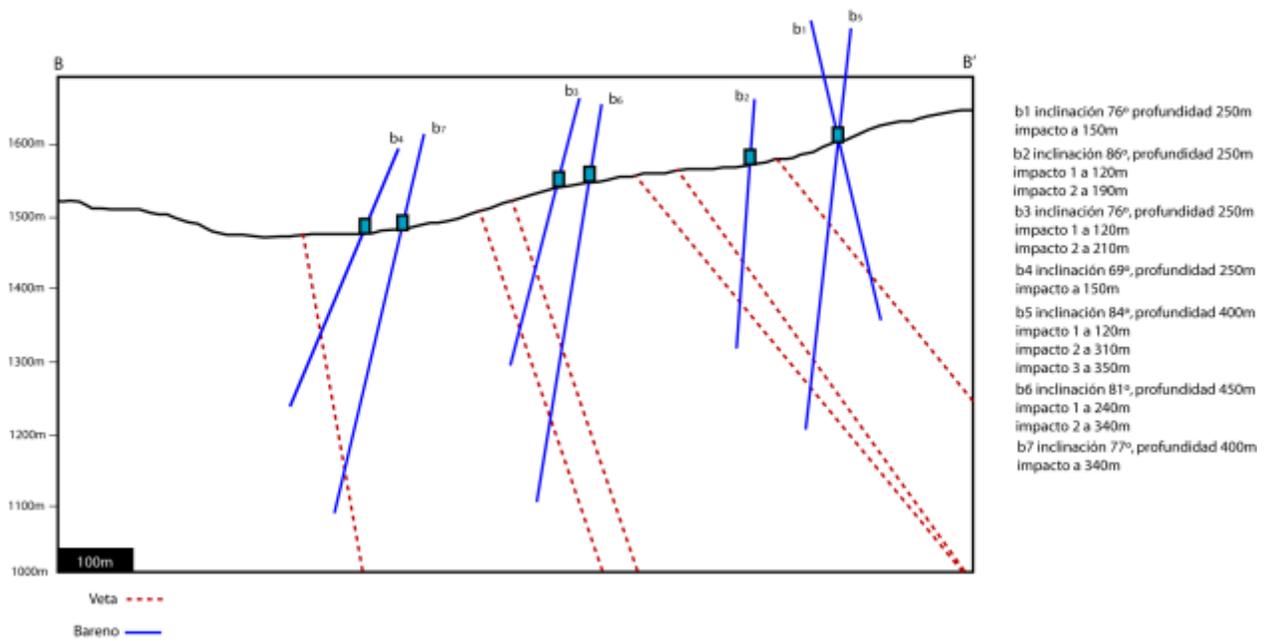
- | | | | |
|--|---|--|-------------------------|
| | Fractura | | Tendido de PI Propuesto |
| | Falla inversa | | Secciones realizadas |
| | Falla normal | | Barreno propuesto |
| | Veta | | |
| | Curvas de nivel maestras (acotación en metros) | | |
| | Curvas de nivel secundarias (acotación en metros) | | |
| | Terracería | | |
| | Arroyos intermitentes | | |
| | Aluvi3n | | |
| | Dique de composici3n 1cida | | |
| | Caliza con bandas y n3dulos de pedernal (Fm. Teposcolula) | | |
| | P3rfido de composici3n 1cida | | |
| | Secuencia de toba y lapilli | | |

Nota:
Datum de proyeccion horizontal WGS84; fuente de datos vectoriales: INEGI, carta Santa Mar1a Zoquitl1n, Clave E14-D68





Seccion 2 de rumbo S35°W, viendo al NW



Sección 3 de rumbo S35°W, viendo al NW

