



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad De Ingeniería

Exploración de tierras raras en la
Provincia Oriental Alcalina
Mexicana, en la asignación minera
el Picacho, municipio de Villa de
Casas, Tamaulipas

INFORME

QUE PARA OBTENER TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA:

LUIS ALFONSO CLARK ELUANI

Director:

Alfredo Victoria Morales

AGRADECIMIENTOS.

Al Servicio Geológico Mexicano, por haberme dado la oportunidad de desarrollarme en el ámbito profesional. Por proporcionarme las herramientas necesarias para la aplicación de mis conocimientos teóricos y prácticos. Y por el haberme facilitado el poder exponer mi trabajo realizado en campo, como geólogo de exploración.

A la UNAM, por ser ese espíritu de lucha que brinda la oportunidad a miles de seres humanos para desarrollarse en todos los ámbitos y potencializa a cada uno en sus máximas capacidades. Porque cobijó mi estancia desde la preparatoria hasta mi formación profesional, le agradezco profundamente. Trabajaré para que su espíritu perdure y su mensaje se transmita por siempre: “Por mi raza hablará el espíritu”.

A mis compañeros de trabajo que fueron sin duda parte fundamental para poder realizar este trabajo. Al ingeniero Zapata Favela el cual vertió sus conocimientos de campo en mí y a mis ayudantes Horacio Vanoye y Demecio que sin ellos tal vez no estaría aquí. Personas que me enseñaron el valor de la humildad y el verdadero valor de las cosas que no podría agradecerles el haberme aceptado como parte de su familia y espero algún día poder corresponderles de la misma manera, que nunca serán olvidados y que siempre los llevare con un grato recuerdo en mi corazón.

A mi Madre, el pilar de mi carácter y fuente de sabiduría. A la mujer que siempre es mi ejemplo y está ahí estirando su mano cada vez que tropiezo. Le agradezco su infinita paciencia, amor incondicional y el apoyo que me brinda una y otra vez, siempre con la finalidad de verme pleno y cumpliendo mis sueños y objetivos en la vida.

A mi tía, Mabe, mi ejemplo de que con perseverancia y amor se puede llegar muy lejos. Porque me compartió su amor a la ciencia y el gusto por difundir el conocimiento. Sin duda alguna, ha sido una guía importante en mi camino y una gran mentora.

A mi hermana, por ser esa mujer íntegra y apasionada, que defiende sus ideales con fiereza animal. Por ser mi primera competidora y por recordarme siempre, el nunca dejarme de lado. Mi mayor impulsora para no caer en la mediocridad y por ser la mejor hermana que pude tener.

A Yaucaly, a ese ser especial en mi vida que me ha demostrado qué tan lejos puedo llegar cuando me comprometo a ser mi mejor versión. A quien siempre es incondicional conmigo, por ser esa mujer con la que quiero compartir este viaje llamado vida. Por todas las veces que me escuchó cuando me sentía frustrado y porque cuando menos veía la luz, me acompañó hacia ella.

A Jonny, por ser el irónico amargado que todo el tiempo me dice que no y pone en duda cualquier cosa que le digo, pero que tiene uno de los corazones más grandes que conozco. Es un gran amigo, compañero de fiestas, estudios y aventuras, que siempre comparte lo que tiene conmigo.

A Gaby, por ser siempre esa cómplice en viajes y locuras. Porque me apoya en todo a pesar de no estar de acuerdo y porque ha demostrado ser una de mis amigas más leales. Le agradezco por haberme escuchado siempre y compartir muchas risas.

A Wasa, por empujarme a seguir creciendo. Porque siempre vio mi potencial y nunca dejó que yo tirase la toalla. Por ser hospitalario y hacerme sentir a donde quiera que estuviera, como en casa.

A Lalo, mi compadre, wing-man, bro. Un amigo incondicional que me ha apoyado en los momentos más sombríos. Y con quien siempre sé que cuento para empujarme a crecer y a superarme.

A Alfredo, mi asesor, por no haber dudado de mí y nunca tirar la toalla conmigo. Por ser una excelente guía y escucha. Y tener siempre mucha paciencia conmigo y ahora me encuentro cosechando los frutos de su enseñanza.

A mi familia, que es un gran pilar para mí y siempre me han apoyado para alcanzar mis metas y sueños.

A mis compañeros de la facultad, Rocha, Axel, Jorge, Víctor, Javier, Martha, Nash, Karina, Davitsote, Mariana, Jenny, Abel, Adriana, Nache, Isel y Omassi, porque con ellos viví muchas experiencias de lo que significa ser geólogo.

A mis amigos de la prepa, Juan, Cafeto, Misael, Karla, Rosela, Esteban, Lucía, Mabel, Fernando, Sandra, Chen, Yazmín, Abimael y Juan Carlos, con quienes he compartido todos mis logros y fracasos, sumando ya muchos años de amistad.

Al Get 62, un grupo de personas maravillosas y auténticas que han sido su misión llevándola siempre lejos. Siendo esa bola de locos con los que he aprendido mucho.

Al equipo del terramóvil, Dani, Pau, Leo, Andrea, Fabián, Noheми Lupita, Xanath y Ana, ya que siempre sentí su energía positiva para que terminara y por brindarme el apoyo para crecer en el ámbito profesional.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
I. ALCANCE DEL TRABAJO	2
1.1 Introducción	2
1.2 Objetivos.....	7
1.3 Método de trabajo	7
II. GENERALIDADES AMP.....	9
2.1 Localización y vías de acceso.....	9
2.2 Geología Regional.....	10
III. GEOLOGÍA	14
3.1 Geología local	14
3.2 Estratigrafía	16
3.3 Rocas Ígneas	18
3.4 Geología estructural	31
IV. YACIMIENTOS MINERALES.....	34
4.1 Génesis, forma y dimensiones	34
4.2 Mineralogía y zonas de alteraciones	38
4.3 Potencial minero.....	41
V. MUESTREO.....	42
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46
VII. CONCLUSIONES.....	55
VIII. RECOMENDACIONES.....	57
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	58
X. ANEXOS	61
GLOSARIO.....	69

RESUMEN

La Asignación Minera el Picacho se encuentra ubicada en la porción centro-oriental del estado de Tamaulipas, aproximadamente a 70 km al SE de Cd. Victoria y 40 km al Sureste del poblado de Villa de Casas este corresponde a un yacimiento de tipo carbonatita, que se encuentra situado dentro de la Provincia Oriental Alcalina Mexicana. El origen del emplazamiento de este cuerpo se encuentra relacionado a orogenia Laramídica y los procesos de extensión postlaramídicos que favorecieron la intrusión del magma viscoso y alcalino que se extendió siguiendo el rumbo de las rocas sedimentarias preexistentes. El origen de la mineralización se encuentra relacionado a la intrusión de un cuerpo intrusivo y por los fluidos hidrotermales. El área de mayor interés para la explotación de minerales de tierras raras se encuentra en la parte central, por medio de muestreo geoquímico se reportaron valores con una media de 600 ppm de elementos de tierras raras. A través de la geofísica se pudo determinar la existencia de un cuerpo intrusivo a profundidad el cual presenta altos valores de Th y U, lo que hacen atractivo el yacimiento para la exploración y posteriormente su explotación minera.

ABSTRACT

Mining Assignment Picacho is located in the central-eastern portion of the state of Tamaulipas, approximately 70 km SE of Cd. Victoria and 40 km southeast of the town of Villa de Casas this corresponds to a carbonatite deposit, which is located within the Eastern Province Alkaline Mexicana. The origin of this site is related to the origin of Laramide extension processes. This process of extension favored the intrusion of alkaline viscous magma spread following the course of preexisting sedimentary rocks. The origin of the mineralization is related to intrusion of a known carbonatite intrusive body, which by recirculation of hydrothermal fluids removed all those incompatible elements concentrating on small mineral veins enriched by rare earth elements. The area of interest for enrichment of random earths its located in the central part, this was determined by geochemical sampling resulting 600 ppm of rare earth elements. Through geophysical could determine the existence of an intrusive body at depth which presents high values of Th and U, which make the site attractive for exploration and exploitation.

I. ALCANCE DEL TRABAJO

1.1 Introducción

En la presente década las tierras raras han cobrado una gran importancia gracias a las aplicaciones tecnológicas en los diferentes campos de la industria electrónica, energía nuclear, aeroespacial, militar, médica, etc. Las tierras raras están compuestas por un grupo de 15 elementos: Lantano (La), Cerio (Ce), Praseodimio (Pr), Neodimio (Nd), Prometio (Pm), Samario (Sm), Europio (Eu), Gadolinio (Gd), Terbio (Tb), Disproso (Dy), Holmio (Ho), Erbío (Er), Tulio (Tm), Iterbio (Yb), Lutecio (Lu) se incluye dentro de esta lista al Itrio (Y) debido a la afinidad que presenta con los lantánidos y por su importancia económica. Actualmente el mercado y la producción de las tierras raras se encuentran controlados en un 95 % por China (Long y Foley, 2010).

El área de la Asignación Minera El Picacho se ubica en la porción sureste de la carta Cd. Victoria F14-2, cubre un área de 4442.00 hectáreas. La morfología presente es de un semicírculo de forma ovalada con un diámetro máximo de 9 km, formando un valle el cual en su parte central se encuentra compuesto por rocas ígneas y en las partes externas está rodeado por formaciones de rocas sedimentarias.

El área de mayor interés está compuesta por afloramiento de cuerpos intrusivos de composición básico y calcoalcalina, de este complejo de rocas ígneas algunas se pueden identificar por la variación de las texturas y colores ya que llegan a ser muy heterogéneos. Las composiciones mineralógicas detectadas en algunas rocas reportan que están compuestas en su mayor parte por feldespatoideos y como accesorios minerales ferromagnesianos. El modelo geológico planteado para este yacimiento es el de tipo carbonatita, el cual, se determinó con base en las observaciones en campo y al hacer comparaciones con los grandes yacimientos reportados en Canadá, ya que se pudieron identificar varios elementos característicos de este tipo de yacimientos.

Cabe resaltar, para la exploración geológica minera de esta asignación se realizó en conjunto con trabajos de geofísica aplicando los métodos más eficientes para la detección de tierras raras, tales como percepción remota, mediciones radiométricas y métodos gravimétricos, con el fin de determinar los valores más altos de concentraciones de tierras raras, enriqueciendo de esta manera la exploración de campo y confirmando el modelo geológico propuesto.

Anteriormente el Consejo de Recursos Minerales realizó una compañía de exploración geológica minera en dicha asignación, por lo que se hizo una búsqueda bibliográfica con el fin de recuperar la mayor cantidad de información de esta localidad para establecer la naturaleza del yacimiento y descubrir nuevas zonas de interés. Con base en la recopilación de trabajos previos de Elías-Herrera (1990) se establecieron los siguientes antecedentes para la asignación minera:

1904. Finlay describió las rocas ígneas del distrito minero de San José localizado, en la porción septentrional de la Sierra de San Carlos, rocas ígneas como intrusivos en una caliza cretácica, que muestra evidencia del efecto dinámico de una intrusión lacolítica. Finlay estudió con detalle las siguientes rocas ígneas: sienita de nefelina (la roca más antigua), diorita, andesita, derrames de basalto y diques de diabasa, camptonita y vogesita.

1905. Kemp efectuó un trabajo sobre el control de la mineralización en las minas de oro de San José en el municipio de San Carlos, Tamaulipas. *The Geology and Biology of the San Carlos Mountains, Tamaulipas México.*

1922. Staub(1922, in Muir, 1939, p. 143), en el resumen sobre la actividad volcánica de la región del Golfo, en el sector nororiental de México, describió las rocas ígneas de la región de la siguiente manera: “At the end of the Cretaceous time, and connected with tectonic movements, is found an older series of nepheline bearing syenite rocks. These rocks exist in the Sierra Tamaulipas in the form of sills and laccoliths”

1934. Muir mostró la distribución de rocas dioríticas y sienítica, y coladas de basalto y andesita de la región de San José de las Rectas, al sudoriente de Soto de La Marina, en la porción oriental de la Sierra de Tamaulipas. Mencionó que la diorita y la sienita en la Sierra de Tamaulipas se presentan en forma de tapones y dique con bifurcaciones laterales en forma de disquetras o lacolitos. Estableció que los diques de composición basáltica, numerosos en la Sierra de Tamaulipas, se presentan en abundancia mayor en la planicie costera cortando capas del Oligoceno, por lo que probablemente sean de edad miocénica.

1937. Watson describió las rocas ígneas de la Sierra de San Carlos, en las áreas de San José y San Miguel. Las rocas descritas en el área de San José comprenden gabro, emplazado en forma de lacolito, pórfido diorítico y rocas en forma de dique, como tianguaíta, camptonita, monchiquita y monzonita alcalina.

1973. Bloomfield y Cepeda-Dávila, consignaron tres edades K-Ar correspondientes al Oligoceno tardío de rocas de la Sierra de San Carlos. Las rocas fechadas son pulaskita (27.9 a 1.1 Ma.), sienodiorita (28.5 a 1.2 Ma.), y sienita de nefelina (29.6 a 1.2 Ma.). Ellos consideraron una relación estructural probable entre el magmatismo alcalino oligocénico de San Carlos con el rift del Río Grande en Nuevo México, EUA.

1975. Cepeda-Dávila y colaboradores y Padilla Lara (1976) describieron petrográficamente las rocas que forman el complejo ígneo de la Sierra de San Carlos.

1976. Robin documento las características petrográficas y geoquímicas del vulcanismo de la planicie costera, en las regiones de Ciudad Mante-Ébano y Cerro Axul-Chicontepepec. El vulcanismo se presenta en forma de cuellos volcánicos, disquetratos, domos, derrames y está compuesto esencialmente de basanita, tefrita, basalto, hawaiiita y mugearita.

1979. Cantagrel y Robín consideraron, de manera regional, la relación entre la provincia andesítica del cinturón volcánico Transmexicano, del Mioceno al Cuaternario, y el magmático alcalino oriental, del Oligoceno al Cuaternario. Consignaron 28 edades K-Ar, dos de las cuales perteneces a rocas de la Sierra de Tamaulipas: a una intrusión basáltica de Lavaderas, en el flanco oriental (21 a 0.6 Ma.) y a un diquestrato de fonolita agpaitica, situado próximo la hacienda Santa María, en la parte central de la sierra (7 a 0.2 Ma.).

1980. Cerrón y Palomares realizan un estudio geológico minero de las Sierras de San Carlos-Cruillas, Estado de Tamaulipas. El objetivo del estudio es definir la importancia de las áreas mineralizadas de las que ya se tenía conocimiento como San José y San Nicolás, así como, de ciertas anomalías de cobre, plomo, zinc. En los distritos mineros de San José se determinaron valores de 0.5% de cobre y 10 gr/ ton de plata. En la mina Santa Elena se calcula ley de 1.4% de cobre y 20 gr/ton de plata.

1982. Robín discutió algunos aspectos de las rocas intrusivas y la mineralización de TR asociada a las rocas alcalinas del área El Picacho. Hizo diferenciaciones petrográficas y cartográficas preliminares de las rocas que constituyen un complejo intrusivo alcalino

1984. Elías-Herrera describió las rocas intrusivas y la mineralización de TR asociada a las rocas alcalinas del área El Picacho. Hizo diferenciaciones petrográficas y cartográficas preliminares de las rocas que constituyen un complejo intrusivo alcalino pequeño, muy interesante por la mineralización de lantánidos asociada.

1984. Hirayama, A. 1984. Realizó un trabajo Rare earths mineralization in alkali rocks in Tamaulipas State. En este estudio semi-regional, reportan valores de Ce: 5,825 ppm, La: 3,640 ppm, Y: 1,765 ppm en la muestra PCC6.

1987. Hernández realiza la designación de la Asignación Picacho (1980 ha), la cual cubrió el afloramiento de un intrusivo de composición alcalina, con mineralización de TR (Hernández et al., 1989).

1989. Hernández y Parga, realizan un estudio geológico minero de semi-detalle-detalle de la zona central de la Asignación Picacho. Este estudio geológico Incluye datos de levantamiento geológico, geofísico y geoquímico, abundancia de elementos de REE, resultados de muestreo de estructuras mineralizadas (Zanjas). Se detectaron 41 estructuras mineralizadas (veta-dique, reemplazamiento y relleno de fisuras), con espesores de 0.20 a 6 m., con longitudes máximas de 30 m, con valores de 1.3% de Óxidos de Tierras Raras (OTR), 60% de las muestras analizadas reportan una media de 4,824 ppm de lantánidos.

1990. Elías-Herrera, Rubinovich-Kogan, Lozano-Santa y Sánchez-Zavala, realizan el estudio de petrología y mineralización de tierras raras del Complejo Alcalino El Picacho, Sierra de Tamaulipas.

1991. Elías Herrera, Rubinovich-Kogan, Lozano-Santa, Sánchez-Zavala publican en Canadian Mineralogist. Nepheline-rich foidolites and rare-earth mineralization in the El Picacho Tertiary intrusive complex, Sierra de Tamaulipas, north eastern Mexico.

1991. Hernández D, realiza un reconocimiento aéreo de las zonas San Carlos, Soto, Tula y el Novillo. Define algunos yacimientos y anomalías de estas zonas con descripciones generales de la geología y las alteraciones tomando muestras para análisis geoquímico. Realizó una valoración de áreas de interés sobrevolando puntos de interés cubriendo un total de 730 km² de la Sierra de San Carlos. Las áreas que presentaron mayor interés para una exploración por tierra fueron el Moral, Roble y Moctezuma.

2001. Ramírez G y Miranda H, realizan el informe de la carta Geológico-Minera San Carlos a escala 1:50,000 con clave G14-D61, del estado de Tamaulipas para el Servicio Geológico Mexicano. En dicho informe proponen tres zonas de interés el Cerro del Diente, el Cerro el Jatero (incluyendo análisis químico de 17 muestras por ETR) y Tres Palos (incluyendo análisis químico de 14 muestras por ETR).

2012. La Gerencia de Estudios Especiales e Investigación (GEEI) del Servicio Geológico Mexicano, considerando los datos reportados por autores previos, que indican la presencia de ETR en rocas alcalinas de las sierras de Tamaulipas, San Carlos y Picacho; decide realizar estudios en las localidades prospectivas: Sierra de San Carlos (23,687 ha), Tres palos (2,910 ha), Cerro del Diente (4,327 ha), Cruillas (7,886 ha) y Picacho). En total se colectaron 36 muestras para análisis químico por ETR, 6 para roca total, 9 para DRX, 20 muestras para estudio petrográfico y 4 para mineragráfico. El valor promedio de la sumatoria total de las 36 muestras es de 338 ppm de ETR.

Con base en la información bibliográfica recopilada se determinó que la parte central del complejo de rocas ígneas, es la que presenta mejores valores de mineralización de ETR, por lo cual los trabajos que se realizaron se concentraron principalmente en esta zona.

En este trabajo se recolectaron 122 muestras de esquila de roca, con la finalidad de caracterizar, delimitar y diferenciar las zonas con potencial minero.

1.2 Objetivos

Realizar un mapeo a semidetalle del área de la Asignación Minera Picacho utilizando la información obtenidos por métodos indirectos geofísicos de magnetometría y radiometría de rayos gamma (K, Th, U), con el fin de determinar si las anomalías detectadas tienen algún valor económico susceptibles de explotación.

Caracterizar y describir las rocas para determinar la naturaleza del yacimiento para confirmar si se trata de un depósito mineral de tipo carbonatita y determinar su potencial económico.

1.3 Método de trabajo

Realizamos trabajos conjuntos entre las gerencias de yacimientos minerales y de geofísica, con el fin de poder dictaminar si dicho yacimiento tiene un valor comercial. La gerencia de geofísica obtuvo información del área por medio del método magnetométrico y además realizó vuelos de alta resolución, se sobrevolaron 71 líneas sobre la Sierra de San Carlos con una separación de 250 m utilizando cinco líneas de control, sumando un total 1,294 km lineales, cubriendo una superficie de 252 km², donde se aplicaron métodos radiométricos para identificar anomalías de U, Th y K.

Con base en la información obtenida por los vuelos de alta resolución y aplicaciones de métodos geoquímicos (spot, relación de óxidos de fierro y arcillas), la gerencia de Yacimientos Minerales estableció blancos de exploración para hacer trabajos complementarios para delimitar zonas de interés geológico y puntos de campo a verificar.

La información geofísica obtenida para anomalías de Th, U y K se correlaciono con la geología adecuándola a un marco teórico y con las observaciones en campo. Por medio de métodos indirectos se cotejaron los valores obtenidos resultando estos de interés para la exploración a detalle.

Por lo que se procedió a una exploración y un levantamiento geológico a semidetalle, donde primeramente se realizó un muestreo aleatorio en la zona del Picacho y la Saga, donde se trató de definir si existía una correlación de eventos magmáticos y una continuidad de la anomalía de ETR.

Posteriormente se realizamos un muestreo sistemático levantando muestras de esquirla de roca en las estructuras mineralizadas, los afloramientos de rocas alteradas y diques asociados. A la par del levantamiento geológico se elaboraron secciones topográficas con un espaciamiento entre cada una de 25 m, a partir del centro del complejo de rocas intrusivas, de los cuales se levantaron aproximadamente 2,200 m lineales cubriendo un área aproximada de 40 hectáreas además se realizaron mediciones radiométricas a lo largo de estas secciones, con tomas de lecturas con el cintilo metro a cada 25m.

Finalmente sorteando las dificultades de la espesa vegetación y el grueso horizonte de suelo del área, se recabaron un total de 122 muestras (ver anexo tabla 5) las cuales se analizaron por el método de espectroscopia de masas, de las cuales 6 muestras resultaron atractivas, estas se localizaron en la parte central del complejo de rocas alcalinas del rancho Picacho, se reportaron altos contenidos en tierras raras con valores de Ce: 5,684, La: 3,122, Nd: 1878, Pr: 506, Sm: 475.8 Y: 2,033, Th: 1,776 y U: 15 en partes por millón.

II. GENERALIDADES AMP

2.1 Localización y vías de acceso

La Asignación Minera el Picacho (AMP) está ubicada en la porción centro-oriental del estado de Tamaulipas, aproximadamente a 70 km al SE de Cd. Victoria y 40 km al Sureste del poblado de Villa de Casas. También se localiza en la carta topográfica Francisco Castellanos con clave F14B32 a escala 1:50000, y la asignación se encuentra dentro del Municipio de Villa de Casas, limitado al Norte con los municipios de Jiménez, Padilla y Güemez, al Oeste por Victoria y Llera, al Este por Soto La Marina y al Sur por González y Aldama.

El acceso se realiza a partir de Cd. Victoria tomando la carretera a Soto la Marina por 42 km hacia el poblado de Villa de Casas, después se toma carretera rumbo sur hacia la antigua Hacienda San Francisco y luego al este donde se cruza con el poblado de Los González, 10.5 km se llega hasta El Rancho El Picacho (Figura 1). El acceso al rancho la Saga se realiza por el km 65 de la antigua carretera a Soto La Marina, tomando camino de terracería se recorren aproximadamente 22 km hasta el rancho La Saga

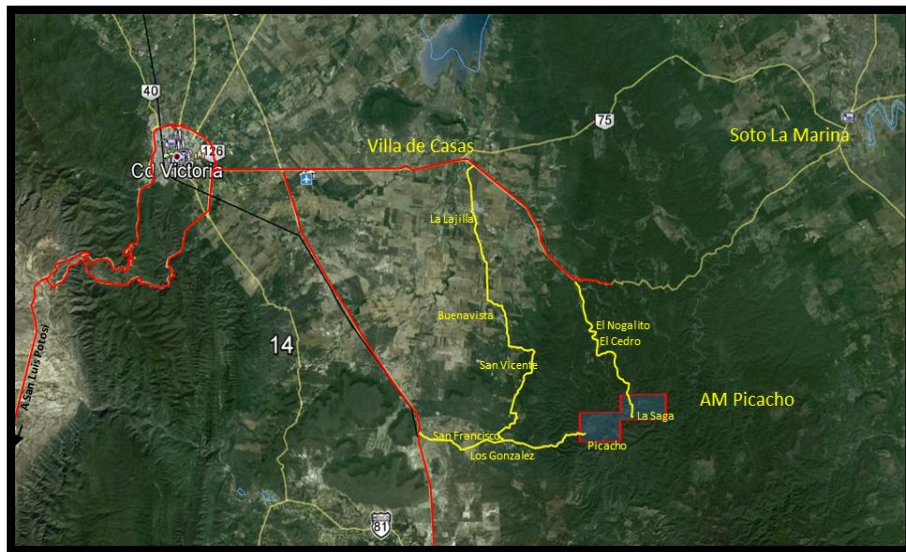


Figura 1. Croquis de localización y vías de acceso a la Asignación Minera Picacho

Esta región cuenta con infraestructura limitada, se tiene carretera pavimentada de Cd. Victoria a la cabecera municipal Villa de Casas, 19 km de pavimento de Villa de Casas a comunidades menonitas y 21 km camino de terracería en condiciones regulares incluso en temporada de lluvias, que llega hasta el poblado congregación Los González. Otro acceso se realiza por la carretera Cd. Victoria –Tampico este se encuentra en muy buenas condiciones, en el km 36 se toma un tramo de terracería hacia el poblado Nuevo San Francisco, este camino cuenta con energía eléctrica hasta el poblado de Congregación González.

2.2 Geología Regional

El proyecto AMP se encuentra situado fisiográficamente dentro de la provincia de la Sierra de Tamaulipas, antigua plataforma de Burros-Picachos. En lo que respecta a un conjunto litológico a esta asignación la podemos situar dentro del complejo de rocas alcalinas denominado Provincia Alcalina Oriental Mexicana (PAOM) descrita por Demant y Robín (1975) la cual se extiende desde el norte en Coahuila, hasta el sur, en Veracruz (~2,000 km), abarcando buena parte de la Planicie Costera del Golfo. Dichas localidades están constituidas por rocas ígneas emplazadas principalmente durante el Terciario, con algunas manifestaciones del Cuaternario (Figura 2).

El origen del PAOM aún no se encuentra bien definido, se cuenta con poca evidencia de campo para poder aseverar alguna teoría sobre su procedencia, Robín (1892) propone que esta provincia está ligada a la extensión del Rift del Río Grande de Texas (Figura 3), pero a la fecha no se cuenta con la evidencia de campo que pueda sustentar su teoría. Ligado a la extensión de este rift también se encuentra involucrado el proceso de la subducción de la paleo placa de Farallón la cual subdujo a la placa Norteamericana, las firmas geoquímicas que se han reportado del magmatismo que dio origen a las rocas intrusivas de los cuerpos intrusivos de la Sierra de San Carlos y en la Sierra de Tamaulipas (Ramírez Fernández, 1989, Ramírez y Keller, 2000), son típicas de un ambiente de subducción.

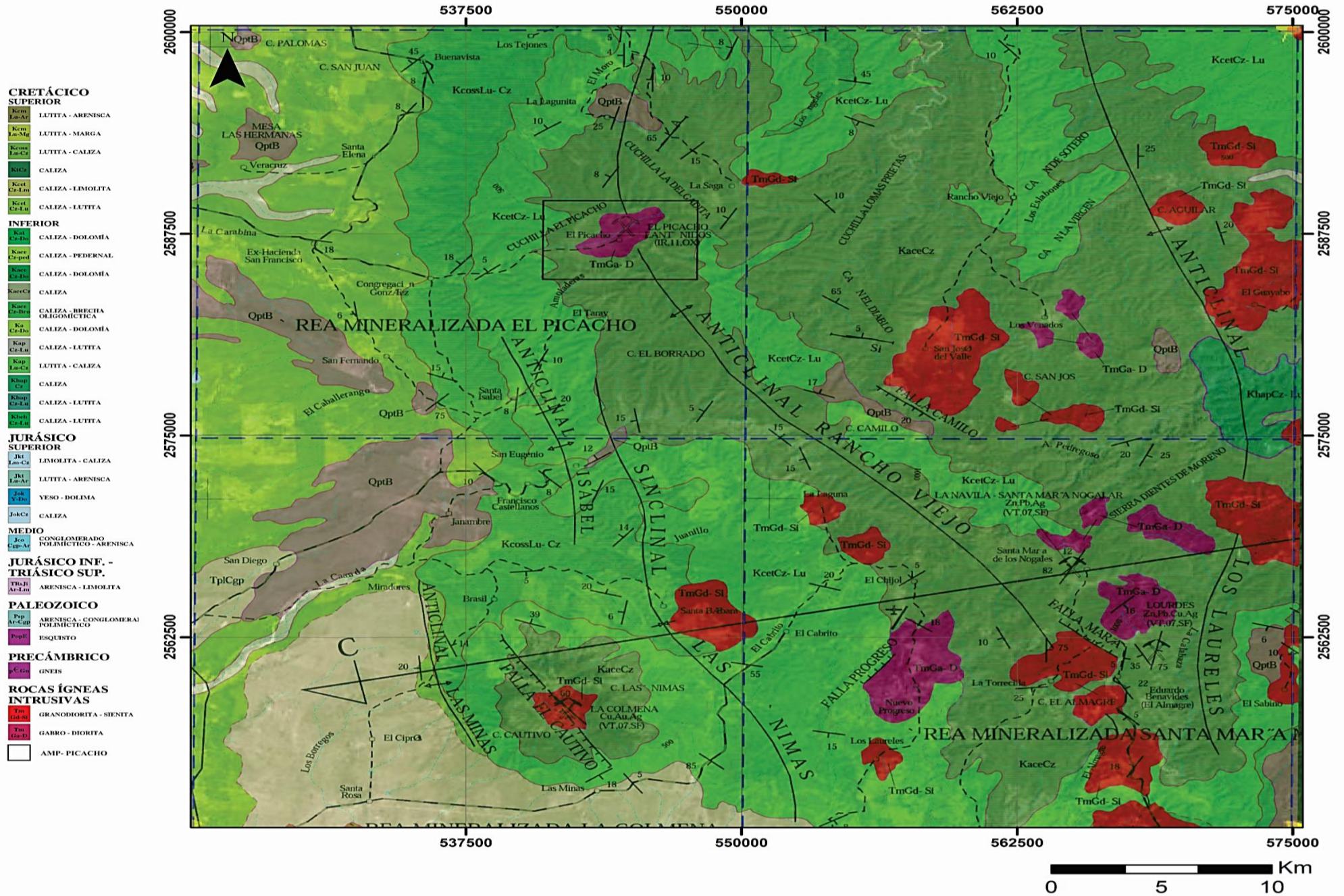


Figura 2. Mapa modificado de la geología regional (F14-2 Ciudad Victoria) de la asignación minera el Picacho. La asignación se encuentra en eje del anticlinal Rancho Viejo. Se observan numerosos cuerpos intrusivos de composiciones alcalinas que forman parte de la Provincia Oriental Alcalina Mexicana.

Además de la firma geoquímica de estos cuerpos intrusivos, la evidencia de campo señala que el emplazamiento de los mismos se debió en gran medida a un adelgazamiento de la corteza, efecto de los procesos extensivos de la orogenia Laramídica, lo que facilitó que estos cuerpos se emplazaran en las zonas de debilidad del macizo rocoso. Esta extensión también ocasiono que se formaran una serie de fallas normales a lo largo de toda esta franja del PAOM.

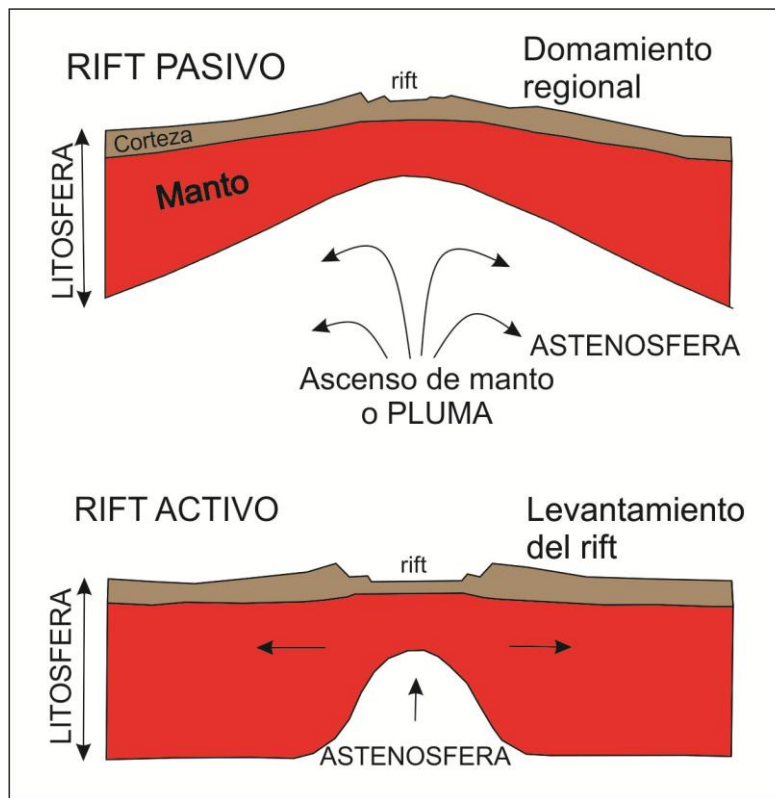


Figura 3. Modelos de desarrollo de rifts, pasivos y activos (Keen 1985). El modelo geológico para la PAOM es el de un rift pasivo por el domamiento que se produce a lo largo de toda esta provincia.

Cuando la paleo placa de Farallón es asimilada en una fusión parcial con el manto litosférico se generó un proceso de metasomatismo extenso, en donde se involucraron muchos fluidos, se produjo el enriquecimiento por elementos volátiles y elementos incompatibles, lo que conlleva a la formación de magmas de composición alcalina y que estos tengan abundancia de minerales del grupo de los lantánidos. Este proceso en el que el magma adquiere una composición alcalina es muy común que tienda a formar nefelina, la cual al cristalizar da un espectro de rocas (la suite de la ijolita; 1996 Hall) comprendiendo minerales muy inusuales, como feldespatoides, calco-piroxenos, y carbonatos atípicos.

Las rocas intrusivas de los complejos de la PAOM cortan secuencias de calizas y margas cretácicas que sobreyacen a margas del Cretácico Superior al Terciario, como es el caso del Picacho donde esta relación se observa muy bien.

La edad de estos complejos magmáticos disminuye hacia el sur, desde el terciario inferior hasta el cuaternario (Ramírez y Keller, 2000).

III. GEOLOGÍA

3.1 Geología local

El área del proyecto se encuentra enclavada en la parte central de un valle formado por un anticlinal, el cual está compuesto por formaciones rocosas principalmente de calizas y margas del Cretácico (Figura 4). El valle se encuentra atravesado por el Arroyo el Picacho y sus afluentes de temporal que van a lo largo y ancho de toda la asignación, poniendo al descubierto muchos de los afloramientos en los cuales se realizaron los caminamientos y se observaron las relaciones petrológicas.



Figura 4. Las formaciones de rocas sedimentarias sobreyacen y rodean al complejo de rocas ígneas formando el valle del Picacho. Las rocas sedimentarias se observan en la parte superior del límite amarillo.

Con base en la información bibliográfica recolectada y a los trabajos realizados en campo se pudieron identificar varias unidades litológicas, las cuales han sido clasificadas por diversos autores como un conjunto de rocas intrusivas (Hirayama, 1984, Elías y Obregón 1982, Hernández 1989, Ramírez y Keller, 2000) que están compuestas principalmente por gabros, dioritas, sienitas y rocas de la suite de rocas de las ijolitas ricas en nefelina. De magma nefelítico del cual provienen estas rocas tiende a cristalizar dentro del espectro de rocas de la suite de la ijolita (Hall, 1996), y se encuentra asociado con la carbonatita.

La mayoría de las rocas se encuentran dentro de las series calcoalcalinas y alcalinas, tienen mayor porcentaje de feldespatoides ya que son característicos del magma del cual se originaron.

Este tipo de magma es proveniente del manto, el cual es muy probable que resulte en un metasomatismo extenso mediante procesos que incluyen muchos fluidos y el enriquecimiento por elementos volátiles e incompatibles. La fusión de un manto fértil es la principal razón de por qué los magmas alcalinos se encuentran enriquecidos de muchos minerales de mena.

Al observar en campo el cuerpo intrusivo con las rocas sedimentarias, vimos que este se acomodaba conforme a las capas de rocas preexistentes algunas variando entre 7° a 24° grados mostrando una actitud subhorizontal. Además de esta inclinación no se detectó zonas donde se encontrara un metamorfismo de contacto, por lo cual se supuso que el magma que dio origen al cuerpo intrusivo masivo poseía una alta viscosidad, densidad y baja temperatura.

Dicha de otra forma el cuerpo que emplazó a las rocas sedimentarias formó una estructura de un cuerpo en forma de lacolito. Que posteriormente se vio afectado por una serie de intrusiones secundarias a manera de pequeños diques de composiciones básicas intrusionando las zonas frágiles.

3.2 Estratigrafía

Las rocas más antiguas del proyecto pertenecen al Cretácico Inferior por la Formación Tamaulipas Inferior que tiene una edad de Necomiano-Aptiano. Compuesta principalmente por calizas de estratos gruesos con nódulos de pedernal. Se encuentra presente también metamorfoseada sobre las rocas ígneas dentro del área del Picacho donde las podemos identificar sobre el parteaguas del arroyo Picacho. (Figura 5, ver figura 25)

- La unidad que sobreyacen a la Formación Tamaulipas Inferior es la Formación Otates, la cual está compuesta por calizas arcillosas y lutitas en estratos delgados con una edad del Aptiano.
- La Formación Tamaulipas Superior que sobreyacen en concordancia a la formación Otates está compuesta por dos miembros, el miembro inferior representado por calizas de estratos potentes, a diferencia del miembro superior que se encuentra representado por calizas en estratos delgados a medianos con bandas y lentes de pedernal, a esta formación se la ha situado en los pisos Albiano inferior-Cenomaniano Inferior.
- La Formación Agua Nueva se identificó dentro del área por calizas arcillosas, margas y lutitas carbonosas, a esta se la ha asignado una edad de Cenomaniano Superior-Turoniano.
- Formación San Felipe compuesta por calizas arcillosas con intercalaciones de lutitas y lutitas arenosas se le ha asignado una edad Coniaciano-Santoniano.
- Formación Méndez que está compuesta principalmente de lutitas con algunas intercalaciones de margas que representa la formación más joven dentro de la columna estratigráfica del área se le ha asignado una edad Campaniano-Maestrichtiano.

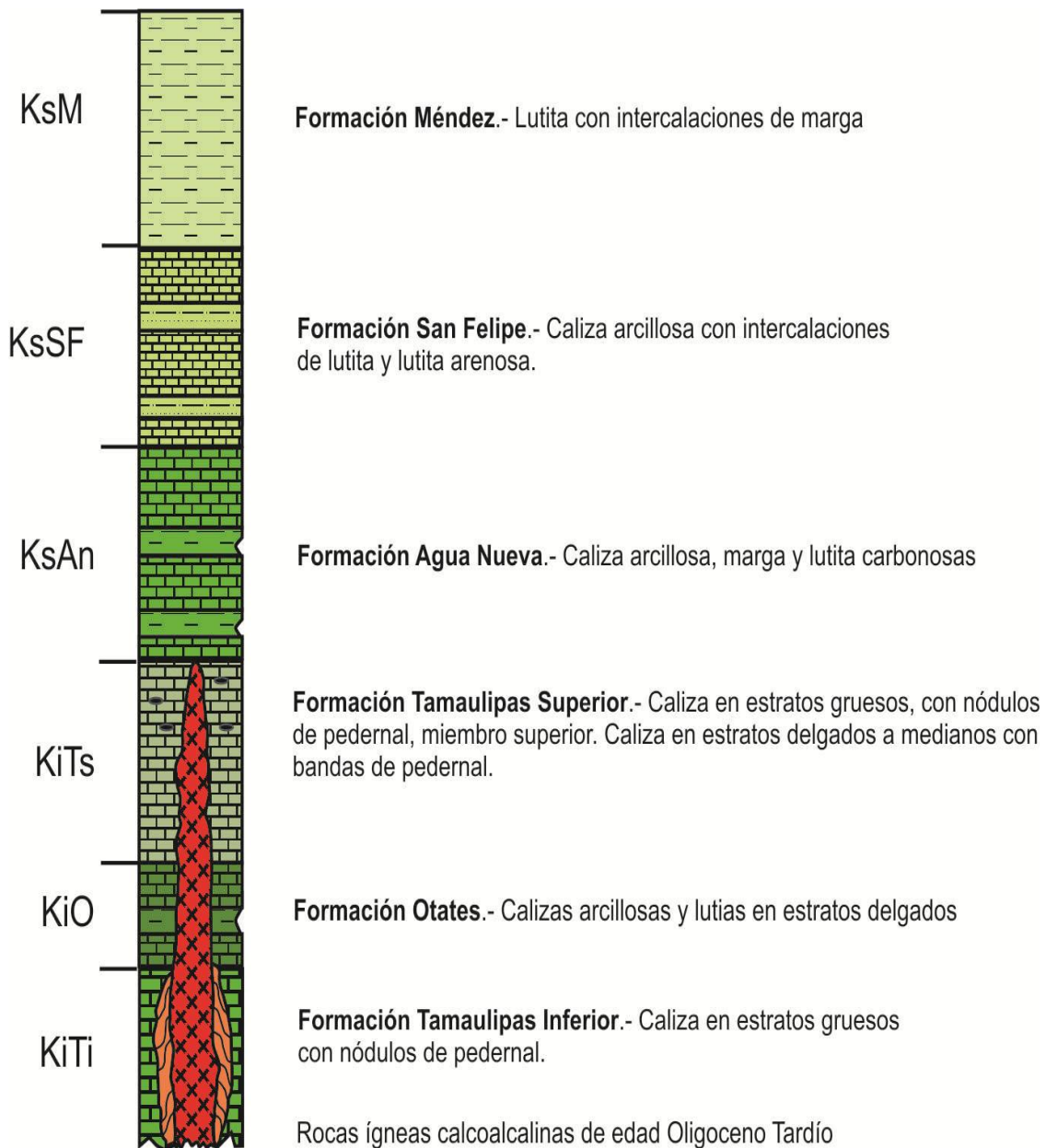


Figura 5. Columna estratigráfica de la Sierra de Tamaulipas. Modificada de Hernández et al., 1989.

3.3 Rocas Ígneas

Gabro

El color a la intemperie del gabro varía de tonos rojizos a anaranjados, en algunas partes se observó de coloración grisácea verdosa (Figura 6). Al fresco se observa un color grisáceo negruzco con tonos blanquecinos. La textura es fanerítica megascópicamente se pueden identificar minerales esenciales como; piroxenos, anfíboles y plagioclasas como minerales accesorios pirita, hematita y limonita.



Figura 6. Gabro meteorizado el cual se altera a suelo con altas concentraciones de óxidos de hierro y minerales arcillosos.

Petrográficamente se clasifica como gabros de augita y olivino, con una textura de grano medio a grueso, holocristalina hipidiomórfica. Los minerales esenciales (Ramírez y Keller, 2000), labradorita-bitownita, y augita como minerales accesorios olivino, titanogita, magnetita titanífera, kaersutita y como minerales secundarios clorita, hematita y minerales arcillosos (Figura 6). (Hernández, 1989, Laboratorio de Caracterización de materiales Chihuahua, 2013).

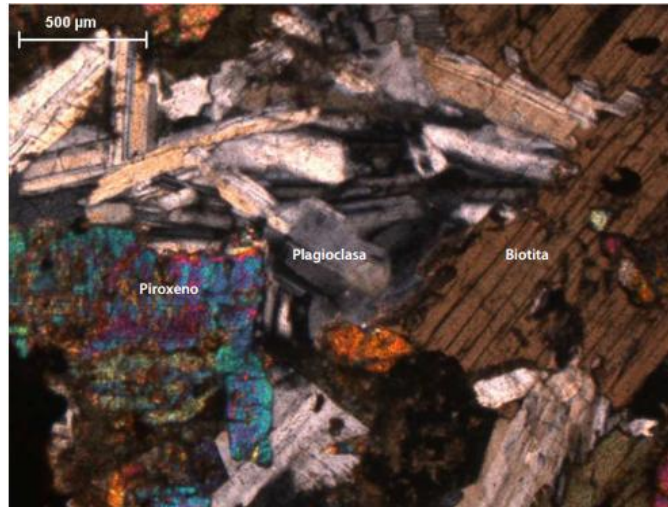


Figura 6. Fotomicrografía en donde se observa la plagioclasa, biotita y piroxeno; asociados en sus bordes; formando un mosaico. Tomada al microscopio petrográfico con nícoles cruzados.

Esta unidad de roca está ampliamente distribuida en la zona de estudio, pero muchas veces se encontraba sumamente alterada por producto del intemperismo. Debido al alto grado de erosión del valle por las elevadas temperaturas y la humedad en algunos afloramientos se identificó al gabro como roca madre de suelos jóvenes con un espesor de aproximadamente 20 metros, se identificó con base a su composición mineralógica y textural.

El proceso que dio origen a esta unidad tuvo una diferenciación magmática o un fraccionamiento en la cámara magmática, debido a los cambios tan radicales entre la composición mineralógica entre las rocas encontradas en el rancho la Saga y el rancho Picacho. Sin embargo la evidencia de campo proporciona información de que existe una zona de transición donde el gabro se convierte gradualmente a una diorita, el cual posee una mineralogía cercana al gabro pero con cambios texturales y mineralógicos evidentes.

Esta es la roca más abundante de la asignación, la cual se encuentra en contacto con las rocas calizas del cretácico, las rocas sieníticas, graníticas, nefelínicas y al menos dos familias de diques que se identificaron. El contacto con la diorita es difuso a veces transicional a diferencia con las rocas nefelínicas donde se observa muy marcado el contacto, con las rocas sieníticas es subhorizontal, ya que estas se encuentran sobreyaciendo al gabro y finalmente el contacto con los diques se formó ya que estos intrusionan a través de las zonas de debilidad con una orientación NE-SW.

Diorita

Su color a la intemperie es rojizo a anaranjado, con algunas tonalidades verdosas y grisáceas, el color al fresco que presenta es gris claro y con tonos blanquecinos (Figura 7). Megascópicamente tiene una textura fanerítica con minerales observables como plagioclasas, anfíboles, magnetita.



Figura 7. En esta imagen se observa el detalle la textura de la diorita que presenta cristales alargados de augita en una matriz de plagioclasas, foto tomada de muestra de mano.

Petrográficamente se clasificó con una Diorita de Augita, textura fanerítica, hipiomórfica, con minerales esenciales plagioclasas y augita, secundarios clorita, calcita como minerales accesorios hematita, magnetita y apatita. En todo el afloramiento de esta roca se tienen variaciones a granodiorita, y vetillas de calita con pirita, calcopirita y arseno pirita (Figura 8). (Laboratorio de Caracterización de materiales Chihuahua, 2013)

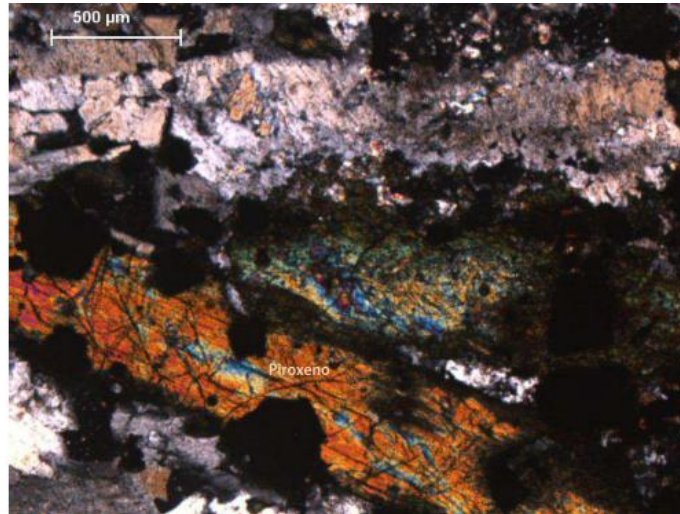


Figura 8. Se observa trama compuesta por plagioclasas y piroxenos. Los piroxenos muestran colores de interferencia azul y naranja.. Tomada al microscopio petrográfico con nícoles cruzados.

Las alteraciones en esta roca son producto del intemperismo, aunque con relación al gabro se encuentra más sana al contener un mayor porcentaje de minerales pertenecientes al grupo sódico. Muchas veces esta unidad de roca se identificó en una zona de transición con las rocas gabróicas donde era evidente el cambio de coloración y de textura.

El origen de esta roca se presume que es producto de una magma primigenio por cristalización fraccionada, el cual se separó en dos o más fases, lo que resultó en un enriquecimiento de elementos ferromagnesianos en el gabro, dejando la fase restante con más abundancia de minerales intermedios lo que dio origen a estas variaciones de diorita a granodiorita.

Sienitas de nefelina

Su color coloración a la intemperie es gris verdoso, el cual va variando según el contenido de feldespatoides y ferromagnesianos alcalinos, al fresco se observa un tanto blanquecina de color grisáceo, su textura es fanerítica se observa una abundancia de minerales como plagioclasas, feldespatos alcalinos y anfíboles. (Figura 9)



Figura 9. Foto de muestra de mano de la sienita donde se observa la textura fanerítica con una abundancia de minerales claros, esta tiene un color verdoso

Según (Ramírez y Keller, 2000) los minerales en lámina delgada son ortoclasa y microclina, oligoclasa-andesina y feldespatoide sobre los ferromagnesianos, como secundarios, hornblenda, sericita, clorita, hematita, limonita y minerales accesorios magnetita, monacita, apatito y minerales arcillosos. Las sienitas se encuentran fuertemente alteradas formando grandes cristales de vermiculita, turmalina, cuarzo calcitas en zonas fuertemente cloritizadas y caolinizadas.

Esta unidad de roca es la segunda más abundante y tiene una distribución de anillo en general dado que se encuentra siempre en contacto con las rocas gabrónicas, en algunas locaciones el contacto era evidente pero en otras el contacto se encontraba enmascarado por la cubierta vegetal y el suelo. Además se observó que en el contacto entre las calizas y esta unidad, siempre se encontraba en las zonas de mayor altitud, efecto de metamorfismo de contacto que provoca la recristalización de las calizas de metacalizas a mármol.

Rocas nefelínicas

Intrusionan a las rocas gabróicas, se concentran en la parte central del complejo de rocas ígneas. Las ijolitas son rocas melanocráticas con tonalidades verdosa de grano fino a medio, con mayor resistencia al intemperismo en relación con los gabros (Figura 10). Las sienitas de nefelina se encuentran bordeando al gabro a diferencia de las ijolitas que se encuentran en el centro de la locación de tienen las mismas características que las ijolitas, sólo se diferencian por tener tonalidades más claras (Elías y Obregón, 1982).

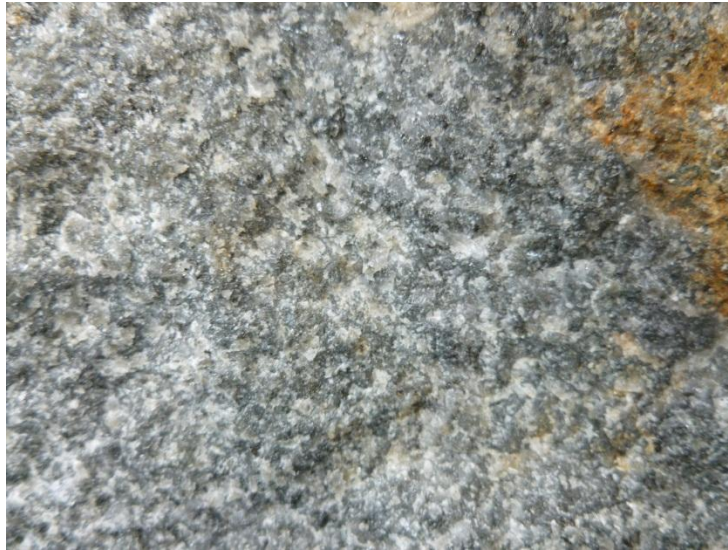


Figura 10. Textura de rocas nefelínicas se reconocen por tener tonalidades verdosas presentan una textura fanerítica de grano medio. Foto tomada de muestra de mano.

Las ijolitas al microscopio presentan una textura hipidiomórfica, en minerales esenciales la nefelina y egirina-augita que constituyen casi el 90% de la roca. Los minerales accesorios son feldespatos potásico, esfena y apatita. Como minerales secundarios se observa cancrinita desarrollándose a expensas de la nefelina, algo de calcita y biotita que reemplaza parcialmente a la piroxena. En algunos casos se observa textura poiquilitica en donde la egirina-augita se sobrepone en forma de cristales prismáticos y aciculares en forma caótica. Esto sugiere dos generaciones de egirina, o sea, probablemente parte de las ijolitas están fenitizadas (Elías y Obregón, 1982).

Granito

El color a la intemperie del granito varía de tonos rojizos a anaranjados claros. Al fresco se observa un color grisáceo con tonos blanquecinos (Figura 11). La textura megascópicamente es fanerítica donde se pueden identificar minerales esenciales como; cuarzo, anfíboles y minerales accesorios como pirita, hematita y limonita. En lámina delgada se observan con una textura de grano medio a grueso, holocristalina e hipidiomórfica.



Figura 11. Afloramiento de granito en donde se observa el intemperismo típico por exfoliación originando formando semiesferas.

Esta unidad se encuentra ampliamente distribuida en la locación del rancho la saga y además se localizó en la parte norte de la locación del valle del Picacho justo en el parte aguas de donde se puede realizar el ascenso hacia la punta de la sierra. Se identificó por su patrón erosivo en formas circulares y además por su mineralogía. Esta unidad es cortada por filones de 2 mm de espesor de pirita oxidada.

En esta unidad al igual que el gabro se identificaron múltiples intrusiones de traquitas y fonolitas, mas esta no mostraba alguna señal de alteración hidrotermal o metamorfismo de contacto con estos diques y las rocas sedimentarias.

El análisis de laboratorio realizados en esta unidad dan contenidos de U de 3 ppm, con base en la naturaleza de este tipo de magma más ácido se determinó que esta unidad se encontraba estéril en cuanto a mineralización de carácter comercial o interés de tierras raras.(Figura 12).



Figura 12. En la parte superior se encuentra la roca de origen sedimentario que sobreyace al granito el contacto entre ambas se encuentra sano al no presentar ningún tipo de alteración.

Traquitas y fonolitas

Estas rocas se observan por toda el área en forma de diques desde medio metro hasta varios metros de espesor, afectando a todas las rocas ya descritas. Megascópicamente son de grano fino, color gris oscuro con tonalidades verdosas, con fenocristales escasamente parecidos a ferromagnesianos, feldespatos y feldespatoides (Figura 13). Las traquitas presentan su textura típica (traquítica) constituida por fenocristales de oligoclasa, sanidino y algo de augita, incluidos en una matriz predominante constituida por plagioclasa y feldespato alcalino.

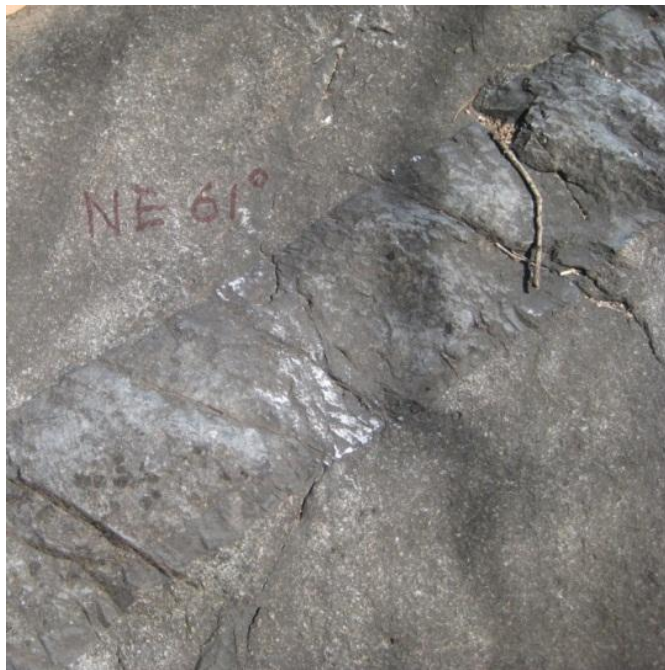


Figura 13. Se observa un dique con un rumbo NE 61° SW de traquitas intrusionando a la unidad de rocas de sienitas de nefelina.

Las fonolitas presentan una textura porfídica, está constituida por fenocristales euhedrales de sanidino, plagioclasa sódica y nefelina, en una matriz holocristalina compuesta esencialmente de feldespatos alcalinos, pequeños cristales aciculares de egirina-augita y cancrinita en forma anhedral y en cristales subhedrales alargados (Figura 14). En varias partes del área, se observaron rodados de rocas ricas en egirina acicular, no se observaron afloramientos, seguramente ocurren en diques de poco espesor (Elías y Obregón, 1982).



Figura 14. Muestra de mano de dique de fonolita en este se observan cristales aciculares de egirina-augita característicos de estas rocas.

Diques radioactivos

Tienen rumbo de NW25°-30°, e inclinación de 80° a 90°, predominando la posición vertical. En algunos casos el rumbo es N a NE20°. Con una longitud de 300 m. En el Arroyo El Picacho los diques radioactivos se observan intercalados con los diques ijolíticos y fonolíticos, todos dentro de las rocas gabrómicas (Figura 15). Los diques de ijolitas son los más abundantes en esta parte del área y prácticamente son las rocas que encajonan a los diques radioactivos. Estos últimos son las rocas más jóvenes en el área, afectan también a los diques fonolíticos en forma de vetillas con tonalidades rojizas (Elías y Obregón, 1982).

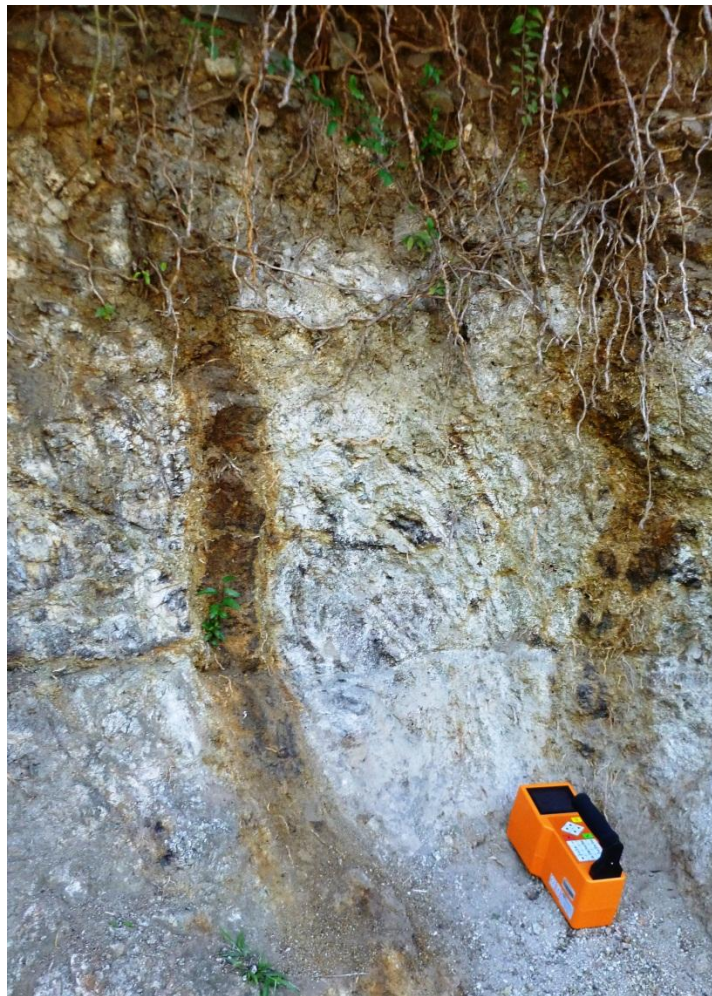


Figura 15. Diques vetas radioactivos medidos con cintilómetro, presentan altos valores de contenidos de tierras raras se encuentran en la parte central del complejo de rocas intercalado con las rocas nefelínicas.

Microscópicamente los diques están constituidos esencialmente de feldespato alcalino y apatita en proporciones variables. En algunos casos la apatita llega a constituir hasta un 60-70% de la roca, en otros el feldespato es el mineral dominante. Como minerales accesorios se observan óxidos de hierro aparentemente como productos de alteración de ilmenita. Como mineral posterior rellenando microfracturas y pequeños huecos se observa natrolita (zeolita sódica), reconocida con cierta facilidad por su típico arreglo radial, su bajo índice de refracción y birrefringencia débil. Como mineralización posterior y dentro de las fracturas rellenas por natrolita, se observa un mineral de pequeños arreglos granulares (Elías y Obregón, 1982).

Carbonatitas

Con base en la descripción de campo de Ramírez y Keller (2000) se identificaron unidades de rocas que presentaban las características descritas por dichos autores. Se describen como una Soevita granuda de color rojiza (Figura 16), el tamaño de la calcita en promedio es de 2 mm.



Figura 16. Roca compuesta principalmente por carbonatos de calcio con óxidos de hierro presenta una textura de grano grueso semejante a la Soevita que se reporta por Ramírez y Keller (2000).

Además se observaron bandeamientos de óxidos de fierro y de carbonatos de calcio blancos a rojizos. Algunos de los minerales identificados son: hematita, limonita, pirita, siderita, calcita, cuarzo, calcedonia y barita. En superficie se reconocieron cristales de especularita (figura 17).



Figura 17. Dique compuesto de carbonatos de calcio con bandeamientos de hematita.

Con respecto a las coordenadas proporcionadas por Ramirez-Fernandez y Keller (2000) se identificaron rocas de características similares a las reportadas por ellos, sin embargo la confirmación de el laboratorio de estas rocas no pudieron discriminar si se trataban de carbonatitas de la especie de sovevita.

3.4 Geología estructural

Regionalmente se pueden distinguir ciertos controles estructurales los cuales están afectando a nuestra área de interés. La estructura que más sobresale regionalmente es un pliegue abierto con una inclinación de 8° grados en ambos flancos del pliegue, se trata del anticlinal Rancho Viejo. El proyecto se encuentra situado en el corazón de este pliegue lo que evidencia una zona de debilidad en donde se emplazaron las rocas del complejo Picacho.

El cuerpo intrusivo cumple con las características estructurales correspondientes a una lacolito debido al bajo grado de deformación que sufrieron las rocas sedimentarias por el emplazamiento del mismo. La mayoría de las secuencias sedimentarias presentan variaciones producto de los esfuerzos compresivos en el echado de 1 a 10 grados o se encuentran completamente horizontales (Figura 18).

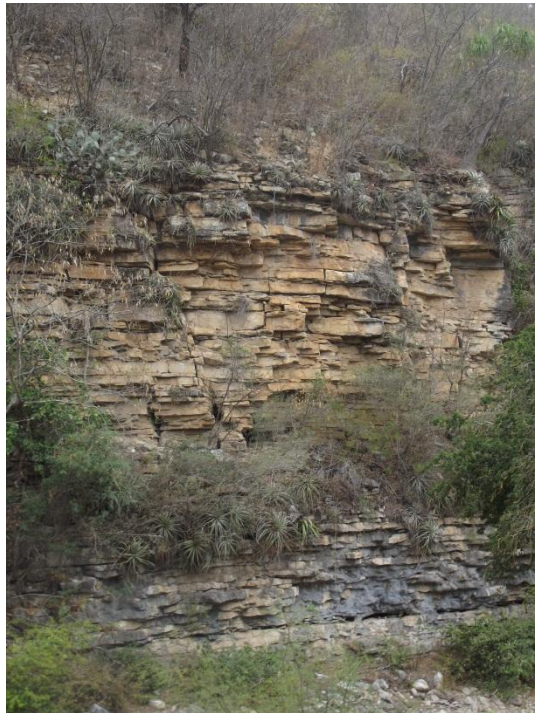


Figura 18. Afloramiento de rocas sedimentarias calcáreas presentan un echado de 0 a 10 grados.

El gabro se encuentra fuertemente cortado por un sistema de diques con rumbos aproximados de NW25°-30° de composición traquítica y fonolítica. Estos diques que se encuentran afectando a la mayor parte del complejo, son producto del último evento magmático. Estos intrusionan también en las zonas de debilidad de las calizas aprovechando los pares conjugados de fracturas formando cuerpos intrusivos con dos orientaciones preferenciales (figura 19).

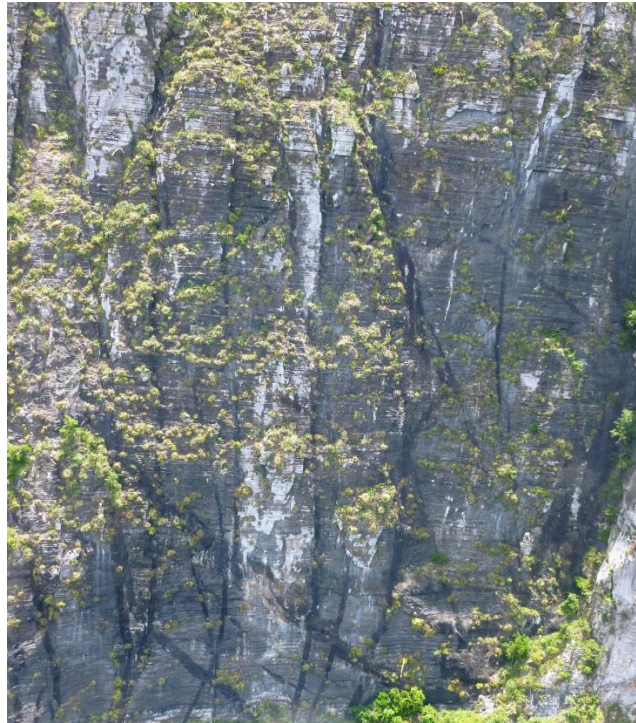


Figura 19. Fotografía tomada desde helicóptero se observan las múltiples intrusiones de los diques de traquitas y fonolitas dentro del macizo rocoso, esta localidad se encuentra en la parte más elevada del valle en el pico del Picacho.

Al centro del complejo de rocas ígneas se encuentran numerosas intrusiones de pequeños dique-vetas que por lo general tienen un echado vertical y rumbos en al menos dos orientaciones preferenciales N a NE20, estos se encuentran asociados a una alteración de tipo hidrotermal conocida como fenitización que consiste en el desarrollo de nefelina, a esto se les ha considerado diques-veta dado que presentan altas concentraciones de Tierras raras.

En lo que respecta al área del Rancho la Saga el comportamiento de los patrones estructurales parece repetirse al igual que en el Picacho, ya que el echado de las capas sedimentarias conservan el mismo ángulo de inclinación de entre 0 a 10 grados.

En esta localidad a diferencia del Picacho se pudo reconocer que la intrusión de naturaleza granítica, el cual se presenta como una serie de apófisis sin ningún tipo de orientación, en la parte noreste de AMP, localizado principalmente en el rancho la Saga, se encuentra por debajo de las rocas sedimentarias y no se pudo reconocer una relación de tipo intrusiva, por ende no se identificó alguna alteración de tipo hidrotermal, metamórfico o estructural.

IV. YACIMIENTOS MINERALES

4.1 Génesis, forma y dimensiones

La mayoría de los elementos de tierras raras se encuentran asociados a magmatismos alcalinos y a carbonatitas (Laurence, 2005). El proyecto Am Picacho se propone como un yacimiento de carbonatitas en 1984 por Hirayama al presentar las mismas unidades litológicas con base en la comparación de los grandes distritos mineros de Tierras Raras explotados en Canadá.

Los magmas alcalinos son un derivado de una fusión parcial del manto con la corteza continental, a la fecha aún no se tiene certeza de los procesos que ocurren en el manto y como se concentran este tipo de metales, podemos asumir que debido al tamaño de los radios iónicos de estos elementos tienden a recristalizar e incrustarse en la estructura de los minerales formadores de rocas, y estos ascienden a la corteza nuevamente en los magmas resultantes de esta fusión parcial, por ende estos magmas están altamente enriquecidos por elementos de tierras raras.

Según la clasificación genética de los yacimientos minerales con base a Smirnov, este yacimiento pertenece a la serie endógena de los grupos de las carbonatitas subdividido en las clases; magmáticas, metasomáticas o combinadas. El caso del Picacho podríamos considerar que entra dentro de la clase magmática.

Existen tres posibles orígenes para los magmas carbonatíticos:

- Producto inicial de fusión parcial en el manto, con contenidos pequeños de minerales carbonatíticos.
- Al final de diferenciación de fundidos silicáticos que contienen carbonatos disueltos.
- Por inmiscibilidad líquida desde un fundido silicático homogéneo, que contiene carbonatos.

Estas por lo general se encuentran asociadas a zonas de estabilidad tectónica principalmente en los escudos tectónicos, en aperturas intercontinentales o rifts en la corteza continental (Figura 20). En el caso del Picacho este tiene su origen debido a la apertura del rift Trans-Pecos (Robín, 1982) que muchos han interpretado el brazo abortado, pero la evidencia en campo no ha podido probar la existencia de este rift.

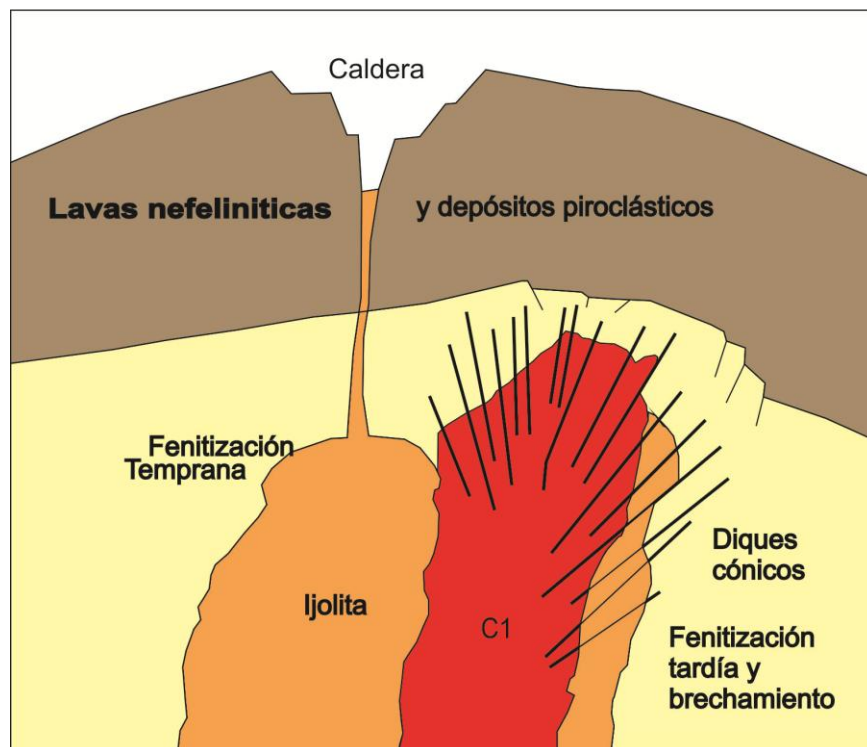


Figura 20. Sección idealizada de la asociación carbonatita – nefelinita y los fenómenos de fenitización en el rift de África oriental (Bailey, 1985)

Regionalmente las evidencias geológicas que podemos reconocer son un sistema de pliegues que se formaron en la orogenia Laramídica y un sistema de fallamientos normales se generaron después de dicha orogenia. Los esfuerzos distensivos generaron inestabilidad en el macizo rocoso lo que facilito el ascenso de un magma demasiado viscoso que se emplazó a manera de un Lacolito con una composición básica-alcalina.

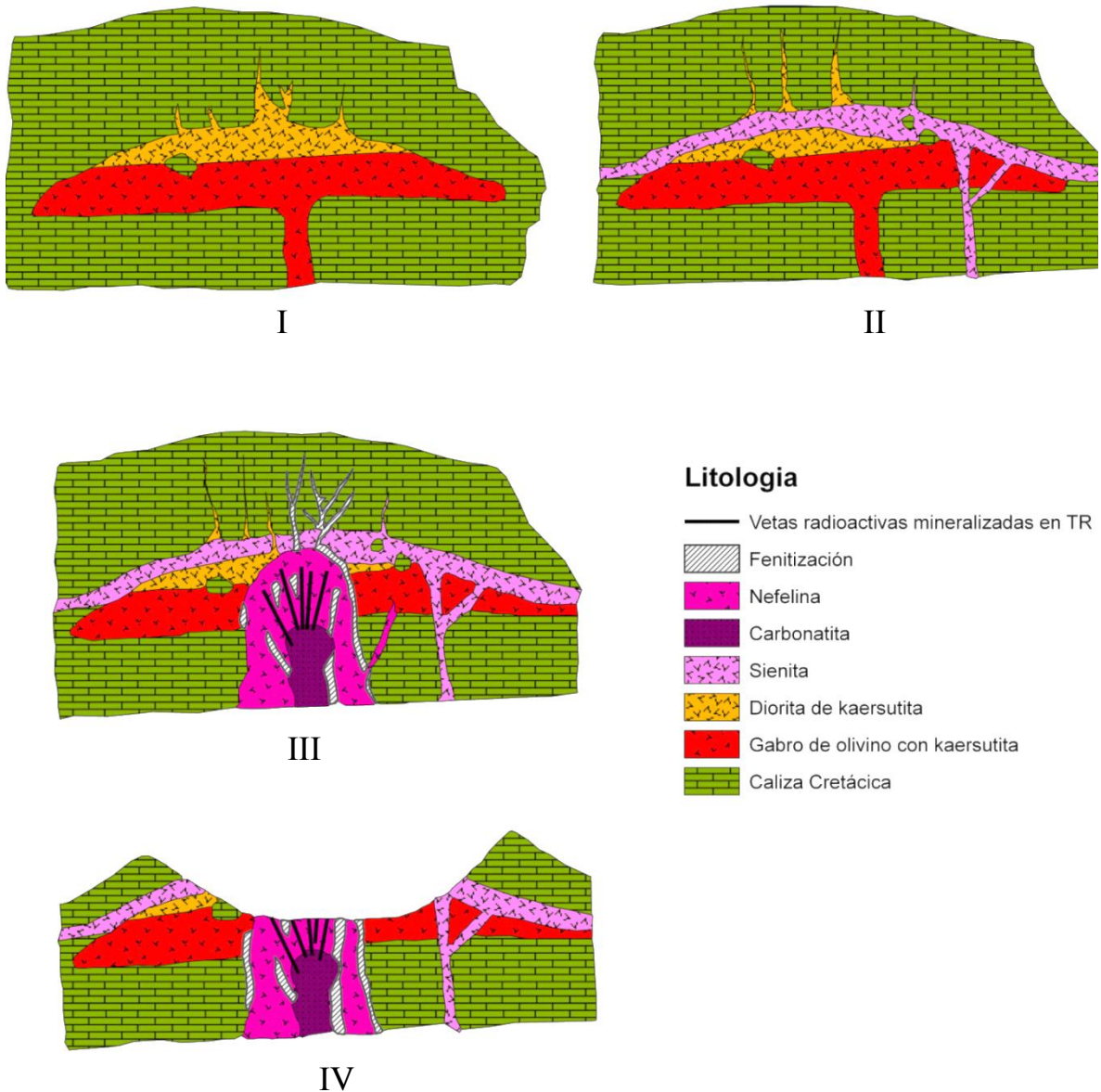


Figura 21. Modificado de (Elías-Sánchez 1990). Representación gráfica del emplazamiento del lacolito que formo al yacimiento Picacho.

- I. En la primera etapa (Figura 21) se realiza el ascenso de un magma viscoso de composición básica-alcalina, el cual se diferenci6 en dos fases; la fase m6s ligera corresponde a una diorita la cual comenz6 ascender a manera de diques en las zonas de debilidad entre las calizas del cret6cico y la fase m6s densa corresponde al gabro.
- II. En la segunda etapa se reconoce otra intrusi6n de un cuerpo alcalino correspondiente a la sienita enriquecida en feldespatoides. Esta adopta una forma de manto y stock en las zonas m6s d6biles.
- III. En la tercera etapa la carbonatita se emplaza producto de un tercer evento intrusivo, la composici6n de este cuerpo 6gneo alcalino gener6 un zoneamiento; en la zona central se encuentra la carbonatita (Ram6rez y Keller, 2000), est6 se encuentra rodeada por una serie de rocas b6sicas que hemos clasificado en general como una nefelina, El6as-Herrera (2001) las clasifica como una suite dentro de las ijolitas. Cong6nito a estos procesos por la intrusi6n de la carbonatita en las rocas gabr6icas se produce la fenitizaci6n y el enriquecimiento de tierras raras en los diques, la mayor concentraci6n de lant6nidos se encuentran en minerales de monacita (El6as Herrera m. 1982), dichos diques tienen un espesor de entre 5 cm a 30 cm de ancho se pueden reconocer por el alto grado de alteraci6n y por contener peque6os cristales de apatito.
- IV. El estado final del yacimiento la parte central ha sido erosionada, lo que permiti6 observar el zoneamiento de las rocas 6gneas. El intemperismo y la erosi6n gener6 una cubierta de aluvi6n sobre la unidad m6s abundante y expuesta que es el gabro. Se reconocieron algunos diques de composici6n traqu6tica que pueden corresponder a un segundo evento magm6tico o bien pueden ser resultado de la diferenciaci6n de la c6mara magm6tica de d6nde ascendió el complejo de rocas b6sicas-alcalinas.

La localidad del rancho la Saga no se incluye en este modelo de yacimiento debido a que los valores por estos elementos no presentan una gran anomalía. Incluso la génesis de este cuerpo intrusivo granodiorítico puede pertenecer a un evento magmático aislado a la intrusión del complejo de rocas del Picacho, esto se infiere con base a la informaci6n obtenida en campo. Aunque no se descarta una relaci6n gen6tica de este cuerpo magm6tico intrusivo con los efectos distensivos de la orogenia Laramídica.

4.2 Mineralogía y zonas de alteraciones

Debido al magmatismo alcalino primigenio que dio origen al complejo de rocas básicas-alcalinas, las alteraciones que se presentan en este yacimiento son atípicas debido a la abundancia de feldespatoideos presentes en este tipo de litologías básico-alcalinas.

Oxidación. Esta alteración se produce cuando los minerales ferromagnesianos ceden electrones al entrar en contacto con el ion OH^{-1} . Esta alteración se observó en casi todo el complejo se identificaron minerales típicos de oxidación de las rocas ígneas del complejo cuyos productos de la oxidación se manifestaron en minerales como hematita, limonita, goethita y jarosita. (Figura 22).



Figura 22. Oxidación presente en roca gabrónica se observa la alteración de los piroxenos.

Uratilización. Se caracteriza por la transformación total o parcial del piroxeno en la actinolita con bordes de reacción de hornblenda o clorita (Figura 23). En cambio en las clinopiroxenitas uratilizadas, la augita ha sido periféricamente transformada en agregados fibrosos de actinolita y prismas de hornblenda en continuidad cristalográfica con el piroxeno. Esta alteración se observa el piroxenotitano augita que altera al anfíbol kaersutita rico en titanio, la mayoría de estos piroxenos presentan un borde de reacción.



Figura 23. Se observa la alteración del piroxeno con bordes de reacción a anfíbol.

Fenitización. Es característica de carbonatitas y consiste esencialmente en el desarrollo de nefelina, piroxenos y anfíboles sódicos en estas rocas. Los cambios químicos son complejos y dependen de gran medida de la composición de las rocas carbonatíticas. Ocurre generalmente una pérdida de sílice y una adición de Na, K, Fe, Ca y CO_2 , pudiendo o no ser significativa la presencia de elementos menores o traza (Ba, Ti, Nb, Zr, P, etc.). En el Picacho existe evidencia de varias etapas de fenitización: la primera corresponde a la fenitización incipiente que se observa en el gabro y la diorita y puede estar asociada al emplazamiento de la nefelina; la segunda está representada por el metasomatismo alcalino que se produjo en la nefelina (Elías-Herrera et. al. 1990).

Se presume que esta alteración es la que produce la mineralización de tierras raras, algunos autores reportan minerales de importancia económica como la baestanita, monacita, britholita, que hasta la fecha no han sido reportados.

Cancrinitización. Esta alteración ocurre cuando la nefelina entra en contacto con carbonatos a condiciones de altas temperaturas con concentraciones altas de CO₂. Esta se infiere con base a los trabajos de (Ramírez y Keller 2000, Elías-Herrera 1990) y las relaciones de campo, donde se reconocieron rocas ricas en feldespatoides y la presencia de carbonatos en las rocas básicas - alcalinas.

Marmorización. Esta se produce cuando la roca ígnea entra en contacto con una roca carbonatada. Se observó generalmente en las cañadas donde el contacto del cuerpo ígneo y las calizas era más evidente, se puede identificar en dos grados de intensidad; la primera se puede identificar por la textura granoblástica de grano fino que es cuando se produce una recristalización de todo el carbonato de calcio y la segunda de menor grado se observa una textura granoblástica que evidencia un efecto térmico de menor grado.

4.3 Potencial minero

En 1984 se reportan valores de interés económico para elementos de Tierras en las rocas alcalinas del proyecto de asignación Picacho en este estudio semi-regional se reportaron valores de 5,825 ppm de Ce: 3,640 ppm de La: 1,765 ppm (Hirayama, 1984)

Una década después se realiza una prospección minera de semi-detalle-detalle zona central de la Asignación Picacho se determinó una abundancia de elementos de REE, como resultado de muestreo de estructuras mineralizadas con valores de 1.3% de Óxidos de Tierras Raras (OTR), 60% de las muestras analizadas reportan una media de 4,824 ppm de lantánidos (Hernández y Parga, 1989).

En año 2012 la Gerencia de Estudios Especiales e Investigación (GEEI) del SGM, considerando los datos reportados por autores previos, que indican la presencia de ETR en rocas alcalinas de las sierras de Tamaulipas, San Carlos y Picacho, el valor promedio de la sumatoria total de las 36 muestras es de 338 ppm de ETR.

En el presente trabajo se realizaron trabajos de geología a semidetalle donde se recabaron un total de 122 muestras (ver anexo tabla 3) las cuales se analizaron por el método de espectroscopia de masas, de las cuales 6 muestras resultaron atractivas, estas se localizaron en la parte central del complejo de rocas alcalinas del rancho Picacho, donde la muestra Pic-12 la que presento el mayor contenido de tierras con una concentración de Ce: 5,684, La: 3,122, Nd: 1878, Pr: 506, Sm: 475.8 Y: 2,033, Th: 1,776 y U: 15 en partes por millón.

V. MUESTREO

Se consideraron los siguientes criterios para la recolección de datos y toma de muestras:

- Se realizaron vuelos de alta resolución en el área de la asignación para determinar la existencia de anomalías de Th y U (Figura 24).
- Se efectuó un muestreo aleatorio de esquirra de rocas y muestreo de suelos en zanjas para determinar el porcentaje de elementos mayores por fluorescencia de rayos X de tierras raras por ICP - SM.
- Verificación de campo en localidades donde se reportan rocas de interés económico.
- Realizar análisis por tierras raras en muestras obtenidas en la zona Rancho La Saga donde no se tenían muestreos de trabajos previos.

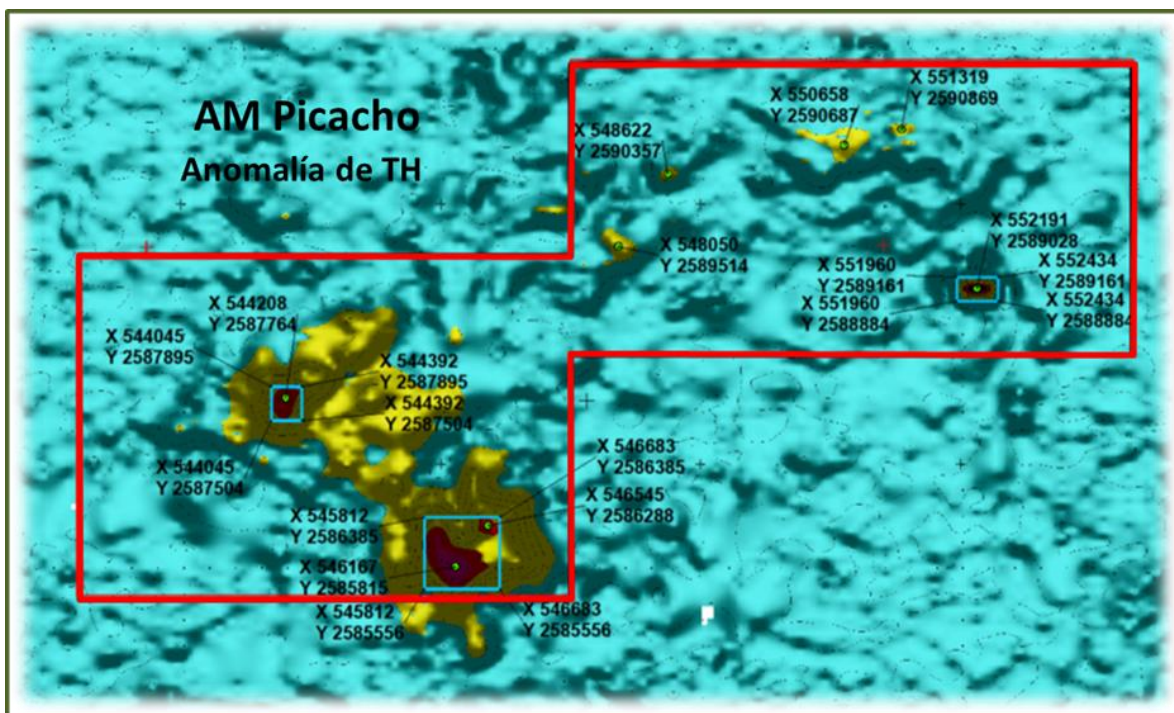


Figura 24. Plano de Anomalías por Th. Se observan las partes en café corresponden a las anomalías de mayor intensidad.

Con base a esos criterios se pudieron delimitar áreas de interés y llevar a cabo un muestreo sistemático donde se colectaron las rocas con interés geológico-minero para delimitar la zona de interés comercial del área.

Del periodo de campo de Abril - Agosto del 2013 se recabo un total de 122 muestras de esquirla de roca (ver anexo tabla 3), las cuales fueron analizadas por el contenido de tierras raras y por contenidos de uranio e ytrio en los laboratorios del SGM en Chihuahua, por espectroscopia de masas.

Como resultado final se generó una cartografía escala de 1:10,000 donde se vaciaron los muestreos correspondientes de cada mes y al correlacionarlos con los puntos de control, se generó la geología local del área. Debido a las dimensiones de la asignación éste se tuvo que dividir en dos cartas las cuales se pueden observar en la figura 25 y la figura 26.

En estas cartas se encuentra plasmada la geología a semidetalle del área junto con los muestreos realizados en la AMP.

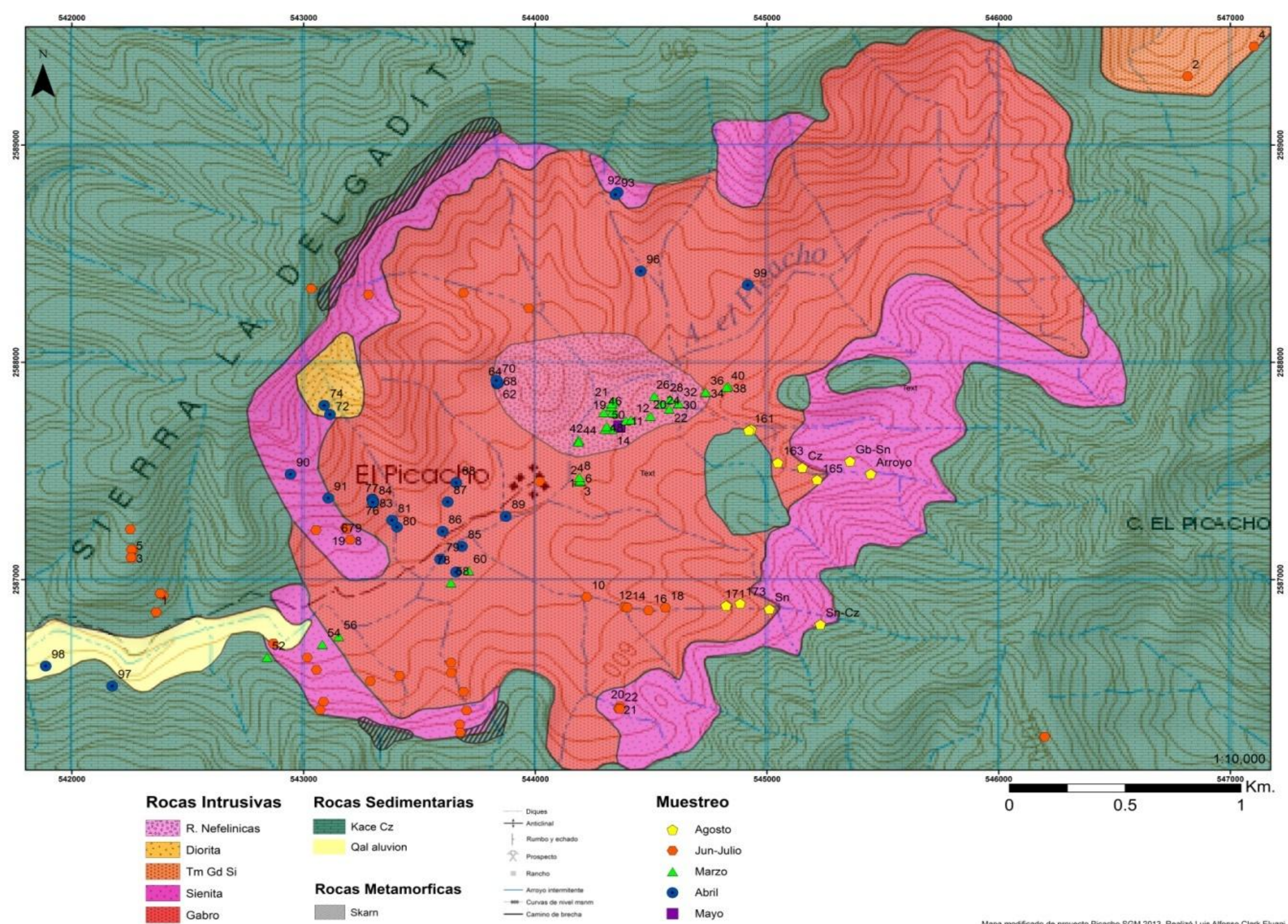


Figura 25. Plano geológico a semidetalle escala 1:10,000 de la locación del área rancho Picacho.

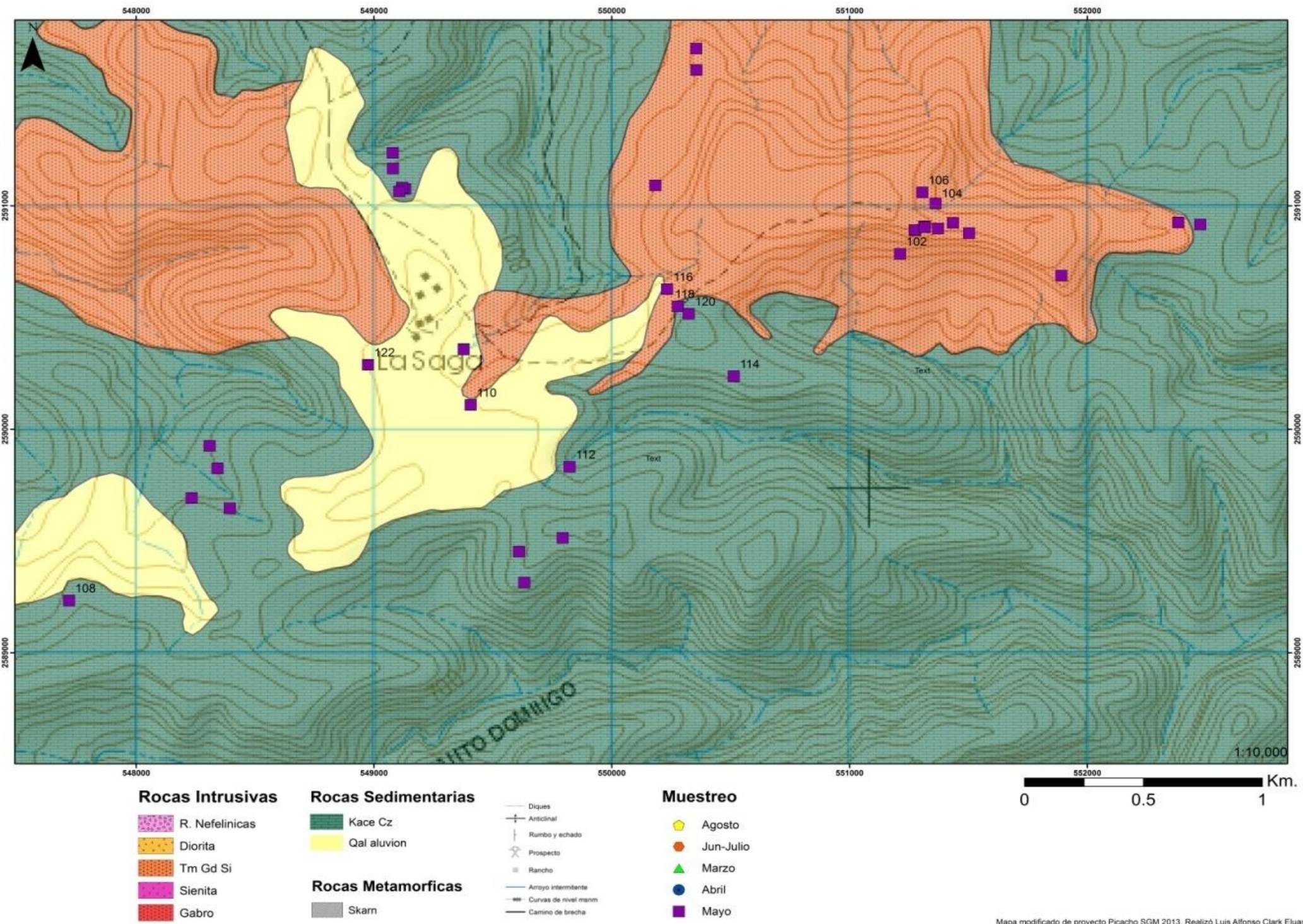


Figura 26. Plano geológico a semidetalle escala 1:10,000 de la locación del área rancho la Saga.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Lo que se conoce de yacimientos de tierra raras a nivel mundial es que los minerales de tierras raras son abundantes en carbonatitas, rocas alcalinas ultrabásicas a félsicas como la serie urita-ijolita-melteigita y sienita de nefelina, descienden en el basalto alcalino, toleitas continentales, komatita, komatiitas basálticas, andesitas, cuarzo dioritas, sienogranitos y aumentan ligeramente en granitos alcalinos como se puede observar en la siguiente tabla (Tabla 1).

Tabla 1. Contenido de ETR en rocas ultrabásicas, básicas y rocas ricas en álcalis. Las rocas silíceas son incluidas en el grupo de las rocas ricas en álcalis. P. Henderson 1984.

Tipo de Roca	Rango	
	% ETR (ppm)	
1. Kimberlita	115	4613
2. Carbonatita	72	15515
3. Serie Ijolita (urita-melteigita)	145	1334
4. Lamprófidos	261	1033
5. Toda roca alcalina Máfica:		
a) Máfico	69	1453
b) Intermedio	92	1750
c) Félsico	92	1750
• Basalto alcalino	130	250
• Bastanita, basalto nefelinico, nefelinitas	202	597
• Traquitas, fonolitas, sienitas asociado con basanitas.	380	1750
• Asociado con basalto transicional o alcalino	316	738
• Basalto rico en K	255	1453
6. Toleita continental	15.2	322

Al comparar el rango de porcentaje de ETR en las rocas de la tabla 1 con los datos obtenidos de los análisis de las muestras del AMP se observa que los resultados obtenidos superan la media de los yacimientos relacionados con la serie de rocas urita-ijolita-melteigita. Con estos datos también se podría clasificar a este tipo de yacimiento como uno de tipo máfico de carácter intermedio a félsico por la concentración principal de tierras raras y las rocas encontradas.

Con el fin de determinar si los contenidos de ETR presentan contenido de importancia económica se procedió a realizar un análisis de las muestras obtenidas y realizaron los siguientes dispersión de araña normalizados con la concentración de ETR de la condrita (Sun,S. & McDonough, 1989).

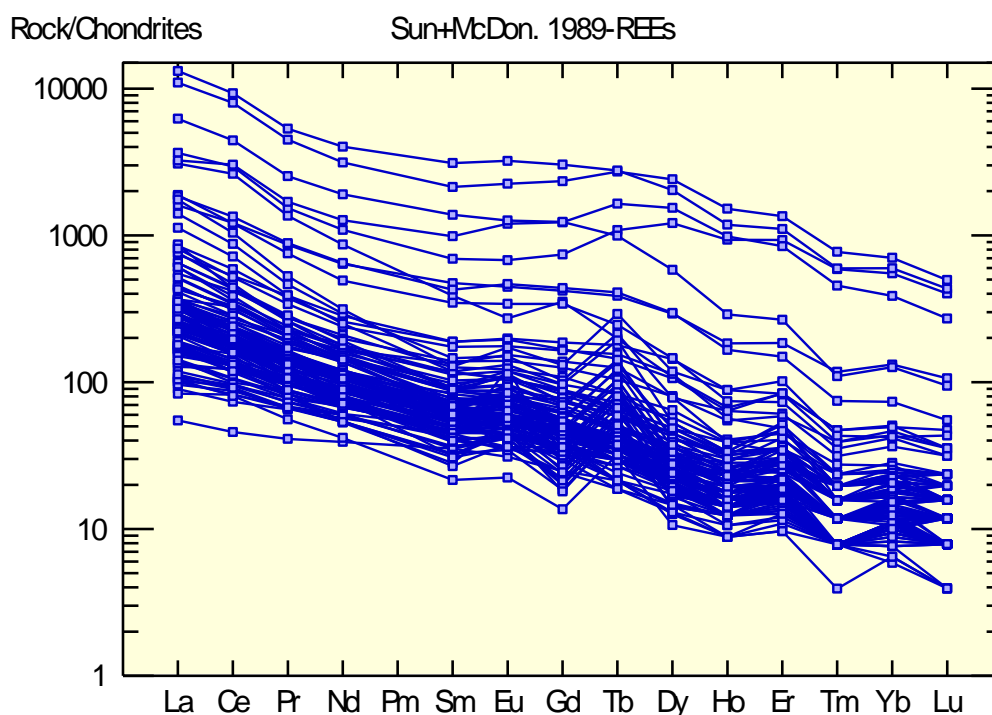


Figura 27. Grafico de dispersion de condrita vs 122 muestras de ETR se pueden observar que existe cierta tendencia al tener altas concentraciones de ETR entre los 100 pmm y 1000 pmm llegando a picos mayores a las 10,000 ppm

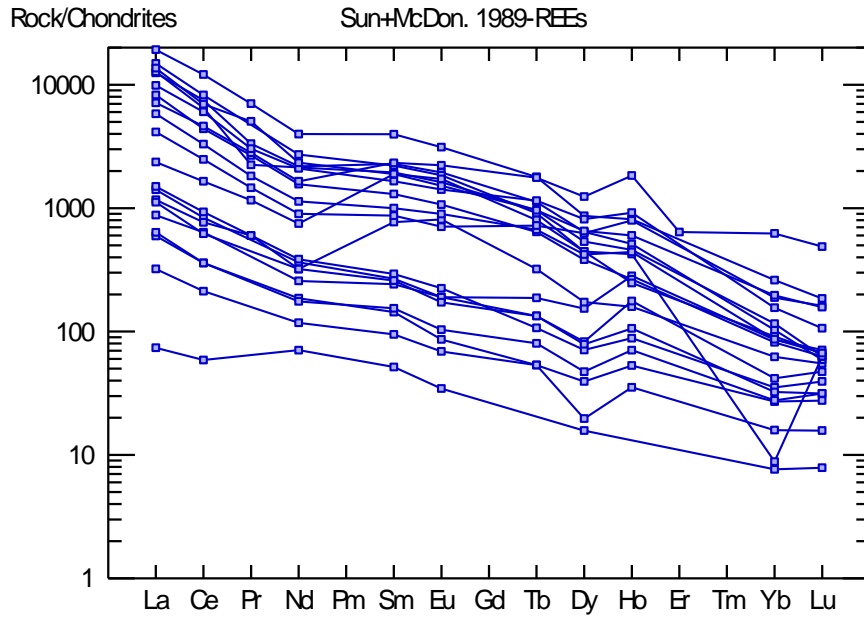


Figura 28. Valores geoquímicos de muestras de roca total por elementos de tierras raras y actínidos (Th y U) del complejo ígneo El Picacho, Sierra de Tamaulipas (modificado de Hernández et al., 1989).

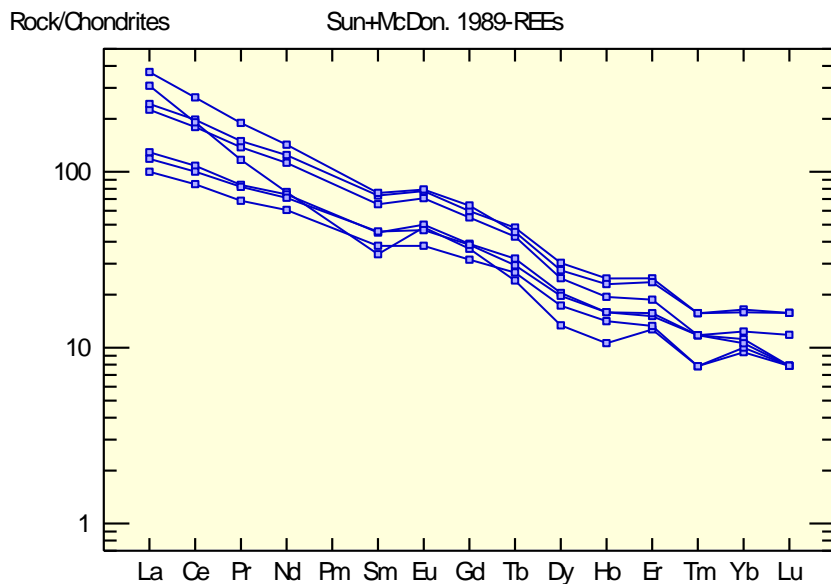


Figura 29. Resultados de química analítica por ICP-MS del muestreo realizado en la sierra de Tamaulipas por ETR, torio y uranio. Se colectaron siete muestras en afloramientos de la asignación minera Picacho (Sp20 a Sp21D).(GEEI, 2013).

Con en análisis grafico se ve que existe cierta tendencia en las concentraciones en las distintas etapas que ha tenido el proyecto y éstos valores evidencian la anomalía existente de ETR los cuales por su valor económico representan un interés comercial.

Se observa que algunos de los datos obtenidos en trabajos (GEEI, 2013) no superan el valor medio de las anomalías, sin embargo en las muestras colectadas por Hernández, 1989 superan a los valores del presente trabajo lo que demuestra, que incluso con los nuevos métodos analíticos las concentraciones de este yacimiento presentan valores de importancia economía donde se puede observar en la figura 27 que las concentraciones de La y Ce llegan al 1% de la concentración total de la roca.

Para fijar el potencial económico del yacimiento se debe tomar en cuenta los valores comerciales de las ETR, las cuales a nivel de producción se encuentran controlado por China quien produce un volumen aproximado del 95% (Long and Foley, 2010). Actualmente el precio de las ETR no se cotiza en bolsa sino que se definen en negociaciones privadas, lo que volatiza el mercado y hace que los precios puedan ser muy atractivos o tener una rápida picada.

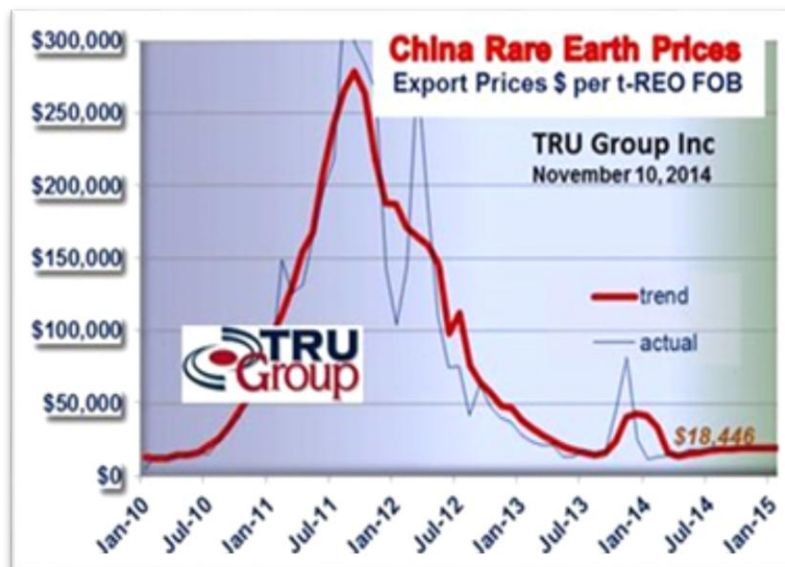


Figura 30. Se observa los precios a través de los años y las proyecciones de los valores del mercado de las ETR Tomada del estudio realizado por la compañía consultora grupo TRU

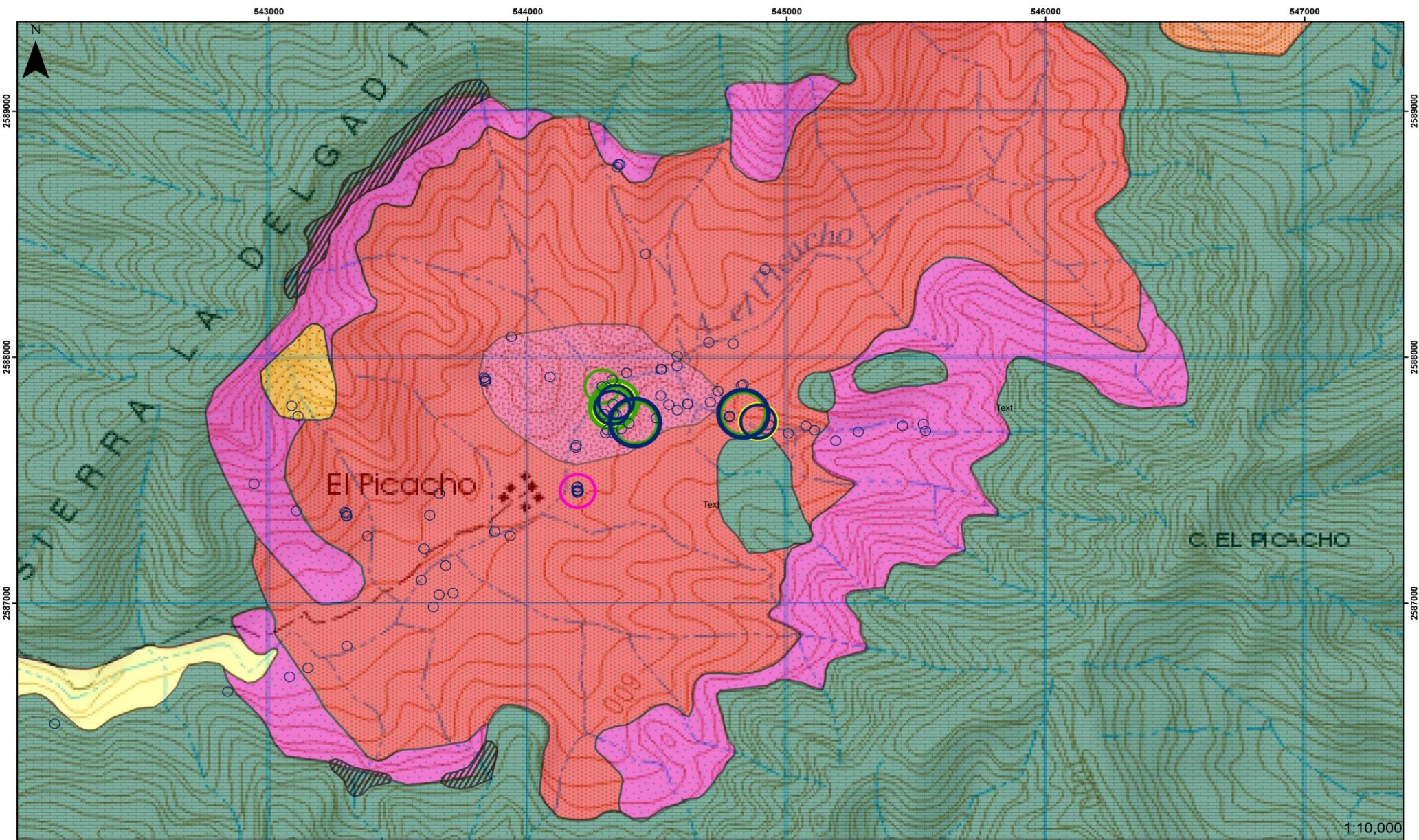
<https://wwwf.imperial.ac.uk/earthscienceandengineering/rocklibrar y/viewglossrecord.php?gID=00000000107>

Sin embargo los precios de las ETR tuvieron un incremento meteórico entre el año 2009 y 2011 en que alcanzaron su pico máximo (figura 30). En ese lapso muchas de ellas multiplicaron su precio por 10 e incluso algunas por 20 para (óxido de Lantano) o hasta por 30 (óxido de Cerio). Luego de eso, durante 2012. A pesar de la bajada relativa de los precios en 2012, éstos se mantienen aproximadamente en el 500% de los valores de 2009. Entre las más caras puede citarse el Europio, que ha llegado a costar 5,000 dólares el kilo, frente a un precio de 500 \$/Kg. en 2009.

Tabla 2. Lista de precios de ETR por kilogramo del 2013 (metal-page).

Metal	Precio US\$/Kilogramo.
Cerio (Ce)	13.0
Disproso (Dy)	625.0
Europio (Eu)	1350.0
Gadolinio (Gd)	132.5
Lantano (La)	10.5
Neodimio (Nd)	88.0
Prasedomio (Pr)	155.0
Samario(Sm)	33.5
Ytrio (Y)	60.0

Como resultado final se procedió a realizar un mapa donde se pudieran observar las rocas que presentaban los mejores valores de ETR, con en los elementos con de mayor demanda en el mercado. Lo cual se realizó con los porcentajes de los contenidos totales para los siguientes elementos: Disproso, Europio, Prasedomio y se utilizó el Cerio para identificar las muestras que presentan el 1% de contenido total de ETR contenidos en los mapas geoquímicos en las figuras 31 y 32.



Rocas Intrusivas

- R. Nefeliniticas
- Diorita
- Tm Gd Si
- Sienita
- Gabro

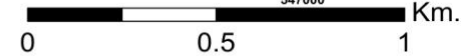
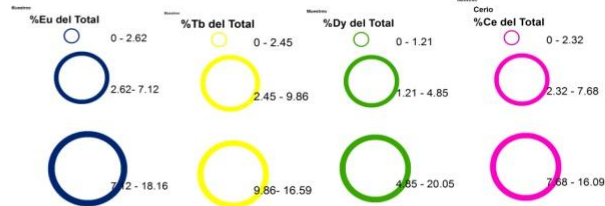
Rocas Sedimentarias

- Kace Cz
- Qal aluvion

Rocas Metamorficas

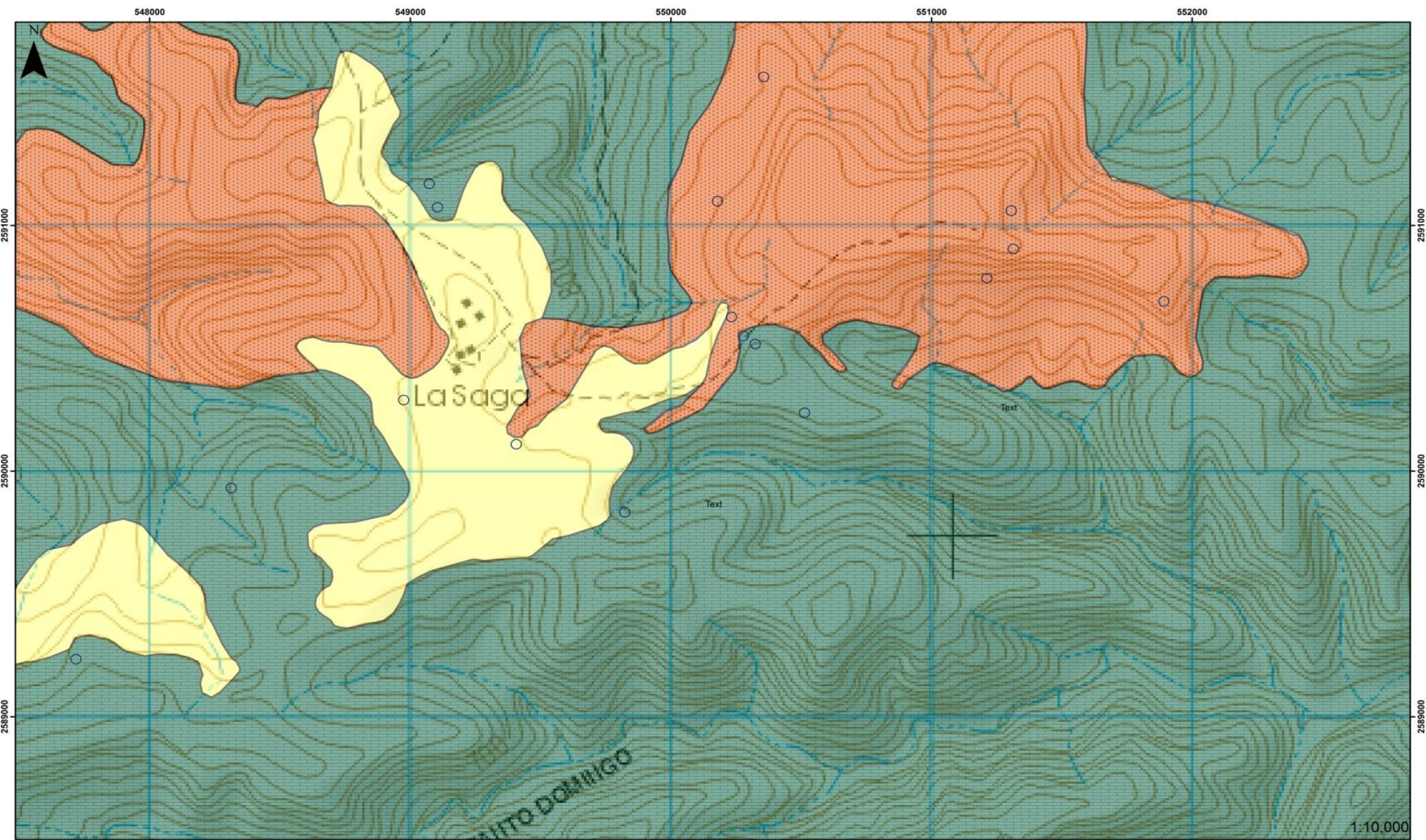
- Skarn

- Anticlinal
- Rumbo y echado
- Prospecto
- Rancho
- Arroyo intermitente
- Curvas de nivel msnm
- Camino de brecha
- Diques



Mapa modificado de proyecto Picacho SGM 2013. Realizó Luis Alfonso Clark Eluani

Figura 31. Plano geológico a semidetalle y de concentración de ETR escala 1:10,000 de la locación del área rancho Picacho.



Rocas Intrusivas

- R. Nefelinicas
- Diorita
- Tm Gd Si
- Sienita
- Gabro

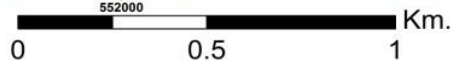
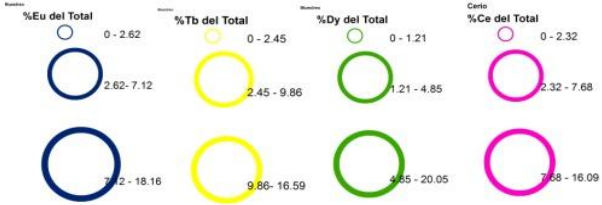
Rocas Sedimentarias

- Kace Cz
- Qal aluvion

Rocas Metamorficas

- Skarn

- Anticinal
- Rumbo y echado
- Prospecto
- Rancho
- Arroyo intermitente
- Curvas de nivel msnm
- Camino de brecha
- Diques



Mapa modificado de proyecto Picacho SGM 2013. Realizó Luis Alfonso Clark Eluani

Figura 32. Plano geológico a semidetalle y de concentración de ETR escala 1:10,000 de la locación del área rancho la Saga.

Finalmente para ver el potencial a profundidad de la zona donde se concentraron los mejores valores, se decidió aplicar geofísica a detalle donde se requirió el realizar un zanjeo a cada 100m con el fin de tomar lecturas cada 10 m con un cintilómetro para detectar la anomalía de Th y U, ya que estos minerales se encuentran asociados a los ETR, de esta manera se pretendía delimitar la zona de alteración del cuerpo intrusivo. Con los datos obtenidos se puede denotar (Figura 33), que la teoría de un cuerpo de forma cilíndrica en la parte central se confirma por los valores obtenidos con el cintilómetro.

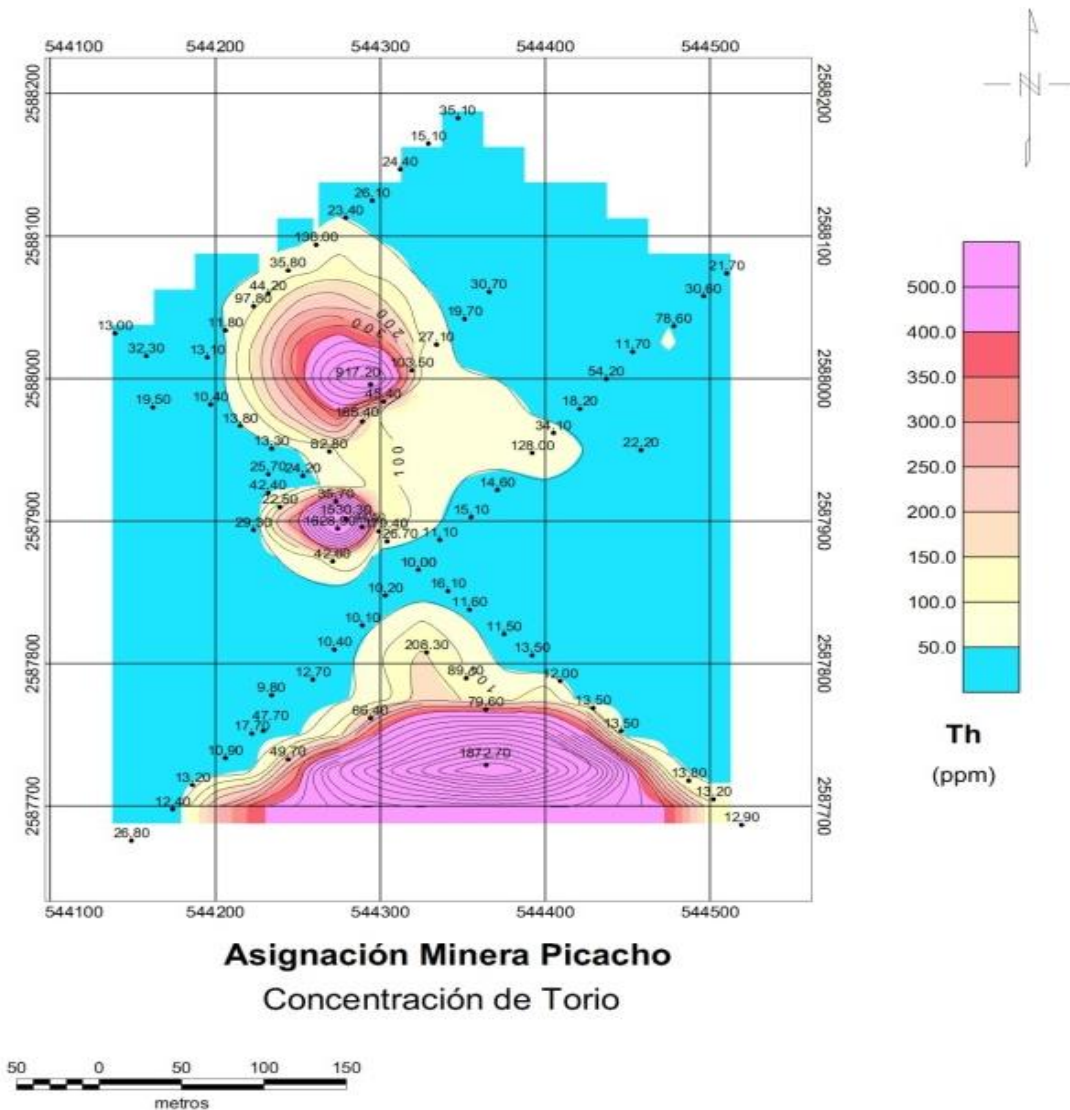


Figura 33. Mapa de configuración del canal de Torio.

En un arreglo geofísico abierto cubriendo una mayor cantidad de superficie se pudieron obtener datos que confirman el modelo geológico y el modelo de yacimiento. Es en la parte central donde se tienen las mayores concentraciones de elementos de tierras raras esto lo sugiere las lecturas de Th además del muestreo geoquímico realizado.

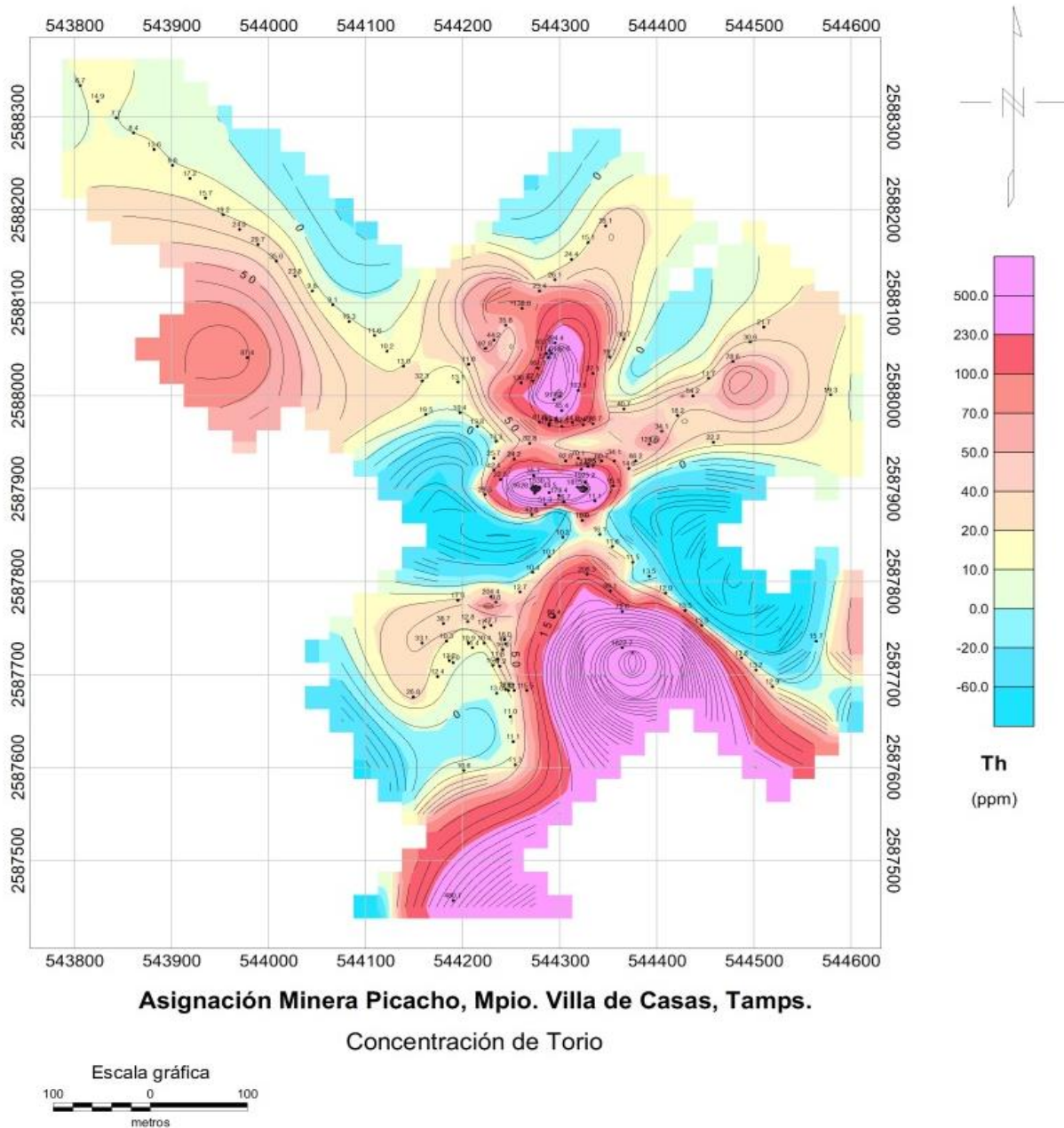


Figura 34. Mapa geofísico que muestra la anomalía en la parte central del rancho el Picacho.

VII. CONCLUSIONES

Se encontró en este estudio, realizado en la AMP, que existen concentraciones de ETR superiores a los contenidos de la condrita de Sun & MacDonough del 1989 y se reportan 2 muestras de rocas que presentan hasta el 1% de contenido de La y Ce.

Al evaluar las condiciones del mercado con las concentraciones de ETR las más atractivas por su aplicación y precio en el mercado son el Dy, Pr y el Eu, que en el yacimiento se encuentran en la zona central superando a los valores de la condrita Sun & MacDonough del 1989.

La geofísica revela que existe un cuerpo a profundidad debido a las altas concentraciones de Th y U que detecta el cintilómetro.

Se encontraron las siguientes unidades de rocas identificadas por sus características texturales y mineralógicas, las cuales se correlacionaron con las rocas reportadas por Ramírez y Keller, 2000 dando como resultado las siguientes unidades litológicas: gabro, sienita de nefelina, rocas nefelínicas (ijolita), traquita, fonolita, granito y diorita.

La carbonatita que se describe con base a los pequeños afloramientos que se encontraron presenta una similitud con las características de las rocas descritas por Ramírez y Keller en el 2000, sin embargo los estudios petrográficos realizados por el SGM a muestras de esquirla de roca obtenidas en esos afloramientos no resultaron como carbonatitas.

Con las relaciones de campo se pudo confirmar el modelo teórico del emplazamiento del complejo alcalino de la AMP, propuesto por Elías-Herrera, 1982 y Hirayama, 1984.

La deformación cortical formada en la orogenia Laramídica así como los procesos de extensión postlaramídicos dieron el tiempo y espacio para el emplazamiento de este cuerpo intrusivo de magma alcalino que dio origen a la anomalía de ETR en la AMP.

Con base en el modelo geológico y los valores de ETR obtenidos en este estudio la parte central del complejo de rocas ígneas de la asignación AMP es la zona con mayor concentración de ETR.

El origen de la mineralización se debe primordialmente a los múltiples intrusivos de composición alcalina, que al ponerse en contacto produjeron circulación de fluidos hidrotermales que dio como resultado una alteración por cancrinitización y fenitización, las cuales favorecen la concentración de ETR.

VIII. RECOMENDACIONES

Realizar un muestreo de detalle en la zona central con una retícula dividida cada 100 m tomando muestras cada 10m de suelo, con el fin de establecer la dispersión y el halo de alteración hidrotermal producida por la intrusión de la carbonatita.

Para definir el potencial minero y de explotación se recomienda la elaboración de 20,000 m lineales de geofísica por el método de radiometría de rayos gamma, en las zonas que presenten las anomalías con los valores más altos.

Un programa de barrenación sistemática de 50 barrenos cortos distribuidos en la zona central para un total de 3,000 m. para confirmar o descartar si se trata realmente de un yacimiento de tipo carbonatita.

Tomando en cuenta el valor comercial de los ETR el proyecto cuenta con potencial de explotación, pero se debe hacer una valoración de cuando capital se ha invertido en este yacimiento con la finalidad de verificar si con los precios actuales de las ETR esté presente un alto valor comercial.

Los periodos de trabajo de campo deben ser cortos y efectuarse en la temporada de secas con el fin de evitar que la espesa vegetación cubra las rocas y los sitios de interés, y que las condiciones climáticas del valle no lleguen a ser como en temporal de aguas que puede llegar hasta 45 ° C.

Como sitio de interés para una visita de campo para estudiantes de licenciatura, en esta localidad se encuentran unos de los conjuntos litológicos más atípicos de la República Mexicana.

IX. BIBLIOGRAFÍA

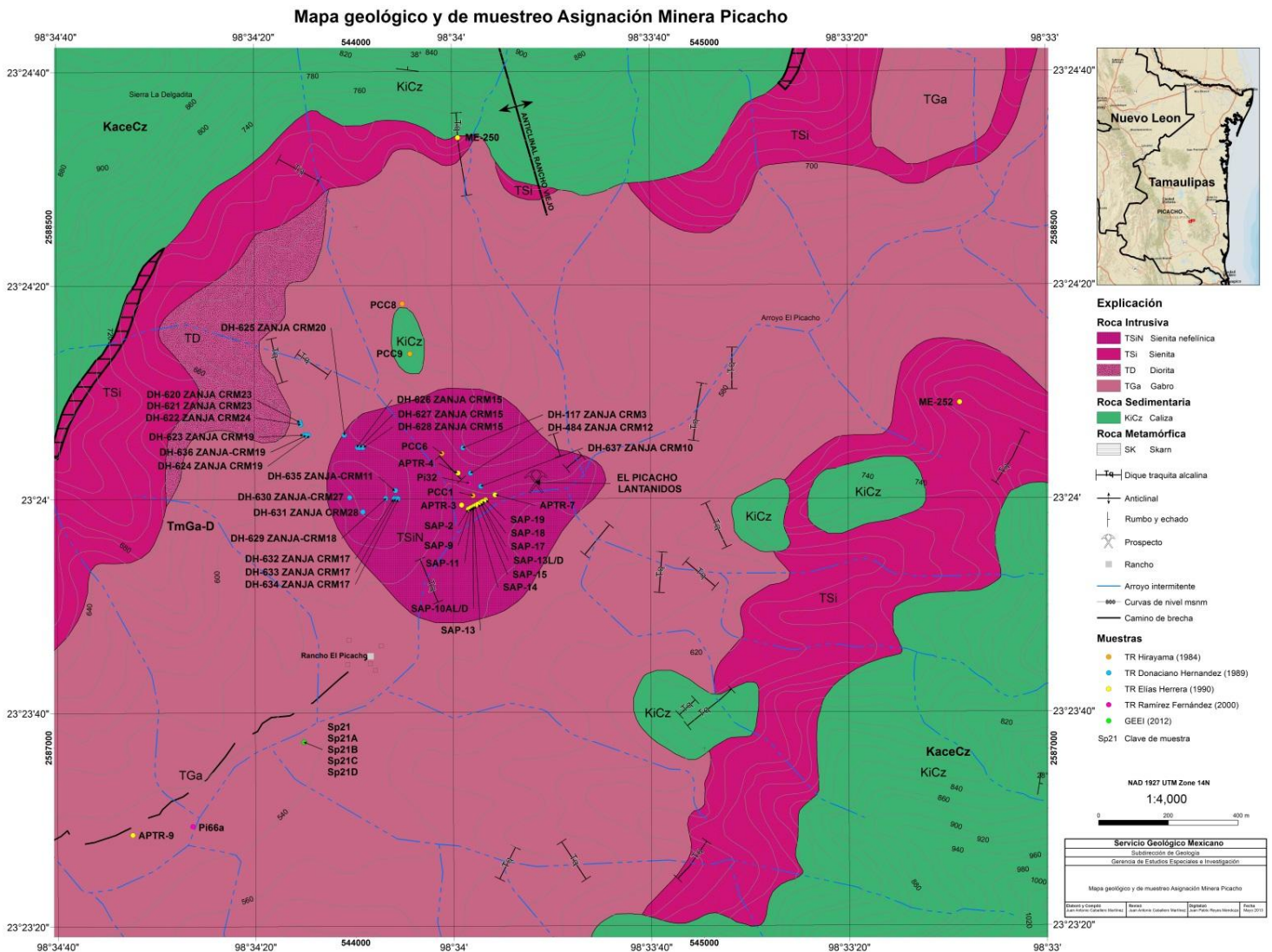
- Bailey, D.K. 1985.** Fluids, melts, flowage and styles of eruption in alkaline ultramáfica magmatism. *Trans. Geol. Soc. S. Afr.* 88: 449-457.
- Caballero, J. M., Amezcua, N., Tapia, M. A., 2013;** Reporte de Actividades: Asignaciones mineras Cruillas I y II, Tres Palos, Cerro del Diente y Picacho, Edo Tamaulipas ETR; Gerencia de estudios especiales e investigación; Inédito.
- Deer, W. A., R. A. Howie, and J. Zussman (1992),** An introduction to rock forming minerals, 2nd Edition, Longman.
- Demant, Alain, y Robin, 1975.** Las fases del vulcanismo en México; una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el cretácico; Univ. Nal. Autónoma México, Isnt. Geología, Revista, 75 (1), p. 70-82.
- Elías, H. M., and R. E. Obregón (1982),** Proyecto Tierras Raras (Etapa de reconocimiento), Consejo de Recursos Minerales, Gerencia de Estudios Especiales, Departamento de Investigación Aplicada. 63 p.
- Elías-Herrera, M., 1983,** Rocas Alcalinas y mineralización de lantánidos en el área de Picacho, Sierra de Tamaulipas, Consejo de Recursos Minerales, Revista, p. 61-75.
- Elías, H. M., Rubinovich K. R., S. C. R. Lozano, and Z. J. L. Sánchez (1990),** Petrología y mineralización de tierras raras del complejo ígneo EL Picacho, Sierra de Tamaulipas, Revista del Instituto de Geología, 108, 24-97.
- Keen, C.E. 1985.** The dynamics of rifting: deformation of the lithosphere by active and passive driving forces. *Geophys. J.R. Astron. Soc.* 80: 95-12
- Hall, A., 1996,** *Igneous Petrology:* Longman Group Limited, 551 p.
- Hernández, D., Arias, M., Fernández, J., 1987,** Informe preliminar del área el Picacho, municipio de villa de casas, edo., de Tamaulipas; Archivo técnico CRM, Saltillo, Coahuila., 25 p.

- Hernández P. D., Parga P. J. de J., and H. T. R.L. (1989)**, Estudio geológico minero de semidetalle-detalle zona central de la Asignación Picacho, Municipio de Villa de Casas, Tamaulipas. Consejo de Recursos Minerales, Subgerencia Regional Zona Noreste, Residencia Coahuila, Reporte inédito, 131 pp.
- Hernández, P. D., P. J. d. J. Parga, y T. R. L. Hernández (1989)**, Estudio geológico minero de semidetalle-detalle zona central de la Asignación Picacho, Municipio de Villa de Casas, Tamaulipas. Rep., Consejo de Recursos Minerales, Subgerencia Regional Zona Noreste, Residencia Coahuila, 131 p.
- Henderson, P. (1984)**. Rare Element Geochemistry. Elsevier, Amsterdam. 509 págs.
- Hirayama, A. (1984)**, Rare earths mineralization in alkali rocks in Tamaulipas State. 17 p.Rep.
- Laurence, R., 2005**, Ore-forming processes; Blackwell; pag. 27,340
- Ramírez, F. J. A., Keller, J., Hubberten, H. W., 2000**, Relaciones genéticas entre las carbonatitas y las rocas nefelínicas del complejo El Picacho, Sierra de Tamaulipas, NE de México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 17, (1). p. 45-65.
- R. Long, Van Bosen, Foley, Cordier., 2010**; The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States- a Summary of Domestic Deposits and a Global Perspective; USGS; Scientific Investigations Reports; p 2-7.
- Robin, C. (1982)**: Relations volcanologie-magmatologie-geodynamique: application au passage entre volcanismes alcalinet andesitique dans le sudmexicarn. Annales Scientifiques de l'Universitd de Clermont-Ferrand II. Geologie Mineralogie,70.
- Sun, S.-S & McDonough, W.F., 1989**. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. Eds. Magmatism in Ocean Basins. Geol. Soc. Spec. Publ., London, pp. 313–345.

MEMOGRAFIA

Los Metales de “Tierras Raras”, el nuevo oro minero. Enlace Minería. Disponible en [<http://enlacemineria.blogspot.mx/2014/04/los-metales-de-tierras-raras-el-nuevo.html>].
Fecha de consulta [20 de Mayo de 2015].

X. ANEXOS



Mapa geológico de detalle de la porción occidental de la asignación minera Picacho, con ubicación del muestreo realizado por Hirayama, 1984, Hernández et al., 1989, Elías, 1990, Ramírez, 2000 y GEEI, 2012. Modificado de Elías-Herrera, 1990.

Tabla 3. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de roca total por elementos de tierras raras y actínidos (Th y U) del complejo ígneo El Picacho, Sierra de Tamaulipas (modificado de Hernández et al., 1989).

Muestra	14R - WGS84 UTM		La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm	Sc ppm	Σ ETR %	Th ppm	U ppm
	X	Y																		
3920	544329	2587791	4560	7400	667	1860	608	181	<500	67	220	46	<100	<5	44.4	4.7	28.3	1.569	2050	51
3921	543838	2587938	334	513	<50	170	41	11	<200	7	39	16	<100	<1	14.6	1.8	10	0.116	95	16
3922	543838	2587938	76.2	130	<50	55	14.5	4	<200	2	5	2	<100	<0.5	2.7	0.4	29.9	0.032	13	1
3924	543852	2587901	277	470	57	150	118	47	<200	12	44	9	<100	<1	10.6	1.4	46.9	0.124	418	<2
3925	543863	2587901	17.5	36	<50	33	7.9	2	<200	<1	4	<1	<100	<0.5	1.3	0.2	65.9	0.017	4.7	<1
3926	543966	2587901	208	390	<50	120	37	11	<200	5	21	10	<100	<1	7.1	1.2	3.8	0.081	201	62
3927	544005	2587865	355	570	57	180	44.8	13	<200	4	18	5	<100	<1	6	1	3.3	0.126	165	30
3928	544011	2587865	141	220	<50	87	22	5	<200	2	10	3	<100	<1	4.6	0.7	10.2	0.051	43	17
3929	544020	2587865	151	220	<50	82	23.6	6	<200	3	12	4	<100	<1	4.7	0.8	7.25	0.051	77.9	38
3932	544020	2587679	2960	4590	316	1020	349	113	<500	42	163	29	<100	<2	17.5	1.5	16.1	0.962	1450	<8
3933	544110	2587718	1960	2690	254	730	199	62	<200	24	97	15	<100	<2	13.9	1.6	40.3	0.609	637	6
3934	544116	2587718	3020	3980	213	1000	298	94	<200	36	136	26	<100	<2	19.7	1.6	34.4	0.886	919	<8
3935	544121	2587718	3530	5050	<200	1270	339	107	<500	34	113	14	<100	<5	15.5	1.7	21.3	1.050	1100	<10
3938	544358	2587754	1690	2830	267	770	356	129	<500	66	315	104	106	<2	106	12.4	22.3	0.677	1470	9
3104	544307	2587864	2340	3690	288	980	253	82	<500	43	207	52	<100	<2	26.5	2.7	9.83	0.797	827	<7
3923	543840	2587930	560	1010	110	350	289	100	<200	30	113	24	<100	<1.0	1.5	1.6	12.3	0.260	949	14
3930	544086	2587718	1380	2020	173	530	153	52	<500	25	107	25	<100	<2	14.7	1.7	16.1	0.450	818	9
3931	543982	2587720	982	1520	139	420	133	41	<500	27	159	45	<100	<2	32	4.1	26.8	0.353	537	93
3936	544113	2587741	265	380	<50	150	39.6	10	<200	5	20	6	<100	<1	5.5	0.8	20.4	0.090	97.5	21
3937	543857	2587901	3230	4260	479	1090	289	88	<500	36	166	34	<100	<2	33.4	4	21.7	0.973	864	14

Promedio 0.46 637 19
62

Tabla 4. Resultados de química analítica por ICP-MS del muestreo realizado en la sierra de Tamaulipas por ETR, torio y uranio. Se colectaron siete muestras en afloramientos de la asignación minera Picacho (Sp20 a Sp21D).(GEEI, 2013).

Muestra	14R - WGS84 UTM		La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm	Sc ppm	Y ppm	Σ ETR %	Th ppm	U ppm
	X	Y																			
Sp20	550592	2591031	53.4	109.9	13.1	52.5	10.0	4.1	11.3	1.6	6.3	1.1	3.1	0.3	2.1	0.3	8	29.0	0.031	9.2	1.6
Sp20A	550592	2591031	57.6	121.1	14.2	58.1	11.2	4.5	12.3	1.8	7.7	1.4	4.1	0.4	2.8	0.4	8.8	37.9	0.034	9.7	1.5
Sp21	543852	2587017	73.1	117.0	11.1	35.8	5.2	2.8	7.5	0.9	3.4	0.6	2.1	0.2	1.6	0.2	1.5	16.3	0.028	15.1	4.4
Sp21A	543852	2587017	30.6	66.2	8.0	34.7	6.9	2.9	8.0	1.2	5.2	0.9	2.5	0.3	1.9	0.2	26.1	22.2	0.022	2.1	0.6
Sp21B	543852	2587017	87.5	162.0	18.0	66.6	11.6	4.6	13.2	1.7	7.0	1.3	3.9	0.4	2.7	0.4	9.3	31.7	0.042	12.8	3.4
Sp21C	543852	2587017	23.7	52.0	6.5	28.3	5.8	2.2	6.5	1.0	4.4	0.8	2.2	0.2	1.7	0.2	34.3	18.9	0.019	2.4	0.6
Sp21D	543852	2587017	28.1	61.3	7.8	33.2	7.0	2.7	7.9	1.1	5.0	0.9	2.6	0.3	1.8	0.2	26.1	22.1	0.021	2.1	0.6
Promedio																			0.04	13	3

Tabla 5. Resultados de muestreo de 122 muestras de la AMP

Muestra	14R-WGS84 UTM		Ce ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Gd ppm	Ho ppm	La ppm	Lu ppm	Nd ppm	Pr ppm	Sm ppm	Tb ppm	Th ppm	Tm ppm	U ppm	Y ppm	Yb ppm
	X	Y																	
PIC-001	544195	2587452	58.3	5.7	2.6	2.5	7	0.9	25.8	0.2	32	7.4	7.8	1.1	2.4	0.3	1	19.4	2
PIC-002	544192	2587450	78.7	5.2	2.5	2.8	7.1	0.7	39.8	0.2	32.8	8.4	7.5	1	5.8	0.2	2	18.3	1.7
PIC-003	544190	2587456	109.4	3.7	1.8	3.4	7	0.5	62.9	0.1	36.7	10.8	6.7	0.8	9	0.2	3	13.3	1
PIC-004	544192	2587460	360.6	36.5	13.8	11.5	38.3	5	201.3	0.9	120.6	35.5	28.8	6.7	116.8	1.2	3	123.3	8.6
PIC-005	544193	2587457	1606.2	27.6	13.8	15.8	72.5	3.8	729.6	0.9	404.8	129.2	59.4	7.4	262.8	1	4	93.1	7.9
PIC-006	544196	2587457	112.8	5	2.4	3.5	8	0.7	67.1	0.2	34.6	10.9	6.6	1.1	23.7	0.2	5	18.3	1.8
PIC-007	544327	2587908	139.7	6.5	3	4.3	10.9	0.9	66.1	0.3	56.2	15.2	11.3	1.4	10	0.3	3	21.4	2
PIC-008	544190	2587471	135.7	9.2	4.3	4.4	12.7	1.3	73.7	0.4	55.7	15	12.7	1.8	7.4	0.4	4	32.6	3.1
PIC-009	544327	2587908	106.3	8.8	2.9	4.9	12.5	1.1	69.1	0.2	34.7	10	9.8	1.9	55.8	0.2	6	24.6	1.8
PIC-010	544193	2587473	739.5	37	12.1	19.8	70.2	4.2	446.2	0.8	229.7	71.6	53.1	9.2	177.6	0.9	3	100.4	7.1
PIC-011	544391	2587731	160	10.9	4.9	6.1	15.4	1.5	80	0.4	68.2	18.5	15	2.2	18.6	0.4	3	37	3.5
PIC-012	544414	2587735	4895.1	612.1	223.6	131	480.6	85.9	2600.3	12.6	1466.5	426.3	327.1	101.6	1944.3	19.7	55	2790	119.5
PIC-013	544382	2587936	255.9	13.5	5.9	7.1	22.3	1.9	130.1	0.6	97.8	26.1	19.3	3.1	38.4	0.5	3	44.3	4.4
PIC-014	544331	2587692	197.6	11.4	5.7	6.1	17.7	1.7	103.9	0.4	84.1	21.7	17.8	2.4	17.4	0.5	5	41.1	3.7
PIC-015	544288	2587881	744.5	74.4	30.6	25.9	86.2	10.4	380.3	2.7	298.2	82.1	72.4	14.5	275.4	3	9	254.6	22.4
PIC-016	544341	2587767	199.9	14.6	6.7	6.9	18.2	2.2	86.9	0.6	80.8	21.5	17.2	2.7	29.2	0.6	7	50.1	4.8
PIC-017	544332	2587768	324.2	27	10.1	11.3	34.4	3.6	175.3	0.8	132.3	36.9	28.9	5.4	76.2	0.8	6	82.4	6.2
PIC-018	544341	2587818	1807.5	307.8	153.9	39.3	152.2	52.8	864.2	10.2	509.4	145.6	105.9	40.6	712.2	15	23	1750.7	93.7
PIC-019	544327	2587795	1854.3	390.9	139.8	69.6	252.3	55.6	766.7	6.9	592.8	160.8	150.9	61.5	802.5	11.6	7	1713.5	65.8
PIC-020	544497	2587752	86.2	7.9	4.3	2.6	8.3	1.3	49	0.3	33.5	9.2	7.7	1.3	15.3	0.4	3	33.1	2.8

PIC-021	544330	2587809	820.9	75.3	24.7	27	90	9.4	437.4	1.4	303	84.1	65.3	15.3	244.2	1.9	7	221.4	12.5
PIC-022	544578	2587785	174.3	11.4	5.7	4.6	15.6	1.8	97.4	0.4	65.9	18	13.4	2.2	19.3	0.5	6	41.3	4
PIC-023	544515	2587950	138.6	7.5	3.2	4.2	11.3	1.1	74.6	0.2	48.8	13.4	10.7	1.6	27.4	0.3	4	22.9	2.1
PIC-024	544546	2587807	141.6	6.2	3.1	4.1	10.9	0.9	81.1	0.2	46.7	14	9.2	1.4	20.8	0.3	5	22.1	2
PIC-025	544518	2587951	78.2	6.5	3.3	2.9	9.1	1	41.3	0.3	36.4	9.1	8.6	1.3	7.4	0.3	1	22.5	2.2
PIC-026	544514	2587844	286.5	16.4	7.4	6.9	19.8	2.3	180.2	0.5	76.6	24.6	14.1	3.1	65	0.7	8	60.7	4.6
PIC-028	544577	2587965	71.4	5.6	2.6	2.6	7.4	0.8	40.1	0.2	31.6	7.9	7.2	1.1	10	0.3	1	20.2	1.9
PIC-029	544617	2587810	139.2	5.3	2.8	3.3	9.3	0.8	85.5	0.3	42.1	12.9	7.4	1.1	23.5	0.3	6	20.4	2
PIC-030	544578	2588004	265	20.4	9.7	8.1	25.8	3.1	205.3	0.9	92.5	26.2	21.2	3.9	50.3	1	5	76.4	7.4
PIC-031	544619	2587809	208.1	12.4	5.9	6.1	18.1	1.8	120.8	0.4	73.5	20.7	15.7	2.5	34.7	0.5	4	46.1	4
PIC-032	544700	2588060	95.9	7.2	3.5	3.3	10.3	1.2	50.2	0.3	43.1	10.8	10	1.5	9.6	0.3	2	26	2.4
PIC-033	544736	2587861	103.3	5.2	2.5	2.8	8.4	0.8	58.5	0.2	37.9	10.6	7.7	1.2	10.7	0.2	3	19	1.8
PIC-034	544794	2588055	93.6	3.3	1.6	3.3	6.1	0.5	59.3	0.1	24.8	8.1	4.3	0.7	19.5	0.2	5	11.9	1.1
PIC-035	544735	2587862	84.1	5.7	3	3	9	0.9	43.8	0.2	36.8	9.3	8.7	1.3	6	0.3	1	21.2	2
PIC-036	544086	2587920	65.2	5.2	2.5	2.4	7.8	0.8	33.9	0.2	31.3	7.8	7.6	1.1	5.5	0.2	1	18.1	1.7
PIC-037	544832	2587889	318.2	28.9	8	10.2	33.8	3.2	192.4	0.4	111.6	32.3	26.6	5.8	173.2	0.5	18	66.9	3.6
PIC-038	543972	2580035	126.9	3.2	1.6	3.3	8	0.5	74.8	0.1	40.3	12.3	7.3	0.8	11.2	0.1	2	10.7	1.1
PIC-039	544825	2587885	191	10.8	5	6.3	16.9	1.5	108	0.5	68	19.4	13.8	2.3	47	0.5	13	37.9	3.9
PIC-040	543938	2588083	78.3	5.9	2.9	3.1	9.5	0.9	39.4	0.2	39.1	9.5	9.4	1.3	6.2	0.2	1	20.6	1.8
PIC-041	544188	2587642	115.6	9.3	4.7	4.2	12.6	1.4	66.2	0.4	52.5	13.4	12	1.8	13.6	0.5	4	33.4	3.5
PIC-042	544706	2587817	221.1	20.1	5.5	8.9	28.4	2.2	144.3	0.4	77.9	22.8	20.6	4.7	157.5	0.4	8	48.2	3.4
PIC-043	544186	2587633	135.4	6.7	3.1	4	11	1	79.5	0.3	48.5	13.8	9.4	1.5	25.1	0.3	5	21.7	2.1
PIC-044	544780	2587761	166.4	12.3	5.8	6.1	18.2	1.9	88	0.5	77.1	19.8	18	2.5	10	0.6	3	42.9	4.2
PIC-045	544295	2587768	106.3	7	3.1	3.8	11.2	1	53.8	0.2	50.3	12.6	11.4	1.6	6.8	0.3	1	21.7	2

PIC-046	544778	2587757	116	7.4	2.5	3.2	10.2	0.9	70.3	0.1	35.5	11.2	7.5	1.5	70.9	0.2	16	21	1.3
PIC-047	544301	2587692	115.1	6.1	2.8	3.7	10.6	0.9	59.6	0.2	48.5	12.7	10.3	1.4	6.4	0.2	2	19.5	1.8
PIC-048	544833	2587770	5684.2	517	182.9	187	623.1	66.9	3122	11	1877.6	506.3	475.8	103.5	1776.3	15.2	15	2032.6	101.6
PIC-049	544308	2587704	112.8	6.7	3.2	3.5	10.9	1	57.9	0.3	49.5	12.4	10.6	1.5	27.1	0.3	3	22.8	2.2
PIC-050	544890	2587739	2715.3	148.1	44.1	73.2	253.7	16.4	1477.5	2.4	889.3	240.4	211.4	37.2	623.9	2.8	72	340.7	21.5
PIC-051	542842	2586641	88.5	6.1	3	3.2	10	0.9	44	0.2	42.1	10.2	9.6	1.3	9.7	0.3	2	20.6	2
PIC-053	544931	2587726	82.3	6.3	3.2	3.2	9.5	0.9	39	0.3	40.7	10.1	9.8	1.4	4.6	0.3	1	21.9	2.3
PIC-054	543081	2586701	212.5	8	4.2	5.1	16	1.2	122.4	0.3	71.2	21.2	13.4	1.9	48.9	0.4	2	26.3	2.9
PIC-055	545007	2587691	106.9	4.6	2.3	3	8.8	0.7	60.5	0.2	40.1	11.1	8	1.1	9.7	0.2	2	15.1	1.6
PIC-056	543152	2586737	80.6	5.9	3.2	2.8	8.3	0.9	42	0.2	36.1	9.2	8.3	1.2	9.3	0.3	1	20.5	2.5
PIC-057	545075	2587720	97.2	5.3	2.5	3.4	9.3	0.8	50.5	0.2	41.4	10.6	9.2	1.2	8.8	0.2	1	18	1.6
PIC-058	543636	2586985	99.4	5.7	2.6	3.3	10.1	0.8	52.5	0.2	45.5	11.4	9.6	1.3	5.5	0.2	1	17.4	1.7
PIC-059	545108	2587703	78.3	7.2	3.5	3.4	10.2	1.1	38.5	0.3	42.1	10	10.1	1.5	4.4	0.3	1	23.4	2.3
PIC-060	543712	2587041	45	5.9	2.8	2.5	7.5	0.9	21.3	0.2	28.4	6.2	7.7	1.1	3.8	0.2	N.D.	19.3	1.9
PIC-061	545190	2587660	50.4	4.7	2.2	2.1	6.6	0.7	23.8	0.2	26.5	6.3	6.8	1	3.5	0.2	1	15.3	1.5
PIC-062	543835	2587901	193	9.1	6.9	4.6	11.6	1.6	106	0.5	68.3	19.2	11.7	4.5	8.9	0.5	1.5	41.4	3.6
PIC-063	545277	2587697	88.4	8.2	3.5	3.5	10.7	1.1	45.1	0.2	39.4	10.2	10.1	1.6	16.2	0.3	1	26.8	2.4
PIC-064	543839	2587903	534.9	19.9	13.9	8.7	21.1	3.6	333.1	1.2	136.6	44	22.3	8	33.7	1.2	11.6	126.9	8.4
PIC-065	545373	2507724	146.3	7.8	3.7	4.5	13	1.2	83.3	0.3	55.1	15.3	11.3	1.7	21.5	0.3	3	27	2.3
PIC-066	543839	2587903	438.9	13.5	8.8	7.6	19.9	1.9	267.2	0.6	116.8	37.1	18.1	7.2	156.7	0.4	37.9	44.9	3.9
PIC-067	545448	2587721	104.9	6.5	2.8	3.2	9	0.8	54.9	0.2	31.9	9.4	7	1.3	28.9	0.2	1	19.9	1.4
PIC-068	543837	2587910	264.4	10.4	7.9	5.5	13.9	1.8	153.9	0.5	83.3	24.8	13.7	5.1	39.8	0.5	2	45	3.9
PIC-069	545528	2587728	124.5	5.3	2.6	3.4	11.2	0.8	65.2	0.2	50.1	13.6	9.9	1.4	15.2	0.2	1	17.1	1.6
PIC-070	543832	2587917	637.6	30	16.8	10	26.9	5	415	1.1	146.5	50.1	19.6	10.9	217.1	1.1	68	128	7.2

PIC-071	545537	2587700	140.9	5.3	2.9	3.4	11	0.8	77.8	0.2	49.8	14.4	9.5	1.3	20.2	0.2	4	19	1.9
PIC-072	543114	2587760	142.4	5.5	4	4.3	7.3	0.9	72.6	0.3	45.8	13.6	7.4	2.7	42.8	0.3	4.6	21.7	2.1
PIC-073	543302	2586826	73.6	5.3	2.7	2.6	7.8	0.8	37.9	0.2	32.2	8.2	7.5	1.1	8.1	0.2	1	17.7	1.8
PIC-075	543933	2587274	28	4.4	2	1.8	5.1	0.6	13	0.2	18.3	3.9	5.4	0.8	2	0.2	1	13.9	1.4
PIC-076	543089	2587802	54.9	4.3	2.9	2	3.8	0.8	25.2	0.2	25.1	6.3	5	1.7	4.1	0.2	0.4	19.4	1.7
PIC-077	543296	2587371	64.7	4.7	3.3	2.4	4.5	0.8	32	0.3	28.6	7.4	5.4	2	4.3	0.3	0.5	21.4	2
PIC-078	543300	2587366	79.8	6.9	4.6	3.1	6.1	1.2	37	0.4	40.1	9.9	8	2.8	7.4	0.3	0.7	28.1	2.6
PIC-079	543658	2587035	75.5	7.5	5.1	3.6	6.3	1.3	30.2	0.4	42.9	10	8.9	3.1	2.2	0.3	0.4	30.5	2.8
PIC-080	543590	2587094	95.3	7.2	4.8	3.5	7.1	1.2	42.2	0.4	48.9	11.6	9.4	3.3	2.9	0.3	0.9	29.8	2.6
PIC-081	543382	2587273	74.4	5.4	3.9	3.1	5.1	1	31.7	0.3	35.4	9	6.7	2.3	2.5	0.3	0.5	24.1	2.2
PIC-082	543382	2587273	50.3	4.8	3.1	2.4	4.1	0.8	19.8	0.3	27.9	6.5	5.6	1.9	1.3	0.2	0.3	20.6	1.8
PIC-083	543302	2587353	57.8	4.3	3.1	2.6	4.1	0.8	24.2	0.2	27.9	7	5.5	1.8	2.1	0.2	0.3	19	1.7
PIC-084	543299	2587356	53.4	4.2	2.9	2.7	3.7	0.7	22.8	0.2	25.2	6.4	4.9	1.7	2.2	0.2	0.4	18.3	1.6
PIC-085	543684	2587153	79.6	5.5	3.7	2.8	5.3	1	35.7	0.3	36.2	9.1	6.8	2.3	3.2	0.3	0.5	23.8	2.1
PIC-086	543600	2587222	105.9	7.2	5.2	3.6	6.9	1.3	66.9	0.5	46.2	12.6	8.3	3	10.6	0.4	1.4	34.8	3
PIC-087	543622	2587358	146.3	6.9	5.1	4.1	7.9	1.2	75	0.4	52.9	14.8	8.9	3.3	9.2	0.4	1.5	31.5	2.8
PIC-088	543659	2587446	173.7	7.7	6.1	4.4	9.9	1.3	85.6	0.4	63.6	17.6	10.5	3.9	10.1	0.4	1.3	34.8	3
PIC-089	543873	2587291	269.8	10.5	8.5	5.6	14.6	1.9	154	0.6	89.3	27.1	13.9	5.3	28	0.6	1.9	48.1	4.3
PIC-090	542944	2587485	145	3.6	3.1	2.6	5.9	0.7	86.9	0.3	35.5	12.4	4.8	1.9	41.2	0.2	5	18.6	1.7
PIC-091	543107	2587375	154.9	8.2	6	4.3	9.2	1.4	75.7	0.5	63.8	16.8	10.9	3.9	8.7	0.4	1.2	37	3.2
PIC-092	544356	2588783	203.3	7	5.7	5.6	9.5	1.3	101.7	0.4	67	19.8	10.1	3.6	18.6	0.4	2.7	33.6	2.8
PIC-093	544346	2588772	157.6	6.1	4.9	5.1	8.1	1.1	83.7	0.4	53.2	15.6	8.4	3	18.6	0.3	2	30	2.6
PIC-094	544350	2588783	107.5	4.4	3.3	7.2	5.5	0.8	56.1	0.2	38.2	10.9	6.1	2.1	5.4	0.2	0.7	20.4	1.6
PIC-095	544350	2588783	78.1	3.6	2.7	2.2	4.4	0.7	43.2	0.2	25.6	7.5	4.1	1.7	9.8	0.2	1.8	18.1	1.5

PIC-096	544455	2588420	236.1	12.3	7.7	4.9	11.1	2.2	144	0.6	69.1	21.4	11.1	4.6	40.7	0.6	1.1	56.2	4.1
PIC-097	542174	2586510	49.3	2.7	2.1	1.3	2.8	0.5	24.7	0.2	19.5	5.3	3.3	1.2	9.5	0.2	0.5	13.3	1.3
PIC-098	541887	2586602	130.7	5	3.7	3.3	6.3	0.8	69	0.2	46.1	13.3	7.3	2.5	3.9	0.2	0.8	21.6	1.7
PIC-099	544917	2588356	96.1	4.9	3.4	2.6	4.9	0.9	51.9	0.3	34	9.5	6	2	10.4	0.3	0.9	23.3	1.8
PIC-101	544362	2587707	118.9	9.9	3.4	6.6	15	1.4	74.9	0.3	50.6	13.8	12.9	2.2	59	0.3	4.8	27.5	2.3
PIC-102	551213	2590785	80.5	4.6	2.6	2.6	7.4	0.8	45.2	0.3	36.6	10	6.9	0.9	15.6	0.2	3	17.2	1.9
PIC-103	551314	2590904	104.4	7.9	4	4.2	11.4	1.4	56.9	0.4	55.5	13.9	11.2	1.6	13.4	0.4	2.2	29.5	2.6
PIC-105	551892	2590691	124.1	5.8	3.2	3.1	9	1.1	53.3	0.4	44.5	11.8	8.2	1.2	14.6	0.3	3.3	23.1	2.5
PIC-106	551306	2591060	60.9	3.8	2.2	2.4	6.5	0.7	33.3	0.2	33.3	8.4	6.4	0.8	13.9	0.2	2.8	13.6	1.7
PIC-107	548314	2589931	111.5	7	3.7	4.1	11.8	1.3	58.6	0.3	56.6	14.3	11	1.5	11.8	0.3	2.5	26.2	2.7
PIC-108	547718	2589234	59.6	6.8	4.2	2	6.9	1.4	28.1	0.6	27.6	6.9	6.4	1.1	21	0.5	5.1	31.4	3.9
PIC-110	549407	2590109	103.3	6.5	3.5	4.1	10.5	1.2	56.5	0.3	54.3	13.7	9.8	1.3	9.4	0.3	2.7	24.6	2.5
PIC-112	549823	2589832	132.2	3.3	1.9	2.1	7.4	0.6	58.5	0.2	38	11.5	6.1	0.8	15.1	0.2	1.6	12.6	1.3
PIC-113	550179	2591098	99.7	7.2	3.7	5.4	11	1.3	55.9	0.4	53.5	13.2	10.6	1.5	7.1	0.3	2.3	26.7	2.5
PIC-114	550513	2590237	95.1	5.9	3.3	3.2	9.7	1.1	51.1	0.3	48.8	12.6	9.3	1.2	29.8	0.3	2.5	22.6	2.3
PIC-115	550356	2591604	97.8	5.8	3	3	10.1	1	52.1	0.2	49.4	12.7	9.4	1.3	8	0.2	1.7	20.4	1.9
PIC-116	550233	2590627	56.1	3.7	2.1	2.1	5	0.7	26.8	0.3	25	6.4	4.7	0.7	12.1	0.2	3	13.9	1.7
PIC-117	549073	2591169	72.6	8	4.7	3.1	9.5	1.6	42.5	0.6	41.6	10.1	8.9	1.4	11.6	0.5	5.2	38.5	3.8
PIC-118	550278	2590550	119.9	8.5	4.5	4.6	13.6	1.5	61.9	0.4	66.5	16.3	13.3	1.8	11.9	0.4	3.3	31.1	3.2
PIC-119	549105	2591073	146.9	9.5	5	4.9	14.3	1.7	63.6	0.5	66.6	16.2	13.6	1.9	10.8	0.5	2.7	35.6	3.5
PIC-120	550324	2590517	97.3	7	3.6	3.7	11.1	1.3	52.6	0.4	52.4	12.9	10.5	1.4	10.3	0.3	2.8	25.7	2.6
PIC-122	548975	2590289	97.1	6.1	3.1	3.3	10.1	1.1	52.4	0.3	49.4	12.6	9.2	1.2	11	0.3	2.5	21.4	2.1

GLOSARIO.

Agpaítica. Se dice de la cristalización en presencia de exceso de álcalis (especialmente sodio), de tal manera que la cantidad de óxido de aluminio es insuficiente para la formación de silicatos de aluminio (Thrush, 1968). (b) Se dice de las rocas con coeficiente agpaítico > 1

Camptonita. Lamprofido, semejante en composición a la diorita de nefelina, que está compuesto esencialmente de plagioclasa (usualmente labradorita) y anfíboles pardos (usualmente barkevikita). El nombre, dado por Rosenbusch en 1887, se deriva de Campton, New Hampshire, E.U.

Diabasa. Rocas ígneas básicas de grano medio débilmente metamorfozadas, en las que el piroxeno se ha transformado en anfíbol.

Ijolita. En la clasificación del IUGS, roca plutónica en la cual F está entre 60 y 100 y el sodio excede al potasio. Compárese: Fergusita. (b) Serie de rocas plutónicas que contienen nefelina y 30-60% de minerales máficos, por lo general clinopiroxena, pero incluyendo esfeno, apatita y melanita; también, cualquier roca de esa serie. Nombrada por Ramsay en 1891 por Ijola (Iivaara), Finlandia. Compárense: Fergusita; tawita.

Komatiíta. Conjunto ígneo, análogo al ofiolítico, toleítico, calcialcalino y alcalino, distinguido por la presencia de lavas ultramáficas. (b) Lava ultramáfica. El término se aplicó originalmente a las lavas basálticas y ultramáficas según Viljoen y Viljoen (1969), pero se extendió para incluir las rocas asociadas según Arndt y otros (1977). Su definición del conjunto komatiítico incluye “rocas que varían en composición desde peridotita (30% MgO, 44% SiO₂) a basalto (8% MgO, 52% SiO₂) o andesita (12% MgO, 56% SiO₂) y rocas acumuladas que varían desde peridotita (hasta 40% MgO) a gabro máfico (12% MgO)”. Las lavas exhiben comúnmente la textura de espinifex. Todas las rocas de la serie tienen Ti bajo, así como el Fe/(Fe+Mg) y en cambio son altos Mg, Ni y CR. El nombre es por el río de Komati, Barberton Mountain Land, Trans-vaal, África del Sur.

Nefelina. Mineral hexagonal del grupo de los feldespatoides: $(\text{Na},\text{K})\text{AlSiO}_4$. Se encuentra como cristales vítreos o granos incoloros, o como cristales gruesos o masas pardas de lustre grasoso sin crucero, en las rocas ígneas alcalinas, siendo componente esencial en algunas rocas ricas en sodio.

Melteigita. En la clasificación del IUGS, una roca plutónica en la que F está entre 60 y 100, M está entre 70 y 90, y el sodio excede al potasio. Compárese: Misurita. (b) Una roca plutónica de color oscuro que es parte de la serie de la ijolita y contiene nefelina y 60-90% de minerales máficos, especialmente piroxena verde. Nombre es por la granja de Melteig, complejo de Fen, Noruega.

Monchiquita. Un lamprofido que contiene fenocristales de olivino, clinopiroxena y típicamente biotita o anfíbola (barkeviquita), en matriz de vidrio o analcima, con frecuencia muy alterada. Pueden estar presentes nefelina o leucita. Su nombre, dado por Hunter y Rosenbusch en 1890, se deriva de la Serra de Monchique, Portugal. Compárese: Fourchita. Urita

Pulaskita. Sienita de color claro, con feldespatoides, granular o traquitoide, alcalina, compuesta principalmente por feldespato alcalino, piroxena sódica y nefelina. El término también ha sido aplicado a las sienitas que contienen cuarzo. El nombre, dado por Williams en 1891, es por Pulaski (un condado de Arkansas, E.U.).

Soevita. Carbonatita que contiene calcita como fase dominante. El nombre, dado por Brögger en 1921, es por Söve, complej de Fen, Noruega.

Toleitas. Basalto sobresaturado con sílice (cuarzo normativo), caracterizado por la presencia de piroxenas pobres en calcio (ortopiroxena y/o pigeonita) además de clinopiroxena y plagioclasa cálcica. Puede presentarse olivino en el modo, pero ni el olivino ni la nefelina se presentan en la norma. El término, usado primero en 1840 por Steininger, se derivó de Tholey, Saarland, Alemania, aplicándose a un diquestrato de andesita alterada. El término recibió su significado actual de Kennedy en 1933. Chayas (1966) revivió la historia del término y recomendó que se le substituyera por basalto subalcalino.

Vogesita Roca ígnea alcalina porfídica dominada por el contenido de anfíbol, por lo general hornblenda y feldespatos potásicos, a menudo como accesorios presentes augita y plagioclasa dentro de la masa basal.