

CAPITULO 5: GEOQUÍMICA

Los estudios geoquímicos realizados, consistieron en el análisis de tres muestras representativas de las litologías presentes en la zona de interés. Dos muestras de anortositas y dos muestras de monzonitas con distintas localizaciones. Los estudios fueron realizados en el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, en el Instituto de Geología de la UNAM. Todas las muestras se analizaron por óxidos mayores y elementos traza.

Es de suma importancia subrayar que tanto las muestras analizadas como todas las demás rocas presentes en el área de estudio, se han visto afectadas por eventos intensos de meteorización e hidrotermalismo, esto último, causando un metamorfismo de bajo grado en las rocas, alterando la mineralogía y posiblemente la composición de la roca.

Los metales alcalinos Na y K son elementos muy móviles por procesos de hidrotermalismo postmagmático, y por lo tanto sus concentraciones pueden cambiar en tales procesos de alteración (Gill, 2010). Las alteraciones hidrotermales incipientes en una roca básica causan cambios relativamente pequeños en la química total de la roca, mientras que una alteración más penetrativa está acompañada de cambios selectivos en los elementos mayores, especialmente los más móviles como Na_2O , K_2O y CaO (Gill, 2010).

Henderson (1984) indica que existe creciente evidencia de que durante algunos procesos de alteración, las abundancias de los elementos traza y sus patrones de distribución puedan ser modificados suficientemente para afectar la interpretación petrogenética. Explica que las ganancias o pérdidas en la abundancia de estos elementos estará en función de varios factores: 1) La abundancia de los elementos traza en la roca inalterada, su distribución y sitios de concentración dentro de las fases minerales de la roca y la estabilidad relativa de las fases minerales respecto a los fluidos. 2) La concentración de los elementos traza en los fluidos, el comportamiento de partición entre los elementos traza entre las fases minerales y los fluidos y la capacidad de los fluidos para transportar estos elementos fuera del sistema.

3) La capacidad de los elementos secundarios para acomodar elementos traza que fueron liberados por los minerales primarios.

5.1 Elementos mayores

Nota: Los datos no se presentan recalculados.

Muestra/ Óxidos mayores	Anortosita ACL-4	Anortosita ACL-3	Monzonita ACL-17	Monzonita ACL-5	Granito Rosa*	Granito Rosa*
SiO₂	60.54	56.46	52.60	54.65	76.95	76.69
TiO₂	0.18	0.34	1.77	0.89	0.13	0.09
Al₂O₃	22.622	25.0	19.981	17.259	12.17	12.16
Fe₂O₃	0.79	2.06	8.327	7.05	1.27	1.51
MnO	0.01	0.01	0.11	0.27	0.03	0.02
MgO	0.38	0.07	1.59	3.74	0.28	0.28
CaO	5.133	7.48	7.049	3.868	0.6	0.4
Na₂O	7.325	6.136	4.514	2.582	3.16	3.62
K₂O	1.23	1.01	2.00	3.36	5.34	4.90
P₂O₅	0.041	0.067	0.971	0.2	0.03	0.02
PxC	1.66	1.04	0.78	5.85	0.81	0.49
Total	98.26	99.706	99.698	99.714	100.78	100.16

Tabla 5.1 Datos de óxidos mayores obtenidos por fluorescencia de rayos X. * tomados de Salazar-Juárez (2008).

Las correlaciones entre mineralogía y composición química no siempre son perfectas, por lo tanto se deben de tener muchas reservas para los nombres de las rocas derivados de diagramas como el TAS, ya que puede diferir del nombre otorgado a la roca petrográficamente, por lo que el nombre de la roca siempre debe ser basado por el criterio petrográfico (Gill, 2010).

A continuación se emplea el diagrama TAS para rocas plutónicas con el fin de obtener una clasificación preliminar de las rocas estudiadas. En el mismo diagrama se realiza una

comparación de datos geoquímicos de elementos mayores de anortositas de la localidad Gneis Huiznopala Hgo., donde se puede observar que tanto las anortositas como monzonitas se encuentran dentro del mismo campo de nombre Sieno-Diorita. Los granitos del área de estudio debido a su alto contenido de sílice quedan fuera de los alcances del gráfico. Los valores fueron recalculados al 100% en base seca.

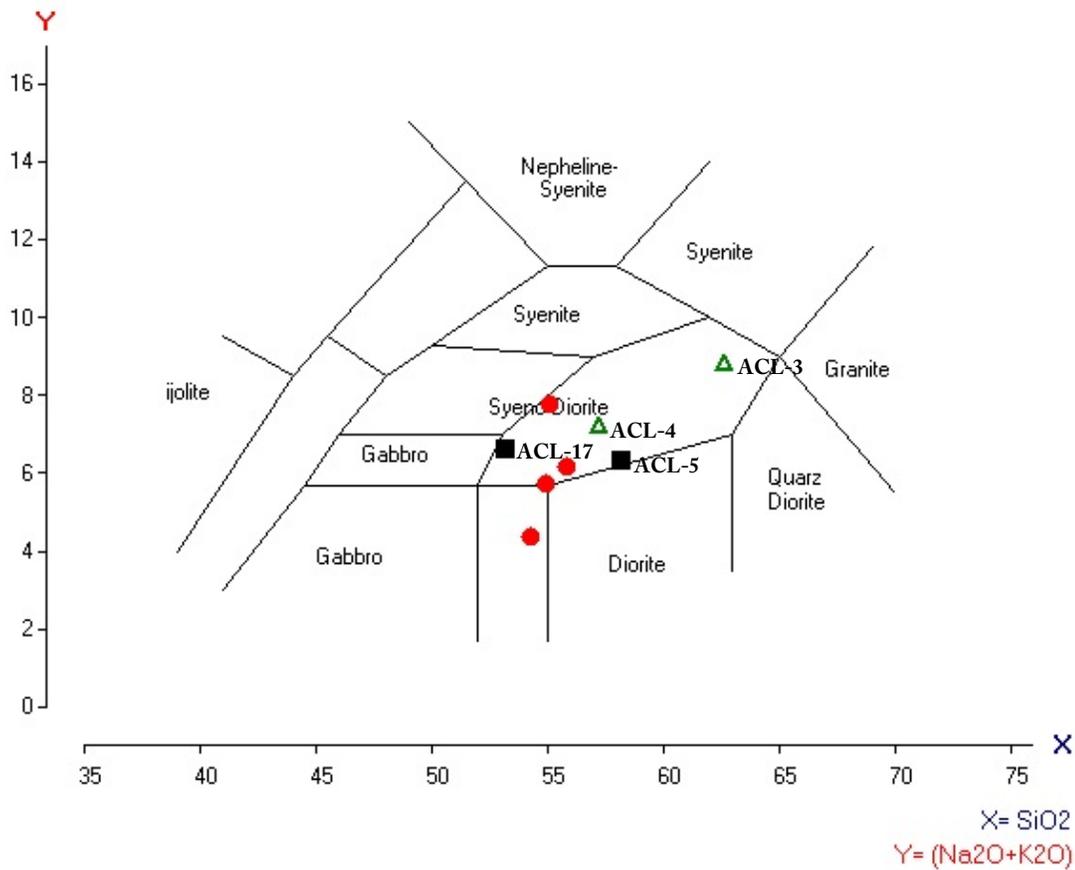


Fig. 5.1.1 Diagrama de clasificación de las rocas ígneas plutónicas con base al contenido de sílice y el contenido de óxidos alcalinos en la roca. Diagrama de Cox et al. (1979) adaptado por Wilson (1989). Triángulos verdes, valores de anortositas chiapanecas, cuadros negros, valores de monzonitas chiapanecas, puntos rojos, valores de anortositas del Gneis Huiznopala, Hgo.

La muestra de anortosita que presenta porcentajes más altos de SiO₂ (ACL-4), ha sido sujeta a una mayor alteración, se considera que su química ha sido modificada por introducción de fluidos al sistema. Petrográficamente es observable ya que presenta una

abundante mineralogía de fases secundarias. En muestra de mano, la roca se presenta con una coloración verdosa y con un aspecto terroso. La muestra ACL-4 presenta menores porcentajes de CaO y mayores de Na₂O comparado a la muestra ACL-3, la cual es una muestra que presenta una alteración incipiente. Al igual que las muestras de anortositas la muestra de monzonita ACL-5, presenta una mayor alteración, lo cual es observable en la pérdida por calcinación siendo de 5.85%.

5.1.1 CIPW

Se ha realizado el cálculo de CIPW para las dos muestras de anortositas, las dos muestras de monzonitas y las dos muestras de granitos, con fines de comparación entre la norma teórica y la moda presente. A continuación se presentan los minerales y porcentajes obtenidos de cada uno:

CIPW	Qtz	Or	Ab	An	C	En	Ilm	Hm	Ap	Ttn	Rt
Mz-ACL-5	14.35	21.16	23.27	19.07	3	9.94	0.6	7.51	0.49		0.8
Mz-ACL-17	4.09	11.94	38.59	28.68		3.98	0.24	8.42	2.27	0.2	2.02
An-ACL-3	0.95	6.09	52.63	37.15	0.42	0.17	0.02	2.08	0.16		0.43
An-ACL-4	1.83	7.56	64.14	26.08	0.01	0.97	0.02	0.82	0.09		0.23
Gr	36.38	31.56	26.74	2.78	0.17	0.7	0.06	1.27	0.07		0.12
Gr	35.78	29.07	30.72	1.85	0.22	0.7	0.04	1.51	0.05		0.09

Tabla 5.2 Resultados del cálculo CIPW de las rocas presentes el área de estudio.

Como puede observarse a partir del cálculo de CIPW, las monzonitas teóricamente deberían tener cuarzo en proporciones no tan altas, mientras que en las anortositas la presencia de cuarzo es muy baja o casi nula. En cambio los granitos rosa han resultado con cantidades altas de cuarzo. En lo que respecta a feldespatos potásicos dentro de las muestras, el cálculo indica que los granitos contienen cantidades altas de ortoclasa. Las monzonitas contendrían ortoclasa en proporciones no tan altas como los granitos, mientras que las anortositas deberían presentar porcentajes menores de aproximadamente 6 a 8% de

ortoclasa. Las anortositas son las que han resultado con un mayor porcentaje de Ab, los valores para el granito rosa y las monzonitas son muy parecidos en Ab. En lo que respecta a An, los granitos se encuentran muy empobrecidos en esta fase mineral, mientras que las monzonitas presentan valores un poco más elevados y las anortositas considerablemente más elevados aún. Uno de los resultados que se presentan de forma interesante es la enstatita, presentándose con valores muchos más elevados en las monzonitas.

En el diagrama ternario ortoclasa-cuarzo-plagioclasa se observa la clasificación de las muestras a partir de sus datos normativos, las anortositas (ACL-3,ACL-4) se grafican en el área de anortosita/diorita, las monzonitas (ACL-17, ACL-5) en el área de cuarzo monzodiorita y los granitos en el campo de los granitos/charnoquita.

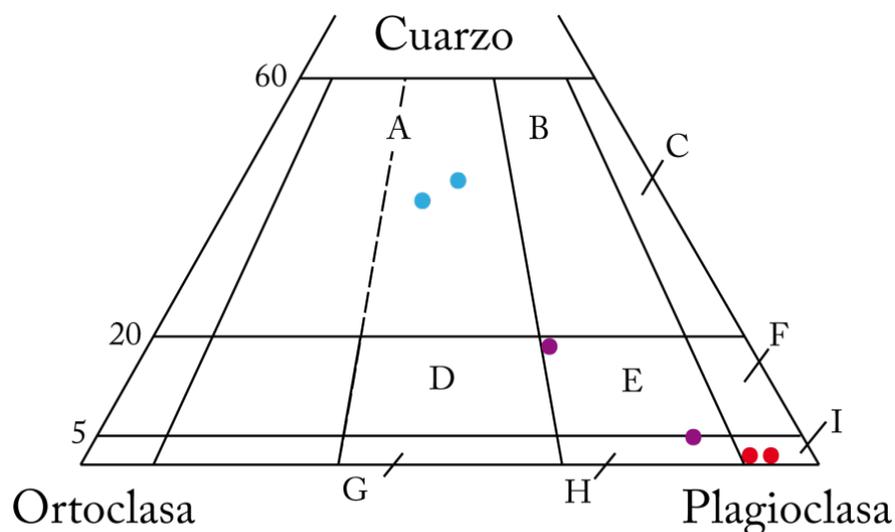


Fig. 5.1.2 Clasificación normativa CIPW de las rocas del área de estudio por el diagrama QAP de acuerdo a Streckeisen (1976). A: granito, charnoquita B: granodiorita, C: tonalita, D: cuarzo monzonita, E: cuarzo monzodiorita, F: cuarzo diorita, cuarzo anortosita, G: monzonita, mangerita, H: monzodiorita, monzogabro, jotunita, I: diorita, gabro, anortosita.

En la figura siguiente se muestra los contenidos de cuarzo (Q), albita (Ab) y anortita (An) normativos de las dos muestras de monzonitas, dos muestras de anortositas y dos muestras de granitos.

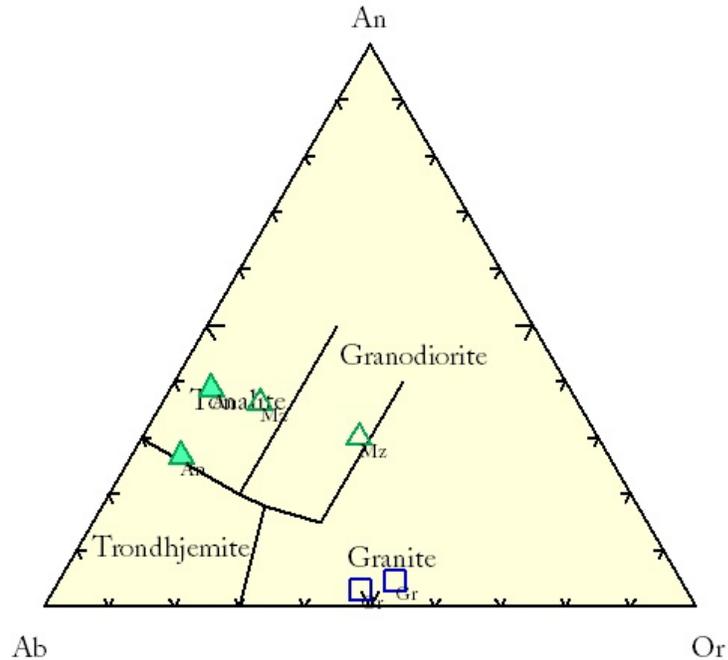


Fig. 5.1.3 Diagrama de clasificación normativa Ab-An-Or para rocas ígneas silíceas de O'Connor (1965) modificado por Baker (1979). Las anortositas están representadas por triángulos verdes rellenos, las monzonitas por los triángulos verdes huecos y granitos por cuadros.

Cuando los datos normativos de Or, Ab y An son graficados en el diagrama de clasificación normativo Ab-An-Or de O'Connor (1965) y modificado por Baker (1979), Tres de las seis muestras quedan contenidas dentro del campo de tonalitas, estas muestras son las dos anortositas, y una de las monzonitas (ACL-17), mientras que la otra muestra de monzonita (ACL-5) queda dentro del campo de las granodioritas. Los granitos quedan dentro del campo con el mismo nombre.

5.1.2 Diagramas Harker

Schaaf *et al.* (2002) y Salazar-Juárez (2008) publicaron una serie de datos geoquímicos correspondientes al Macizo de Chiapas, estos datos serán utilizados en el presente trabajo, ya que la localización de la litologías de dónde fueron obtenidos son rocas que se encuentran a los alrededores del área de estudio, en algunos casos dentro del área de estudio. Por lo que no se puede descartar una relación espacio-tiempo con las rocas de este trabajo. A continuación se presentan esos datos junto a los datos de las muestras correspondientes a la Barranca de Rosendo:

Nombre	Clave	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Monzonita	Mz	58.23	0.94	18.39	7.51	6.75	0.28	3.99	4.12	2.75	3.58	0.21
Monzonita	Mz	53.18	1.79	20.20	8.42	7.57	0.11	1.60	7.13	4.56	2.02	0.98
Anortosita	An	57.22	0.35	25.38	2.08	1.88	0.01	0.07	7.58	6.22	1.03	0.07
Anortosita	An	62.67	0.19	23.42	0.82	0.74	0.01	0.39	5.31	7.58	1.28	0.04
Granito*	Gr	76.97	0.13	12.17	1.27	1.14	0.03	0.28	0.60	3.16	5.34	0.03
Granito*	Gr	76.94	0.09	12.20	1.51	1.36	0.02	0.28	0.40	3.63	4.92	0.02
Granito**	CMP1	72.95	0.22	14.53	1.91	1.72	0.04	0.31	1.40	3.44	5.13	0.07
Gabro**	CMP3	51.84	1.26	18.83	8.81	7.93	0.14	5.27	8.14	4.22	1.20	0.30
Granodiorita**	CMP4	69.44	0.22	16.77	3.09	2.78	0.04	0.59	5.53	5.03	2.21	0.08
Granodiorita**	CMP8	64.34	0.68	16.98	4.79	4.31	0.07	1.51	4.21	4.50	2.66	0.25
Gabro**	CMP10	55.99	1.18	17.28	9.42	8.48	0.14	3.09	6.07	3.89	2.50	0.44
Gabro**	CMP13	49.46	0.60	17.97	7.00	6.30	0.12	7.18	13.38	1.47	2.76	0.07
Granodiorita**	CMP14	63.82	0.65	16.47	5.98	5.38	0.10	2.77	4.33	3.12	2.62	0.13
Granodiorita**	CB4	64.60	0.65	17.48	4.50	4.05	0.10	1.58	2.16	6.21	2.55	0.16
Granito**	CB7-2	69.37	0.51	15.09	3.42	3.08	0.13	1.15	3.05	4.60	2.63	0.05

Tabla 5.3 Datos geoquímicos de óxidos mayores del área Motozintla y Mazapa de Madero.

**Tomados de Schaaf *et al.* (2002) y * Salazar-Juarez (2008).

Para fines de este trabajo, los datos de Schaaf *et al.* (2002) y Salazar-Juárez (2008) serán graficados de forma conjunta a los valores geoquímicos de las rocas del área de Barranca de Rosendo, con el fin de resaltar de mejor forma el comportamiento de las rocas de esta zona.

Otro de los usos frecuentes de los elementos mayores, es la representación gráfica de la variación de estos, debido a la movilidad que sufren durante la evolución del magma. Estos diagramas mejor conocidos como diagramas de tipo Harker (1909), ayudan a interpretar o

modelar la evolución que ha sufrido el magma. Muchos procesos pueden estar involucrados en la evolución de un magma, pero los principales son: cristalización fraccionada, asimilación, fusión parcial y/o contaminación cortical.

En la Fig. 5.1.3 se pueden observar las distintas tendencias que toman los valores de los óxidos mayores conforme evolucionan las rocas. Por ejemplo, es muy notable la tendencia de estos elementos a sufrir una disminución en sus porcentajes o bien una correlación negativa conforme el sistema se enriquece en SiO_2 , tal es el caso de Al_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 , CaO , TiO_2 y P_2O_5 . En ciertos casos, como en el de Fe_2O_3 , tiende a enriquecerse primero antes de sufrir un empobrecimiento. En el caso de Na_2O , no se observa una tendencia obvia durante la evolución de estas rocas.

Las anortositas y monzonitas presentan generalmente las mismas tendencias como se puede apreciar en en la Fig. 5.1.3, aunque es notable que los valores de óxidos mayores que presentan son en ocasiones más enriquecidos o en otras empobrecidos a comparación de los valores de las rocas estudiadas por Schaaf *et al.* (2002) y Salazar-Juárez (2008). Los granitos rosa siempre aparecen al final de la evolución magmática en todos los diagramas, lo cual indica una sobresaturación en sílice. Cabe señalar que los datos geoquímicos originales de este trabajo son escasos y se advierte que un mejor entendimiento por medio de diagramas Harker debe realizarse con un muestreo mucho más amplio que permita la obtención de muestras de mejor calidad para estudios geoquímicos más precisos.

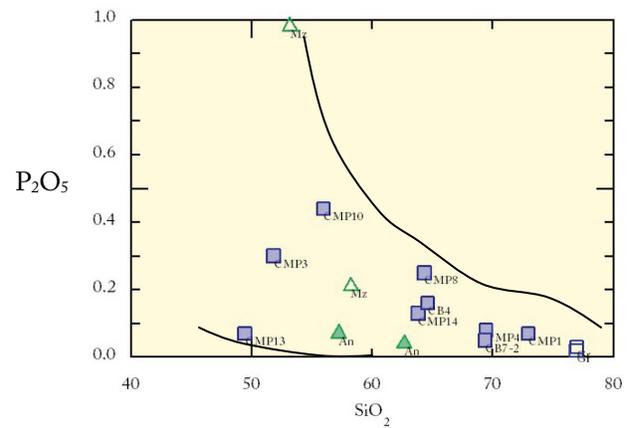
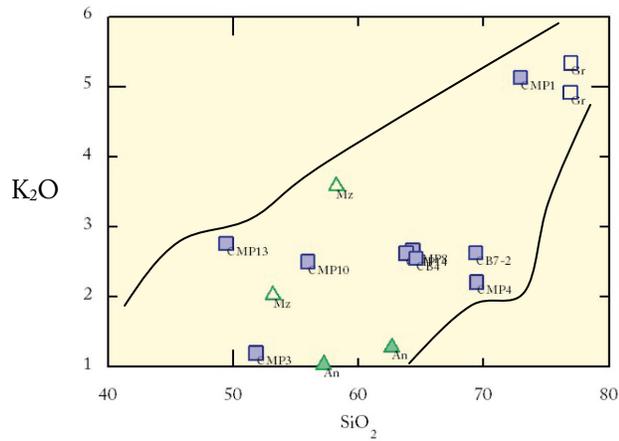
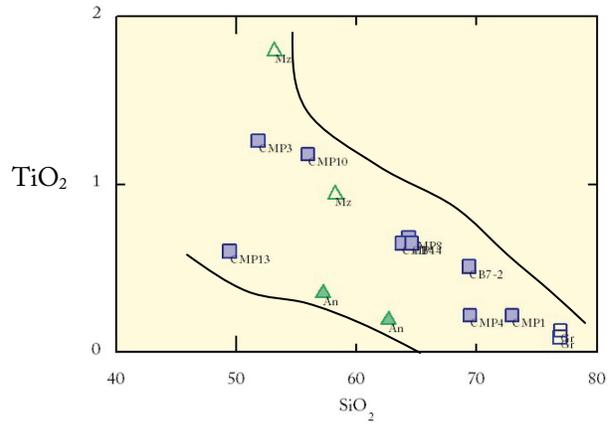
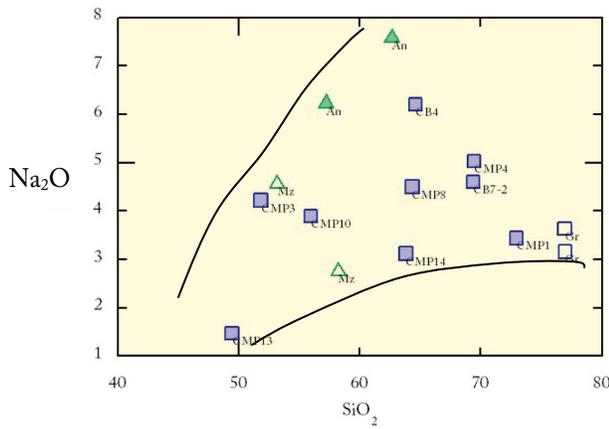
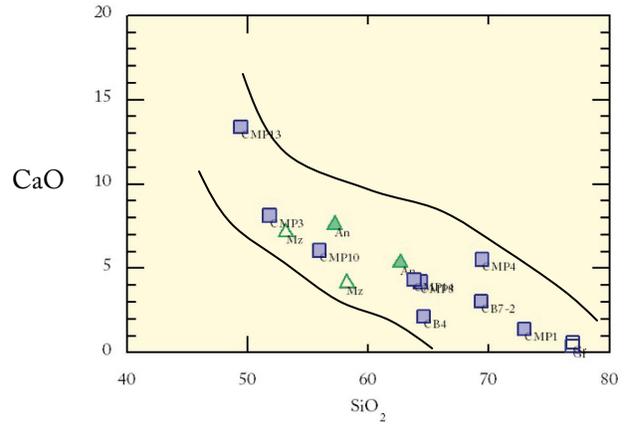
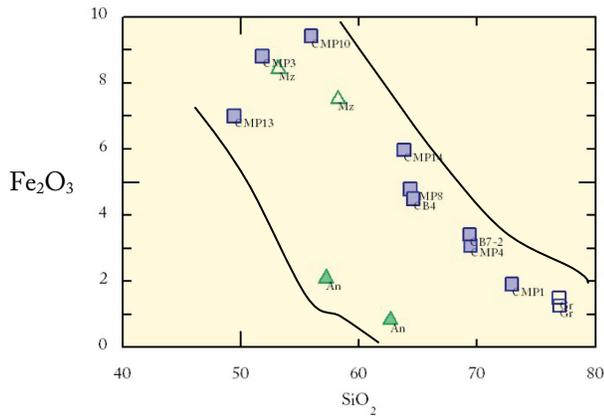
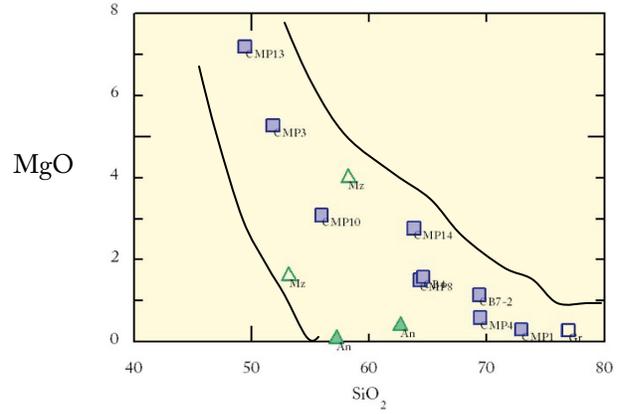
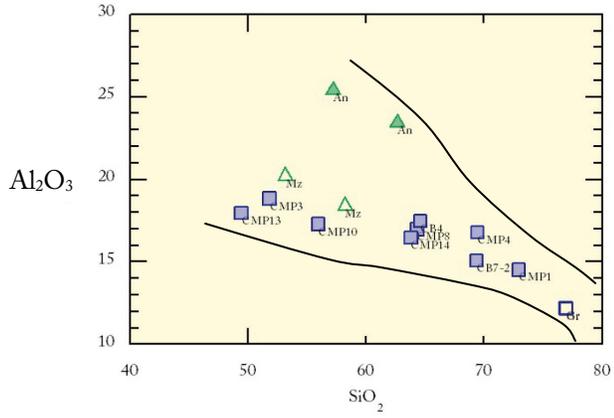


Fig. 5.1.4 Diagramas de variación Harker (1909). Óxidos mayores en función del porcentaje de SiO₂. Anortositas como triángulos verdes rellenos, monzonitas como triángulos verdes huecos, granitos rosas como cuadros huecos y los cuadros rellenos dato de Schaaf *et al.* (2002).

5.1.3 Diagramas Irvine y Baragar

Irvine y Baragar (1971) proponen un diagrama de discriminación entre la serie magmática alcalina y la serie sub-alcalina, con base en los contenidos de álcalis y sílice en la roca. A continuación se grafican los datos geoquímicos obtenidos del área de Barranca de Rosendo, datos de Shaaf *et al.* (2002) y Salazar-Juárez (2002).

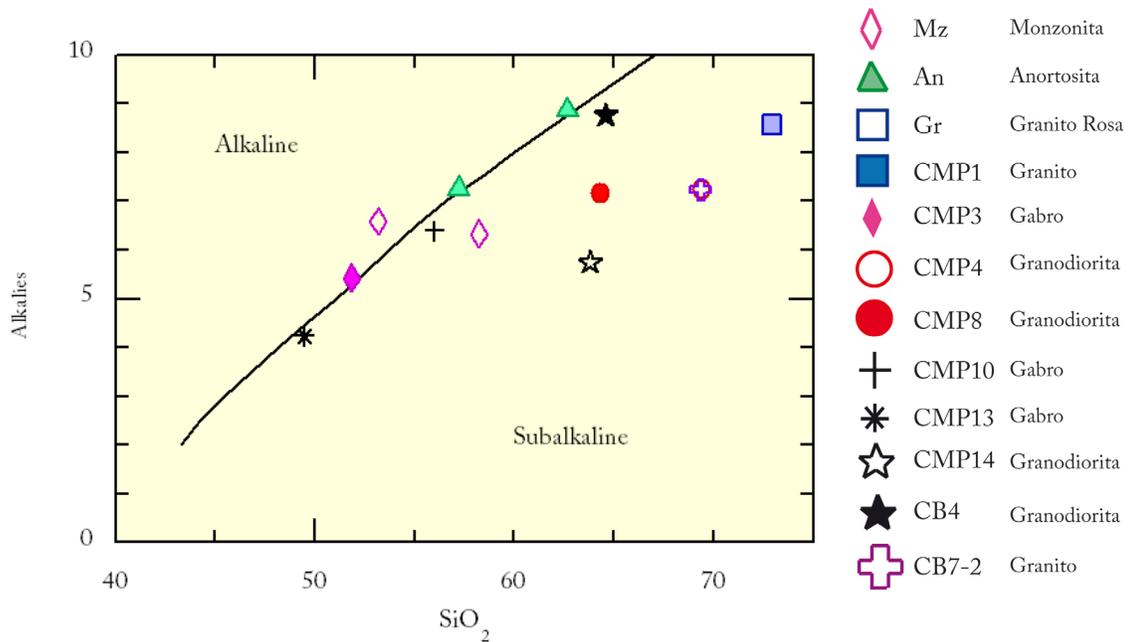


Fig. 5.1.5 Diagrama de discriminación entre la serie magmática alcalina y sub-alcalina de Irvine y Baragar (1971).

Se puede observar en la figura anterior que las anortositas se presentan en el límite entre las dos series, mientras que las muestras de monzonitas se encuentran en campos distintos. La mayoría de los datos de Shaaf *et al.* (2002).

Se ha empleado el diagrama de tipo Irvine-Baragar (1971) para la discriminación entre las series magmáticas de tipo calci-alcálico y toleítico. Se han graficado las muestras del área de estudio, junto a los datos geoquímicos obtenidos de Schaaf *et al.* (2002) y Juárez-Salazar (2008). Las muestras han quedado casi en su totalidad dentro del área que corresponde a la serie calci-alcálica.

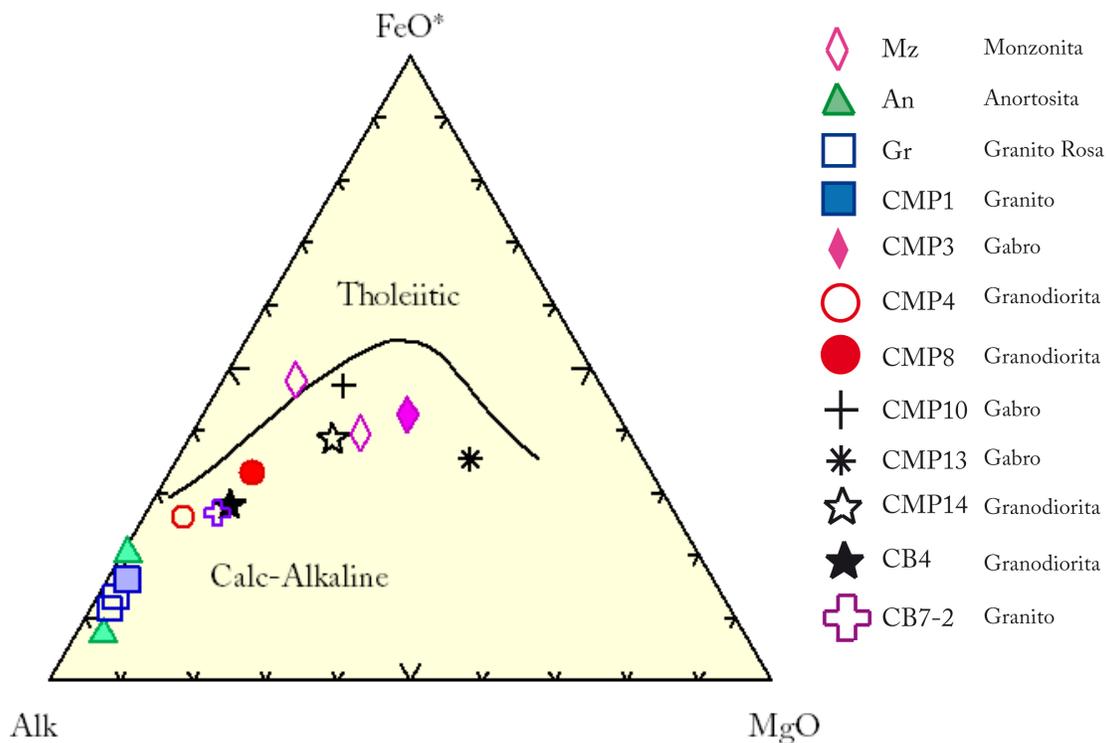


Fig. 5.1.6 Diagrama AFM propuesto por Irvine y Baragar (1971) mostrando la subdivisión entre magmatismo toleítico y calci-alcálico.

Tanto las anortositas y los granitos rosa, presentan bajos contenidos de fierro, en cuanto a las monzonitas, éstas se presentan mucho más enriquecidas en fierro. Una de ellas se

presenta en el campo de la serie toleítica. Las anortositas muestran una tendencia de enriquecimiento en álcalis al igual que los granitos rosa.

5.1.4 Diagrama Peccerillo y Taylor

En el diagrama de SiO_2 vs K_2O de Peccerillo y Taylor (1976) de la Fig. 5.1.7, el cual incluye al diagrama de Gill (1981), las anortositas se agrupan en el campo de la serie calci-alcalina, mientras que las monzonitas se presentan en la serie calci-alcalina rica en K

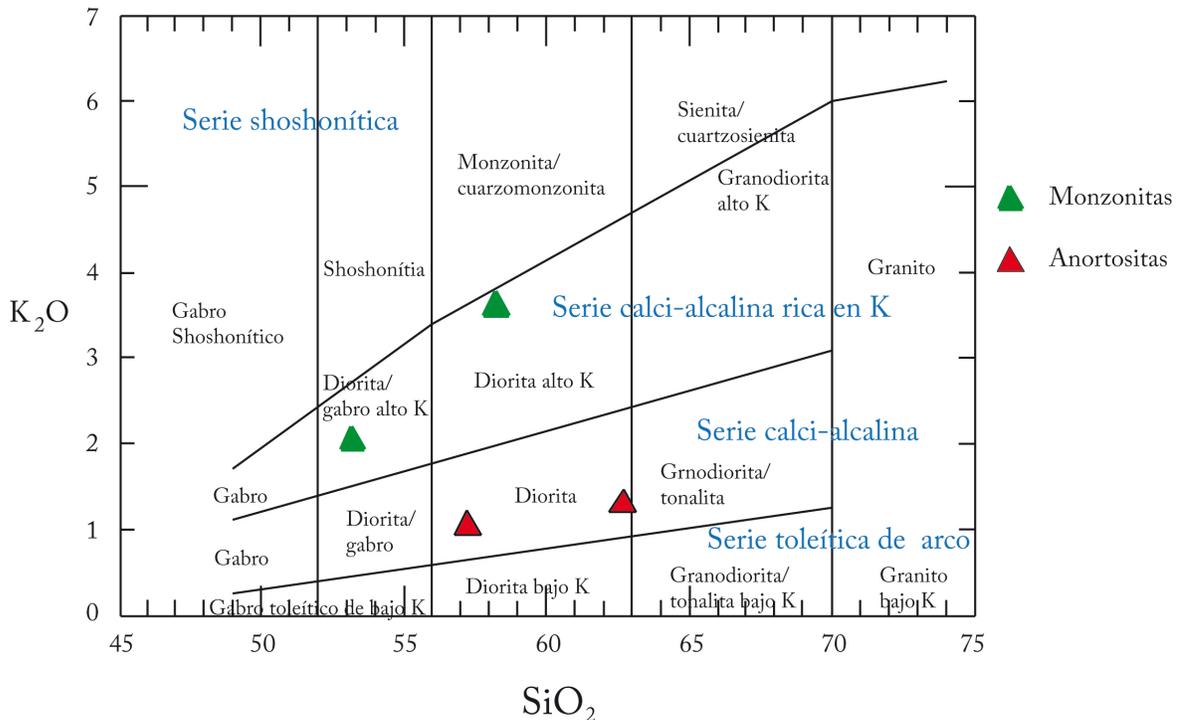


Fig. 5.1.7 Diagrama de clasificación de rocas plutónicas adaptado de Peccerillo y Taylor (1976), incluye el diagrama de Gill (1981), limita a las anortositas y monzonitas en calci-alcalinas y calci-alcalinas ricas en K, respectivamente.

5.1.5 Diagramas ternarios

Con la finalidad de observar el comportamiento y tendencia poblacional de ciertos óxidos mayores en la roca, se grafican los datos utilizando distintas combinaciones de elementos mayores. En la Fig. 5.1.5 se presenta un diagrama ternario de tipo $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$.

En el diagrama se han graficado los valores de las rocas estudiadas en este trabajo. Es posible observar tres tendencias poblacionales, por un lado, las anortositas se observan con bajas cantidades de potasio, cantidades de Na_2O y CaO aproximadamente iguales, la muestra An-4 (ACL-4) se presenta mayormente enriquecida en Na_2O , cabe mencionar que esta muestra presenta una alteración muy avanzada.

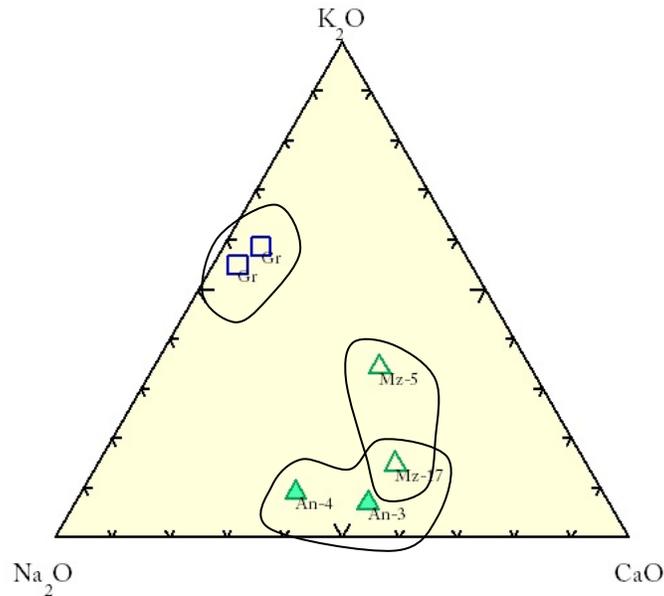


Fig. 5.1.8 Diagrama ternario $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$, mostrando las tendencias en agrupaciones según la litología. Anortositas en triángulos sólidos, monzonitas triángulos huecos, granitos rosa en cuadrados azules.

Las muestras de monzonita presentan valores más altos de K_2O que las anortositas, y presentan una tendencia más cálcica que sódica. En cuanto a los granitos rosas, se observan con valores muy elevados de potasio, mucho mayor que las anortositas y monzonitas. Estos

granitos presentan una tendencia más Sódica. En general, las diferentes litologías se podrían agrupar por zonas, ya que presentan comportamientos similares entre ellos.

A continuación se grafican los datos de elementos mayores obtenidos de muestras de la Barranca del Rosendo y datos de Schaaf *et al.* (2002) y Salazar-Juárez (2008) para analizar el comportamiento de las rocas del Macizo de Chiapas con las anortositas y monzonitas estudiadas en este trabajo.

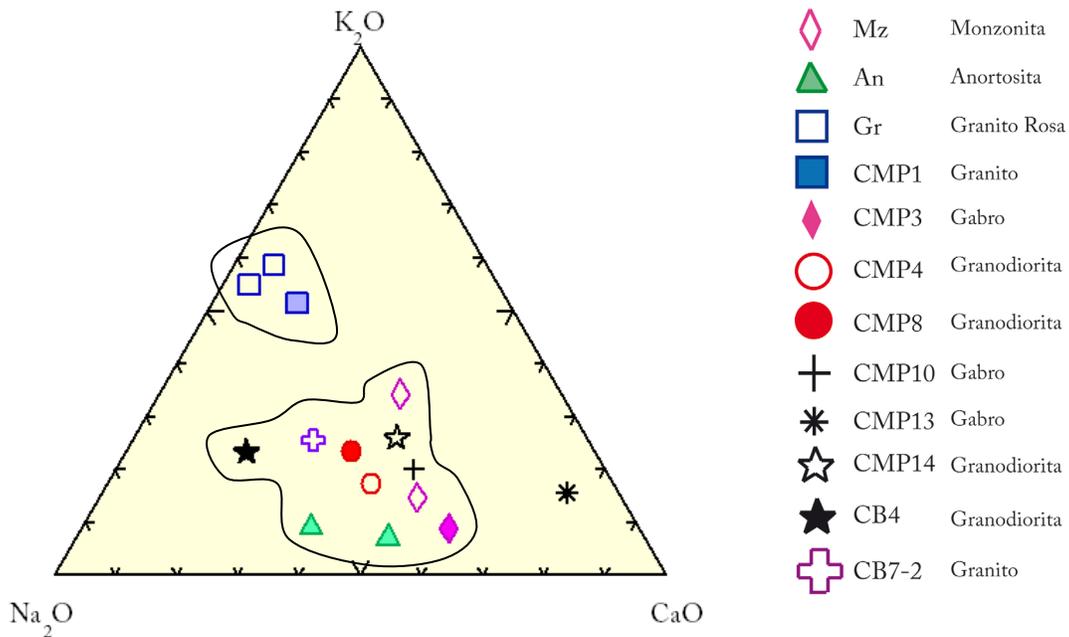


Fig. 5.1.9 Diagrama $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$ mostrando poblaciones con tendencias por los elementos Na, K y Ca.

Se puede apreciar en la figura anterior tres poblaciones de datos, una población constituida por granitos, los cuales están enriquecidos en K_2O , y presentan bajo CaO . Otra población presenta porcentajes de Na_2O y CaO aproximadamente iguales, y concentraciones de K_2O de bajas a medias. Dentro de esta población de datos se presentan las anortositas y monzonitas estudiadas. Existe un dato de gabro con una tendencia muy cálcica y valores de potasio medios y de sodio bajos. Esta circunstancia lo aleja de los demás datos gráficos.

5.2 Elementos traza

Muestra/ Elementos traza	Anortosita ACL-3	Anortosita ACL-4	Monzonita ACL-17	Monzonita ACL-5	Granito Rosa*	Granito Rosa*
Rb	25	43	32	135	281.07	261
Sr	1139	1170	891	360	39.64	13
Ba	535	707	1635	9236	78	46
Y	3	16	26	33	45.53	74.4
Zr	144	166	187	53	105.85	129
Nb	<0.7	13	14	17	34.48	47.4
V	10	18	<5	97	4.25	0
Cr	22	10	12	48	0	26
Co	8	83	12	17	1.17	0
Ni	14	24	7	15	0	0
Cu	40	32	43	43	0	12
Zn	157	35	135	186	0	0
Th	<3	0	<3	8	34.49	36.5
Pb	21	107	14	21	14.32	10

Tabla 5.4 Análisis químicos de elementos traza en ppm de roca total. * tomados de Salazar-Juárez (2008)

Comúnmente, las anortositas presentan concentraciones elevadas de estroncio, aunque pueden variar en un rango de 300 a 1800 ppm (Duchesne y Demaiffe, 1978). Los altos contenidos de estroncio son debido a su alto contenido en plagioclasas, ya que éstas pueden hospedar al elemento traza en su estructura. Esto, como consecuencia de que los radios iónicos del estroncio y del calcio son muy similares, permitiendo la infiltración de átomos de estroncio en la estructura molecular de las plagioclasas. Las tendencias generales indican un enriquecimiento en Sr con un decremento en Ca y un simultáneo incremento de Ba con K. Otro elemento traza característico presente en las rocas anortosíticas es el Ba, este se

presenta generalmente con concentraciones que varían de 10 a 1000 ppm (Duchesne y Demaiffe, 1978).

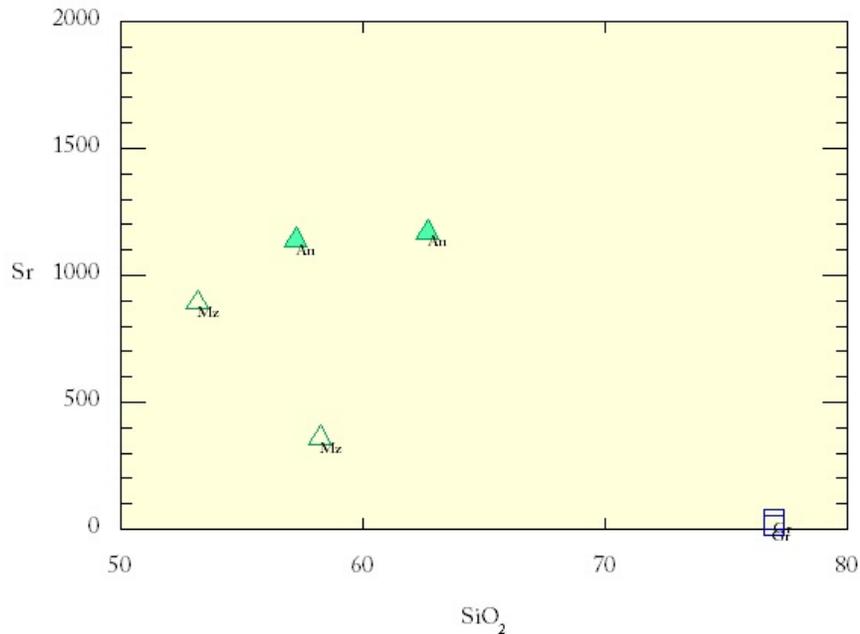


Fig. 5.2.1 Comparación gráfica de Sr vs SiO₂ en muestras del área de estudio. Sr en ppm y SiO₂ en wt %. Anortositas (An), monzonitas (Mz) y granitos (Gr).

Las concentraciones de Sr en las anortositas estudiadas son muy elevadas, superando las 1000 partes por millón como se observa en la figura 5.2.1. Debajo de las anortositas en lo que a concentraciones de Sr respecta, se encuentran las monzonitas, presentan elevadas concentraciones de Sr, pero no superan los niveles que presenta la anortosita. Casi en la base de la gráfica se presentan los granitos rosa, que presentan concentraciones muy bajas de Sr comparado a los niveles de las anortositas y monzonitas.

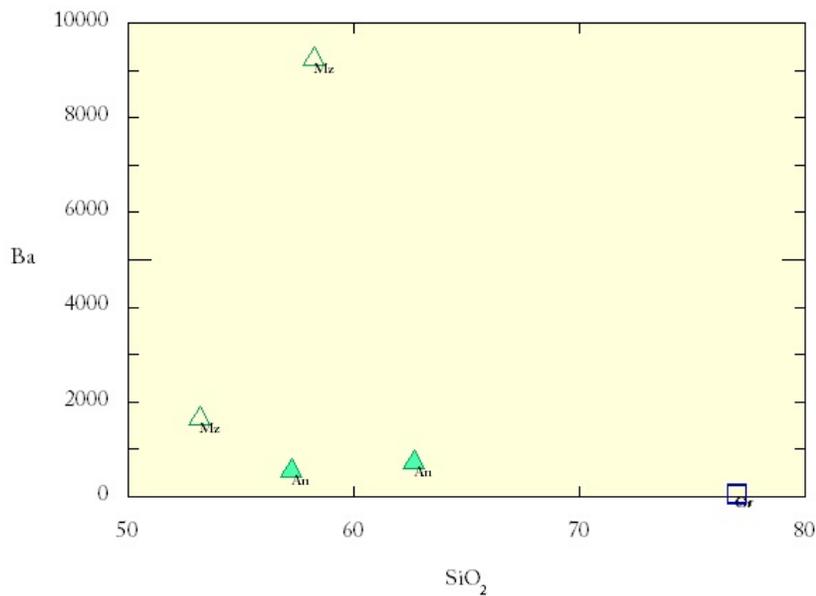


Fig. 5.2.2 Diagrama de Ba vs SiO₂ en muestras del área de estudio. Ba en ppm y SiO₂ en wt %. Anortositas (An), monzonitas (Mz) y granitos (Gr).

Se puede observar en la Fig. 5.2.2 una muy alta concentración de Ba en las monzonitas, esto debido a su alta afinidad por los feldespatos potásicos, también presenta cierta afinidad aunque no con la misma magnitud, con las plagioclasas, por lo que los valores de Ba se incrementan considerablemente.

5.2.1 Diagramas Harker

A continuación se presentan diagramas de variación de elementos traza de las litologías de Mazapa de Madero, junto a los datos geoquímicos del Macizo de Chiapas (Schaaf *et al.*, 2002) y del área de Motozintla, Chis. (Salazar-Juárez, 2008). Esto con la finalidad de observar el comportamiento de los elementos traza en los diferentes granitoides presentes en el Macizo de Chiapas.

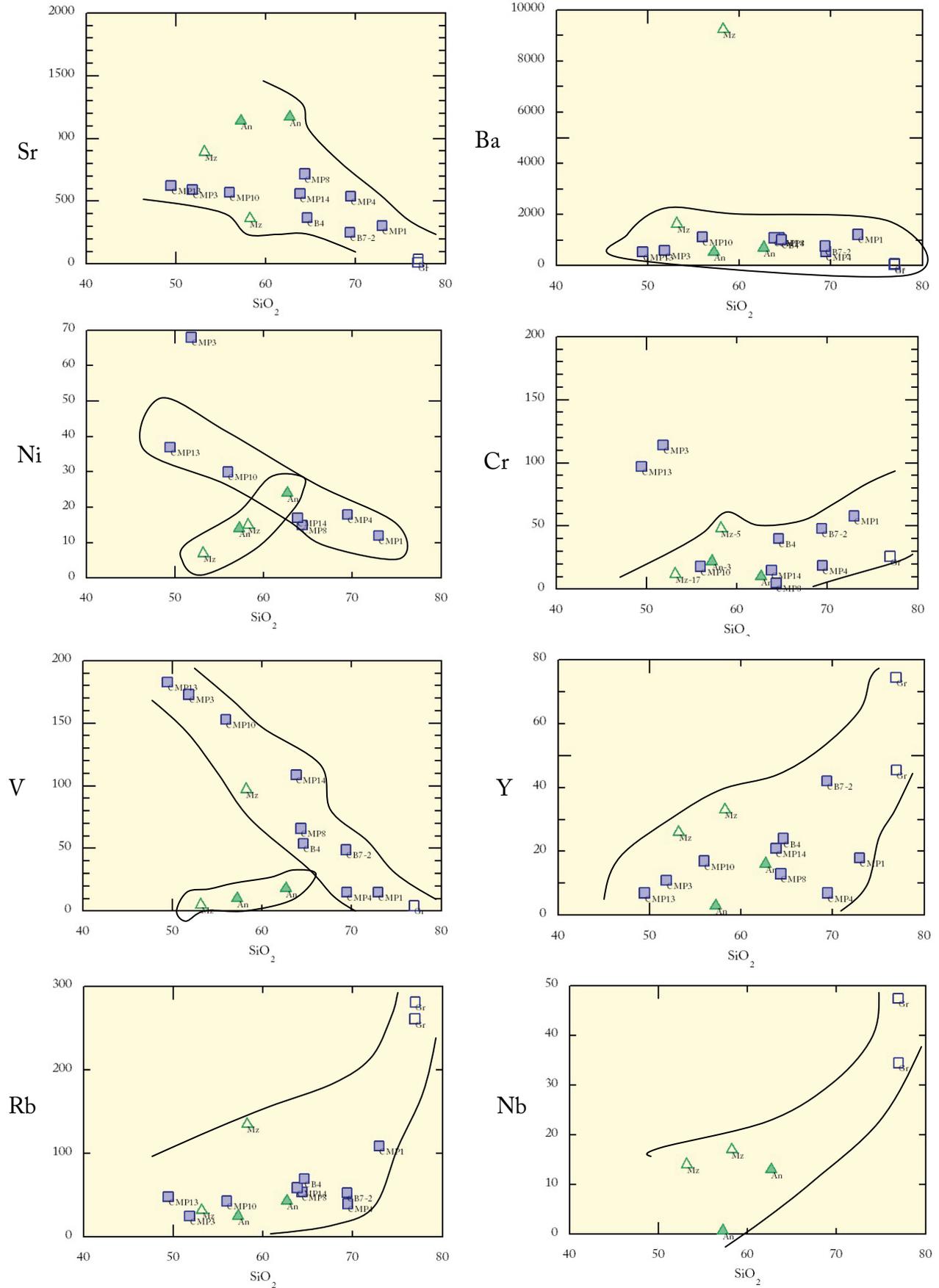


Fig. 5.2.3 Diagrama de variación de elementos traza respecto a la sílice. Anortositas como triángulos verdes rellenos, monzonitas como triángulos verdes huecos, granitos rosas como cuadros huecos y los cuadros rellenos dato de Schaaf *et al.* (2002).

Se puede observar que el comportamiento de los elementos traza respecto a la proporción de sílice presente en la roca, presenta distintas tendencias respecto a cada elemento. En el caso del Sr, las anortositas se presentan con la mayor proporción de este elemento, esto debido a las razones mencionadas con anterioridad. Conforme se enriquecen las rocas en SiO_2 , el estroncio disminuye considerablemente. En el caso del Ba, las rocas presentan un comportamiento muy homogéneo, siendo la excepción una muestra de monzonita que contiene valores cercanos a las 9000 ppm de Ba. El níquel presenta dos tendencias. Una que disminuye conforme se enriquece en SiO_2 , las muestras que presentan esta característica son los datos de Schaaf *et al.* (2002) y Salazar-Juárez (2008), mientras que las anortositas y monzonitas presentan una tendencia positiva conforme se enriquecen en SiO_2 . Las anortositas contienen mayores cantidades de Ni respecto a las monzonitas y granitos rosas, estos últimos no contienen proporciones de este elemento. El cromo presenta una tendencia positiva conforme se enriquece en sílice, las anortositas y monzonitas contienen cantidades que no rebasan las 50 ppm. El vanadio presenta dos tendencias, una positiva y una negativa, de la misma forma que el níquel, los datos realizados en este trabajo presentan una tendencia positiva, mientras los datos adquiridos de Schaaf *et al.* (2002) y Salazar-Juárez (2008) presentan una tendencia negativa conforme se enriquecen las rocas en sílice. El Y presenta una tendencia claramente positiva, siendo los granitos rosas los que contienen valores más altos de todas las muestras graficadas. Las anortositas presentan valores menores en vanadio a comparación de las monzonitas. Mientras que las anortositas no rebasan las 20 ppm, las monzonitas rondan en las 40 ppm. El rubidio presenta casi las mismas características del vanadio con una tendencia positiva siendo los granitos rosa los más enriquecidos en este elemento. Las únicas muestras que presentan cantidades de Nb son las estudiadas en este trabajo, ya que los otros estudios no detectaron cantidades de este

elemento en sus muestras. El comportamiento de Nb en las rocas del área de Barranca de Rosendo, son con la misma tendencia positiva que el V e Y. Siendo las rocas más enriquecidas en esto los granitos rosas.

5.2.2 Diagrama de araña

Para esta investigación no se han realizado estudios químicos de tierras raras, aun así, se intenta describir el comportamiento de los elementos disponibles, por medio de diagramas de araña. Los datos graficados pertenecen al área Barranca de Rosendo.

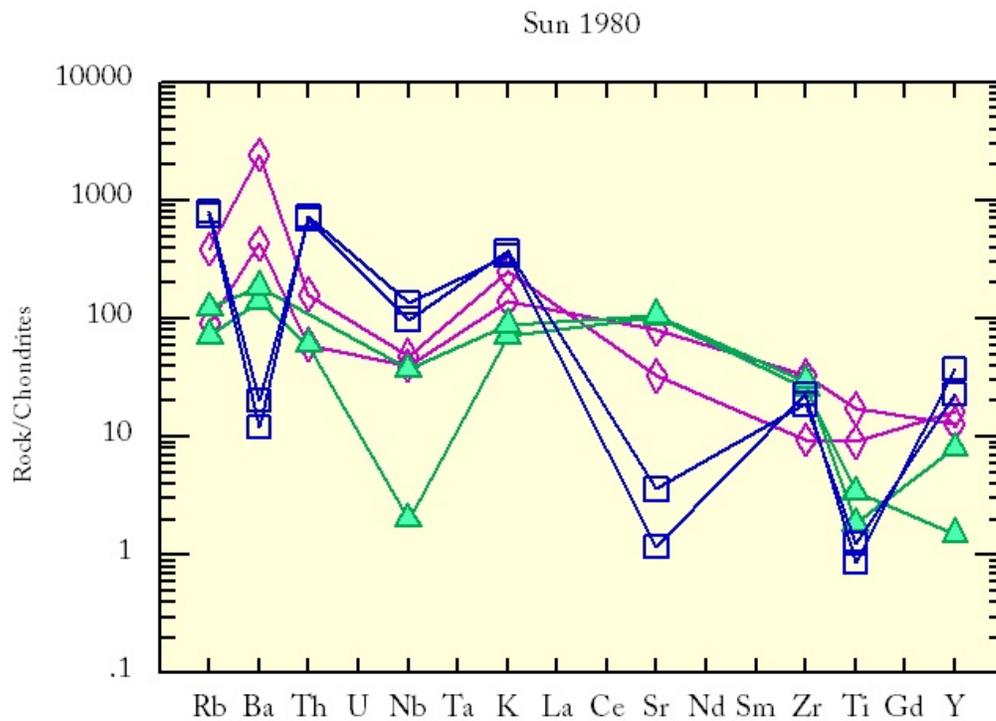


Fig. 5.2.4 Diagrama de araña de Sun (1980) representando los elementos traza obtenidos por medio de fluorescencia de rayos x. Normalizado con condrita. Triángulos verdes anortositas, cuadros azules granitos rosa y rombos violetas monzonitas.

El diagrama presenta anomalías notables en ciertos elementos tal es el caso del Ba, se puede observar una anomalía positiva fuerte en las monzonitas, mientras que los granitos presentan una fuerte anomalía negativa en este elemento. Los granitos presentan las

proporciones más altas de Thorio, este elemento se caracteriza por su alta incompatibilidad. En lo que respecta a Nb, todos presentan una anomalía negativa. Las anortositas la presentan de una forma fuerte, mientras que los granitos y monzonitas la presentan de forma moderada. El Sr se presenta con tendencias distintas en las tres litologías graficadas. Los granitos presentan una fuerte anomalía negativa, las monzonitas una anomalía positiva muy suave, y las anortositas una anomalía positiva moderada. En lo que al titanio respecta Los granitos son las muestras más pobres en este elemento, siendo las monzonitas las más enriquecidas en titanio. El Y se presenta en concentraciones más altas en los granitos, y en las anortositas se presenta con las proporciones más bajas de las tres litologías.

5.2.3 Diagrama de discriminación Pearce *et al.* (1984)

Diagrama de discriminación de Pearce *et al.* (1984) para rocas graníticas con contenidos mayores de 5% de cuarzo modal. Se ha empleado comúnmente para estudios de rocas grenvilianas para discriminar granitoides de arcos volcánicos de granitos intraplaca (Lawlor et al., 1999). Se puede observar que las rocas estudiadas (anortositas y monzonitas) caen dentro del campo de granitoides de arco volcánico.

Debido a que este diagrama se basa en concentraciones y no en promedios puede que no sea muy confiable, ya que el magma puede verse afectado por procesos de diferenciación o fraccionación (Weber y Hecht, 2003). Del mismo modo, ya que las anortositas son acumulaciones como resultado de diferencias de densidades, los datos geoquímicos representarían sólo esta porción del magma.

Como ejemplo el efecto de dilución por la acumulación de las plagioclasas puede cambiar las rocas del campo de granitoides intraplaca y de dorsales oceánicas al campo de arcos volcánicos. (Pearce et al. 1984).

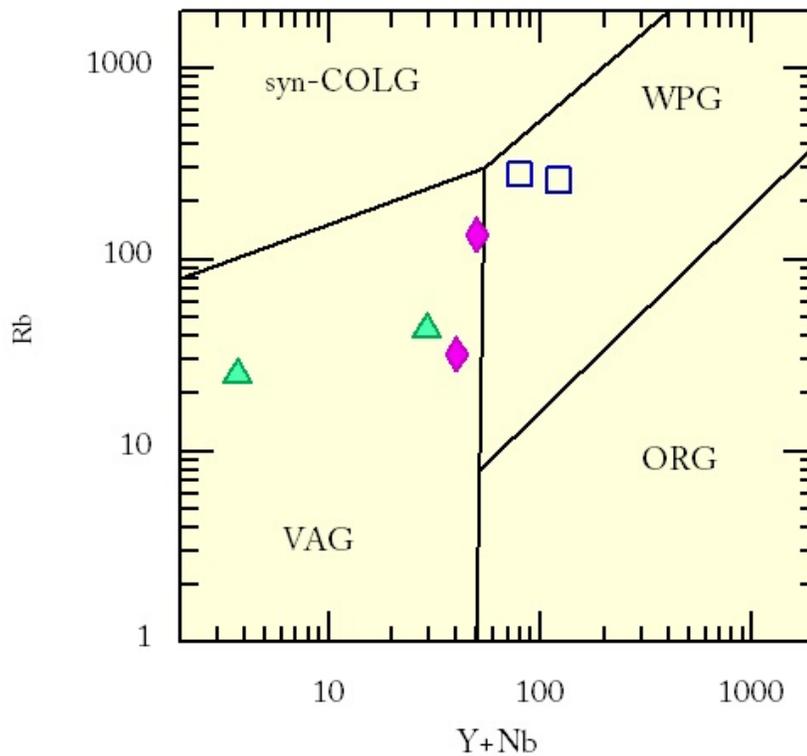


Fig. 5.2.5 Diagrama de discriminación Nb-Y de Pearce *et al.* (1984) para rocas con cuarzo modal. VAG= granitoides de arco volcánico, WPG= granitoides intraplaca, ORG= granitoides de dorsal oceánica, syn-COLG=granitoide sin-colisional. Rb, Y y Nb en ppm. Anortositas (Triángulos), Monzonitas (Rombos) y Granitos (Cuadros).

Se puede apreciar en el diagrama anterior, que tanto las anortositas chiapanecas, como las monzonitas, caen dentro del campo de granitoides de arcos volcánicos, situación que ocurre en las anortositas y gabros estudiados por Lawlor *et al.* (1999) en el Gneis Huiznopala.

Los datos geoquímicos del estudio son escasos y el área analizada es de una extensión pequeña, se tiene registro de la continuidad de estas rocas en otras zonas de Chiapas y Guatemala. Por lo que indicar un modelo de origen de estas rocas con base en los datos obtenidos no sería fiable, aunado a esto, el cambio químico que pudieron haber sufrido estas rocas por eventos de hidrotermalismo. Sería necesario un estudio geoquímico extenso de las

rocas de Mazapa de Madero y de las nuevas localidades registradas y no descritas en este trabajo, para tener la certeza de un modelo de origen más cercano a la realidad.

5.2.4 Comparación geoquímica de las anortositas con anortositas de otras partes del mundo y México

Se propone demostrar las similitudes geoquímicas que existen entre las anortositas del área de Barranca de Rosendo con anortositas de otras partes del mundo y de México, para el caso de anortositas mexicanas se utilizan datos geoquímicos de anortositas del área de Huiznopala Hgo., de Lawlor et al. (1999). Los datos geoquímicos de anortositas de otras partes del mundo son tomados de Campillo (2005).

En lo que respecta a elementos mayores, las anortositas presentan típicamente valores de SiO_2 de rocas básicas a intermedias, estando en el rango promedio entre 50% - 60% comúnmente. En la Tabla 5.3 se muestran algunos valores de elementos mayores en wt% de anortositas de diferentes partes del mundo, nótese que los valores son bastante similares.

Para identificar de forma clara las similitudes de las anortositas estudiadas con las de otras partes del mundo, se han realizado varios diagramas que evidencian que los valores tanto de las anortositas chiapanecas como las de otras partes del mundo y de México, se concentran generalmente en poblaciones.

Los valores de anortositas extranjeras son presentados en la Tabla 5.3, los datos geoquímicos de las anortositas estudiadas tienen una aproximación muy cercana con los valores de las anortositas de otros países, en el caso de la anortosita chiapaneca que presenta una mayor cantidad de SiO_2 se interpreta debido a que esta muestra presenta un mayor grado de alteración.

Litología	Localidad	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Anortosita ACL-3	Mazapa	56.46	0.34	25	2.06	0.01	0.07	7.48	6.14	1.01	0.067
Anortosita ACL-4	Mazapa	60.54	0.18	22.622	0.79	0.01	0.38	5.13	7.33	1.23	0.041
Anortosita	St. Charles	52.4	0.68	25.8	1.1	0.04	1.21	10.5	4.6	0.86	0.13
Anortosita	Mercer	53	0.45	24.5	1.49	0.06	1.07	8.86	0	1.71	0.13
Anortosita	Perú	52.5	0.11	27.89	0.44	0.02	0.27	9.31	4.4	2.4	0.04
Anortosita	Uluguru	55.4	0.25	26.66	1.15	0.02	0.2	9.27	5.54	0.75	0.08
Anortosita	Adirondacks	55.1	0.15	27.1	0.32	0.03	1.14	10.3	4.5	0.43	0
Anortosita	Adirondacks	57.6	0.14	26.1	0	0.02	0.4	8.45	6	0.81	0
Anortosita	San Gabriel	57.6	0.2	26.18	0	0.02	0.1	8.39	5.66	0.7	0.06
Anortosita	Madagascar	54.6	0.12	28.2	0.43	0.01	0.05	9.98	5.45	0.53	0.03
Anortosita	Huiznopala	55.12	0.15	26.89	1.22	0.03	1.32	7.48	5.58	2.18	0.03
Anortosita	Huiznopala	55.82	0.34	21.76	4.13	0.08	3.08	8.59	4.8	1.36	0.05
Anortosita	Huiznopala	54.96	0.22	25.57	2.12	0.04	1.96	9.34	5.24	0.51	0.04

Tabla 5.3 Datos geoquímicos de óxidos mayores de anortositas del área de estudio, de otras partes de México y del mundo.

En la figura 5.2.5 es posible observar una clara tendencia de agrupación, tanto de las anortositas mexicanas como las extranjeras. La mayoría de éstas, salvo algunas excepciones (ej. Roseland, Virginia y Pluma Hidalgo, Méx.), están empobrecidas en K₂O. La agrupación presente en el diagrama muestra una afinidad más cálcica que sódica, a excepción de una de las muestras de anortosita de Mazapa que se presenta con una tendencia más sódica.

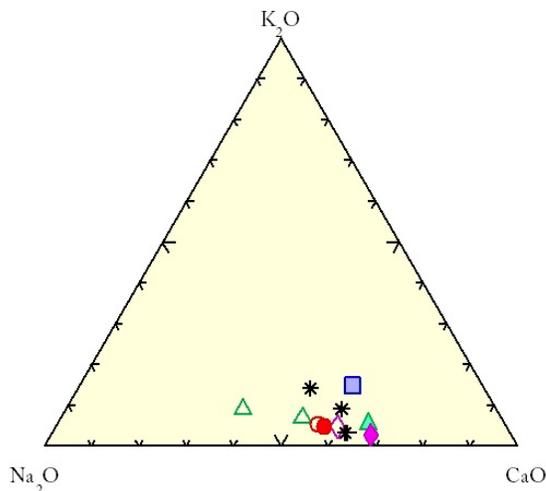


Fig. 5.2.6 Diagrama ternario Na₂O-K₂O-CaO, con datos de anortositas chiapanecas en triángulos verdes huecos y datos de anortositas de la localidad Huiznopala, Hgo., en asteriscos color negro, y anortositas del mundo.

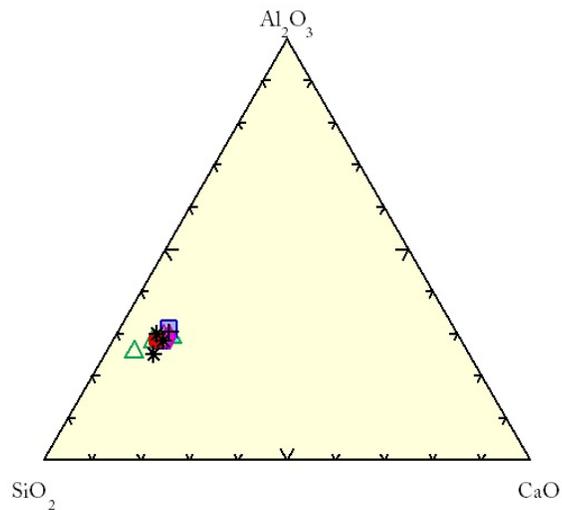


Fig. 5.2.7 Diagrama ternario $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$, donde se representan las anortositas de México y el mundo. Datos de anortositas chiapanecas en triángulos verdes huecos y datos de anortositas de la localidad Huiznopala, Hgo. En asteriscos color negro, y anortositas del mundo.

En el diagrama $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$, se puede observar al igual que en el diagrama de $\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O-CaO}$, una tendencia de agrupación de los datos geoquímicos de las anortositas de Mazapa, Huiznopala y otras partes del mundo. En este diagrama se puede observar que contienen altas proporciones de SiO_2 , proporciones medianas de Al_2O_3 alrededor de 25% y proporciones de un 10% de CaO .