

GEOQUÍMICA DEL DOMO VOLCÁNICO EN EL MUNICIPIO DE IZA, DEPARTAMENTO DE BOYACA; INTERPRETACIÓN GEODINÁMICA Y COMPARACIÓN CON EL VULCANISMO NEÓGENO DE LA CORDILLERA ORIENTAL

Ana María Vesga G¹, José Jaramillo M.^{1,2}

RESUMEN

Este trabajo tiene como propósito brindar nuevos datos analíticos, complementado los disponibles hasta el presente respecto a las rocas volcánicas de la región de Iza, (Boyacá); del mismo modo, el desarrollo de una nueva aproximación, en cuanto a determinar si existe una conexión directa con otros depósitos volcánicos geográficamente cercanos al área de estudio, usando métodos estadísticos descriptivos.

Se realizó una caracterización geoquímica para 12 muestras recolectadas en el área, donde se analizaron elementos mayores, menores y traza, y utilizando diagramas de caracterización para rocas efusivas, se corrobora que éstas poseen una afinidad alcalina de composición riolítica. Además de el uso de diagramas normalizados cuyas abundancias de elementos de campo electrostático fuerte (HFSE) como el Nb y Zr, y elementos de radio iónico grande (LILE) en este caso el Rb, permitieron caracterizar estas rocas propias de ambientes colisionales. Por otra parte, con los resultados obtenidos de los análisis estadísticos, se estableció la relación existente entre dos lugares geográficamente cercanos, como lo son cuerpos volcánicos de Los Naranjos y los de Paipa. En cuanto a las muestras de Iza, se encontró que no existe relación alguna con otro cuerpo volcánico entre los sectores estudiados, probablemente debido la alteración hidrotermal que presenta el domo de Iza.

Palabras clave: alcalina, alteración hidrotermal, ambientes colisionales, cuerpo volcánico, geoquímica, riolítica.

GEOCHEMISTRY OF THE VOLCANIC DOME IN THE MUNICIPIO OF IZA, DEPARTAMENTO OF BOYACA; INTERPRETATION GEODINAMIC AND COMPARISON WITH THE NEÓGENO VULCANISM OF THE ORIENTAL CORDILLERA

ABSTRACT

This work has as purpose to offer new analytic data, supplemented the available ones until the present regarding the volcanic rocks of the region of Iza, (Boyacá); in the same way, the development of a new approach, as for determining if exists a direct connection with other volcanic deposits geographically near to the study area, using descriptive statistical methods. It was realized a characterization geochemistry for 12 samples gathered in the area, where were analyzed big elements, smaller and traces and using diagrams of characterization for effusive rocks, it is corroborated that these possess an alkaline likeness of composition riolitic. Besides the use of normalized diagrams whose abundances of elements of strong electrostatic field (HFSE) as the Nb and Zr, and elements of big ionic radio (LILE) in this case the Rb, they allowed to this rocks characteristic of ambient coalitional. On the other hand, with the obtained results of the statistical analyses, the existent relationship settled down between two geographically places near, as are it volcanic bodies of Los Naranjos and those of Paipa. As for of Iza, it was found that relationship doesn't exist some with another volcanic body among the studied sectors, probably due the alteration hydrothermal that presents the dome of Iza.

Key words: alkaline, alteration hydrothermal, ambient colisionales, geochemistry, riolitic, volcanic body.

¹ Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, ² Laboratorio GMAS Ltda.
amvesgag@unal.edu.co, jjaramillo@laef.com

INTRODUCCIÓN

Con base a información adquirida de trabajos realizados anteriormente y con nuevos datos geoquímicos de muestras recolectadas en las rocas volcánicas Terciarias provenientes de cercanías del Municipio de Iza, se examina una posible relación entre este vulcanismo con otros depósitos volcánicos geográficamente cercanos al área, interpretando su marco geotectónico, y así, caracterizando los procesos que dieron lugar a este depósito. Con lo anterior se pretende contribuir al vulcanismo Terciario en la Cordillera Oriental.

METODOLOGIA

Para la realización de este trabajo, se desarrolló una investigación y recopilación bibliográfica de información existente sobre algunos trabajos relacionados a vulcanismo en la Cordillera Oriental. Posteriormente se revisó la cartografía geológica de la zona, localizando los cuerpos volcánicos de interés en este estudio. Se recolectaron 12 muestras en la región de los Sauces o Alto de Vita, Iza, de manera aleatoria, teniendo en cuenta un muestreo en zigzag de arriba hacia abajo, en el área de la cantera.

Se realizaron análisis químicos en los laboratorios de AcmeLabs en Canadá, posterior a una preparación, donde fueron trituradas hasta tamaño de μ en un molino, en el laboratorio Gmas Ltda. en Bogotá. Estos análisis comprenden dos modalidades, el primero de roca entera dando la abundancia de elementos mayores y menores por medio de análisis de ICP-Inductively Coupled Plasma, y el segundo de elementos traza totales por el método ICP-MS, Inductively Coupled Plasma- Mass Spectrometry.

Con la información obtenida en trabajos previos se generó una tabla de Excel donde fueron ingresados datos de análisis químicos de elementos mayores en las diferentes zonas de interés, y mediante un tratamiento estadístico, permitió obtener gráficos descriptivos indispensables para la interpretación de resultados en cuanto a establecer una conexión con otros volcanes en la Cordillera Oriental. Con los nuevos datos obtenidos en la región de los Sauces se realiza una nueva interpretación geoquímica de la roca.

RESULTADOS OBTENIDOS

GEOQUIMICA

De acuerdo a los resultados de las doce muestras tomadas para este trabajo, los análisis geoquímicos aportan

nueva información, que permite explicar el proceso de formación de este depósito. Para este propósito se utilizaron análisis de elementos mayores, menores y elementos traza (TABLA 1), para poder clasificar y caracterizar genéticamente el depósito del domo de Iza. Los datos geoquímicos fueron trabajados en un software para petrología ígnea llamado IGPET, que por medio de diagramas, permiten interpretar los patrones de variación geoquímica. Nueve muestras fueron seleccionadas después de realizar un filtrado de la información, en donde las muestras AMD-06, AMD-09 y AMD-10 fueron descartadas debido a su altísimo porcentaje de SiO_2 ; con lo anterior fueron normalizados los datos a un 100 % ($100/(\text{Sum de óxidos})$) libre de agua y se recalcularon los valores de FeO total.

En el diagrama de Álcalis total ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) vs SiO_2 (FIGURA 1), la gran mayoría de las muestras se encuentran en el campo de clasificación de rocas subalcalinas cuyos valores se encuentran entre ~ 4.68 y ~ 8.04 . A su vez dentro de esta serie subalcalina las rocas pueden ser clasificadas como tholeítica o calcoalcalinas, para este caso se utiliza un diagrama AFM, en donde como se puede observar en la FIGURA 2, las muestras caen dentro del campo de las rocas calcoalcalinas. Teniendo en cuenta los bajos valores de MgO y los altos de Álcalis que se obtuvieron de los análisis químicos, las muestras se sitúan muy cerca al límite de alcalinidad, y una única muestra que cae en el campo de la tholeítica.

Teniendo en cuenta que estas rocas ya han sido clasificadas químicamente como riolitas en trabajos anteriores, el objetivo en este caso es verificar su tendencia. Según el esquema TAS de Le Bas et al. (1986) (FIGURA 3), la mayoría de las muestras se clasifican como riolitas; algunas muestras salen del dominio de las riolitas debido a la presencia de una alta alteración que ha afectado estas rocas, modificando su composición original.

En cuanto al contenido de tierras raras, en el diagrama normalizado a condritas de la FIGURA 4, se observa un fuerte enriquecimiento de las muestras con respecto al condrito, su contenido es entre 10 y 100 veces mayor, y la pendiente es negativa con un enriquecimiento de Tierras Raras ligeras (LREE) en comparación con las Tierras Raras pesadas (HREE), pero en general las muestras presentan un comportamiento relativamente homogéneo. La muestra AMD-5 presenta la misma tendencia, pero su contenido es mucho más alto. Se comparó los análisis dados en los circones encontrados en las muestras de Iza, tomados de (Moreno 2007), y como se puede observar en la FIGURA 4, existe un comportamiento contrario al de las muestras tomadas para este trabajo; la muestra (SCM-1) presenta una

TABLA 1. Resultados de análisis químicos de elementos menores y elementos traza de las muestras del domo de Iza

Analyte	Unit	AMD 1	AMD 2	AMD 3	AMD 4	AMD 5	AMD 6	AMD 7	AMD 8	AMD 9	AMD 10	AMD 11	AMD 12
		△	□	◇	○	+		✱	☆			⊕	⊗
SiO ₂	59,48	68,29	61,31	65,38	68,83	92,74	58,53	62,98	80,23	86,55	55,58	51,71	SiO ₂
Al ₂ O ₃	18,19	16,26	20,65	22,59	17,19	0,91	15,68	15,28	5,09	4,01	16,44	21,41	Al ₂ O ₃
Fe ₂ O ₃	1,18	1,16	0,85	0,99	1,73	0,75	1,01	1,83	0,69	0,8	2,45	0,48	Fe ₂ O ₃
MgO	0,04	0,06	0,04	0,02	0,17	<0,01	0,02	0,02	<0,01	0,02	0,03	0,01	MgO
CaO	0,01	0,01	0,02	0,02	0,07	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	<0,01	0,03	CaO
Na ₂ O	0,21	0,1	0,13	0,02	0,27	0,01	0,07	0,26	0,05	0,02	0,09	0,23	Na ₂ O
K ₂ O	10	3,32	5,22	1,51	5,7	0,12	6,52	8,76	0,87	1,21	6,85	3,43	K ₂ O
TiO ₂	0,22	0,21	0,26	0,17	0,25	0,4	0,2	0,21	0,28	0,48	0,22	0,62	TiO ₂
P ₂ O ₅	0,06	0,04	0,04	0,1	0,13	<0,01	0,07	0,04	0,1	0,04	0,02	0,17	P ₂ O ₅
MnO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	MnO
Cr ₂ O ₃	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	0,005	0,004	<0,002	0,007	0,002	0,016	Cr ₂ O ₃
Ni	ppm	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Sc	ppm	3	2	2	2	3	2	2	2	1	3	3	12
Ba	ppm	2622	850	1476	292	1133	494	1252	1504	435	1300	1394	759
Be	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Co	ppm	<0.2	0.5	<0.2	<0.2	0.5	<0.2	1.2	2.2	0.3	0.4	0.6	1.3
Cs	ppm	0.7	0.4	0.5	0.6	0.8	0.3	0.4	0.8	<0.1	0.2	1.2	0.3
Ga	ppm	17.7	17.7	17.7	14.0	18.4	0.9	15.7	18.0	9.8	3.7	17.0	32.5
Hf	ppm	3.8	4.1	5.5	2.7	4.1	6.9	3.2	3.4	4.1	6.6	3.6	4.1
Nb	ppm	22.1	22.9	27.0	16.2	24.5	39.3	19.1	20.1	27.4	26.0	22.0	12.9
Rb	ppm	279.5	95.5	141.0	68.0	212.6	14.6	122.6	242.3	10.3	17.7	136.8	24.5
Sn	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2	<1	3
Sr	ppm	332.2	153.4	171.7	814.2	1022	36.8	480.2	264.0	464.8	91.6	107.3	560.5
Ta	ppm	1.0	1.0	1.2	0.7	1.1	1.9	0.9	0.9	1.2	1.4	1.1	1.0
Th	ppm	5.8	4.3	6.5	3.9	5.0	3.5	4.4	4.0	4.1	6.6	4.2	20.6
U	ppm	3.3	2.6	2.6	1.7	3.2	3.7	3.3	3.2	2.9	3.8	3.1	3.1
V	ppm	41	38	27	29	38	<8	30	33	15	22	31	155
W	ppm	1.6	0.5	<0.5	2.5	4.5	1.6	2.2	2.5	1.1	4.4	1.2	1.6
Zr	ppm	147.7	146.4	208.4	107.5	143.3	237.5	112.8	124.6	163.2	243.1	131.0	140.6
Y	ppm	4.5	3.7	4.3	2.3	7.2	3.8	3.8	3.7	3.7	9.0	4.0	23.8
La	ppm	19.0	6.9	8.5	13.7	15.3	1.5	22.6	11.3	22.5	9.0	9.4	50.3
Ce	ppm	30.8	11.5	13.7	22.5	27.4	2.9	39.3	18.0	36.8	15.8	14.2	87.3
Pr	ppm	2.86	1.32	1.56	2.24	3.09	0.31	4.38	1.94	4.25	1.66	1.26	10.08
Nd	ppm	8.4	4.6	6.2	7.3	12.0	1.1	16.0	6.9	15.8	5.8	3.9	38.5
Sm	ppm	1.08	1.01	0.95	1.14	1.70	0.21	1.91	1.11	2.27	0.93	0.51	6.73
Eu	ppm	0.31	0.27	0.27	0.27	0.41	0.07	0.47	0.32	0.49	0.25	0.15	1.35
Gd	ppm	0.58	0.58	0.54	0.52	1.07	0.24	0.89	0.58	1.07	0.93	0.44	5.16
Tb	ppm	0.09	0.09	0.10	0.07	0.17	0.06	0.11	0.09	0.15	0.18	0.08	0.86
Dy	ppm	0.55	0.57	0.61	0.43	1.08	0.47	0.58	0.63	0.73	1.31	0.63	4.92
Ho	ppm	0.14	0.12	0.15	0.08	0.22	0.13	0.12	0.14	0.14	0.31	0.14	0.87
Er	ppm	0.56	0.48	0.53	0.31	0.76	0.50	0.43	0.45	0.45	1.20	0.51	2.68
Tm	ppm	0.11	0.10	0.11	0.06	0.14	0.10	0.08	0.10	0.09	0.24	0.10	0.43
Yb	ppm	0.77	0.66	0.81	0.46	0.93	0.88	0.57	0.74	0.68	1.55	0.72	2.60
Lu	ppm	0.14	0.13	0.15	0.09	0.16	0.17	0.11	0.13	0.12	0.29	0.13	0.40
Mo	ppm	0.4	0.2	<0.1	0.2	1.9	0.2	0.5	0.7	0.1	0.7	0.3	0.2
Cu	ppm	2.0	1.1	2.6	0.5	1.1	0.7	1.5	6.6	2.0	3.5	5.7	0.5
Pb	ppm	19.3	8.3	172.4	56.2	91.3	4.6	8.2	164.7	28.3	40.2	20.5	32.2
Zn	ppm	2	<1	<1	<1	3	<1	4	917	<1	4	13	1
Ni	ppm	0.7	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	1.1	2.0	0.4	1.5	0.8	0.5
As	ppm	3.7	4.0	3.5	5.5	8.9	<0.5	0.8	4.4	1.5	0.5	4.2	3.9
Cd	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	4.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sb	ppm	0.2	0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	0.5	0.4	0.1	1.4	0.2
Bi	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2
Ag	ppm	1.3	0.3	20.7	<0.1	0.2	<0.1	0.2	5.2	3.1	9.8	4.5	<0.1
Au	ppb	5.8	4.2	3.3	9.6	6.6	7.3	2.7	4.4	6.4	4.8	1.0	<0.5
Hg	ppm	1.01	0.79	0.54	0.11	0.09	0.04	0.44	0.32	9.01	11.81	0.32	0.02
Tl	ppm	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.1	<0.1	0.5	<0.1	<0.1	0.1	<0.1
Se	ppm	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5

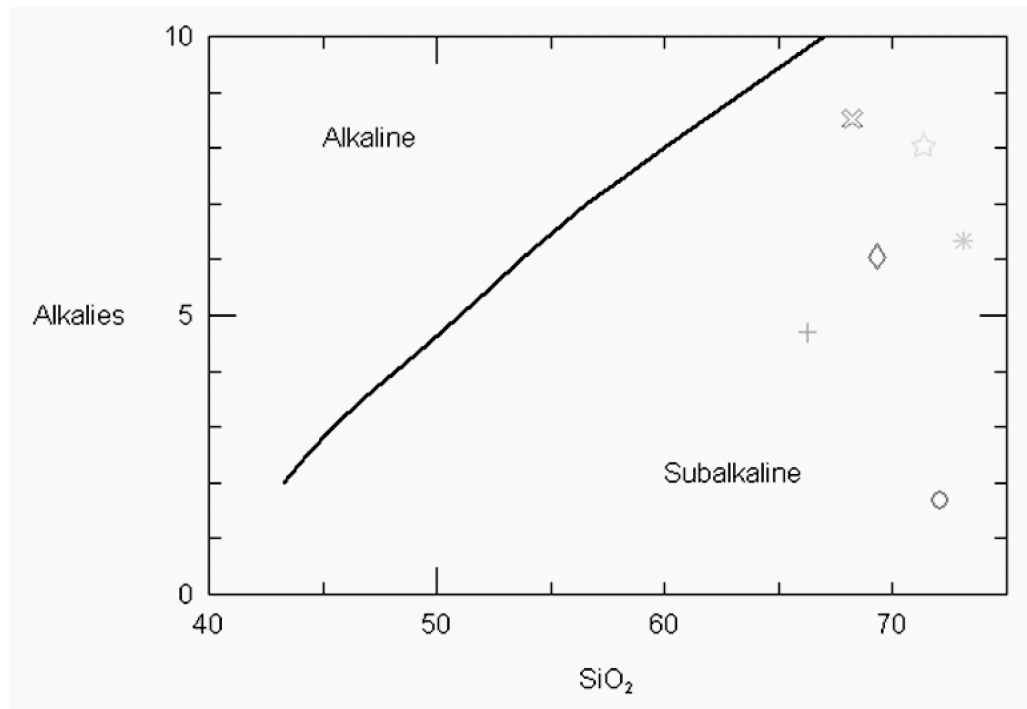


FIGURA 1. Diagrama de álcalis total vs SiO₂ (Irvine & Barragar 1971) Los símbolos se relacionan en la Tabla 1

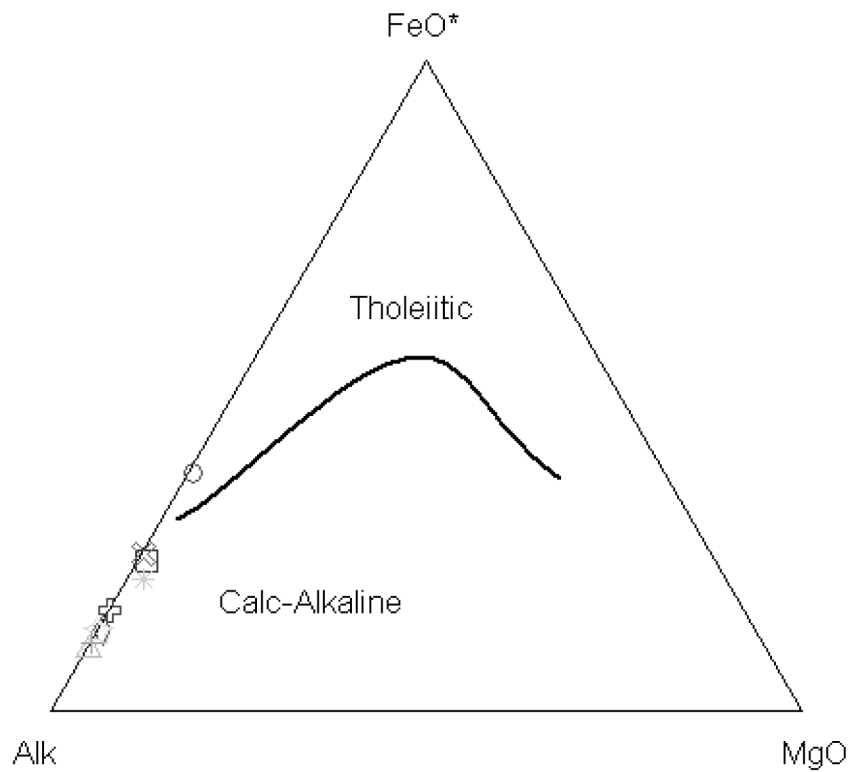


FIGURA 2. Diagrama AFM (A=Na₂O + K₂O, F=FeO + 0,9Fe₂O₃ y M=MgO) (Irving & Barragar 1971)

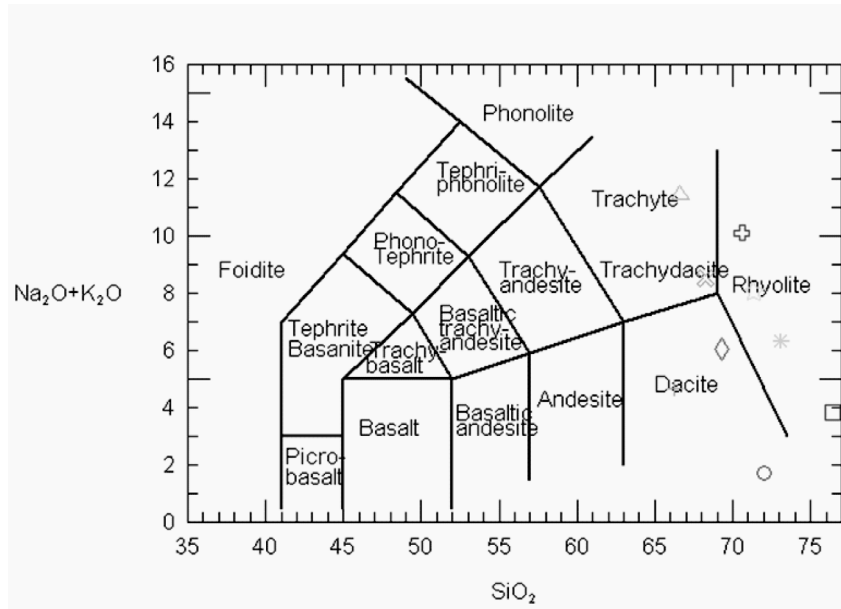


FIGURA 3. Diagrama TAS Álcalis total vs Silíce (Le Bas et al. 1986).

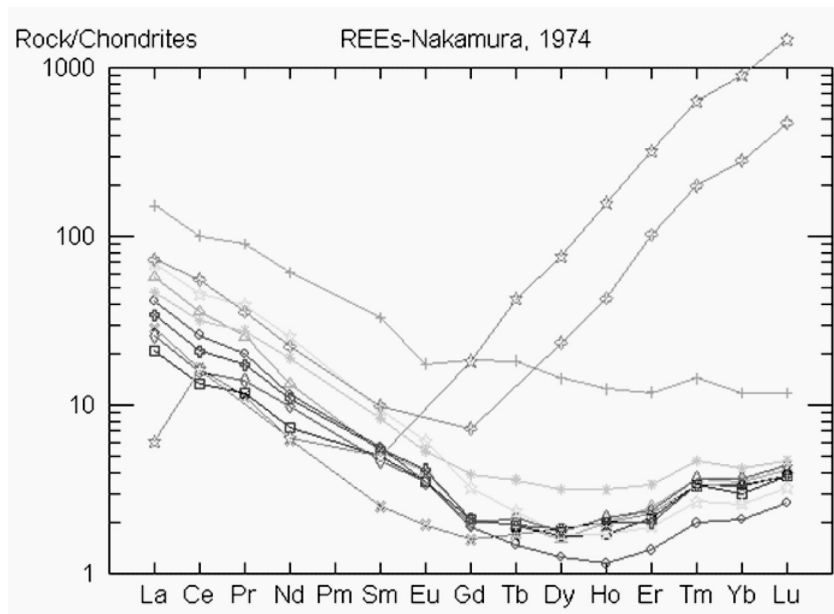


FIGURA 4. Diagrama REE Nakamura, 1974, Chondrites. Los símbolo de ☆ (SCM-1) y + (SCM-2) hacen referencia a los datos geoquímicos en circones encontrados en el domo de Iza tomados de Moreno (2007).

anomalía positiva en Ce, y después se vuelve con una tendencia negativa, hacia los elementos ligeros, pero en el Sm la tendencia cambia con una pendiente positiva, mientras que la muestra (SCM-2) presenta una tendencia negativa, lo que indica un enriquecimiento en los elementos ligeros, y en Gd, igualmente cambia su tendencia.

Como se puede observar en el diagrama normalizado a condrita de Thompson de 1982 (FIGURA 5), los elementos se encuentran ordenados de izquierda a derecha con incompatibilidad decreciente. Se observa un enriquecimiento en elementos de radio iónico grande (LILE, Large Ion Lithophile Elements: Rb, K, Sr) dado por la formación de picos positivos en estos elementos, y

la ausencia de anomalías representativas para elementos de campo electrostático fuerte (HFSE, High Field Strength Elements) como el Nb, Ta, Zr y Y. En el caso de Th y P, se presentan anomalías negativas atribuibles a un fraccionamiento de fases minerales compatibles con dichos elementos en la cámara magmática. Cabe destacar que la muestra AMD-5, presenta un comportamiento opuesto al de las otras muestras, en donde para el Rb presenta una anomalía negativa, mientras que para el Th es positiva.

En el diagrama de Sun & McDonough (1989) normalizado al manto primitivo (FIGURA 6), se puede observar del mismo modo una tendencia negativa de enriquecimiento con respecto al manto primitivo, con anomalías positivas como los que se dan en elementos LILE como el Rb y K, y Pb haciendo parte de los metales de transición, en el caso de los HFSE anomalía positiva para el Zr y negativa para el Nb, y para el P una anomalía negativa como un elemento de transición.

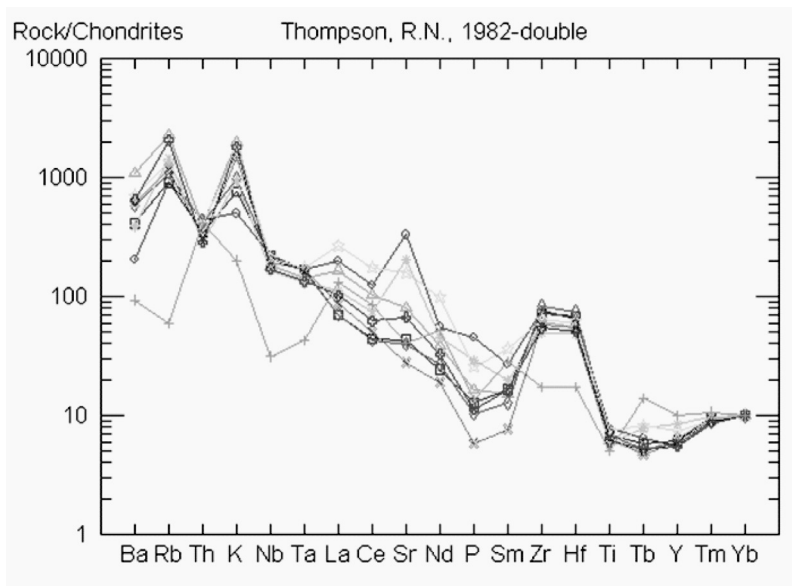


FIGURA 5. Diagrama de Thompson, R. N, 1982, normalizado a chondrita

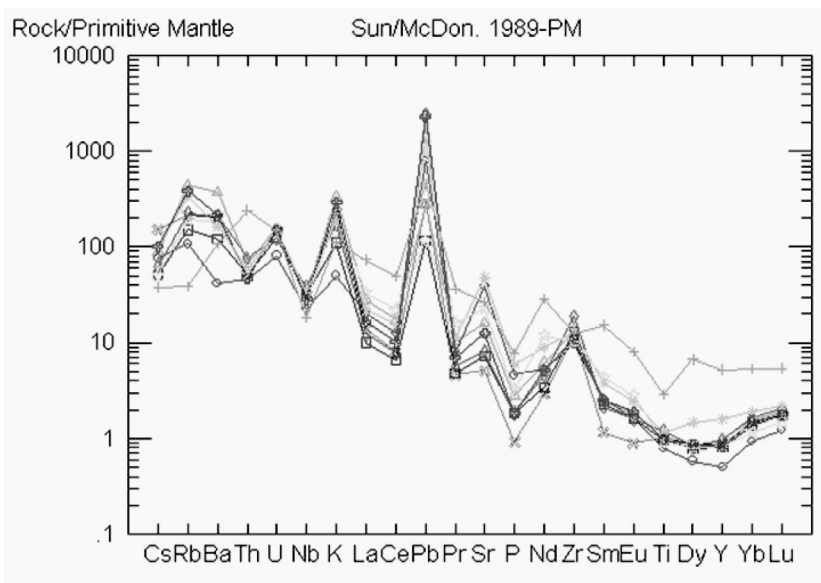


FIGURA 6. Diagrama de Sun & McDonough, 1989, normalizado al manto primitivo

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Teniendo en cuenta la recopilación de la gran mayoría de información de trabajos realizados sobre el vulcanismo Neógeno en la Cordillera Oriental y sobre algunos lugares entre la Cordillera Central y Occidental, se realizó una tabla en Excel donde se relacionó todos los análisis de elementos mayores efectuados en diferentes lugares en Colombia, los cuales son solo algunos sitios escogidos para realizar la interpretación de una posible conexión y comparación del domo de Iza con otros sitios geográficamente cercanos. En total se recolectaron 183 datos incluyendo las muestras tomadas para el presente trabajo. Se realizó un filtrado de los datos ya que estos no presentaban las mismas variables (elementos mayores) en todos los casos, lo que arrojó como resultado solo 135 datos, los cuales contienen las variables completas, en el caso del SiO₂, Al₂O₃, MgO, K₂O y Na₂O.

Lo primero que se realizó, es un Análisis en componentes principales ACP que nos permite determinar las características que poseen determinadas muestras, es decir, nos brinda la posibilidad de ver gráficamente la distribución en cuanto a porcentajes de elementos mayores de las muestras seleccionadas en varios sitios en el país. Como en total tenemos 5 variables (porcentaje de SiO₂, Al₂O₃, MgO, K₂O y Na₂O), se busca mediante el ACP normado (datos normalizados) establecer un número menor de variables que me recojan la mayor parte de información con el fin de facilitar la interpretación y visualización de la información. La FIGURA 7, representa un plano donde están distribuidas las variables trabajadas. Las variables que más contribuyen a la formación del primer eje que retiene un 40% de variabilidad son el porcentaje de MgO, K₂O y SiO₂. En el segundo eje las variables que más contribuyen son Na₂O y Al₂O₃ que retiene un 23% de variabilidad.

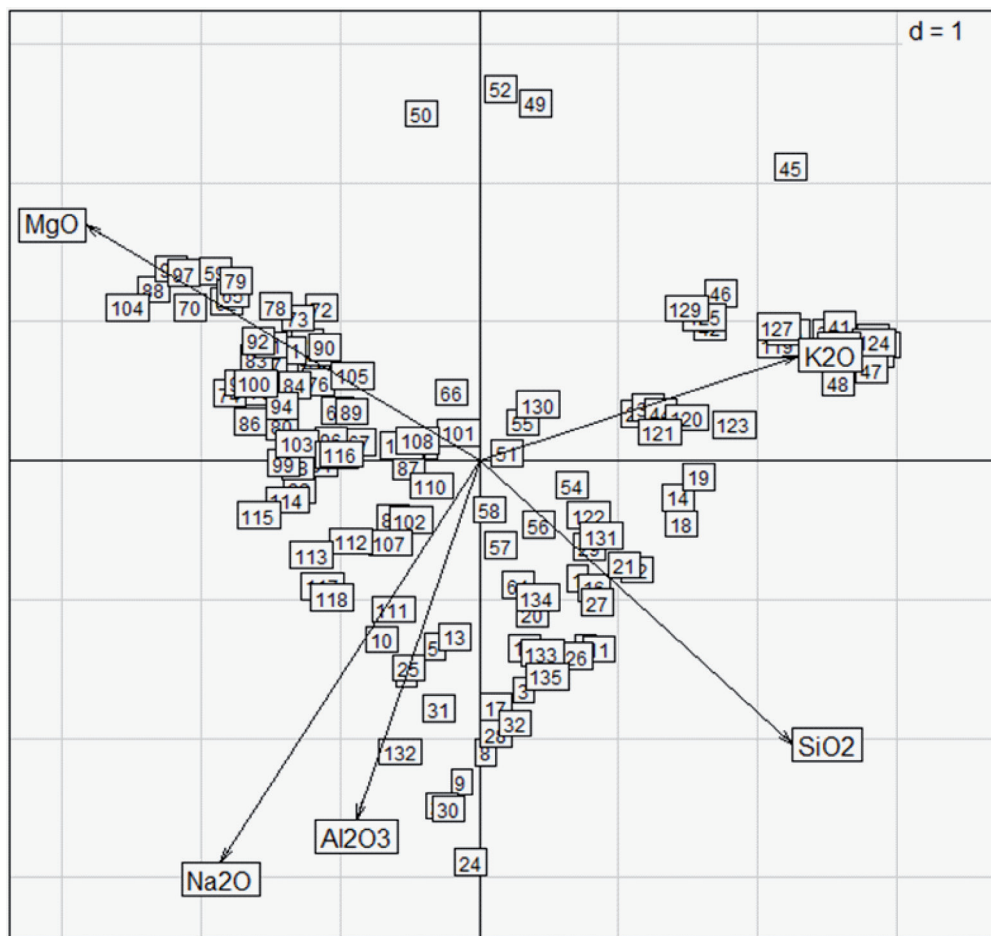


FIGURA 7. Muestras ubicadas en el primer plano factorial. Las muestras 1-32 pertenecen a Paipa, las muestras 33-50 y 119-130 pertenecen a Iza, las muestras 51 y 131-135 corresponden a Los Naranjos, las muestras 53-67 pertenecen a la Depresión Caucana, las muestras 68-75 pertenecen a Diques Básicos del Río Polanco, las muestras 76-79 pertenecen a los diques Básicos de la Quebrada Propala y las muestras del 80-97 pertenecen a la Formación Combia.

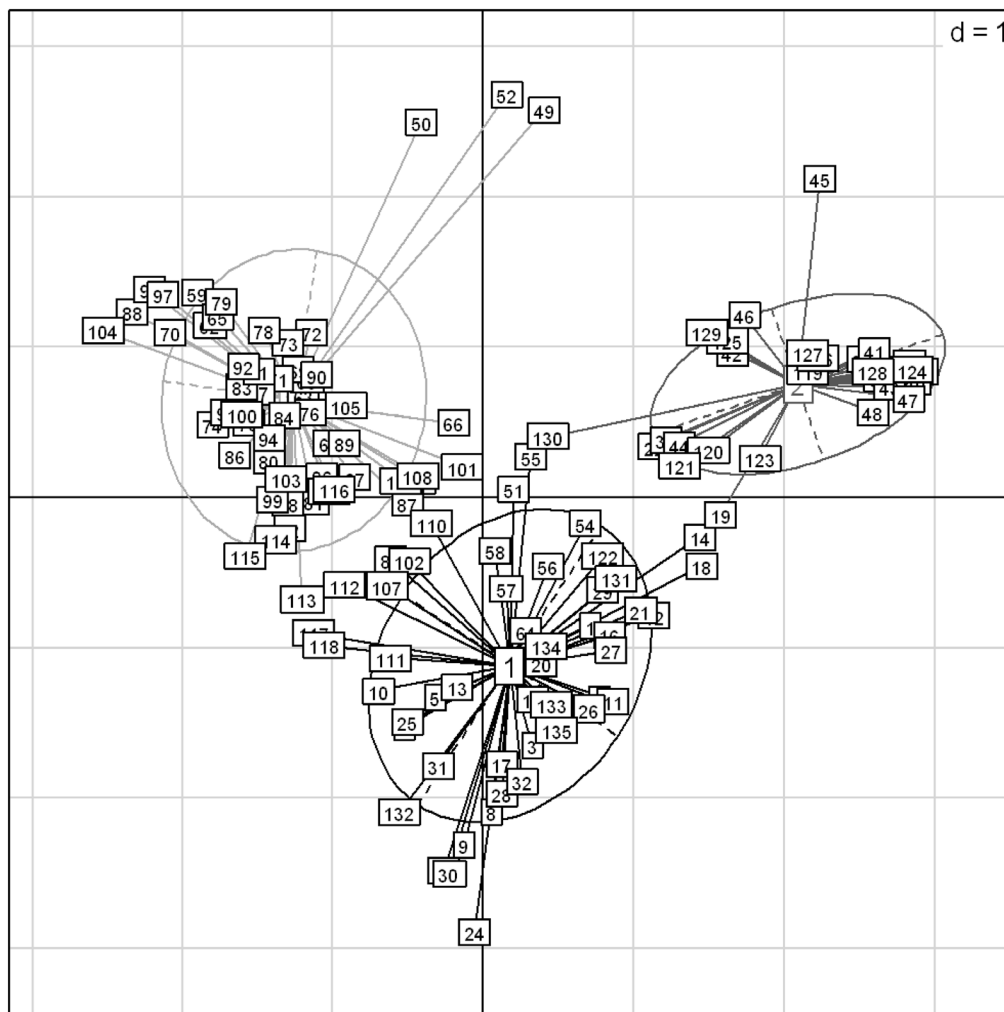


FIGURA 8. Diagrama que representa la distribución de las muestras en tres diferentes clases, en donde para la primera clase hacen parte las muestras que pertenecen a Paipa y Los Naranjos; para la segunda clase hacen parte las muestras que pertenecen a Iza y para la clase tres hacen parte las muestras que pertenecen a Diques Básicos del Rio Polanco, los diques Básicos de la Quebrada Propala y al Nevado de Ruiz.

Como el objetivo principal es ver posibles relaciones entre los lugares de estudio que se encuentran geográficamente cercanos y otras relaciones que se deban principalmente a las variables de estudio, se desarrolla ahora un análisis “clúster” que nos permite agrupar las muestras en clases que obedezcan a que dentro de cada una de las clases hayan muestras muy similares en los contenidos de elementos mayores y muy diferentes entre las clases, logrando así una caracterización global de las respectivas muestras. En la clase uno se establece las muestras que contienen porcentajes de SiO₂, Al₂O₃ y Na₂O superiores al promedio global y porcentaje de MgO inferior al promedio. En cuanto a los lugares que

hacen parte de esta clase que son Paipa y Los Naranjos se obtiene que de las 33 muestras tomadas en Paipa el 90.9% (TABLA 2), pertenecen a esta clase y de las 6 tomadas en los naranjos el 100% hacen parte de esta clase. En la clase dos se establecen las muestras que contienen un porcentaje de SiO₂ y de K₂O superior al promedio, en esta clase de las 30 muestras que fueron recolectadas en Iza el 90% pertenecen a esta clase. Finalmente en la clase tres están las muestras que tienen un porcentaje de MgO superior al promedio y un porcentaje de K₂O y SiO₂ inferiores al promedio global. En esta clase se encuentran los lugares de Rio Polanco, Formacion Combia y Nevado del Ruiz.

TABLA 2. Resultado estadístico de la clasificación de las ubicaciones hechas

Clase 1

	V.test	mediaClase	frecuencia	mediaGlobal
Na ₂ O	5,52	28,57	51,00	2,05
SiO ₂	4,91	671,66	51,00	62,16
Al ₂ O ₃	4,53	183,93	51,00	16,13
MgO	-5,31	0,66	51,00	1,85

	V.test	prob	clas,mod	mod,clas	Global	peso
Datos Ubicación,,1	7,18	3,47E-13	90,91	58,82	24,44	33
Datos Ubicación,,3	2,82	2,40E-03	100,00	11,76	4,44	6
Datos Ubicación,,5	-2,06	1,97E-02	0,00	0,00	5,93	8
Datos Ubicación,,7	-3,01	1,32E-03	5,56	1,96	13,33	18
Datos Ubicación,,2	-4,65	1,66E-06	3,33	1,96	22,22	

Clase 2

	V.test	mediaClase	frecuencia	mediaGlobal
K ₂ O	8,04	6,43	29,00	2,91
SiO ₂	3,60	67,63	29,00	62,16
Al ₂ O ₃	-3,32	13,65	29,00	16,13
MgO	-5,44	0,03	29,00	1,85
Na ₂ O	-8,16	0,28	29,00	2,05

	V.test	prob	clas,mod	mod,clas	Global	peso
Datos Ubicación,,2	Inf	0,00	90,00	93,10	22,22	30
Datos Ubicación,,4	-2,03	0,02	0,00	0,00	11,11	15
Datos Ubicación,,7	-2,36	0,01	0,00	0,00	13,33	18
Datos Ubicación,,1	-2,39	0,01	6,06	6,90	24,44	33

Clase: 3

	V.test	mediaClase	frecuencia	mediaGlobal
MgO	9,79	3,92	55,00	1,85
K ₂ O	-4,85	1,58	55,00	2,92
SiO ₂	-7,85	54,64	55,00	62,16

	V.test	prob	clas,mod	mod,clas	Global	peso
Datos Ubicación,,7	4,88	5,29E-07	94,44	30,91	13,33	18
Datos Ubicación,,5	3,26	5,50E-04	100,00	14,55	5,93	8
Datos Ubicación,,8	2,75	2,97E-03	78,57	20,00	10,37	14
Datos Ubicación,,2	-4,42	4,92E-06	6,67	3,64	22,22	30
Datos Ubicación,,1	-5,37	3,84E-08	3,03	1,82	24,44	33

DISCUSION DE RESULTADOS

Por medio de los diagramas de Alkalies total (Na₂O+K₂O) vs SiO₂ (FIGURA 1), la gran mayoría de las muestras se encuentran en el campo de clasificación de rocas subalcalinas, que a su vez son clasificadas por medio del diagrama AFM (FIGURA 2) como rocas calcoalcalinas, relacionada a un ambiente compresivo de subducción, donde la placa Caribe desciende bajo la Continental (Jaramillo & Rojas 2003), produciendo

el vulcanismo que producen las rocas de Iza. Los diagramas TAS de Le Bas et al, (1986) (FIGURA 3), clasifican a la roca como riolitas. En los diagramas normalizados (FIGURAS 4,5,6), las abundancias de elementos de campo electrostático fuerte (HFSE, High Field Strength Elements) como el Nb y Zr, y elementos LILE en este caso el Rb, son debidas a que estos son elementos incompatibles, cuya afinidad prima por una fase fundida de los magmas, en el caso de los HFSE su incompatibilidad esta en su alto potencial iónico (carga/

radio) y en los LILE, por su radio iónico. Lo anterior es comparable con un patrón que define las características en rocas de arcos volcánicos, propias de ambientes colisionales (Pearce et al. 1984)

Con los resultados obtenidos de los análisis por medio del uso de la herramienta estadística R para las 135 muestras, se pudo establecer una relación existente entre dos lugares en la Cordillera Oriental geográficamente cercanos, como los cuerpos volcánicos de Los Naranjos y los de Paipa. Las muestras tomadas en estos lugares presentan una relación en cuanto a contenido de elementos mayores lo que permite inferir que estos lugares presentan una afinidad composicional, cuya historia puede ser cogenética en cuanto a que son producto de una misma cámara magmática pero cuyo emplazamiento en la zona se originó en dos sitios diferentes favorecidos por cualquier tipo de fisura presente en los dos sectores.

En cuanto a las muestras de Iza, se encontró que no existe relación alguna con otro cuerpo volcánico entre los sectores estudiados, probablemente debido la alteración hidrotermal que presenta el domo de Iza, sin dejar atrás su relación con los depósitos de los Naranjos y los de Paipa. Los sitios del Río Polanco y la Formación Combia, característicos de la parte norte de la Depresión Caucana, hacen parte de una tercera clase que corrobora los análisis hechos por Jaramillo (1976), donde caracteriza estas rocas como una serie toleítica, característica de ambientes compresivos, totalmente diferentes a la clasificación de las rocas de la Cordillera Oriental. En efecto, como se ha observado en los resultados, en las rocas de la cordillera Occidental el contenido de potasio disminuye ya que este aumenta progresivamente al aumentar la distancia a la fosa, es decir al aumentar la profundidad del plano de Benioff, razón por la cual la composición geoquímica de las rocas de la Cordillera Occidental, Central y Oriental son bastante diferentes. Las rocas de Paipa e Iza afloran a mas de 500 Km, al este de la fosa de subducción Pacífica, mientras que el arco magmático de la Cordillera Central y Occidental se encuentra siempre a menos de 359 Km. de la fosa.

CONCLUSIONES

- Las rocas aflorantes en el área de estudio se encuentran afectadas por alteración hidrotermal, observada macroscópicamente, representada por el contenido de sílice amorfa y algunas venillas rellenas de sílice, además de un metasomatismo potásico evidenciado por la presencia de caolín en algunos sectores y la formación de sulfuros. Del

mismo modo evidenciado por los altos contenidos de K, bajos contenidos de Na y la relación K_2O/Na_2O alta.

- Las rocas del cuerpo volcánico de Iza se encuentran afectadas en ciertas zonas por una fuerte silidificación, generadas por los fluidos hidrotermales que circulan, evidenciado en los análisis químicos de las muestras, donde estas alcanzaban valores de silidificación extremadamente altos. Del mismo modo se corroboró macroscópicamente en las muestras recolectadas para el análisis.
- Los porcentajes muy elevados en sílice y potasio, así como los bajos contenidos de sodio son debidos a la existencia de una fase hidrotermal que pudo haber lavado el Na y provocado la remobilización in situ del Si y K.
- El magma ácido calcoalcalino de tipo compresional y distensivo en la Cordillera Oriental, se relaciona con la formación del volcánico de Iza.
- Las muestras analizadas son generalmente ricas en SiO_2 (~76,44 a ~66,23% en peso), lo que indica su composición ácida; presentan contenidos altos de Al_2O_3 (~27,43 a ~17,12% en peso), y de K_2O (~11,2% a ~3,72% en peso), pero bajos contenidos de Na_2O (~0,24% a ~0,09%). Geoquímicamente esta roca puede ser clasificada como una riolita calcoalcalina.
- Las abundancias de elementos de campo electrostático fuerte (HFSE, High Field Strength Elements) como el Nb y Zr, y elementos LILE en este caso el Rb, indican que las rocas de Iza son propias de ambientes colisionales, asociado a un margen continental activo, que tiene similitud con los arcos de islas oceánicas y continentales producto de los procesos de subducción.
- El comportamiento de REE es muy similar, contrastando con el comportamiento aleatorio que presentan los óxidos, dado que en la diferenciación magmática las variaciones en la química de los elementos varía, concluyendo que los cambios que afectaron los elementos mayores no afectaron los elementos de tierras raras.
- El contenido de REE es muy diferente a la de los circones, lo que indica que las rocas efectivamente han sido afectadas por procesos de alteración hidrotermal que han modificado su composición original.

- En cuanto a las muestras de Iza, debido a la alteración hidrotermal que presenta el domo, no arrojó ninguna relación con otro cuerpo volcánico entre los sectores estudiados, sin embargo se mantiene su correspondencia con los depósitos de los Naranjos y los de Paipa

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis agradecimientos, en primer lugar a Dios, por brindarme la oportunidad de llegar a esta etapa de mi vida.

A mi director de tesis, José María Jaramillo, por su generosa colaboración en la financiación de este proyecto y en especial en reconocimiento a la confianza que depositó en mí, y por los conocimientos aportados y sus fundamentales sugerencias durante el desarrollo de este trabajo.

A la profesora Ana Helena Concha por sus valiosos consejos y aportes durante el desarrollo de este trabajo. Igualmente a aquellas personas, profesores y compañeros con los que aprendí y compartí en mi formación profesional.

A mi familia, mi mamá, mi abuela y mis hermanas, porque gracias a su apoyo y amor he llegado a realizar la más grande de mis metas, siendo el motivo de todo lo que hago en mi vida y prometiendo seguir siempre adelante. A David Leonardo por su presencia y por su amor incondicional que han logrado cambiar por completo mi vida.

REFERENCIAS

Cepeda H., Pardo N., Jaramillo J. 2005. The Paipa Volcano, Eastern Cordillera Of Colombia, South America: Volcanic Stratigraphy. *Earth Sci. Res J.* 9(1):3 -18.

Cepeda H., Pardo N., Jaramillo J. 2005. The Paipa Volcano, Eastern Cordillera of Colombia, South America (Part II): Petrography And Major Elements Petrolog. *Earth Sci. Res. J.* 9(2): 148-164

Cepeda H., & Pardo N. 2004: Vulcanismo de Paipa, Informe técnico, Ingeominas, Bogotá. 140 p.

Cooper, M.A., Addison, F.T., Alvarez, R., Coral, M., Graham, R.H., Hayward, A.B., Howe, S., Martinez, J., Naar, J., Peñas, R., Pulham a,J, & TABORDA, A. 1995.

Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia.- *AAPG Bulletin*, 79(10):1421-1443.

Cox, K. G. Bell, J. D. & Pankhurst, R. J. 1979. The interpretation of igneous rocks. Allen and Unwin, London, 450 p.

Etayo, F., et al. 1986. Mapa de terrenos. -Publicaciones especiales de Ingeominas, pp. 142-235, Bogotá.

Ferreira, P. 1988. Evaluación geotérmica en el área de Paipa basada en técnicas isotópicas, geoquímica y aspectos estructurales, 138 p.

Garzón, T. 2003. Geoquímica y Potencial Minero Asociado a Cuerpos Volcánicos en la Región de Paipa, Departamento de Boyacá, Colombia Trabajo de Grado, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. 83 p.

Geotermica italiana S, R, 1 Contecol –Olade. 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de Colombia, Informe de la fase de campo y anexo 22, Bogotá.

Hernández, G. & Osorio, O. 1990. Geología, análisis petrográfico y químico de las rocas volcánicas del sureste de Paipa, Boyacá, Colombia (Trabajo de Grado), – 220 p., Universidad Nacional de Colombia; Departamento de Geociencias, Bogotá.

Irvine, T.N. & baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-548.

Jaramillo, J.M. 1976. Volcanic rocks of the rio Cauca Valley, Colombia, Trabajo de Grado Maestría, – 35 p., Universidad Nacional de Colombia.

Jaramillo, J.M. 1980. Petrology and Geochemistry of the Nevado del Ruiz Volcano Northern Andes, Colombia. Trabajo de Grado, Ph D.

Jaramillo, J. & Rojas, P. 2003. Poster. Vulcanismo reciente en la Cordillera Oriental de Colombia (póster en resúmenes del Congreso Colombiano de Geología), Medellín.

Jaramillo, J., Rojas, P. & Garver, J. 2005. Neogene's Volcanism in the Cordillera Oriental of the Andes, Colombia, *Earth Sci, Res, J*, Bogotá. 9(1):19 – 29,

Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. & Et Zanettin, B. 1986. A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram, *J. Petrol.*, 27: 745-750.

Martínez A. 1989. Geologie de la Region D'Iza, Boyacá, Cordillere Orientale de Colombie, Diplome de mineralogie et geologie, Instituts de Mineralogie et Geologie, Universite de Lusanne, 200. p.

Moreno Alfonso S.C. 2007. Caracterización geoquímica en circones de los cuerpos intrusivos de Paipa e Iza y un deposito piroclastico, Departamento de Boyacá, Colombia. Trabajo de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Renzoni G. 1967. Geología del cuadrángulo J-12 Tunja, *Boletín Geológico* 24(2):18, INGEOMINAS, Bogotá.

Romero, F. & Rincón, M., 1990. Características Petrográficas y Geoquímicas de las Rocas Volcánicas de Iza, Departamento de Boyacá, Colombia. *Geología Colombiana*. 17: 159 – 168,

Sarmiento, S. 1942. Fuentes termales de Paipa. Inf. 356. Ingeominas, Bogotá.

Schonwalder, D. 2006. Caracterización Geoquímica y Petrográfica de un Deposito Volcánico asociado al Volcán de Iza, Boyacá, Colombia, Trabajo de Grado, 23 p., Bogotá, Universidad Nacional de Colombia.

Sun S-S & McDonough w.f. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, In: *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society Special Publication 42, pp. 313-345.

Ujueta G. 1991. Tectónica y actividad ígnea en la Cordillera Oriental de Colombia sector Girardot-Cúcuta. Simposio sobre magmatismo andino y su marco tectónico, Tomo 1, pp. 151-192, Manizales.

Ulloa C., Rodríguez E., Fuquen J. & Acosta J. 2001. Geología de la Plancha 192 Laguna de Tota, Escala 1:100,000. Memoria Explicativa, Ingeominas, Bogotá.

Velandia, F., 2004. Interpretación de transcurrecia de las Fallas de Soapaga y Boyacá a Partir de Imágenes Landsat TM. *Boletín de Geología* 27 (44)

Trabajo recibido: Junio 16 de 2009

Trabajo aceptado: Octubre 2 de 2009