

**NOTAS SOBRE NUEVAS EDADES ^{40}AR - ^{39}AR DE MUESTRAS DE
BASALTO Y PEGMATITA DE LOS ESTADOS FALCÓN Y YARACUY**
**NOTES ON NEW ^{40}AR - ^{39}AR AGES OF BASALT AND PEGMATITE
SAMPLES FROM FALCÓN AND YARACUY STATES**

*Marvin Baquero¹, Franco Urbani^{*2,3}, Sebastián Grande³, Herbert Fournier⁴
y David Mendi³*

RESUMEN

Una de las zonas del país donde las unidades ígneas tienen menor control geocronológico, son los estados Falcón, Lara y Yaracuy. Recientemente ante la oportunidad de obtener algunas edades Ar-Ar, se escogió para análisis una pegmatita de la localidad de Farriar, incluida en el Complejo San Julián, así como una muestra de basalto de la localidad de Las Llanaditas, que corresponde a la Ofiolita de Siquisique. Para Farriar se analizaron grandes cristales de muscovita, resultando una edad Ar-Ar de 25,6-26,6 Ma (Oligoceno tardío), la cual se interpretó en forma dual: Primeramente, que la pegmatita sea Paleozoica o Neoproterozoica, como el resto de la unidad, pero que fue afectada por eventos tectónicos-hidrotermales durante el Terciario. Otra opción es que realmente corresponda a un magmatismo joven, lo cual traería cambios en las ideas geodinámicas actuales del norte de Venezuela, pero corresponde realizar estudios geocronológicos adicionales, preferiblemente por el método de U-Pb en zircón para obtener una solución al conflicto de interpretaciones. El basalto de Las Llanaditas aportó edades Ar-Ar y K-Ar de 43-31 Ma (Eoceno medio), la cual es más joven que la edad Cretácica conocida para la Ofiolita de Siquisique, de manera que probablemente estos valores representen igualmente eventos hidrotermales tardíos que actuaron sobre estas rocas en condiciones de la facies pre-esquistoso verde, necesarias para la formación de prehnita, fase visible en casi todas las muestras plutónicas y volcánicas de la Ofiolita de Siquisique.

ABSTRACT

One of the areas of the country where the igneous units have less geochronological control are the states of Falcón, Lara and Yaracuy. Recently at the opportunity to get some Ar-Ar ages, two samples were chosen, one is a pegmatite from the town of Farriar included in the pre-Mesozoic San Julian Complex and a basalt sample from the site of Las Llanaditas, belonging to the Siquisique Ophiolite. From Farriar some large muscovite crystals were analyzed, resulting in an Ar-Ar age of 25.6 to 26.6 Ma (late Oligocene), which can be interpreted twofold: First, that the pegmatite is pre-Mesozoic as the other rocks of the Complex resetting the isotopic clock during Tertiary times due to hydrothermal-tectonic events. Another option is that it really belongs to a younger magmatism, this which would change current geodynamic ideas of northern Venezuela. Only additional geochronological studies preferably by the method of U-Pb in zircon crystals may solve the uncertainties. The basalt from Las Llanaditas produced Ar-Ar and K-Ar ages in the 43-31 Ma range (middle Eocene), which is younger than the Cretaceous age known for the Siquisique Ophiolite. This younger age probably represents a late hydrothermal event acting on these rocks in pre-green schist facies conditions necessary for the formation of prehnite, a mineral phase visible in almost all plutonic and volcanic rocks of the Ophiolite.

Palabras clave: Geocronología, Ofiolita de Siquisique, Complejo San Julián, muscovita.

Keywords: Geochronology, Siquisique Ophiolite, San Julián Complex, muscovite.

* Miembro Correspondiente de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Individuo de Número de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ¹PDVSA-INTEVEP, El Tambor, Los Teques, Miranda. Correo-e: mbaquero75@gmail.com. ²Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, El Llanito. Caracas. ³Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Lab. 330, Caracas. ⁴Queen's University. Dept. Geol. Sci. y Geol. Eng. Kingston, Ontario, Canada.

INTRODUCCIÓN

Desde la década de los años 1920s para la región limítrofe entre los estados Falcón, Yaracuy y Lara, se conoce la presencia de rocas ígneas y metamórficas, tanto de ígneas intrusivas como tectónicamente emplazadas en rocas terciarias (Kugler 1929, Kehrer 1930, Renz 1949, Brueren 1949, Natera 1957), así como rocas metasedimentarias y metaígneas de los macizos propiamente pertenecientes a la provincia geológica de la cordillera de la Costa (Kugler 1949, Natera 1957).

En años recientes se ha renovado el interés geológico en esta región, tanto por actividades exploratorias de hidrocarburos (Baquero *et al.* 2010), como con fines académicos, como aporte al conocimiento de la interacción entre las placas Caribe y Suramericana (Urbani *et al.* 2008, Baquero 2012).

El objetivo del presente trabajo es contribuir con nuevos datos geocronológicos obtenidos por los métodos de ^{40}Ar - ^{39}Ar y K-Ar. Para ello se recolectaron muestras de una pegmatita en Farriar, estado Yaracuy, así como un basalto de la localidad de Las Llanaditas, en el estado Falcón (Fig. 1).

1. Aspectos Geológicos

Farriar, estado Yaracuy

La muestra se colectó en una cantera utilizada para obtener material de relleno. El lugar se encuentra en el lado oeste de la carretera Palmasola-Farriar, en coordenadas UTM 548.300E, 1.161.000N (zona 19, datum WS84) (Fig. 1, ver asterisco).

La región centro norte del estado Yaracuy fue estudiada por Bellizzia *et al.* (1969) y esta zona en particular la cartografiaron como Gneis de Yaritagua, pero estudios recientes revelan que la unidad aflorante corresponde al Complejo San Julián (Urbani y Rodríguez 2004) de la Faja Ávila (Urbani 2012).

En la cantera afloran rocas metasedimentarias, cruzadas por numerosos diques y mantos de pegmatita granítica de espesores métricos (Fig. 2). La roca caja es un esquisto con cuarzo, biotita, muscovita y albita, con trazas de feldespato-K, apatito, granate, zircón y opacos, cuya foliación está definida por la biotita, debida al metamorfismo de grado medio en la facies de la anfibolita epidótica a que fue sometida la unidad, mientras que los diques de pegmatita fueron intrusionados posteriormente a esta fase metamórfica (Mendi *et al.* 2011).

La pegmatita esta constituida mayormente por cuarzo y feldespato-K. En diferentes partes de los afloramientos a veces se presenta una alta proporción de turmalina negra (chorlo) en cristales centimétricos; mientras que en otras, hay acumulaciones de muscovita en libros también centimétricos. Tanto a simple vista como al microscopio, se observa una fuerte deformación, que ha fragmentado intensamente la roca. Al microscopio, tanto los cristales de cuarzo como los de feldespato, que a simple vista parecen cristales centimétricos únicos, están subgranulados a tamaños de milimétricos a submilimétricos. Los cristales de cuarzo presentan bordes suturados y fuerte extinción ondulatoria, y se hallan a su vez microgranulados a tamaños de décimas de mm; mientras que el feldespato potásico presenta efectos aún más intensos de granulación con tamaños de centésimas de mm, con laminillas de sericita incluidas (Fig. 3). Los cristales de muscovita muestran efectos de plegamiento y maclado polisintético por deformación, pero sin haber sido subdivididos en unidades de menor tamaño (Fig. 4). Los cristales prismáticos de turmalina también se muestran muy fracturados. A pesar del gran grado de cataclasis de los minerales, sus minúsculos fragmentos triturados han recristalizado formando unidades coherentes. En algunos afloramientos de la pegmatita se observan zonas de dimensiones decimétricas con gran abundancia de granate (espartina, $\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$) que por su ocurrencia, interpretamos como de origen primario durante la cristalización de la pegmatita y no como producto de metamorfismo. La pegma-

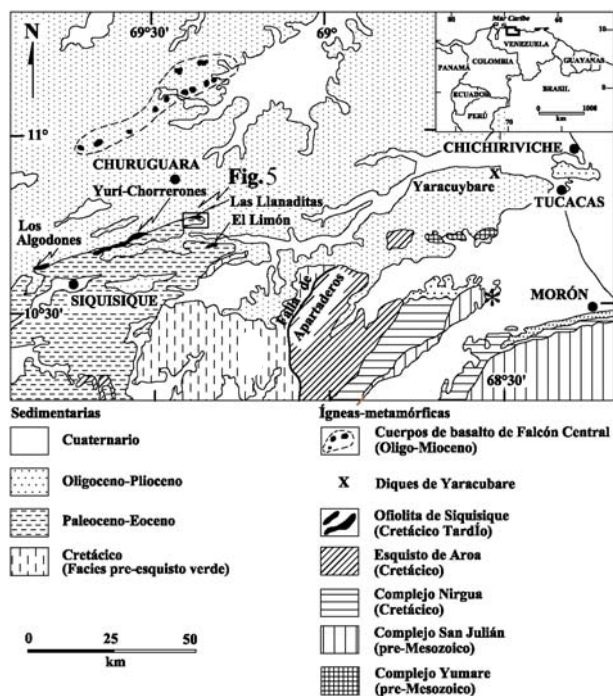


Figura 1. Mapa geológico generalizado y de ubicación de muestras. El asterisco ubica la cantera de Farriar. Simplificado a partir de Hackley *et al.* (2006).

tita puede clasificarse como peraluminica. Las evidencias de campo y microscópicas revelan que tanto la roca caja como la pegmatita, han sido severamente cizalladas, produciéndose en ella fuertes efectos de fragmentación-granulación.

Las Llanaditas, estado Falcón

Los tres pequeños cuerpos de rocas ígneas en la zona de Las Llanaditas (Fig. 5), constituyen una de las cuatro localidades separadas que integran la Ofiolita de Siquisique (Urbani *et al.* 2012b), junto con aquellas de Los Algodones, Yuri-Chorrerones y El Limón (Fig. 1). Aquí las rocas ígneas se encuentran en contacto de fallas de corrimiento con las formaciones La Luna y Matatere, es decir que pertenecen al conjunto de las denominadas Napas de Lara, pero también están parcialmente cubiertas inconformemente por la Formación Capadare (Natera 1957, Urbani & Mendi 2011). Estas características diferencian a

estas rocas ígneas de las volcánicas del centro de la cuenca de Falcón, que son pequeños cuerpos intrusivos en las formaciones El Paraíso y Pecaya (Brueren 1949, Muessig 1978, 1979, 1984, McMahon 2001, Escorihuela & Rondón 2002, Grande 2010).

El primer geólogo en cartografiar la zona de Las Llanaditas parece haber sido Natera (1957), de la empresa Creole Petroleum Corp. Algunas muestras de este autor fueron estudiadas petrográficamente por Martín & Bellizzia (1958), quienes identificaron un basalto alterado, con la presencia de labradorita transformada a sericita y calcita, clinopiroxeno alterando a clorita, epidoto y óxidos de Fe, así como vetas secundarias de calcita y cuarzo.

La región fue cartografiada nuevamente en 1967 por personal del Ministerio de Minas e Hidrocarburos (Bellizzia *et al.* 1969). En 2006,

Carelys Falcón recorrió la localidad y tomó muestras de gabbro y basalto, cuyos análisis petrográficos están incluidos en Reategui (2011).

En 2010, uno de los autores de estas notas (MB), colectó muestras para los estudios de geoquímica y geocronología presentados en el presente trabajo. El sitio de colección se ubica a 8 km al SE de Mapararí, en la quebrada Las Llanaditas, con coordenadas UTM 459.331E, 1.189.589N (datum La Canoa, huso 19N) (Fig.

5). La muestra se identificó como un basalto y presentó una mineralogía con predominio de cristales de plagioclasa con textura de flujo y clinopiroxeno, así como una alta proporción de una matriz no identificable petrográficamente por su carácter afanítico y fuerte alteración. También hay óxidos de hierro y carbonatos en vetas. Todos los cristales de plagioclasa se encuentran muy sausrinizados y carbonatizados, mientras que los de clinopiroxeno presentan fuerte alteración a clorita y anfíbol (¿actinolita?) y también están



Figura 2. Cantera de Farriar con los diques de pegmatita (blanco) intrusivos en la roca metasedimentaria (tonos oscuros) del Complejo San Julián.

parcialmente carbonatizados, adicionalmente se identificó prehnita, indicativa de metamorfismo de muy bajo grado. Debido a su fuerte alteración no se pudo identificar el tipo de clinopiroxeno presente.



Figura 3. Pegmatita de Farriar. Arriba: cristales de turmalina (negro). Abajo: libros de muscovita (gris oscuro) e intercrecimiento gráfico entre cuarzo y feldespato-K. La punta del lapicero y la cabeza del martillo aparecen como escala.

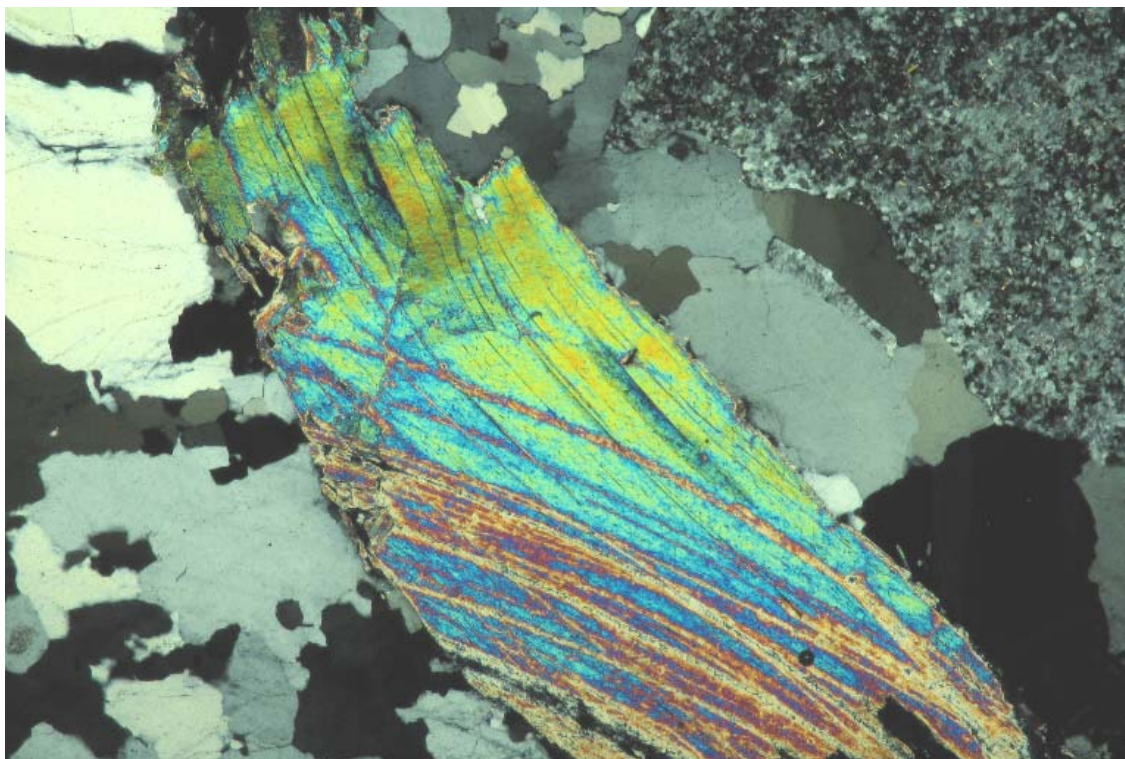


Figura 4. Fotomicrografía de la pegmatita de Farriar. A la izquierda se observa cuarzo granulado con bordes suturados. En el centro la muscovita con maclas polisintéticas generadas por la fuerte deformación de la roca y que cruzan el clivaje del mineral. Arriba a la derecha se observa feldespato-K intensamente granulado, con dominios del orden de centésimas de milímetro. Ancho de la imagen: 1 mm.

MÉTODOS GEOCRONOLÓGICOS

Las muestras fueron preparadas por uno de los autores (MB), en el Laboratorio de Preparación de Muestras Geológicas del Centro de Investigaciones Geocronológicas (CPGeo-USP), una unidad interdepartamental del Instituto de Geociencias de la Universidad de São Paulo, Brasil.

Separación y preparación de concentrado de mineral (muscovita) y roca total (basalto) para análisis Ar-Ar

En la pegmatita de Farriar, las láminas de muscovita de 1 cm de diámetro se separaron manualmente con una pinza y se limpiaron en agua con ultrasonido para quitar restos de impurezas superficiales. Luego se cortaron a un tamaño final cercano a 1 mm² para poder ajustarlas al portamuestras. Para el basalto de Las Llana-

ditas, dada su alteración hidrotermal y granulometría fina, no se pudo separar minerales y los análisis se realizaron utilizando la roca total en gránulos milimétricos. La preparación consistió en la reducción granulométrica de la muestra hasta llevarla a un tamaño ideal entre 0,5 a 2 mm. Para ello, primero debe ser retirada toda impureza o alteración de la superficie de la muestra. Seguidamente la muestra se colocó en un pilón de acero inoxidable donde se trituroó con un martillo y luego pasada por un juego de tamizes de 10-35 mallas y un fondo. Después, la fracción concentrada (10-35) se colocó dentro de un beaker de vidrio y se lavó con agua para eliminar restos de partículas finas dejadas durante el proceso de tamizaje. Este proceso es repetido hasta que el agua queda transparente, es decir, sin partículas en suspensión. Finalmente, el material es humedecido con alcohol y colocado para su secado en una lámpara.

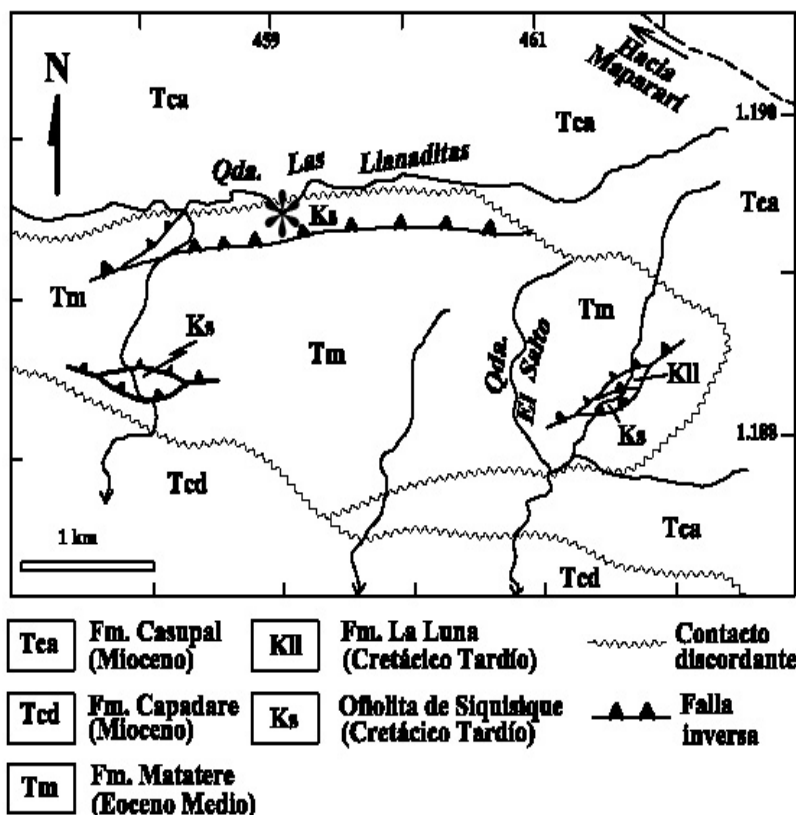


Figura 5. Mapa geológico de la zona de Las Llanaditas. El asterisco ubica la muestra analizada. Geología integrada por Reátegui (2011) a partir de Natera (1958), Bellizzia *et al.* (1969) y Carelys Falcón (2006, inédito).

Separación y preparación de concentrado de mineral (muscovita) para análisis K-Ar

Una alícuota de las láminas de muscovita separadas manualmente con una pinza, fueron reducidos de tamaño con un tamiz de 40 mallas (420 mm). Los cristales fueron colocados en agua dentro un beaker de vidrio y colocados en un ultrasonido con temporizador marcado para 10 minutos. Luego el material fue humedecido en alcohol y colocado para su secado en una lámpara. Esta fracción se usó para la extracción de argón (Ar), mientras que para el análisis de la concentración de K, se tomó una alícuota del material preparado en el paso anterior y fue reducida a polvo, usando un mortero de ágata.

Procedimientos analíticos de Ar-Ar y K-Ar

Las muestras de muscovita y los gránulos del basalto, fueron empaquetados con papel de alumi-

nio puro y colocadas en un contenedor cilíndrico de aluminio junto con el estándar de biotita (FCT-3 con una edad 27,99 Ma, la cual sirve como monitor de neutrones). Esta edad a su vez fue calibrada con un cristal de hornblenda estándar (MMhb-1) con una edad aparente K-Ar de 520,4 Ma. Las muestras junto con los patrones, fueron irradiadas en el Reactor Nuclear McMaster ubicado en la Universidad de McMaster, Ontario, Canadá. Después de la irradiación, los análisis de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ por incremento de temperatura fueron hechos en el Laboratorio de Geocronología de Argón de la Universidad de Michigan. Se tomaron alícuotas de las muestras y de los patrones, siendo colocadas en portamuestras de 2 mm de diámetro y de 1,5 mm de profundidad hechos en una lámina circular de Cu. Luego, la lámina fue colocada en una cámara de acero con un puerto de zafiro y horneada a una temperatura de 150°C para “limpiar” las líneas de extracción y las

muestras. Los patrones fueron fundidos en un solo análisis, usando un láser de iones con el propósito de obtener los valores de J necesarios para calcular las edades aparentes de las muestras. Éstas fueron procesadas incrementando la temperatura sucesivamente por pasos hasta su completa fusión. Los gases extraídos fueron analizados con un espectrómetro de masas de gases nobles de alta sensibilidad (VG1200S). Los isótopos de Ar fueron corregidos por blancos en el sistema (análisis sin liberación de gases), y por contaminación atmosférica e interferencia de neutrones inducidas. Las relaciones de Ca/K y Cl/K de los minerales fueron calculadas a partir de los valores de $^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y $^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ respectivamente, usando las relaciones derivadas de los patrones. Los análisis Ar-Ar se realizaron por duplicado, utilizando dos fracciones diferentes de cada muestra, calculándose las edades aparentes de gas total (*total gas age*) y de meseta (*plateau age*).

Las muestras de muscovita de Farriar también fueron analizadas por el método de K-Ar convencional en el CPGeo-USP. La concentración de K fue determinada por fluorescencia de rayos X por dispersión por longitud de onda.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Geoquímica

Los análisis químicos del basalto de Las Llanaditas se presentan en la Tabla 1. Para comparar estas muestras con otros basaltos (SiO_2 entre 45 y 51%) de la región

Falcón y Lara, se recopilaron los análisis de otros autores, a saber: cuatro muestras de los diques de Yaracuybare (datos de Urbani *et al.* 2012a), cinco de la Ofiolita de Siquisique en la localidad de Los Algodones (datos de Kerr *et al.* 2010) y 14 de los cuerpos intrusivos de Falcón central (datos de Escorihuela & Rondón 2002). La ubicación regional de estas localidades puede verse en la Fig. 1. En estas muestras, los componentes mayoritarios y elementos trazas que re-

sultaron comunes entre todos los autores citados son SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , MnO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , Ba, Co, Rb, Sr, V, Y, Zn, Zr y Nb. Con esta base de datos se elaboró un dendrograma (Fig. 10) en el cual se muestra que la muestra L1 de Las Llanaditas aparece clasificada en un grupo junto a todas las demás muestras de la Ofiolita de Siquisique, lo cual ratifica las observaciones de campo. En el mismo dendrograma es interesante notar que las muestras FC9 a 12, que corresponden al Cerro El Sol, son químicamente diferentes al resto de las muestras de Falcón central, lo cual sugiere que en esta región ocurrieron diversos pulsos magmáticos, lo cual pudiera ser un aspecto de interés para futuras investigaciones.

Edades ^{40}Ar - ^{39}Ar

Las edades aparentes Ar-Ar para Farriar y Las Llanaditas se presentan en la Tabla 2.

Los resultados de la muscovita de Farriar son muy confiables dado que las curvas de emisión de Ar (figs. 6 y 7), muestran un patrón muy uniforme de liberación del ^{39}Ar , permitiendo una buena concordancia entre las edades de meseta y de gas total. A fin de interpretar el significado de estas edades aparentes, se calculó las temperaturas de cierre siguiendo la ecuación de Dodson (1973). Dado que el tamaño de los cristales de muscovita es necesario para estos cálculos, con lupa binocular se midieron 12 libros de muscovita, obteniéndose un resultando de $1,7 \pm 0,3$ mm (16) de diámetro (donde el error en la dimensión es la desviación estándar con $n=12$). Adicionalmente se usaron los parámetros de difusión de $^{40}\text{Ar}^*$ para la muscovita de Hames & Bowring (1994) y se asumió una tasa de enfriamiento (TE) lenta, resultando en las siguientes temperaturas de cierre dodsonianas:

- 1) $446 \pm 8^\circ\text{C}$ (16) para una TE de $15 \pm 3^\circ\text{C}/\text{Ma}$;
- 2) $439 \pm 8^\circ\text{C}$ (16) con una TE de $10 \pm 2^\circ\text{C}/\text{Ma}$, y
- 3) $426 \pm 7^\circ\text{C}$ (16) asignando una TE de $5 \pm 1^\circ\text{C}/\text{Ma}$.

Tabla 1. Análisis químicos de dos muestras del basalto de Las Llanaditas, estado Falcón. (Análisis por ICP-MS. Tomado de Baquero 2012).

Componentes mayoritarios (%)																
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	PAR	Suma			
L1	50,01	13,98	12,59	4,17	6,84	4,99	0,20	1,07	0,15	0,20	<0,002	5,6	99,83			
L2	56,91	14,70	8,18	1,83	4,49	4,45	1,84	0,92	0,42	0,18	<0,002	5,9	99,80			
Elementos trazas (ppm)																
	Ag	As	Au	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cs	Cu	Ga	Hf	Hg	Mo	Nb	Ni
L1	0,2	2,0	2,2	171	<1	<0,1	0,2	35,3	1,1	209	15,4	2,2	<0,01	0,5	2,4	14,9
L2	<0,1	2,3	<0,5	983	<1	<0,1	<0,1	10,8	1,0	13,1	18,5	4,7	0,02	0,6	5,5	1,3
Elementos trazas (ppm)																
	Pb	Rb	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Th	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr
L1	1,3	4,5	<0,1	37	<0,5	<1	232	0,1	0,6	<0,1	0,2	368	<0,5	23	83	66,5
L2	1,0	30	<0,1	18	0,5	3	135	0,3	1,4	<0,1	0,8	54	<0,5	37	96	159
Elementos de las Tierras Raras (ppm)																
ID	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
L1	4,4	11,6	1,80	9,5	2,9	0,95	3,59	0,64	3,75	0,84	2,36	0,37	2,31	0,36		
L2	10,8	26,1	3,89	20,1	5,2	1,44	6,07	1,05	6,30	1,28	3,87	0,58	3,68	0,57		
Datos isotópicos																
	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr		1 sd		¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd		1 sd		δNd		1 σ					
L1	0,704535		0,000033		0,513077		0,000017		8,56		0,33					

Los errores en la TE se han asumido arbitrariamente, mientras que los errores en la temperatura son calculados a partir de los errores de todas las variables y constantes. En forma general puede decirse que la temperatura de cierre dodsoniana del sistema isotópico de Ar en esta muscovita, es del orden de 435 °C.

En el caso del basalto de Las Llanaditas la liberación de ³⁹Ar fue muy irregular (figs. 8 y 9) de manera que no es posible presentar una edad de meseta adecuada, resultando en una edad de gas total menos confiable. Esta es una situación más compleja, ya que siendo en roca total, el ⁴⁰Ar* puede residir en distintos minerales (plagioclasa, clinopiroxeno) con distintas concentraciones y temperaturas de cierre, como de hecho se muestra en los espectros de Ca/K y Cl/K. Haciendo una comparación entre los espectros de edades y los de Ca/K y Cl/K derivados de los análisis, se puede observar una gran correspondencia, desde los pasos de menor tempe-

ratura hasta la fusión total de la roca. Esto indica que la liberación de argón (⁴⁰Ar* y ³⁹Ar) durante los análisis, estuvo condicionada a la presencia de distintas fases mineralógicas (relativamente pobres en K), cada una de ellas con distintos aportes durante el incremento sucesivo de temperatura. Para el basalto, la temperatura de cierre dodsoniana no se puede calcular ya que esta es solo aplicable a minerales.

Edad K-Ar

Los resultados de la muscovita de Farriar aparece en la Tabla 3, con una edad K-Ar calculada de 34,3±1,4 Ma.

SUMARIO Y CONCLUSIONES

Pegmatita de Farriar

La pegmatita de Farriar es intrusiva en el Complejo San Julián, una unidad con muy poco control geocronológico, pero de la cual se dispo-

nen de algunas edades obtenidas por isócronas Rb-Sr, así como de U-Pb en cristales de zircón, que abarcan desde el Pérmico al Neoproterozoico. El metamorfismo a que fue sometida la unidad en tiempos pre-mesozoicos, es variable regionalmente desde la facies de la anfibolita epidótica hasta la facies de la anfibolita alta (subfacies sillimanita), con una última fase metamórfica regional en la facies del esquisto verde,

derivada del evento de acreción de napas y terrenos en la parte central del país, es decir del ciclo Caribeño (Urbani 2001). Según el modelo de Pindell *et al.* (2005) se estima que tal acreción ocurrió entre mediados del Eoceno hasta inicios del Oligoceno, para luego instalarse en la región una serie de fallas dextrales con rumbos NO-SE y E-O, lo que permitió la exhumación de la Cordillera en un régimen mayormente de relevo transpresivo.

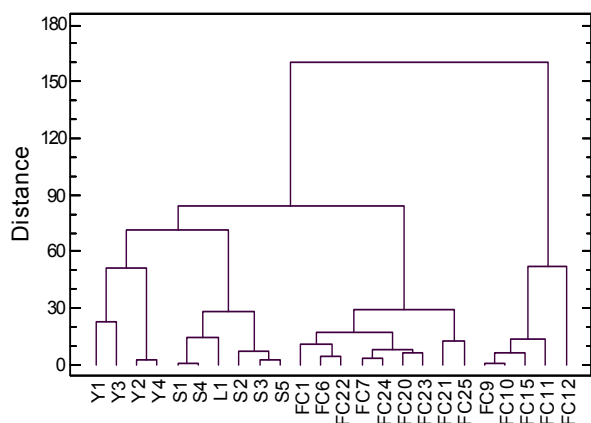


Figura 6. Dendrograma utilizando la composición química de rocas basálticas de los estados Falcón y Lara (método del vecino más lejano y distancia euclidiana al cuadrado). Muestras = L1: basalto de Las Llanaditas, Y1 a Y4: diques de Yaracuybare, S1 a S5: Ofiolita de Siquisique, FC1 a FC24: intrusivos de Falcón central.

La edad relativamente joven obtenida (28-25 Ma, Oligoceno tardío-Chatiano), trae una serie de problemas de interpretación, por ello preferimos presentar dos alternativas hasta que se pueda disponer de información geocronológica adicional:

- La pegmatita de Farriar es litológicamente muy similar a un gran cuerpo de pegmatita en la localidad de Vallecito, que forma parte del plutón del Metagranito de Guaremal (Urbani 1969, Grande 1982). Este granito es intrusivo en el Complejo San Julián y tiene una edad U-Pb en cristales de zircón de 501 ± 25 Ma (Sisson *et al.* 2005). En 1981 uno de los autores (FU), pudo observar en el río Canoabo (un sitio intermedio entre Guaremal y Farriar), una localidad donde afloraban grandes cuerpos de pegmatita con muscovita y turmalina, igualmente semejantes los

Tabla 2. Edades Ar-Ar de las muestras de Farriar y Las Llanaditas. (Tomado de Baquero 2012).

Muestra	Ver resultados en	Edad de gas total (Ma) (1σ)	Edad de meseta (Ma) (1σ)	MSWD*
Farriar, fracción 1	Fig. 6	26,32 ± 0,23	26,44 ± 0,20	1,61
Farriar, fracción 2	Fig. 7	25,52 ± 0,33	25,82 ± 0,18	0,84
Las Llanaditas, fracción 1	Fig. 8	35,15 ± 4,06	--	--
Las Llanaditas, fracción 2	Fig. 9	39,57 ± 3,25	--	--

* Promedio al cuadrado de las desviaciones ponderadas.

Tabla 3. Edad K-Ar de muscovita de Farriar. (Tomado de Baquero 2012).

% K	Error K (%)	⁴⁰ Ar Rad ccSTP/g (*10 ⁻⁶)	⁴⁰ Ar Atm (%)	Edad máx. (Ma)	Edad (Ma)	Error máx. (Ma)
8,7228	0,5000	11,75	37,95	35,8	34,3	1,4

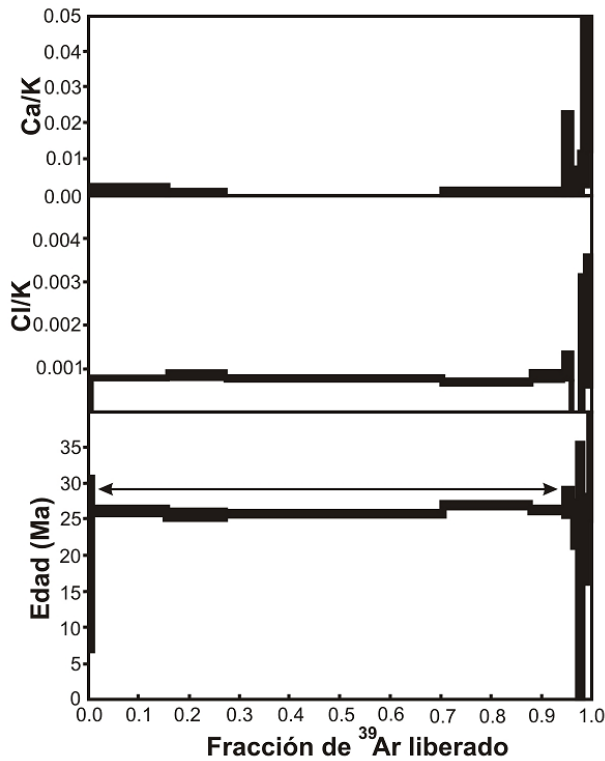


Figura 7. Gráficos para la determinación de la edad Ar-Ar en la muscovita de Farriar (fracción 1). Edad de gas total: $26,32 \pm 0,23$ Ma. Edad de meseta: $26,44 \pm 0,20$ Ma.

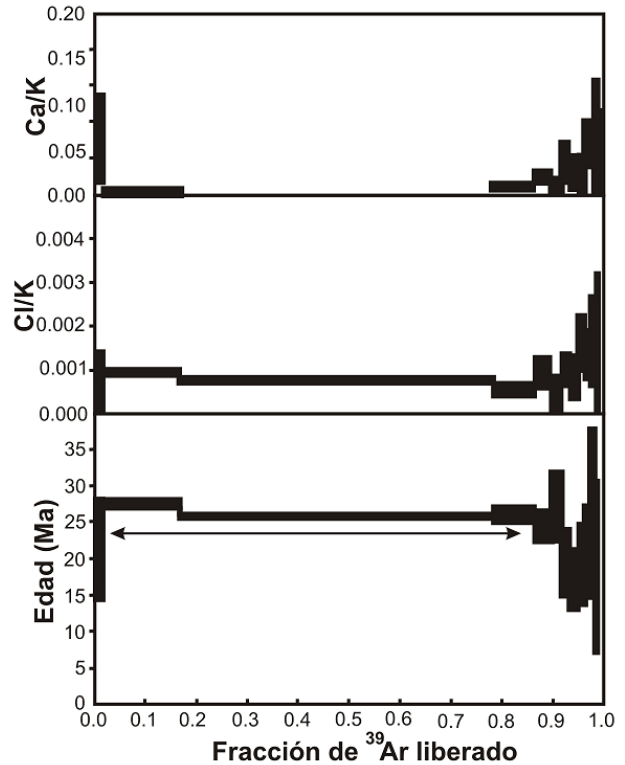


Figura 8. Gráficos para la determinación de la edad Ar-Ar en la muscovita de Farriar (fracción 2). Edad de gas total: $25,52 \pm 0,33$ Ma. Edad de meseta: $25,82 \pm 0,18$ Ma.

de Vallecito y Farriar, pero hoy día están cubiertos por la represa existente sobre tal río. Esta presencia de pegmatitas muscovíticas asociadas a cuerpos como Guaremal correspondiente al ciclo Tacónico, hacer presumir como una de las alternativas, que la pegmatita de Farriar sea el producto tardío de estos eventos intrusivos de un magma granítico peraluminico y anatético tipo «S» en el Paleozoico. En este caso, la temperatura de cierre del orden de 435°C se ajusta las condiciones finales del evento magmático. Si esta alternativa es la correcta, entonces la joven edad obtenida podría interpretarse como debida a pérdida de ^{40}Ar durante los eventos de tectonismo-cizallamiento del Terciario.

- La segunda alternativa es que la edad Oligoceno tardío efectivamente represente la edad en que la roca estuvo a una temperatura aproximada de 435°C . En la actualidad no se tiene conocimiento de eventos magmáticos tan jóvenes en el ámbito geográfico de la Cordillera de la Costa.

El único magmatismo conocido de este orden de edad está representado por los intrusivos basálticos del centro de la cuenca de Falcón y en Yaracuybare (Camposano *et al.* 2006, Urbani *et al.* 2012a) (Fig. 1), generados a partir de los eventos de adelgazamiento cortical, debido a la presencia de regímenes extensionales en el NO

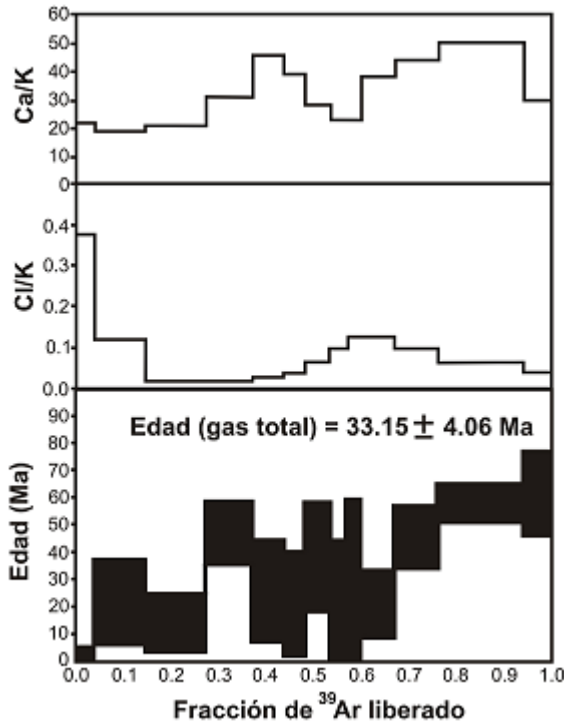


Figura 9. Gráficos para la determinación de la edad Ar-Ar en el basalto de Las Llanaditas (fracción 1). Edad de gas total: $33,15 \pm 4,06$ Ma.

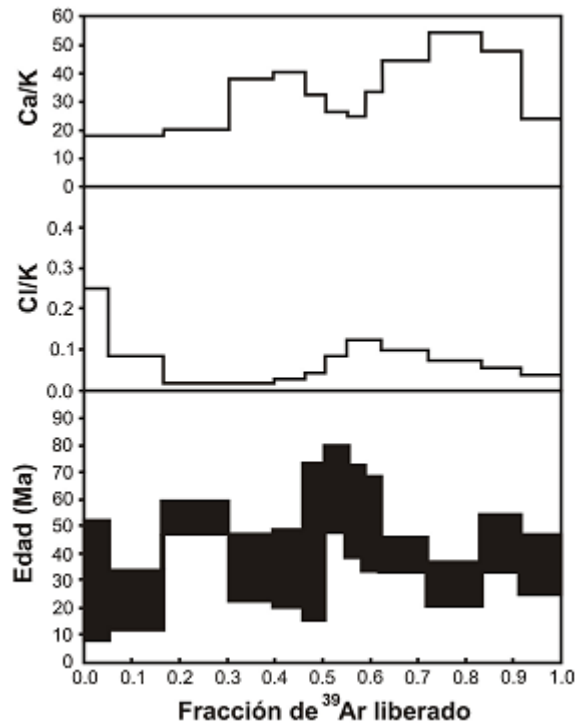


Figura 10. Gráficos para la determinación de la edad Ar-Ar en el basalto de Las Llanaditas (fracción 2). Edad de gas total: $39,57 \pm 3,25$ Ma.

de Venezuela. El problema que surge es que si esta pegmatita fuese producto de un magmatismo de este tipo, entonces los volúmenes de magma basáltico generados parecen muy pequeños para haber causado la fusión parcial de la corteza continental inferior. En Falcón central, en los contactos entre las chimeneas y mantos de basalto alcalino y la roca caja sedimentaria, no se observa aureolas de contacto de alta temperatura, dado que el espesor y volumen de estos pequeños cuerpos no permitió la lenta y duradera transferencia de calor requerida para producir efectos de contacto. Además, en los xenolitos estudiados por Grande (2009) en el cerro Atravesado, tampoco se observa pirometasomatismo, ni

quiera en el mármol diópsido-flogopítico de afinidad grenvilliana, más bien todos los xenolitos mantelares y corticales están rodeados por una milimétrica zona de reacción metasomática de clorita y carbonato, de baja temperatura.

Los autores favorecen la primera alternativa, pero independientemente a ello, el fuerte cizallamiento visible en las rocas probablemente ocurrió durante la exhumación de la roca caja y la pegmatita, a una temperatura probablemente en el orden de $\sim 300^{\circ}\text{C}$ que permitió que el cuarzo recristalizara formando bordes suturados. Según el modelo esbozado por Bermúdez (2010) referente a los Andes de Mérida, la exhumación ha-

cia el extremo noreste, hoy estados Lara y Yaracuy, debió comenzar más tempranamente, quizás en el Oligoceno tardío, probablemente a través de un sistema de fallas “paleo-Boconó”.

Basalto de Las Llanaditas

Las edades aparentes de 43-31 Ma obtenidas con los métodos de Ar-Ar, corresponden al lapso comprendido entre el Eoceno medio (Bartoniano) y el Oligoceno temprano (Rupeliano). Como se indicó previamente, estos resultados poseen un alto grado de incertidumbre como para inferir la edad de cristalización de la roca. Pero coincide con el intervalo de edad postulado para el emplazamiento de las Napas de Lara (e.g.: Stephan 1982, 1985, Pindell *et al.* 2005). El cuerpo de Las Llanaditas pertenece a la Ofiolita de Siquisique que ha sido datado por Kerr *et al.* (2010) en 95-92 Ma. De manera que las edades terciarias obtenidas probablemente representen eventos hidrotermales tardíos que actuaron sobre estas rocas en condiciones de la facies pre-esquistos verde, necesarias para la formación de la prehnita visible en casi todas las muestras plutónicas y volcánicas de la Ofiolita de Siquisique.

Para mejorar el conocimiento de la evolución de las dos localidades aquí estudiadas, que representan importantes provincias geológicas, es necesario llevar a cabo estudios geocronológicos adicionales. La edad de la cristalización de los granitoides de Farriar podría obtenerse con el método U-Pb en cristales de zircón (SHRIMP o

LA-ICP-MS), mientras que para Las Llanaditas una datación Sm-Nd puede ser adecuada, aparte que potencialmente se pudieran obtener microzircones en muestras de gabro de la misma localidad, para ser analizados con la nueva generación de equipos disponibles (e.g.: SIMS Cameca IMS 1280-HR), tal como se ha hecho con éxito en Aruba, Curazao y Los Roques (Wright y Wild 2011). Mientras que para datar las etapas más recientes del levantamiento y exhumación de estas rocas, es recomendable usar los métodos de huellas de fisión en cristales de apatito o zircón.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Umberto Cordani y al técnico A. Vasco del Centro de Pesquisas Geocronológicas, Instituto de Geociências de la Universidade de São Paulo-Brasil. Al personal del Laboratorio de Geocronología de Argón de la Universidad de Michigan, USA y del Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica de la UNAM, México. A Marina Peña (FUNVISIS) por la cuidadosa elaboración de los dibujos. Este proyecto es una contribución parcial de los proyectos GEODINOS (FUNVISIS-UCV-FONACIT, coordinado por el Dr. Michael Schmitz) y LOCTI (Investigaciones geológicas en la región norte de Venezuela, coordinado por FU).

Los lectores que deseen obtener las tablas analíticas completas de los análisis Ar-Ar, pueden solicitarlas a los autores.

LITERATURA CITADA

BAQUERO, M.

2012. Evolución geodinámica de la cuenca de Falcón y su basamento: Basados en datos de geocronología, geoquímica e isótopos. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Tesis de Doctorado, en progreso.

BAQUERO, M., P. BASTOS, F. ROMERO, F. UTRERA, M.

SILVA, D. VARELA, M. CHAPLET y K. SZTRAKOS

2010. *Proyecto Generación de Oportunidades Falcón Oriental Tierra: Informe Técnico Final - Fase I.* PDVSA Exploración, Puerto La Cruz, Informe, 332 p. + anexos.

- BELLIZZIA, A., D. RODRÍGUEZ-G. y E. ZAMBRANO.**
 1969. *Mapa geológico de la región de Barquisimeto - Urachiche - Río Tocuyo, estados Lara y Yaracuy.* Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología. Inédito. Escala 1:100.000. (Este mapa debió acompañar el trabajo de: Bellizzia, A. y D. Rodríguez-G. 1972. Geología de la región Barquisimeto-Urachiche-Río Tocuyo (Resumen). *Mem. IV Cong. Geol. Venezolano*, Caracas, noviembre 1969. Bol. Geol., Caracas, Public. Esp. 5, 1: 93-95).
- BERMÚDEZ-C., M.**
 2010. Patrones de exhumación a través de los Andes venezolanos y mecanismos que lo controlan. Un aporte de la termocronología por trazas de fisión en apatito. *III Simposio Venezolano de Geociencias de Rocas Ígneas y Metamórficas*, UCV, Caracas, 24-26 noviembre 2010, resumen en CD.
- BRUEREN, J. W. R.**
 1949. *Geological report CPMS-310. Paraíso-Maraure area (central Falcón).* Cia. Shell de Venezuela. (Reproducido en *Geos*, UCV, Caracas, 40(2009): 106 + 31 p. en DVD, Carpeta 94, 2010).
- CAMPOSANO, L., F. URBANI, P. VISCARRET, H. FOURNIER y I. BARITTO**
 2006. Rocas volcánicas de la zona de Sanare, estado Falcón. *Geos*, UCV, Caracas, 38(2005):15-17 + cartel en CD.
- DODSON, M. H.**
 1973. Closure temperature in cooling geochronologic and petrologic systems. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 40: 259-274.
- ESCORIHUELA, N. y J. RONDÓN**
 2002. *Estudio de las rocas ígneas presentes en el centro de la Cuenca de Falcón.* UCV, Escuela de Geología, Trabajo Especial de Grado. (Reproducido en *Geos*, UCV, Caracas, 37(2004): 58-59 + 247 p. en carpeta 1.2.4 de CD, 2005).
- GRANDE, S.**
 1982. *Geología de la zona Las Trincheras-Vallecito, estado Carabobo.* UCV, Escuela de Geología, Trabajo Especial de Grado. 432 p.
 2009. Estudio petrográfico de los xenolitos corticales y mantelares presentes en las lavas del Cerro Atravesado, Falcón central, Venezuela. *Rev. Fac. Ingeniería*, UCV, Caracas, 24 (1): 11-30.
- HACKLEY, P. C., F. URBANI, A. W. KARLSEN y C. P. GARRITY**
 2006. *Mapa geológico de Venezuela a escala 1:750.000.* U.S. Geological Survey, Open File Report 2006-1109. <http://pubs.usgs.gov/of/2006/1109/>
- HAMES, W. E. y S. A. BOWRING**
 1994. An empirical evaluation of the argon diffusion geometry in muscovite. *Earth and Planetary Science Letters* 124: 161-167.
- KEHRER, L.**
 1930. *Report covering the geological exploration of State of Falcon and adjacent parts of Zulia, Lara and Yaracuy.* CPMS-103. The Caribbean Petroleum Corp., La Haya, 73 p., 20 mapas, 28 fotos. Informe EP-181.
- KERR, A., F. URBANI, R. SPIKINGS, T. BARRY, A. HASTIE y J. TARNEY**
 2010. The Siquisique basalt and gabbro units, Los Algodones, Lara state, Venezuela: Late Cretaceous oceanic plateau formed within the proto-Caribbean plate?. *Geos*, UCV, Caracas, 40 (2009): 19-21 + cartel en DVD.
- KUGLER, H. G.**
 1929. *Geological sketch map of central and eastern Falcon.* North Venezuelan Petroleum Co. Escala 1:100.000.
 1949. *Geological notes on the area of Salsipuedes, district of Silva, state of Falcón.* North Venezuelan Petroleum Co., Memo No. 46. Incluido en Informe 4330.11-35, Creole Petroleum Corp.
- MARTÍN DE BELLIZZIA, C. y A. BELLIZZIA**
 1957. *Estudio petrográfico de un grupo de muestras enviadas por la Cróele Petroleum Corporation.* Min. Minas e Hidrocarburos, 4 p. (Anexo al informe de Natera 1957).
- MCDUGALL, I. y Z. ROKSANDIC**
 1974. Total fusion 40Ar/39Ar ages using Hifar reactor. *Australian Journal of Earth Sciences*, 21(1): 81-89.
- MCMAHON, C. E.**
 2001. *Evaluation of the effects of oblique collision between the Caribbean and South American plates using geochemistry from igneous and metamorphic bodies of Northern Venezuela.* Univ. de Notre Dame, Indiana, Tesis doctoral. 227 p. (Reproducido en *Geos*, UCV, Caracas, 39 (2007): 195 + 250 p. en DVD, 2008).
- MENDI, D., S. GRANDE, E. CARABALLO, A. MUSSARI y F. URBANI.**
 2011. Dos localidades de interés mineralógico del estado Yaracuy, Venezuela: Pegmatita turmalinífera de Farriar y nódulos de barita del cerro La Zurda. *III Simposio Venezolano de Geociencias de Rocas Ígneas y Metamórficas*, UCV, Caracas, 24-26 noviembre 2010, resumen extenso en CD. (Publicado en *Geos*, UCV, Caracas, 41, en prensa).
- MUESSIG, K. W.**
 1978. The central Falcon igneous suite, Venezuela: Alkaline basaltic intrusions of Oligocene-Miocene age. *Geol. en Mijn.* 57(2): p. 261-266.

- MUESSIG, K. W.
 1979. *The central Falcon igneous rocks, Northwestern Venezuela: their origin, petrology, and tectonic significance*. Univ. de Princeton, New Jersey, Tesis doctoral. 281 p.
 1984. Structure and Cenozoic tectonics of the Falcon Basin, Venezuela, and adjacent areas. En: *The Caribbean-South American plate boundary and regional tectonics*. Memoir Geological Society of America 162: 217-230.
- NATERA, B. R.
 1957. *Geology of the lower Río Tocuyo basin*. Creole Petroleum Corp. (Reproducido en *Geos*, UCV, Caracas, 40(2009): 108-109 + 64 p. en carpeta 101 del DVD, 2010).
- RENZ, O.
 1949. *The Cretaceous of the Siquisique region (Lara and Falcon)*. Geological report CPMS-295. Part A. Venezuelan Oil Transport. Maracaibo. Informe EP-822.
- SISSON, V. B., H. G. AVÉ LALLEMANT, M. OSTOS, A. E. BLYTHE, L. W. SNEE, P. COPELAND, J. E. WRIGHT, R. A. DONELICK y L. R. GUTH
 2005. Overview of radiometric ages in three allochthonous belts of northern Venezuela: Old ones, new ones, and their impact on regional geology. En: H. G. AVÉ LALLEMANT y V. B. SISSON, eds. *Caribbean-South American plate interactions, Venezuela*. Geological Society of America, Special Paper 394: 91-117.
- STEPHAN, J. F.
 1982. *Evolution géodynamique du domain Caraïbe, Andes et Chaîne Caraïbe sur la transversale de Barquisimeto (Vénézuéla)*. Univ. Pierre et Marie Curie (Paris VI). Tesis doctoral, 512 p. (Reproducido en *Geos*, UCV, Caracas, 41: en prensa).
 1985. Andes et chaîne Caraïbe sur la transversale de Barquisimeto (Venezuela). *Évolution géodynamique*. *Symposium Géodynamique des Caraïbes*, Paris, 5-8 febrero 1985. Paris: Edit. Technip, p. 505-529.
- URBANI, F.
 1969. *Composición química y origen probable del Granito de Guaremal, estado Carabobo*. UCV, Escuela de Geología, Trabajo Especial de Grado, 152 p.
- URBANI, F.
 2001. Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la cordillera de La Costa, Venezuela. *Geos*, UCV, Caracas, 33 (1999):1-170.
 2012. Conversaciones sobre la geología de la Cordillera de La Costa. ¿Donde y cuando se formaron las distintas unidades que conforman la Cordillera?. *Geos*, UCV, Caracas, 42: 148-150 + 87 p. en DVD
- URBANI, F. y D. MENDI
 2011. Notas sobre la discordancia del margen sur de la cuenca oligo-miocena de Falcón, estados Lara, Falcón y Yaracuy, Venezuela. *Bol. Acad. Cienc. Fis., Matem. y Nat.*, Caracas, 70(2010)(4): 9-25.
- URBANI, F. y J. A. RODRÍGUEZ
 2004. *Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa*. Edic. Fundación Geos y FUNVISIS, 146 hojas.
- URBANI, F., L. A. CAMPOSANO, D. MENDI, A. MARTÍNEZ y A. GONZÁLEZ
 2008. Consideraciones geológicas de la zona de Yumare, estados Falcón y Yaracuy, Venezuela. *Bol. Acad. Cienc. Fis., Matem. y Nat.*, 68(2): 9-30.
- URBANI, F., S. GRANDE, M. BAQUERO, H. FOURNIER, D. MENDI, A. ALEMÁN, L. CAMPOSANO e I. BARITTO
 2012a. Los diques de basalto de la quebrada Yaracuybare, municipio Silva, edo. Falcón, Venezuela. *Memorias I Congreso Venezolano de Geociencias*, UCV, dic. 2011. *Geos*, UCV, Caracas, 42: 110-113.
- URBANI, F., S. GRANDE, W. REATEGUI, P. MUÑOZ, H. RODRÍGUEZ, A. ICHASO, D. MENDI y M. BAQUERO
 2012b. Geología de la Ofiolita de Siquisique y unidades sedimentarias asociadas. Región de Siquisique-Maparari, edos. Lara y Falcón, Venezuela. *Memorias I Congreso Venezolano de Geociencias*, UCV, dic. 2011. *Geos*, UCV, Caracas, 42: 114-118.
- WRIGHT, J. E. y S. WILD
 2011. Late Cretaceous subduction initiation on the eastern margin of the Caribbean-Colombian Oceanic Plateau: One Great Arc of the Caribbean? *Geosphere* 7(2): 1-26.