
CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS EN LA CONCENTRACIÓN DE CIRCONES PARA ANDESITAS, MONZOGRANITOS, RIOLITAS, CUARCITAS Y CUARZOMONZONITAS

CHARACTERIZATION OF THE PARAMETERS FOR CONCENTRATING ZIRCONS FROM ANDESITES, MONZOGRANITES, RHYOLITES, QUARTZITES AND QUARTZ MONZONITES

John Mauro **Castaño Duque**¹, Fredy Alonso **Rodríguez**², Carlos Andrés **García**³

* Email de correspondencia: jmcastano@sgc.gov.co

Recibido: 4/09/2017

Aceptado: 31/10/2017

Publicado en línea: 20/04/2018

Citación: Castaño, J. M., Rodríguez y F. A., García, C. A. (2018). Caracterización de parámetros en la concentración de circones para andesitas, monzogranitos, riolitas, cuarcitas y cuarzomonzonitas. *Boletín Geológico*, 44, 25-38.

RESUMEN

El Laboratorio Químico de la sede Medellín del Servicio Geológico Colombiano está desarrollando investigaciones sobre la caracterización de diferentes parámetros implicados en el proceso de concentración de circones que se utilizan para datación radiométrica U-Pb LA-ICP-MS en geocronología. La metodología fue empleada en cinco tipos de roca (andesitas, monzogranitos, riolitas, cuarcitas y cuarzomonzonitas), y las etapas de dicho proceso fueron molienda (trituration, pulverización y tamizaje), concentración gravimétrica en mesa Wilfley, concentración magnética en equipo isodinámico Frantz, utilización de líquidos densos LST (politungstato de litio), separación en vidrio de circones y elaboración de probeta. La metodología empleada consistió en tomar cinco muestras de cada tipo de roca y encontrar la mejor granulometría, los mejores ángulos frontales y laterales en la mesa Wilfley, y los mejores ángulos laterales y frontales en el equipo isodinámico Frantz, de manera que se lograra obtener la mayor cantidad posible de circones.

Palabras clave: circón, geocronología, trituración, pulverización, tamizaje, mesa Wilfley, isodinámico Frantz, líquidos densos.

¹ M. Sc. Servicio Geológico Colombiano

² Químico. Servicio Geológico Colombiano

³ Tecnólogo. Servicio Geológico Colombiano

ABSTRACT

The Medellín chemical laboratory of the Servicio Geológico Colombiano (Colombian Geological Survey) is conducting research to characterize the different parameters involved in the process of concentrating zircons for U-Pb LA-ICP-MS geochronology analysis. This methodology was applied to five different rock types, including andesites, rhyolites, quartzites, monzogranites and quartz monzonites; the stages of this process were as follows: grinding (crushing, pulverizing and screening), gravimetric concentration on a Wilfley table, magnetic concentration in an isodynamic Frantz separator, separation using LST dense liquids (lithium polytungstate), zircon picking and detailed sample mount preparation. The methodology consisted of performing tests on five samples of each rock type in order to find the best particle size during the grinding stage, the best forward and side angles on the Wilfley table and the best side and forward angles for the isodynamic Frantz separator to obtain the largest amount of zircons for U-Pb LA-ICP-MS geochronology analysis.

Keywords: zircon, geochronology, crushing, pulverization, screening, Wilfley table, isodynamic Frantz separator, dense liquids.

1. INTRODUCCIÓN

La geocronología y la termocronología son subcampos de la geología que tienen como objetivo determinar la edad y sucesión cronológica de los acontecimientos geológicos ocurridos en la Tierra. Para determinar estas se utilizan diferentes procedimientos, entre los cuales se encuentra la datación radiométrica, que a partir de isótopos radiactivos, como el uranio, permiten determinar la edad de materiales geológicos. Uno de los principales minerales que tienen en su estructura isótopos de uranio es el circón.

El Servicio Geológico Colombiano está desarrollando investigaciones en las que se utilizan dataciones U-Pb LA-ICP-MS en circón para datar las diferentes unidades geológicas encontradas. Para esto se requiere la concentración de los circones y su montaje en probeta. Por ello, el Laboratorio Químico de la sede Medellín del Servicio Geológico Colombiano está realizando investigaciones para caracterizar los diferentes parámetros implicados en el proceso de concentración de circones y compararlos con valores recomendados por los fabricantes de equipos como la mesa Wilfley y el isodinámico Frantz. Por esto, uno de los objetivos de esta investigación es encontrar los ángulos frontal y lateral apropiados tanto para la mesa Wilfley como para el isodinámico Frantz, con el fin de obtener la mayor concentración posible de circones, teniendo en cuenta la litología de la roca y propiedades físicas como su densidad.

Este artículo presenta dicha caracterización para cinco tipos de rocas, entre las que se encuentran andesitas, monzogranitos, riolitas, cuarcitas y cuarzomonzonitas. De cada uno de estos tipos de roca se tomaron cinco muestras, que pasaron por las diferentes etapas del proceso de concentración, con el objeto de obtener los circones necesarios para realizar una datación radiométrica. Cabe resaltar que dependiendo de la litología de la roca, existe más o menos probabilidad de encontrar circones; en nuestro caso, se estudiaron rocas ácidas, como monzogranitos, riolitas y cuarzomonzonitas, en las que, por su naturaleza, hay mayores probabilidades de encontrar circones, y de hecho se encontraron en cantidad suficiente. También se estudiaron rocas intermedias, como las andesitas, en las que hay una mediana probabilidad de encontrar circones (en nuestro caso particular se encontraron en buena proporción), y las cuarcitas, que por ser rocas metamórficas no se podrían catalogar como ácidas, intermedias o máficas; sin embargo, la cantidad de circones que contienen estas depende del protolito del que provengan (en nuestro caso, se obtuvo una buena concentración de circones).

2. METODOLOGÍA

Para la concentración de circones y la elaboración de la probeta para datación se realizó trituración, pulverización y tamizaje en la etapa de molienda, concentración gravimétrica en la mesa Wilfley, concentración magnética en el equipo isodinámico Frantz, utilización de lí-

quidos densos LST (politungstato de litio), separación en vidrio de circones y elaboración de probeta.

2.1 Trituración, pulverización y tamizaje

La limpieza es un factor clave durante todo el proceso de concentración de circones, si se quiere evitar la contaminación cruzada; las trituradoras y todo el equipo de molienda, antes de ser utilizados, deben ser limpiados con aire y alcohol etílico al 95 % grado técnico (Castaño, 2016). Esta limpieza también debe ser tenida en cuenta en etapas posteriores, en las que se utilizan equipos como la mesa Wilfley y el separador magnético Frantz.

Al laboratorio llega la muestra proveniente de diferentes unidades geológicas, que se reduce por fragmentación a tamaños que oscilan entre 5 y 8 cm, de manera que permitan la alimentación de las trituradoras de mandíbulas, que generan una muestra al final de un tamaño aproximado de 2 cm (Castaño, 2016). Posteriormente la muestra pasa a un pulverizador de placas verticales, y con la ayuda de una batería de tamices de 595 μm (malla 30), 500 μm (malla 35), 177 μm (malla 80) y 74 μm (malla 200), se obtiene la granulometría óptima, que evita la fractura de los circones (figuras 1, 2 y 3).



Figura 1. Trituración
Fuente: autores



Figura 2. Pulverización
Fuente: autores



Figura 3. Tamizaje
Fuente: autores

2.2 Concentración gravimétrica en mesa Wilfley

La mesa Wilfley es un equipo que se utiliza para la separación de minerales aprovechando la fuerza de gravedad. Presenta dos ángulos: uno lateral y otro frontal. El ángulo lateral se encuentran en un rango que oscila entre 1° y 12°, y el frontal, entre 1° y 2,8° (figura 4). La muestra pulverizada a 74 μm (malla 200), que proviene de la etapa de molienda, es sometida a concentración gravimétrica en la mesa Wilfley (figura 5); por lo tanto, es preparada en una dilución de tres partes de agua por una parte de mues-

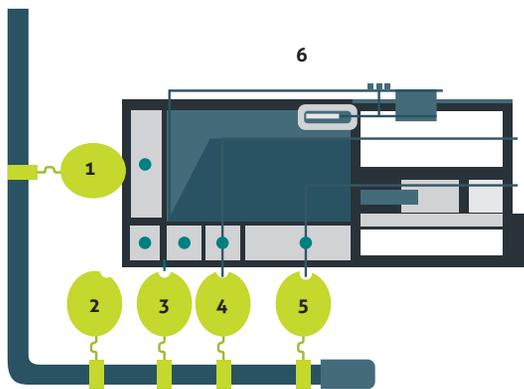
tra (Holman Wilfley Ltd., 2014), manteniendo un caudal constante de 5 litros/minuto de agua y una velocidad de vibración de 300 rpm en la mesa (Holman Wilfley Ltd., 2014). La tolva se alimenta con la muestra, y al caer la mezcla en el flujo de agua se separan los minerales más livianos y finos (figura 6, fracciones 3, 4 y 5), los cuales describen una trayectoria perpendicular al eje mayor de la mesa, mientras que los minerales pesados se arrastran siguiendo una trayectoria casi paralela al eje mayor de la mesa (figura 6, fracciones 1 y 2) (Castaño, 2016).



Figura 4. Ángulo lateral y frontal de la mesa Wilfley
Fuente: autores



Figura 5. Concentración en la mesa Wilfley
Fuente: autores



MESA WILFLEY

- 1, 2: Fracciones densas o pesadas
- 3, 4, 5: Fracciones finas y livianas
- 6: Tolva de alimentación de la muestra

Figura 6. Fracciones en la mesa Wilfley
Fuente: Castaño (2016)

2.3 Concentración magnética en isodinámico Frantz

Las fracciones 1 y 2 de minerales pesados que salen de la mesa Wilfley se secan en estufa a 30 °C por dos o tres horas, y se les pasa un imán de mano de 900 gauss para separar minerales como magnetita (Castaño, 2016). El resto de la muestra es llevada al equipo separador magnético Frantz, que separa los minerales según su susceptibilidad magnética. Este equipo presenta dos ángulos: uno lateral, que actúa respecto a la susceptibilidad magnética del mineral, y otro frontal, que actúa respecto a la fuerza de gravedad de la tierra (figura 7). Los rangos de los ángulos de operación recomendados por el fabricante del equipo varían entre 2° y 60° para el ángulo lateral, y entre 5° y 30° para el ángulo frontal (S. G. Frantz Company Inc., 2014).

La muestra a la que se le retira la magnetita se introduce en la tolva del separador Frantz y se trabaja el equipo con un amperaje de 0,4 A, de lo cual resultan dos fracciones: una con mayor susceptibilidad magnética y otra con menor susceptibilidad magnética. La fracción con menor susceptibilidad magnética alimenta de nuevo el equipo a un amperaje de 0,8 A; de allí nuevamente salen dos fracciones, y la de menor susceptibilidad magnética nuevamente alimenta el equipo a un amperaje de 1,2 A; de allí salen por último dos fracciones: la de menor susceptibilidad magnética, en la cual se encuentran los circones, apatitos, cuarzos y feldspatos, y la de mayor susceptibilidad magnética, que se obtiene de todo el proceso y contiene hornblenda, biotita, piroxeno, moscovita, monacita y turmalina, entre otros componentes (figura 8).

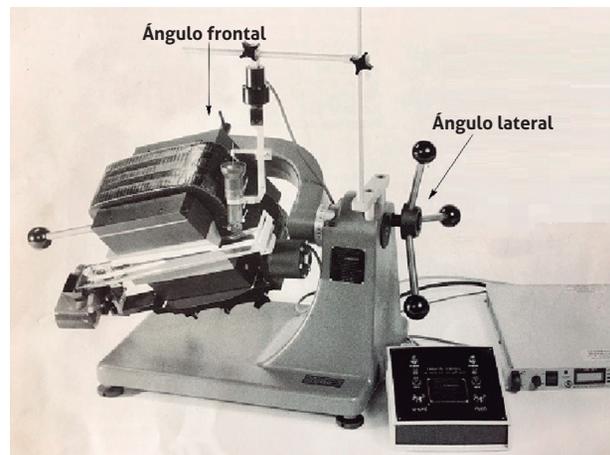


Figura 7. Ángulos lateral y frontal del separador Frantz
Fuente: S. G. Frantz Company Inc. (2014)



Figura 8. Concentración magnética en el equipo Frantz
Fuente: autores



Figura 9. Separación de circones por líquidos densos (LST)
Fuente: autores

2.4 Utilización de líquidos densos, separación en vidrio y elaboración de probeta

La fracción proveniente del separador Frantz que contiene circones, apatitos, cuarzos y feldespatos se somete a separación con líquidos densos, utilizando para ello LST (politungstato de litio), cuya densidad es de 2,85 g/ml. Aprovechando la densidad del circón, que es 4,6 g/ml, y con filtración al vacío y decantación, se logra realizar la separación de los circones de los otros minerales. Con posterioridad a esto, los circones son limpiados con agua destilada y secados a 30 °C, para luego pasarlos a cajas de Petri, donde, con la ayuda de agujas de punta fina, se agrupan en un vidrio de 5 x 5 cm que contiene una cinta de doble faz. Allí se agrupan entre cuarenta y sesenta circones. Se toma este número con el objetivo de tener una muestra que brinde soporte estadístico para determinar la edad, a la hora de realizar la datación radiométrica. A dicho vidrio se le sobrepone un molde impregnado de vaselina, al que se le adiciona una relación de 4 gr de resina epóxica por 1,5 gr de endurecedor. Luego de veinticuatro horas, a los circones adheridos a la probeta se les realiza el desbaste y pulido con papel de lija de calibres 2000, 2500 y 3000. Finalmente, la probeta se brilla con una suspensión diamantada y es enviada al equipo de laser-ablación para realizar la datación radiométrica (figuras 9, 10, 11, 12 y 13).



Figura 10. Separación de circones en vidrio
Fuente: autores

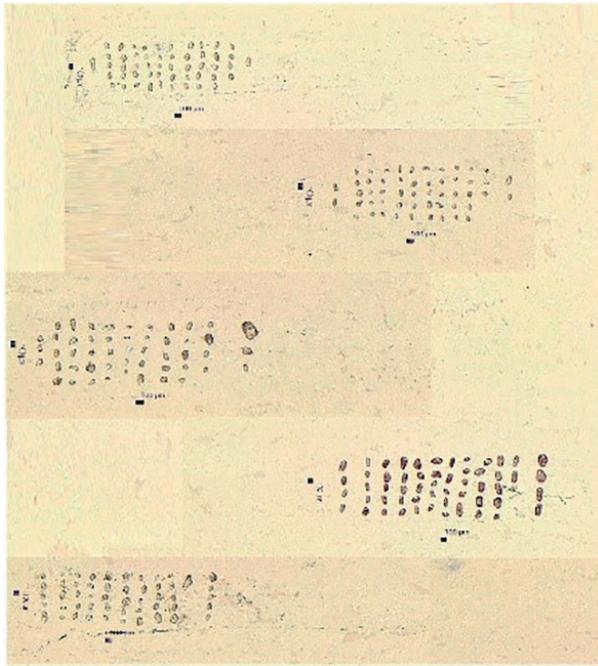


Figura 11. Circones en vidrio
Fuente: autores

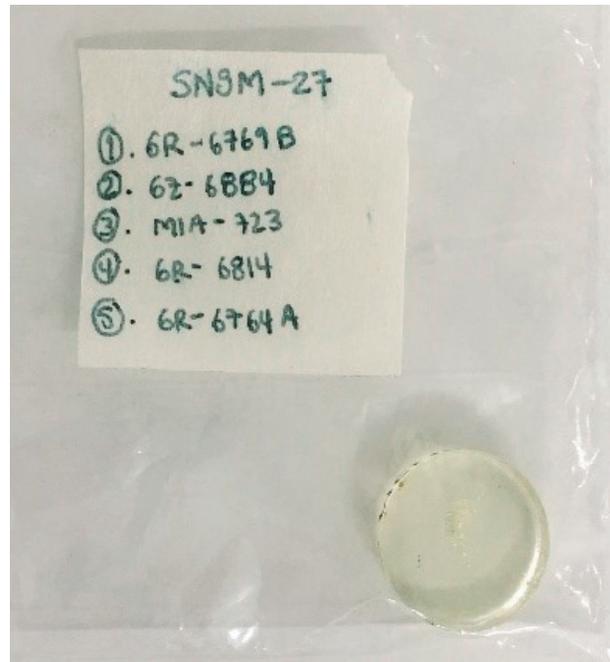


Figura 13. Probeta para datación
Fuente: autores

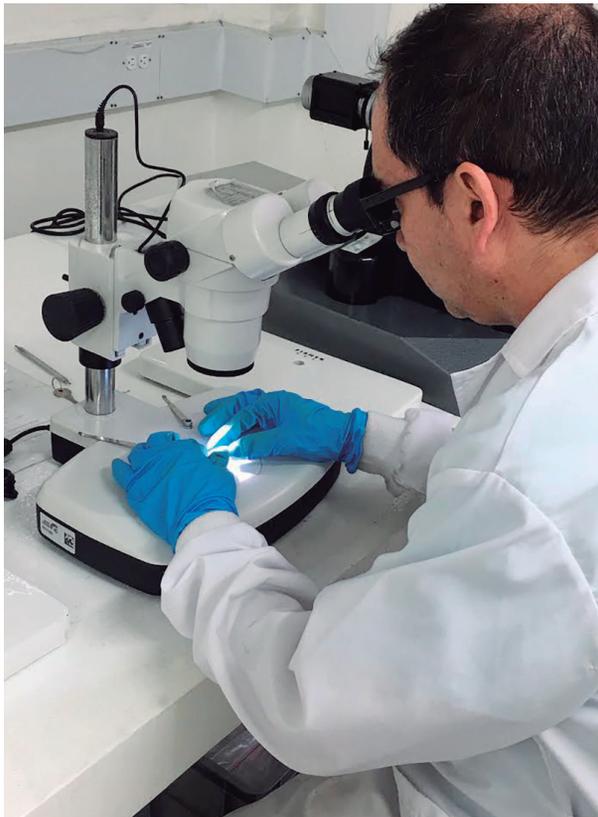


Figura 12. Pulido de circones en probeta
Fuente: autores

3. RESULTADOS

Para la determinación de los parámetros utilizados en la concentración de circones se utilizaron cinco tipos de roca, entre los que se encuentran andesitas, monzogranitos, riolitas, cuarcitas y cuarzomozonitas, de cada una de las cuales se tomaron cinco muestras, y a las que se les realizó el procedimiento de trituración, pulverización, tamizaje, concentración en mesa Wilfley, concentración magnética en el dispositivo Frantz, separación por líquidos densos, ubicación en cinta y montaje de probeta, procedimientos en los que nos detendremos a continuación.

3.1 Andesitas

Las andesitas son rocas ígneas volcánicas intermedias compuestas principalmente por plagioclasa y minerales ferromagnesianos, como piroxeno, biotita y hornblenda. Las andesitas son rocas de color gris medio, de grano fino, y contienen cantidades pequeñas de cuarzo (Lutgens y Tarbuck, 2005).

Se tomaron las muestras andesitas GR-6769B, GZ-6924, GR-6775, JGB-522 y GR-6780, cuyas densidades oscilaban entre 2,8 y 2,85 g/ml. Se les sometió a la etapa de molienda y con cada una de estas muestras se alimentó

la mesa Wilfley, con rangos de alimentación de entre 1461 y 3300 g. Los ángulos laterales de la mesa Wilfley variaron entre 5,2° y 5,3°, y los ángulos frontales variaron entre 1,4° y 1,6°. Posteriormente las muestras pasaron a separación magnética por el isodinámico Frantz a corrientes de 0,4 y 0,8 A, con ángulo lateral de 23° y frontal de 8°, y luego a 1,2 A, con ángulo lateral de 5° y frontal de 8°, de lo cual se obtuvo un concentrado con gran presencia de circones, apatitos y cuarzos. Posteriormente se realizó

separación con líquidos densos y se obtuvieron circones en buena cantidad, con diversas formas prismáticas, cortas y largas, con tonalidades café claro y translúcidas. En la tabla 1 se encuentra el resumen de los resultados del tipo de roca andesita correspondientes a las cinco muestras procesadas. En las figuras 14, 15, 16, 17 y 18 se pueden visualizar los circones de las muestras andesitas GR-6769B, GZ-6924, GR-6775, JGB-522 y GR-6780.

Tabla 1. Resultados de variables en la concentración magnética y gravimétrica de las rocas andesitas

Muestra	Cantidad alimentada (g)	Densidad de la muestra (g/ml)	Ángulo lateral de la mesa Wilfley	Ángulo frontal de la mesa Wilfley	Ángulo lateral del isodinámico Frantz	Ángulo frontal del isodinámico Frantz	Número de circones obtenidos
GR-6769B	3300	2,85	5,2°	1,4°	23° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	8°	57
GZ-6924	3100	2,85	5,2°	1,4°	23° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	8°	57
GR-6775	1461	2,8	5,3°	1,5°	23° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	8°	51
JGB-522	1600	2,85	5,2°	1,4°	23° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	8°	57
GR-6780	3250	2,8	5,3°	1,6°	23° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	8°	50

Fuente: autores

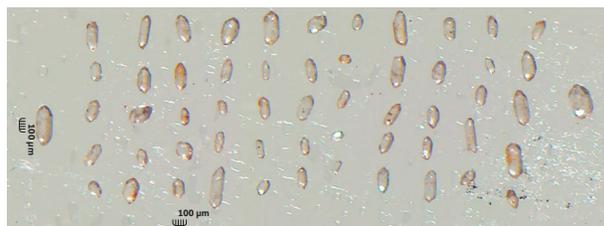


Figura 14. Circones de la muestra GR-6769B

Fuente: autores

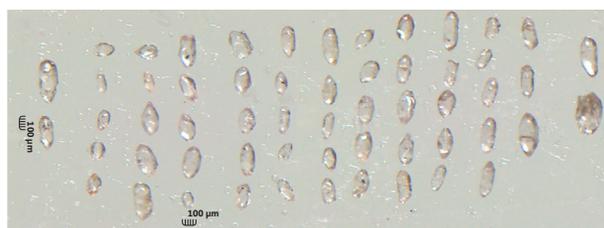


Figura 15. Circones de la muestra GZ-6924

Fuente: autores

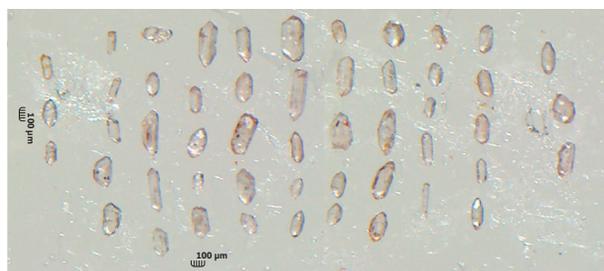


Figura 16. Circones de la muestra GR-6775

Fuente: autores

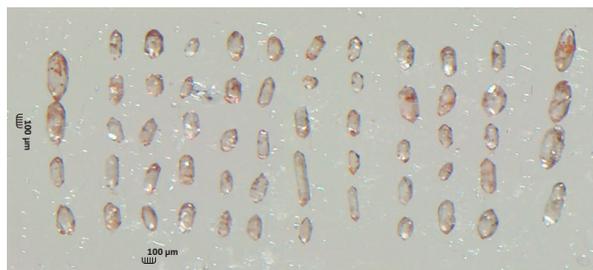


Figura 17. Circones de la muestra JGB-522

Fuente: autores

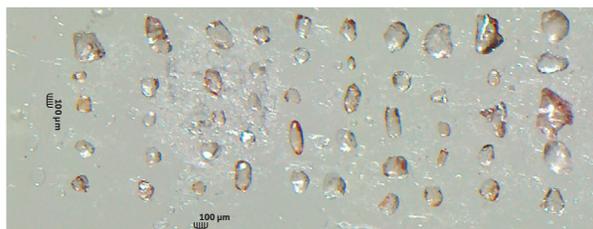


Figura 18. Circones de la muestra GR-6780

Fuente: autores

3.2 Monzogranitos

Son rocas ígneas plutónicas ácidas, compuestas principalmente por feldespatos alcalinos, plagioclasas y cuarzo.

Se tomaron las muestras de monzogranitos GR-6764 A, JGB-492, GOE-1000, JGB-498 A y JGB-491 A, con densidades que oscilaban entre 2,65 y 2,7 g/ml. Se las

sometió a la etapa de molienda a malla 200, y con ellas se alimentó la mesa Wilfley, con rangos de alimentación situados entre los 900 y 5550 g. Los ángulos laterales de la mesa Wilfley variaron entre 5,7° y 5,9°, y los ángulos frontales variaron entre 1,4° y 1,6°.

Posteriormente las muestras pasaron a separación magnética a corrientes de 0,4, 0,8 y 1,2 A, con ángulo lateral de 23° y frontal de 10°. Se observó gran presencia de circones, apatitos y cuarzos. Después se les realizó la separación por líquidos densos y se obtuvieron circo-

nes en buena cantidad. La menor cantidad se presentó en la muestra JGB-491 A, que se trabajó con los menores ángulos frontal y lateral en la mesa Wilfley para este tipo de roca. Los circones obtenidos tenían formas prismáticas, cortas y largas, de tonalidades café claro, traslúcidas y pardas. En la tabla 2 se encuentra el resumen de los resultados correspondientes al tipo de roca monzogranito. En las figuras 19, 20, 21, 22 y 23 se pueden visualizar los circones de las muestras monzogranitos GR-6764 A, JGB-492, GOE-1000, JGB-498 A y JGB-491 A.

Tabla 2. Resultados de variables en la concentración magnética y gravimétrica de los monzogranitos

Muestra	Cantidad alimentada (g)	Densidad de la muestra (g/ml)	Ángulo lateral de la mesa Wilfley	Ángulo frontal de la mesa Wilfley	Ángulo lateral del isodinámico Frantz	Ángulo frontal del isodinámico Frantz	Número de circones obtenidos
GR-6764A	5550	2,7	5,8°	1,5°	23° (0,4, 0,8, 1,2 A)	10°	51
JGB-492	4200	2,65	5,9°	1,6°	23° (0,4, 0,8, 1,2 A)	10°	54
GOE-1000	900	2,65	5,9°	1,6°	23° (0,4, 0,8, 1,2 A)	10°	54
JGB-498A	1800	2,7	5,8°	1,5°	23° (0,4, 0,8, 1,2 A)	10°	52
JGB-491A	2750	2,7	5,7°	1,4°	23° (0,4, 0,8, 1,2 A)	10°	41

Fuente: autores

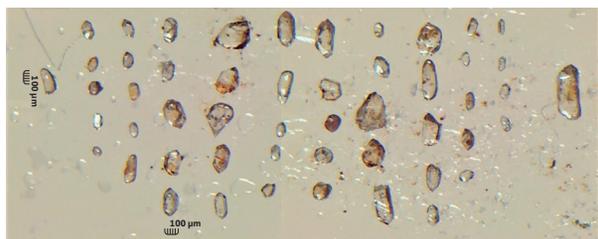


Figura 19. Circones de la muestra GR-6764 A

Fuente: autores

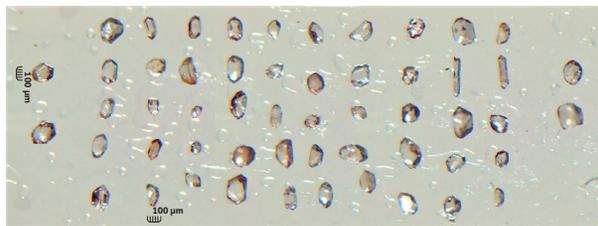


Figura 20. Circones de la muestra JGB-492

Fuente: autores

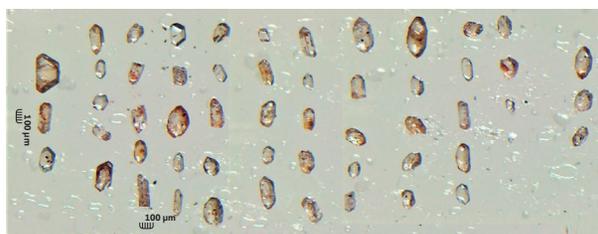


Figura 21. Circones de la muestra GOE-1000

Fuente: autores

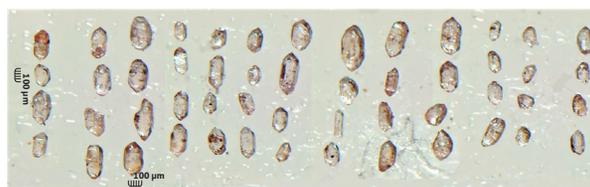


Figura 22. Circones de la muestra JGB-498 A

Fuente: autores

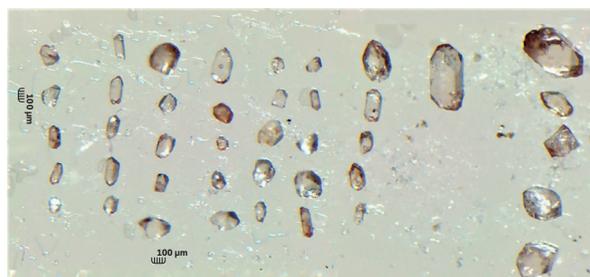


Figura 23. Circones de la muestra JGB-491 A

Fuente: autores

3.3 Riolitas

Son rocas ígneas extrusivas ácidas, con fenocristales como cuarzo, feldespato potásico, oligoclasa, biotita y anfíboles. Las riolitas son de color marrón claro o rosa, son afaníticas y contienen fragmentos vítreos (Lutgens y Tarbuck, 2005).

Se tomaron las muestras riolitas GR-6776, MIA - 723, GOE-1020, MIA-669 A y MIA-720, cuyas densidades os-

cilaban entre 2,5 y 2,6 g/ml. Se las sometió a la etapa de molienda y con cada una de estas muestras se alimentó la mesa Wilfley, con rangos de alimentación que oscilaron entre 1350 y 2350 g. Los ángulos laterales de la mesa Wilfley variaron entre 6,7° y 7,0°, y los ángulos frontales variaron entre 2,5° y 2,7°.

Posteriormente las muestras pasaron a separación magnética a corrientes de 0,4 y 0,8 A, con ángulo lateral de 20° y frontal de 10°, y luego a 1,2 A con ángulo lateral

de 5° y frontal de 10°. Se observó en el concentrado gran presencia de circones, apatitos y cuarzos. Posteriormente se realizó la separación por líquidos densos y se obtuvieron circones de formas prismáticas, cortas y largas, de tonalidades translúcidas, amarillas y café oscuro. Se puede observar en la tabla 3 el resumen de los resultados correspondientes al tipo de roca riolita. En las figuras 24, 25, 26, 27 y 28 se pueden visualizar los circones de las muestras riolitas GR-6776, MIA-723, GOE-1020, MIA-669 A y MIA-720.

Tabla 3. Resultados de variables en la concentración magnética y gravimétrica de las rocas riolitas

Muestra	Cantidad alimentada (g)	Densidad de la muestra (g/ml)	Ángulo lateral de la mesa Wilfley	Ángulo frontal de la mesa Wilfley	Ángulo lateral del isodinámico Frantz	Ángulo frontal del isodinámico Frantz	Número de circones obtenidos
GR-6776	2100	2,55	6,8°	2,6°	20° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	10°	57
MIA-723	1500	2,6	6,7°	2,5°	20° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	10°	50
GOE-1020	2250	2,6	7°	2,6°	20° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	10°	56
MIA-669A	1350	2,5	6,8°	2,6°	20° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	10°	54
MIA-720	2350	2,6	6,9°	2,7°	20° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	10°	50

Fuente: autores

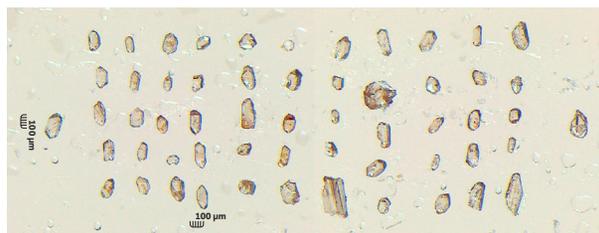


Figura 24. Circones de la muestra GR-6776

Fuente: autores

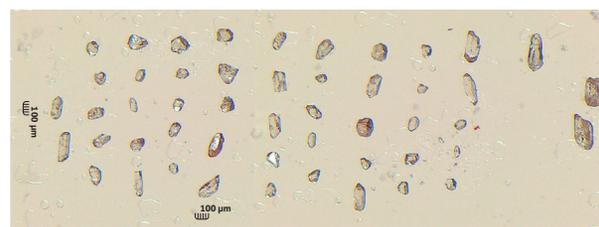


Figura 25. Circones de la muestra MIA-723

Fuente: autores



Figura 26. Circones de la muestra GOE-1020

Fuente: autores

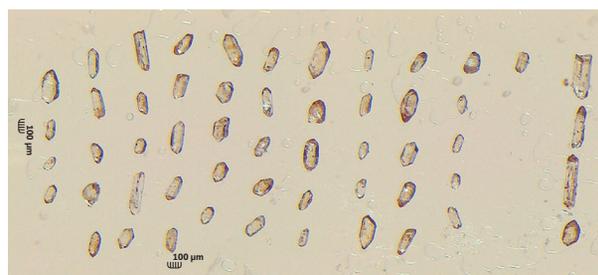


Figura 27. Circones de la muestra MIA-669 A

Fuente: autores

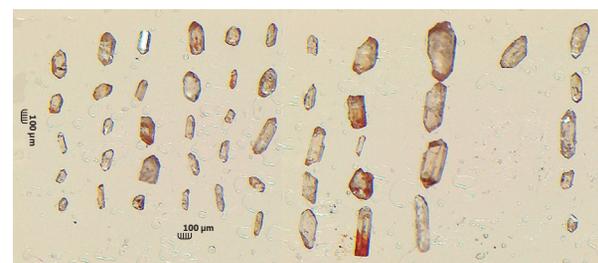


Figura 28. Circones de la muestra MIA-720

Fuente: autores

3.4 Cuarcita

Es una roca metamórfica dura con alto contenido de cuarzo. No se cataloga como roca ácida, intermedia, máfica o ultramáfica. La cantidad de circones que de ella se obtienen

depende del protolito del que provenga la roca. Se tomaron las muestras cuarcitas JGT-2443, JGT-2460, JGT-2426, 15-HF-022 A y JGT-2433, con densidades que variaban entre 2,4 y 2,5 g/ml. Se las sometió a la etapa de molienda y con cada una de estas muestras se alimentó la mesa Wilfley, con rangos de alimentación que oscilaron entre 1500 y 4600 g. El ángulo lateral de la mesa Wilfley se mantuvo siempre en 7,5°, y el ángulo frontal varió entre 2,7° y 2,8°.

Posteriormente las muestras pasaron a separación magnética a corrientes de 0,4, 0,8 y 1,2 A, con ángulo late-

ral de 20° y frontal de 10°. Se observó gran presencia de circones, apatitos y cuarzos. Después se realizó la separación por líquidos densos y se obtuvieron circones de formas prismáticas, de tonalidades traslúcidas y café oscuro. En la tabla 4 se encuentra el resumen de los resultados correspondientes al tipo de roca cuarcita. En las figuras 29, 30, 31, 32 y 33 se pueden visualizar los circones de las muestras cuarcitas JGT-2443, JGT-2460, JGT-2426, 15-HF-022 A y JGT-2433.

Tabla 4. Resultados de variables en la concentración magnética y gravimétrica de las rocas cuarcitas

Muestra	Cantidad alimentada (g)	Densidad de la muestra (g/ml)	Ángulo lateral de la mesa Wilfley	Ángulo frontal de la mesa Wilfley	Ángulo lateral del isodinámico Frantz	Ángulo frontal del isodinámico Frantz	Número de circones obtenidos
JGT-2443	2000	2,5	7,5°	2,7°	20° (0,4, 0,8, 1,2 A)	10°	52
JGT-2460	2050	2,45	7,5°	2,8°	20° (0,4, 0,8, 1,2 A)	10°	54
JGT-2426	2900	2,4	7,5°	2,8°	20° (0,4, 0,8, 1,2 A)	10°	60
15-HF-022A	4600	2,4	7,5°	2,8°	20° (0,4, 0,8, 1,2 A)	10°	58
JGT-2433	1500	2,5	7,5°	2,7°	20° (0,4, 0,8, 1,2 A)	10°	49

Fuente: autores

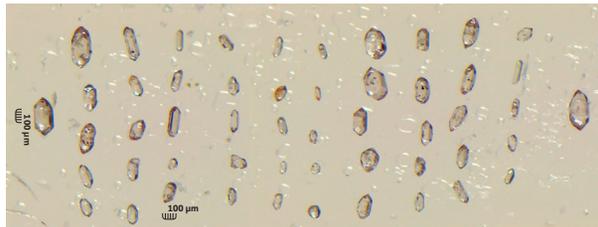


Figura 29. Circones de la muestra JGT-2443

Fuente: autores

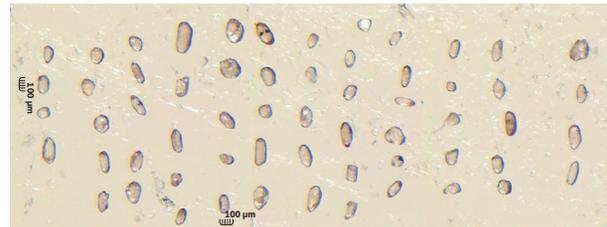


Figura 32. Circones de la muestra 15-HF-022 A

Fuente: autores

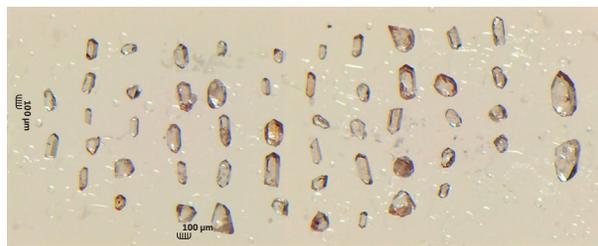


Figura 30. Circones de la muestra JGT-2460

Fuente: autores

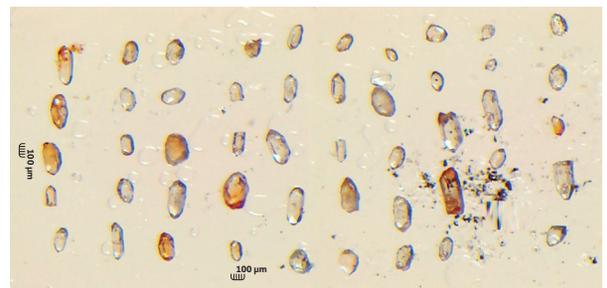


Figura 33. Circones de la muestra JGT-2433

Fuente: autores

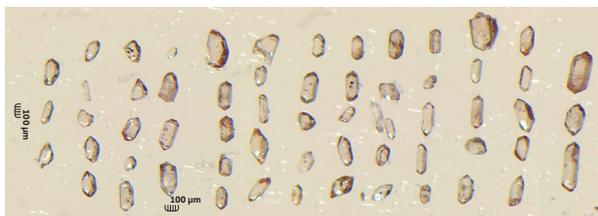


Figura 31. Circones de la muestra JGT-2426

Fuente: autores

3.5 Cuarzomonzonitas

Son rocas ígneo-plutónicas ácidas, compuestas por feldespato potásico, plagioclasas y, en menor medida, hornblenda y biotita. Se tomaron las muestras de cuarzomonzonitas NMR-1115, GZ-6843, NMR-1093, GR-6816B, NMR-1038, cuyas densidades variaron entre 2,7 y 2,8 g/ml.

Se les sometió a la etapa de molienda y con cada una de ellas se alimentó la mesa Wilfley, con rangos de alimentación de entre 400 y 3759 g. El ángulo lateral se mantuvo constante en 5,5°, y el ángulo frontal en 1,6°.

Posteriormente las muestras pasaron a separación magnética a corrientes de 0,4 y 0,8 A, con ángulo lateral de 20° y frontal de 10°, y luego a 1,2 A con ángulo lateral de 5° y frontal de 10°. Se observó gran presencia de circones, apatitos y cuarzos. Por último, a este concentrado se

le realizó la separación por líquidos densos, y se obtuvieron circones de formas prismáticas, cortas y largas, con tonalidades translúcidas y pardas. En la tabla 5 se puede observar el resumen de los resultados correspondientes al tipo de roca cuarzomonzonita. En las figuras 34, 35, 36, 37 y 38 se pueden visualizar los circones de las muestras cuarzomonzonitas NMR-1115, GZ-6843, NMR-1093, GR-6816B y NMR-1038.

Tabla 5. Resultados de variables en la concentración magnética y gravimétrica de las rocas cuarzomonzonitas

Muestra	Cantidad a Alimentada (g)	Densidad de la muestra (g/ml)	Ángulo lateral de la mesa Wilfley	Ángulo frontal de la mesa Wilfley	Ángulo lateral del isodinámico Frantz	Ángulo frontal del isodinámico Frantz	Número de circones obtenidos
NMR-1115	927	2,7	5,5°	1,6°	20° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	10°	50
GZ-6843	2620	2,8	5,5°	1,6°	20° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	10°	53
NMR-1093	673	2,7	5,5°	1,6°	20° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	10°	58
GR-6816B	3759	2,7	5,5°	1,6°	20° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	10°	50
NMR-1038	400	2,7	5,5°	1,6°	20° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	10°	53

Fuente: autores

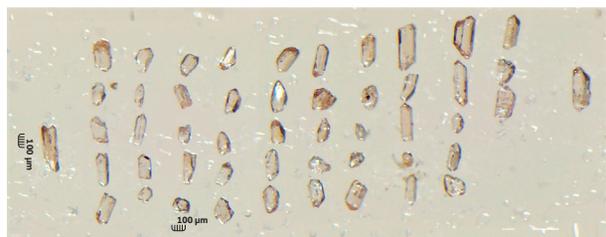


Figura 34. Circones de la muestra NMR-1115

Fuente: autores

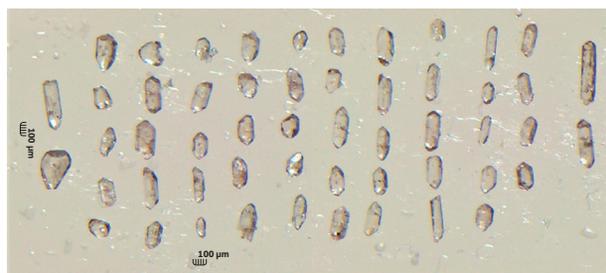


Figura 35. Circones de la muestra GZ-6843

Fuente: autores

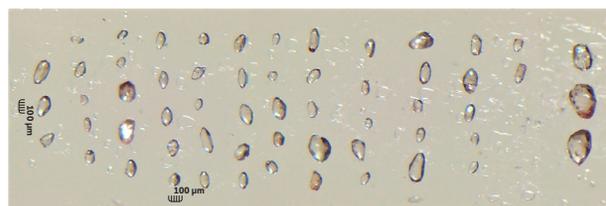


Figura 36. Circones de la muestra NMR-1093

Fuente: autores

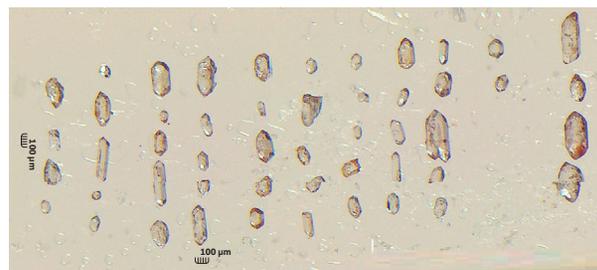


Figura 37. Circones de la muestra GR-6816B

Fuente: autores

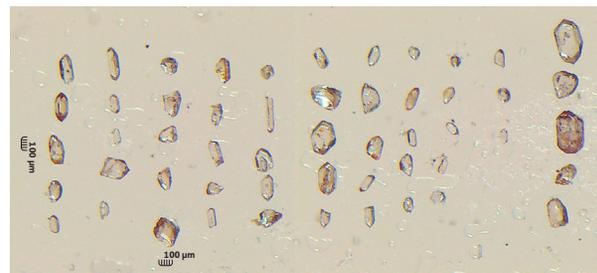


Figura 38. Circones de la muestra NMR-1038

Fuente: autores

En la tabla 6 se pueden observar, en resumen, los resultados obtenidos por la litología de la roca, donde se muestran los parámetros operacionales aplicados para obtener los circones.

Tabla 6. Resultados de variables en la concentración magnética y gravimétrica por litología de la roca

Tipo de roca	Densidad de la muestra (g/ml)	Ángulo lateral de la mesa Wilfley	Ángulo frontal de la mesa Wilfley	Ángulo lateral del isodinámico Frantz	Ángulo frontal del isodinámico Frantz	Número de circones obtenidos (promedio)
Andesita	2,85	5,2°	1,4°	23° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	8°	57
Monzogranito	2,65	5,9°	1,6°	23° (0,4, 0,8, 1,2A)	10°	54
Riolita	2,55	6,8°	2,6°	20° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	10°	57
Cuarcita	2,4	7,5°	2,8°	20° (0,4, 0,8, 1,2A)	10°	60
Cuarzomonzonita	2,7	5,5°	1,6°	20° (0,4, 0,8 A) 5° (1,2 A)	10°	58

Fuente: autores

4. DISCUSIÓN

De conformidad con los resultados obtenidos, se pudo establecer que la litología de la roca y las propiedades físicas de la muestra, como la densidad, influyen en la escogencia de los ángulos adecuados para operar tanto la mesa Wilfley como el isodinámico Frantz.

Podemos observar que, de acuerdo con los datos de la tabla 1, correspondiente a rocas andesitas, en las muestras con densidades de 2,85 g/ml, los ángulos lateral y frontal de la mesa Wilfley fueron de 5,2° y 1,4°, respectivamente, y se obtuvieron 57 circones, la mayor cantidad para ese grupo de muestras, mientras que en rocas con densidades de 2,8 g/ml, los ángulos lateral y frontal de la mesa variaron a 5,3° y 1,6°, respectivamente, y se obtuvieron 50 circones, una cantidad un poco menor. Esto indica que muestras con densidades más altas presentan menores ángulos laterales y frontales, y muestras con densidades más bajas presentan mayores ángulos laterales y frontales. Esto se debe a que muestras con mayores densidades funcionan mejor con ángulos laterales y frontales menores, debido a que estos mejoran el tiempo de residencia de la muestra, mientras que muestras con densidades más bajas funcionan mejor con ángulos laterales y frontales un poco más altos, de manera que la fuerza de gravedad contribuya en la separación. Otro aspecto importante que se observa en el grupo de muestras andesitas es que, a pesar de ser una roca intermedia y ofrecer una probabilidad media de contener circones, funciona bien en el rango de ángulos laterales y frontales en que se trabajaron, ya que se obtuvieron entre 50 y 57 circones.

En el grupo de muestras monzogranitos resumidas en la tabla 2 se observó que, al igual que las andesitas, las muestras con densidades un poco más altas presentan ángulos laterales y frontales más bajos, mientras que las

muestras con densidades más bajas presentan los ángulos laterales y frontales más altos. El mejor resultado, teniendo en cuenta el mayor número de circones obtenidos, que fue de 54, correspondió a las muestras que presentaban densidades de 2,65 g/ml y ángulos laterales y frontales de 5,9° y 1,6°, respectivamente. La muestra de la que se obtuvo la menor cantidad de circones —41 unidades— se trabajó con ángulos laterales y frontales de 5,7° y 1,4°. Esta muestra presentaba una densidad de 2,7 g/ml, y fue la que tuvo los ángulos más pequeños. Incluso otras muestras con densidades de 2,7 g/ml, y que se trabajaron con ángulos laterales y frontales de 5,8° y 1,5°, presentaron mejores resultados, ya que se obtuvieron 52 circones. Esto indica que los ángulos en la mesa Wilfley tienen relación directa con la densidad de la muestra, y que el aumento o disminución de un ángulo en la mesa depende de la densidad de la muestra. Los monzogranitos son rocas ácidas que ofrecen una alta probabilidad de contener circones. Este es otro factor favorable para que se hubieran encontrado circones en una buena proporción: entre 41 y 54 unidades.

Las otras dos rocas ácidas que por su litología presentan una buena probabilidad de contener circones son las riolitas y cuarzomonzonitas. Observando los resultados en las tablas 3 y 5 se encontró que para las riolitas los mejores ángulos lateral y frontal fueron 6,8° y 2,6° (se obtuvieron 57 unidades de circón en una muestra de 2,55 g/ml), y para las cuarzomonzonitas los mejores ángulos lateral y frontal fueron 5,5° y 1,6° (se obtuvieron 58 unidades de circón en una muestra 2,7 g/ml).

El otro grupo que se estudió fueron las cuarcitas, que no son catalogadas como rocas ácidas, intermedias, máficas o ultramáficas. Su cantidad de circones depende del protolito del que provengan. En el caso del estudio resumido en la tabla 4, se obtuvieron los mejores resultados en los ángulos lateral y frontal 7,5° y 2,8°, respectiva-

mente: se lograron hasta 60 unidades de circón, la mayor cantidad de todo el grupo de litologías estudiadas. Esto indica que el rango de ángulos estudiados sirve para este tipo de rocas, siempre y cuando provenga de un protolito que contenga circones.

Por último, en la tabla 6, que es la tabla resumen donde se comparan las litologías de la roca, densidad de muestra y ángulos lateral y frontal de la mesa Wilfley, se puede observar que las rocas con densidades más altas, como las andesitas y cuarzomonzonitas, presentan los menores ángulos lateral y frontal en la mesa Wilfley, ya que con estos ángulos se mejora el tiempo de residencia de la muestra en la mesa y se obtiene una mayor separación de los minerales pesados; en cambio, en las rocas con densidades más bajas, como las riolitas y cuarcitas, se presentan los mayores ángulos en la mesa Wilfley, de manera que la fuerza de gravedad contribuya en la separación.

En cuanto a la operación de la mesa Wilfley, de acuerdo a las recomendaciones de operación del fabricante, utilizando un caudal constante de 5 litros/minuto de agua y una velocidad de vibración de 300 rpm (Holman Wilfley Ltd., 2014), descrito en la metodología, se encontró que para los rangos de cantidad alimentada desde valores de 400 g en la muestra cuarzomonzonita NMR-1038 (valor más bajo alimentado) hasta un valor de 5550 g en la muestra monzogranito GR-6764A (valor más alto alimentado) se obtuvieron circones en buena cantidad.

En cuanto a los resultados obtenidos con los ángulos lateral y frontal en el isodinámico Frantz, se pudo establecer que, dependiendo de la litología de la roca, se debe escoger el ángulo lateral, que es el que actúa respecto a la susceptibilidad magnética del mineral, ya que en rocas como andesitas, riolitas y cuarzomonzonitas, que presentan mayor cantidad de minerales ferromagnesianos, fueron de 5° para un amperaje de 1,2 A, como se puede visualizar en las tablas 1, 3, 5 y 6, algo que permite aprovechar mejor el campo magnético del equipo y posibilita separar minerales como piroxeno, biotita y hornblenda de los circones, que es el mineral que buscamos. En las rocas como monzogranitos y cuarcitas, que en su litología

presentan poca cantidad de minerales ferromagnesianos, se trabajaron ángulos laterales de 23° y 20° durante todo los amperajes expuestos (0,4, 0,8 y 1,2 A), ya que en su estructura no tienen minerales tan magnéticos, como sí los tienen rocas con minerales ferromagnesianos.

Se tuvo en cuenta el rango de operación recomendado por el fabricante para el ángulo frontal, que varía entre 5° y 30° (S. G. Frantz Company Inc., 2014), que da buenos resultados para la obtención de circones, ya que en nuestro caso de estudio se trabajaron ángulos frontales de 8° y 10°. Comparando con la tabla I del manual de operación del equipo isodinámico Frantz (S. G. Frantz Company Inc., 2014) en un caso de rocas sedimentarias, se coincidió en que ángulos laterales de 5° para un amperaje de 1,2 A separan circones y otros minerales; en nuestro caso, dicho ángulo se utilizó en rocas ígneas como andesitas, riolitas y cuarzomonzonitas, y con él se obtuvo una buena cantidad de circones, como se expone en las tablas de resultados.

5. CONCLUSIONES

La litología de la roca y la propiedad de la densidad de la muestra influyen en la escogencia de los ángulos lateral y frontal en la mesa Wilfley. Es así como rocas con densidades más altas funcionan con menores ángulos laterales y frontales que rocas con densidades más bajas. Esto se debe a que en las rocas con densidades más altas, los menores ángulos mejoran el tiempo de residencia de la muestra en la mesa, lo que optimiza la separación de los minerales pesados y permite obtener una mayor concentración de circones.

La litología de la roca influye en la determinación del ángulo lateral en el equipo isodinámico Frantz, ya que rocas que tienen en su composición minerales ferromagnesianos requieren de un contacto mayor con el campo magnético, mientras que rocas que presentan menor cantidad de minerales ferromagnesianos pueden operar a ángulos laterales que no estén tan expuestos al campo magnético.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias a la contribución y los aportes logísticos de la Dirección Técnica de Laboratorios del Servicio Geológico Colombiano, al Grupo de Estudios Geológicos Especiales, sede Medellín, del SGC, y, en particular, a los aportes y revisiones de los químicos Héctor Manuel Enciso Prieto y Alexander Salinas Ruiz, del ingeniero geólogo Gabriel Rodríguez García y del geólogo Tomás Correa Restrepo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castaño, J. M. (2016). *Guía del Servicio Geológico Colombiano. Concentración de circones por medio magnético para datación*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Holman Wilfley Ltd. (2014). *Operating & Maintenance Manual*. Cornwall.
- Lutgens, F. K. y Tarbuck, E. J. (2005). *Ciencias de la tierra: una introducción a la geología física*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- S. G. Frantz Company Inc. (2014) *Assembly, installation, operation and maintenance instructions Frantz magnetic barrier laboratory separator model LB-1*.