

Catálogo de edades radiométricas de Ecuador

Catalog of radiometric ages of Ecuador

Christian Romero¹, Heidy Cervantes², Deymi Ortiz², Daniel Maya³, Paola Pazmiño³, Ana Gramal¹, Fausto Carranco¹, Darío Calderón¹, Washington Castillo¹, Marilyn Castillo², Héctor Freire³, Leyla Oñate³, Byron Córdova²

- ¹ Instituto de Investigación Geológico y Energético. Quito – Ecuador. E – mail: christian.romero@geoenergia.gob.ec, ana.gramal@geoenergia.gob.ec, fausto.carranco@geoenergia.gob.ec, dario.calderon@geoenergia.gob.ec, washington.castillo@geoenergia.gob.ec. iD: <https://orcid.org/0000-0001-9271-4323>, <https://orcid.org/0000-0002-2216-8846>, <https://orcid.org/0000-0001-9412-8942>.
- ² Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleo y Ambiental. Quito – Ecuador. E – mail: hlcervantes@uce.edu.ec, djortizm@uce.edu.ec, mdcastillo@uce.edu.ec, bpcordova@uce.edu.ec. iD: <https://orcid.org/0000-0003-3044-8116>, <https://orcid.org/0000-0003-1742-1277>, <https://orcid.org/0000-0001-9406-2824>, <https://orcid.org/0000-0003-3868-2484>.
- ³ Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos. Quito – Ecuador. E – mail: daniel.maya@epn.edu.ec, paola.pazmino01@epn.edu.ec, hector.freire@epn.edu.ec, leyla.onate@epn.edu.ec. iD: <https://orcid.org/0000-0002-3727-2427>, <https://orcid.org/0000-0003-2623-676X>, <https://orcid.org/0000-0001-8665-6083>, <https://orcid.org/0000-0003-4870-1976>.

ISSN: 2661-6998

Fecha de recepción: 22-06-2023
Fecha de aceptación: 02-10-2023

Resumen

La geocronología es una herramienta de la cartografía geológica que permite determinar la edad de las secuencias estratigráficas y cuerpos intrusivos, con el objetivo de verificar la posición estratigráfica de las diferentes unidades geológicas representadas en los mapas geológicos y proponer modelos de evolución geológica. En las últimas décadas, el desarrollo de la geocronología a nivel mundial permitió incrementar el conocimiento sobre la historia de nuestro planeta. En este contexto, a nivel regional, diferentes bases de información geocronológica fueron reportadas en Sudamérica. Sin embargo, en Ecuador, no se ha presentado una base de datos geocronológicos sistematizada. Este trabajo presenta la recopilación de edades radiométricas reportadas en Ecuador, en el intervalo Proterozoico a Neógeno. Los datos son presentados en forma de catálogo de libre acceso y actualizable por el usuario. Mil trescientos veintidós (1322) datos han sido recopilados y clasificados considerando: 1) la posición geográfica de las muestras, 2) método de

datación, 3) material analizado, 4) edad y 5) incertidumbre. Los métodos de datación más empleados en estudios geocronológicos en Ecuador son: K-Ar (44,5 %), U-Pb-Th (16,9 %), ZFT (19,5 %), AFT (8 %). Mientras que, los métodos Ar-Ar (3,2 %), Rb-Sr (2,7 %), Lu-Hf (1,3 %) y Sm-Nd (0,7 %) fueron utilizados en estudios específicos. El conjunto de datos recolectados es presentado en formato KML con el objetivo de facilitar la visualización y presentar los datos de manera amigable para el lector.

Palabras clave: Geocronología, Datación, Edades, Ecuador.

Abstract

Geochronology is a tool of geological cartography and allows determining the age of stratigraphic sequences and intrusive bodies to verify the stratigraphic position of the different geological units represented in the geological maps and propose geological evolution models. In recent decades, the development of

geochronology worldwide has allowed increasing knowledge about the history of our planet. In this context, different geochronological information bases were reported in South America. However, a systematized geochronological database in Ecuador has yet to be reported. This work presents the compilation of radiometric ages reported in the continental margin of Ecuador, from the Proterozoic to the Neogene. The data is presented as a catalog of free access and is updateable by the user. One thousand three hundred and twenty-two data are collected and classified considering 1) the geographical position of the samples, 2) the dating method, 3) analyzed material, 4) age, and 5) uncertainty. The dating methods most used in geochronological studies in Ecuador are K-Ar (44.5%), U-Pb-Th (16.9%), ZFT (19.5%), whereas the Ar-Ar (3.2%), Rb-Sr (2.7%), Lu-Hf (1.3%) and Sm-Nd (0.7%) methods were used in specific studies. The collected data set is presented in KML format to facilitate visualization and present the data in a reader-friendly manner.

Keywords: Geochronology, Dating, Ages, Ecuador.

1. INTRODUCCIÓN

La geocronología tiene como objetivo establecer la edad de eventos geológicos ocurridos durante la historia del planeta, considerando un rango específico de incertidumbre [1]. Todos los métodos de datación radiométrica se fundamentan en la desintegración radiactiva, es decir, la transformación de isótopos padres a isótopos hijos. En el caso de estudios de trazas de fisión, el daño por radiación a la estructura cristalina de un determinado mineral [2]. Existen muchos sistemas isotópicos empleados en la datación absoluta (U-Th-Pb, K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd, trazas de fisión, entre otros) y cada uno de ellos es utilizado de forma específica para calcular eventos térmicos que afectaron a una roca o una secuencia de rocas en un determinado periodo de tiempo [3]. Esta contribución proporciona una recopilación de edades reportadas en publicaciones científicas, reportes técnicos, informes publicados e inéditos y mapas geológicos de Ecuador, a diferente escala publicados desde 1960 a 2021 (Fig. 1).

La Tabla A1 presenta el catálogo de edades radiométricas que incluye: la información sistematizada y completa, compilada para esta investigación; además, se detalla el listado de referencias bibliográficas empleado. Este catálogo incluye edades radiométricas que van desde el Proterozoico al Neógeno. Una consideración importante es que en este trabajo no se incluyen edades del Cuaternario.

1.1. Perspectiva histórica de la geocronología en Ecuador

En Ecuador, los reportes de dataciones radiométricas empezaron a publicarse desde la década de los 60 (Fig. 1), edades K-Ar, obtenidas en roca total de granitoides de la Cordillera Real, basamento de la Cordillera de la Costa y basamento del Valle Interandino, fueron reportados por: Everden [4], el Instituto Francés del Petróleo - IFP [5], y Cotecchia y Zezza [6] respectivamente.

En la década de los 70, las edades K-Ar fueron realizadas en: plagioclasa, hornblenda, biotita, moscovita y roca total del basamento de la Costa, los batolitos Tangula, Chaucha, Zamora, los plutones: El Tingo, San Lucas, Paute, Magtayán, Amaluza, El Descanso, Las Guardias y secuencias volcánicas indiscriminadas del sur del Ecuador, fueron presentadas [7-12] (Fig. 1). Además, se publicaron las primeras edades C^{14} de fragmentos de madera recolectados en rocas volcánico-sedimentarias del río Chiche y en la cuenca de Cuenca [11].

El estudio a detalle de rocas metamórficas de la Cordillera Real y el Bloque Amotape-Tahuín permitió reportar edades Rb-Sr y Sm-Nd en la década de los 80 [13-15]. Adicionalmente, se presentaron nuevas edades de los plutones Magtayán, Amaluza, El Tingo, Chaucha, Balzapamba, Portachuela, Pachacmama, Cojitambo Pimampiro, Baeza, Pascuales, Pungalá, Gómez y San Lucas [16 -20]. También fueron reportadas edades radiométricas de edificios volcánicos en el Valle Interandino [21,22] (Fig. 2).

En los años 90, el Servicio Geológico Británico (BGS, por sus siglas en inglés) y la Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico Minero Metalúrgica (CODIGEM), publicaron espectros de edades K-Ar, Sm-Nd, Rb-Sr, U-Pb, Pb-Pb y Re-Os, de rocas de las cordilleras Real y Occidental [23, 24]. En tanto, otros investigadores publicaron datos sobre trazas de fisión en apatitos (AZT) y circón (ZFT) en muestras de rocas de las cuencas intramontañosas [25] (Fig. 2).

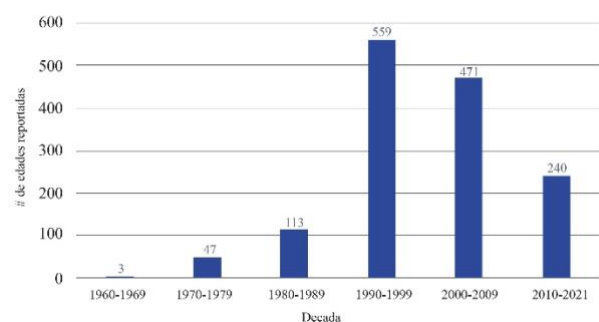


Figura 1. Estadística de estudios geocronológicos reportadas en Ecuador desde 1961 a 2021. La evolución de la densidad de edades reportadas a través del tiempo, muestra un pico en la década de los 90.

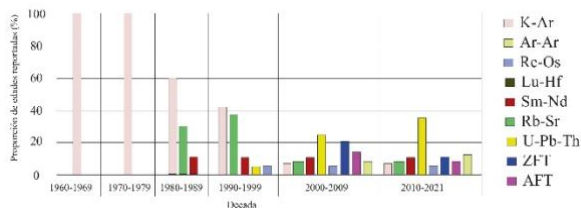


Figura 2. Estadística sobre la evolución de las metodologías utilizadas en estudios geocronológicos en Ecuador. La evolución de las metodologías aplicadas a la determinación de edades absolutas, muestra que desde 1990 las metodologías empleadas se diversificaron.

A inicios del siglo XXI, el Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA), publicó edades Pb-Pb, K-Ar, AZT, ZFT y Re-Os, obtenidas de muestras del basamento de la Costa y Cordillera Occidental; además, de los ciclos sedimentarios y secuencias volcanoclásticas en la Cordillera Occidental [26-28]. Mientras que, varias investigaciones internacionales publicaron resultados de métodos de trazas de fisión y edades U-Pb en circones, apatitos y monacitas de la Cordillera Real y Zona Subandina [29-37]. Recientemente, se reportaron edades U-Pb, Ar-Ar, Re-Os, Sm-Nd y Lu-Hf de rocas volcánicas que afloran en la Zona Subandina, Cuenca Oriente [38, 39], Cordillera Real [40, 41], Cordillera Occidental [42] y Costa [43-45] (Fig. 2).

En Ecuador se ha reportado una amplia variedad de metodologías de datación absoluta (Fig. 2), pero existen limitaciones para establecer la edad de cristalización de las rocas y el lapso de duración de antiguos eventos tectónicos [46]. En este contexto, se presentan dos grandes inconvenientes en el desarrollo de la investigación geocronológica en Ecuador. El primer inconveniente se relaciona con las limitaciones que presenta el método K-Ar, siendo el más utilizado en el siglo XX, pese a que solamente permite medir el último evento térmico y/o metamórfico; es decir, existe una alta incertidumbre debido que se puede identificar el reinicio o “reseteo” térmico de eventos magmáticos o deformaciones superpuestas y no la edad de cristalización real de las rocas [47-49]. El segundo inconveniente, se relaciona con el número limitado de edades radiométricas disponibles. Estos dos inconvenientes han ocasionado errores en las interpretaciones de datos en el contexto geodinámico regional. La difusión del método de datación U-Pb en circones, utilizando la técnica LA-ICP-MS, creó un escenario favorable en las ciencias de la tierra en todo el mundo [50]. Siendo ampliamente utilizada para estudios de procedencia de circones detríticos, la misma que presenta algunas ventajas, como son el menor costo y el fácil acceso para el análisis de edades [51]. Por otro lado, edades de cristalización en rocas ígneas permitieron determinar la edad y duración de ciclos magmáticos con mayor grado de confiabilidad [50]. En Ecuador, este

método empezó a ser utilizado a principios del siglo XXI, los nuevos resultados permitieron evaluar la edad de metamorfismo, determinar la edad de cristalización en rocas ígneas y la proveniencia en rocas sedimentarias, lo que llevó a proponer nuevos modelos de evolución tectónica con mayor confiabilidad y susceptibles a verificación.

1.2. Contexto geológico regional del Ecuador

Los Andes del Norte son la principal característica morfológica de la margen noroccidental de Sudamérica [52]. Al norte de la deflexión de Huancabamba, el margen continental de Ecuador se desarrolla frente a un límite de placas convergente, en donde, la Cordillera Oceánica de Carnegie se sumerge bajo la litósfera continental Sudamericana [53]. Al sur del margen noroccidental de Sudamérica, los Andes ecuatorianos incluyen dos cordilleras genéticamente distintas: Cordillera Occidental y Cordillera Real, separadas por el Valle Interandino, con una cuenca de ante-arco (Costa) y una cuenca de tras-arco (Oriente) adyacentes [39].

El basamento de la Costa y la Cordillera Occidental involucra a rocas ígneas de afinidad de *plateau* oceánico (bloques Piñón, San Lorenzo y Pallatanga), los cuales fueron acrecionados a la margen continental durante el Cretácico Superior [27, 28, 54]. En la Costa, este basamento está sobreyacido por potentes secuencias de origen marino y continental [45, 55]. Mientras que, el basamento en la Cordillera Occidental está sobreyacido por múltiples secuencias turbidíticas y volcánicas del Paleoceno al Neógeno [42, 56]. El Valle Interandino está comprendido por una potente cobertura volcanoclástica y dominado por tectónica transpresiva [57] y guarda el registro del volcanismo cuaternario [58-59]. En el sur del Ecuador, las cuencas intramontañosas se desarrollan sobre un basamento volcánico continental del Oligoceno al occidente (formaciones Saraguro y Loma Blanca) y al este sobre rocas metamórficas de la cordillera Real (?). Además, estas cuencas albergan el registro sedimentario de secuencias marino-someras a costeras del Mioceno Medio y secuencias continentales con influencia volcánica de edad Mioceno Superior [25, 60] (Fig. 3).

La Cordillera Real se compone de rocas sedimentarias e ígneas metamorfoseadas, con edades que varían desde el Paleozoico al Cretácico Inferior [40]. Cinco divisiones o terrenos litotectónicos se observan en la Cordillera Real, de oeste a este: Guamote, Alao, Loja, Salado y Zamora; estas divisiones o terrenos se encuentran limitadas por fallas regionales: Peltetec, Baños, Llanganates, y Cosanga-Méndez respectivamente [23, 61]. La Zona Subandina es un cinturón corrido y plegado, el cual es considerado una zona de transición entre rocas metamórficas de la Cordillera Real y rocas sedimentarias de la Cuenca Oriente [39, 62, 63]. El Levantamiento

de manera textual y exacta, muchos de los trabajos de los años 60 a los 90, utilizan referencias gráficas para indicar la ubicación de las muestras analizadas. Considerando esto, se decidió utilizar el software ARC GIS 10.8 aplicando el procedimiento detallado en Fleet et al., [76] y las recomendaciones de Werner [77], para georreferenciar las imágenes utilizando su longitud y latitud obteniendo posteriormente las coordenadas geográficas en el datum provisional 1956 y las coordenadas UTM proyectadas en los sistemas WGS-84, 17S y 18S, para los diferentes datos presentados en esta investigación.

Los parámetros correspondientes a la unidad litoestratigráfica, litología e interpretación fueron obtenidos de las referencias bibliográficas de las diferentes publicaciones. El parámetro de la edad reportada se presenta en millones de años (Ma) y está enlazada a la época geológica reportada en la Tabla Cronoestratigráfica Internacional [74]. Con respecto al método de datación para determinar la edad, se consideró: 1) la metodología (K-Ar, Sm-Nd, Rb-Sr, U-Pb, Pb-Pb, Re-Os, entre otros) y 2) el mineral analizado [1, 3, 75]. La incertidumbre o error de las edades reportadas se relaciona a varios factores entre los que se puede mencionar el método, el instrumento de medición utilizado y a los estándares considerados en la medición [3].

2.3. Presentación de datos

Los campos considerados en el catálogo de datos (Figura 4), fueron planteados en el software ARC GIS 10.8 considerando el mapa geológico del Ecuador [78]. La presente investigación desea proporcionar una fuente bibliográfica de consulta geocronológica de libre acceso y amigable para el usuario, por tal motivo, los datos fueron transformados a formato KML para una mejor visualización de la información. Este formato puede ser observado mediante algunos visores geográficos como Google maps, Google Earth Pro, Surfer, Advance Maps, entre otros. El catálogo de edades presentado en esta

investigación fue evaluado en función de las distintas épocas geológicas y contrastado con la litoestratigrafía regional.

3. RESULTADOS

El catálogo de edades compila 1322 datos geocronológicos reportados en el territorio ecuatoriano. Los datos fueron categorizados según su metodología de datación (Tabla 1) y en función del material utilizado (Tabla 2). El intervalo analizado se definió entre el Proterozoico y el Neógeno. El universo de datos está clasificado en secciones: Proterozoico, Cámbrico, Triásico, Jurásico, Cretácico, Paleógeno y Neógeno.

3.1. Proterozoico

Las muestras de roca reportadas en las edades correspondientes al Proterozoico en la margen continental del Ecuador; comprenden 23 edades radiométricas que incluyen los métodos K-Ar (43,4 %), U-Pb-Th (26,2 %), Sm-Nd (17,4 %), Ar-Ar (13 %). Las edades K-Ar fueron reportadas principalmente en la década de los 80 y 90, donde el mineral de análisis más frecuente fue la hornblenda (Figura 5). Estas edades en su mayoría fueron reportadas en el Grupo Piedras en el Bloque Amotape – Tahuín [17, 23, 24]. La confiabilidad de las edades K-Ar en este intervalo es baja debido a que los autores presentan proporciones isotópicas inciertas [17, 24]. El sistema U-Pb-Th permitió determinar la procedencia de granos de circones, vinculados al cratón sudamericano y a las provincias ígneas del Proterozoico [27-38]. Estos espectros de edades aparecen frecuentemente en el registro detrítico de la Cuenca Oriente y Cordillera Real. Relaciones isotópicas entre Sm y Nd fueron reportadas en las unidades La Victoria y Sabanilla. Sin embargo, su confiabilidad es baja debido al material de estudio [23]. Edades ⁴⁰Ar/³⁹Ar permitieron vincular a la Unidad Huaraguallá a la Provincia Magmática Iapetus Central, convirtiéndose en las rocas más antiguas reportadas en el Ecuador [40].

Cordenadas geograficas				Unidad Litoestratigráfica		Litología		Edad		Incertidumbre		Rango de edad			Referencia bibliográfica	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Sistema de coordenadas	Longitud	Latitud	UTM X	UTM Y	Unidad Litoestratigráfica	Litología	Método	Mineral	Edad	Error	Interpretación	Era	Periodo	Epoca	Referencia	
Geográficas	-78.0300208	0.5500009	859892	1093204	Basamento de Chitambó	Andesita	K-Ar	Wt	3.46	0.1	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Plioceno	Barfield et al. (1988)	
Geográficas	-78.048883	0.6656558	828718	1090182	Basamento del Valle Chilo	Andesita	K-Ar	Wt	4.76	0.3	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Plioceno	Barfield et al. (1988)	
Geográficas	-78.0941437	0.511118	825014	1091894.28	Basamento del Valle Chilo	Andesita	Wt	5.8	0.08	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Plioceno	Chacón et al. (2021)		
Geográficas	-78.37	0.471	782146.7	21297.5	Basamento del Valle Pichincha	Andesita	Ar-Ar	Hfo	17.0	0.13	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Mioceno	Barfield et al. (1988)	
Geográficas	-78.5090275	-0.86	734177	996381	Basamento Valle Cacha	Dacita	K-Ar	Wt	6.5	0.6	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Mioceno	Barfield et al. (1988)	
Geográficas	-77.9210538	-1.07183	113333	889381	Banda Abitagua	Granito	Ar	Ar	3	0.8	Pico de metamorfismo	Cenozoico	Neógeno	Plioceno	(Roz. 2002)	
Geográficas	-77.8101724	-0.862545	106102	902120	Banda Abitagua	Granito	Ar	Ar	9.0	1.3	Pico de metamorfismo	Cenozoico	Neógeno	Mioceno	(Roz. 2002)	
Geográficas	-78.1995331	-1.115982	812820	984510	Banda Abitagua	Granito	Ar	Ar	2.1	3	Pico de metamorfismo	Cenozoico	Paleógeno	Oligoceno	Spryaga et al. (2020)	
Geográficas	-78.2296642	-1.482212	802800	984300	Banda Abitagua	Psammita	K-Ar	Pl	41	2	Pico de metamorfismo	Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Lisowski (1994)	
Geográficas	-78.501158	-1.409728	829300	984200	Banda Abitagua	Granodiorita	K-Ar	Pl	51	2	Pico de metamorfismo	Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Lisowski (1994)	
Geográficas	-78.5784258	-1.161448	805940	987479	Banda Abitagua	Granito	Zr	Zr	67	7	Edad de cristalización	Mioceno	Cenozoico	Cenozoico Superior	Spryaga et al. (2020)	
Geográficas	-77.8106897	-0.90719	102705	899583	Banda Abitagua	Metagranito	Ar	Ar	82	7	Edad de metamorfismo	Mioceno	Cenozoico	Cenozoico Superior	(Roz. 2002)	

Figura 4. Campos reportados en el catálogo de edades: coordenadas geográficas, unidad litoestratigráfica, litología, edad, incertidumbre, rango de edad, referencia bibliográfica (Ver Anexo 1).

Tabla 1. Métodos de datación

Método	Abreviatura
Potasio – Argón	K-Ar
Argón – Argón	Ar-Ar
Renio – Osmio	Re-Os
Lutecio – Hafnio	Lu-Hf
Samario – Neodimio	Sm-Nd
Rubidio - Estroncio	Rb-Sr
Plomo – Plomo	Pb-Pb
Uranio – Plomo	U-Pb
Uranio – Torio	U-Th
Trazas de fisión en Circón	ZFT
Trazas de fisión en apatito	AFT

Tabla 2. Material analizado

Mineral	Abreviatura
Apatito	Apt
Biotita	Bt
Hornblenda	Hnb
Feldespató de potasio	Kfs
Monacita	Mnz
Molibdenita	Mo
Moscovita	Msc
Plagioclasa	Plg
Rutilo	Rtl
Titanita	Ttn
Roca total	Wr
Circón	Zr

3.2. Paleozoico

En el Paleozoico se identificaron cuarenta (40) edades radiométricas que incluyen los métodos K-Ar (30 %) y U-Pb-Th (70 %). Los minerales analizados con mayor frecuencia en el método K-Ar fueron hornblenda y plagioclasa, extraídos de anfibolitas del Grupo Piedras, sin embargo, el grado de confiabilidad de estas edades es bajo [24, 65]. Por otro lado, edades U-Pb en circones detríticos indican que provienen de provincias ígneas vinculadas al cratón [32]. Poblaciones de circones del Paleozoico están presentes en el récord detrítico de las unidades geológicas de la Cuenca Oriente, Cordillera Real y Bloque Amotape – Tahuín [39] (Fig. 6).

3.3. Triásico

En el Triásico, se identificaron ochenta y nueve (89) edades radiométricas que incluyen los métodos U-Pb-Th (50,6 %), K-Ar (41,6 %), Rb-Sr (5,6 %) y Sm-Nd (2,2 %). El universo de edades se distribuye en la Cordillera Real y en el Bloque Amotape – Tahuín (Fig. 7). Edades U-Pb de circones detríticos y primarios permitieron estudiar procesos de anatexis cortical y emplazamiento de diques máficos en la corteza superior [34 - 40]. Estos eventos tectónicos fueron estudiados a partir del registro litoestratigráfico de las unidades Tres Lagunas y Monte Olivo en la Cordillera Real [36]. Las edades Sm-Nd y Rb-Sr concuerdan con el pico metamórfico reportado para este intervalo [23]. El 12,7 % de edades K-Ar en hornblenda, concuerda con las edades U-Pb en circones

hornblenda, concuerda con las edades U-Pb en circones reportadas para la Unidad Tres Lagunas. Mientras que, las edades K-Ar en hornblenda de la Unidad Monte Olivo no concuerdan con las edades U-Pb en circones reportadas.

3.4. Jurásico

Ciento cincuenta (150) edades fueron reportadas para el Jurásico (Fig. 8), con metodologías que incluyen: K-Ar (51,3 %), U-Pb-Th (27,3 %), y en estudios específicos se han reportado edades Rb-Sr (5,3 %), ZFT (5,3 %), AFT (3,3 %), Ar-Ar (3,3 %), Re-Os (3,3 %) y Lu-Hf (0,7 %). El universo de edades fue reportado principalmente en la Zona Subandina vinculadas al arco Misahuallí y los batolitos de Zamora, Abitagua y Azafrán [29 - 39]; las edades reportadas en la Cordillera Real están relacionadas a la división Guamote [38 - 39] y a rocas metamórficas del Bloque Amotape - Tahuín [65]. Las trazas de fisión en apatitos como en circones permitieron estimar periodos de extensión y compresión cortical en bloques continentales [36]. Picos metamórficos reportados con Rb-Sr concuerdan con edades U-Pb en circones primarios [23]. Las relaciones Lu-Hf, Re-Os permitieron evaluar periodos de mineralización en pórfidos de la Zona Subandina [20]. En los batolitos del Jurásico que afloran en la Zona Subandina, solamente el 11,7 % de edades K-Ar en hornblenda, coinciden con su contraparte U-Pb-Th en circones, mientras que, solo el 7,6 % de edades K-Ar en plagioclasa coincide con su contraparte.

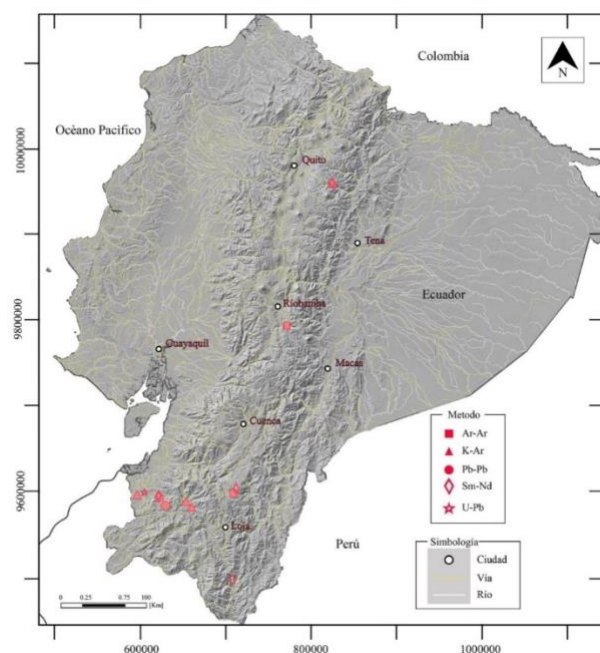


Figura 5. Mapa de edades proterozoicas reportadas en la margen continental ecuatoriana. Edades mayores a 541 Ma.

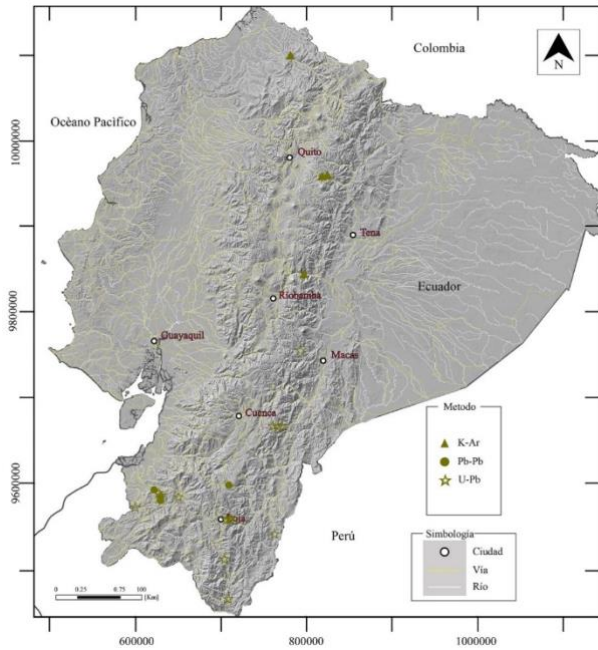


Figura 6. Mapa de edades del Paleozoico reportadas en la margen continental ecuatoriana. Edades entre 541 Ma y 251 Ma.

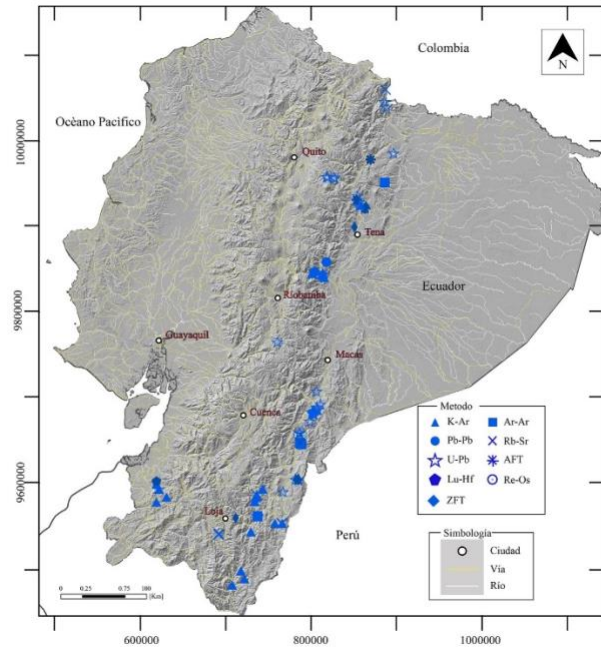


Figura 8. Mapa de edades del Jurásico reportadas en la margen continental ecuatoriana. Edades entre 201 Ma y 145 Ma.

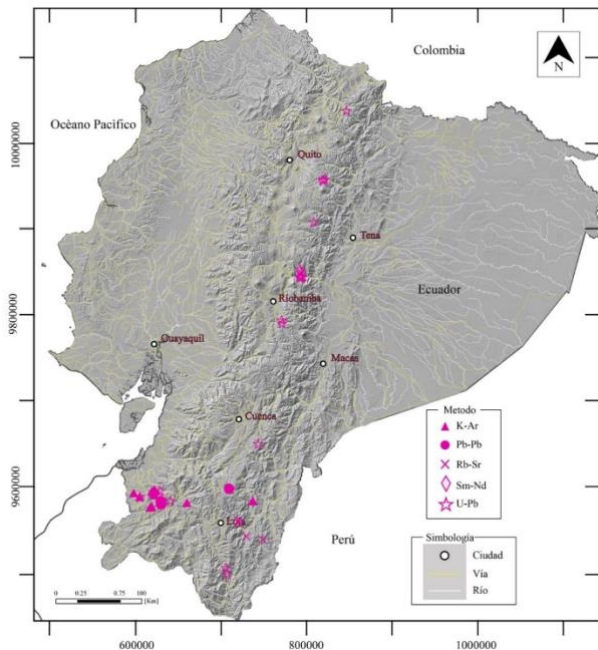


Figura 7. Mapa de edades del Triásico reportadas en la margen continental ecuatoriana. Edades entre 251 Ma y 201 Ma.

3.5. Cretácico

Para el Cretácico, el universo de datos contiene a doscientos setenta y un (271) edades y los métodos radiométricos reportados incluyen: K-Ar (57,9 %), U-Pb-Th (15,5 %), ZFT (11,4 %), Ar-Ar (6,6 %), Rb-Sr (4,4 %), AFT (2,2 %) y Lu-Hf (1,9 %). La distribución geográfica de las edades integra a la Cuenca Oriente, Cordillera Real, Cordillera Occidental, Costa, Bloque Amotape - Tahuín y Cuenca Alamor – Lancones (Fig. 9). En la Cuenca Oriente, máximas edades de depósito permitieron establecer el rango cronológico para las formaciones Hollín, Napo y Tena. Edades de cristalización en circones y Ar-Ar en hornblenda permitieron datar al Cretácico a la Formación Piñón del basamento de la Costa y a la Formación Pallatanga basamento de la Cordillera Occidental. Por otro lado, múltiples secuencias turbidíticas de la Cordillera Occidental fueron datadas al intervalo Cretácico - Paleógeno. Las eclogitas de la Formación Raspas en el Bloque Amotape - Tahuín también fueron datadas al Cretácico. El 16,8 % de edades K-Ar concuerdan con su contraparte en edades U-Pb en circones, mientras que, el 23 % de edades K-Ar concuerda con su contraparte en edades Ar-Ar. Trazas de fisión en circones y apatitos indican un evento térmico en la margen continental de Ecuador, que fue vinculado a la colisión de la provincia ígnea del Caribe contra el margen noroccidental de Sudamérica en el Cretácico Superior [28].

3.6. Paleógeno

Trescientas noventa y tres (393) edades fueron reportadas en el Paleógeno. El registro de edades incluye las metodologías: K-Ar (47,7 %), ZFT (24,7 %), AFT (11,5 %), U-Pb-Th (10,4 %), Ar-Ar (2,8 %), Re-Os (2,3 %) y Rb-Sr (0,5 %). En las cuencas intramontañosas, mediante edades U-Pb en circones, el volcanismo de Sacapalca fue asignado al Paleoceno [60]. Por otro lado, trazas de fisión en circones y apatitos indican que la Formación Chinchín podría ser contemporánea al volcanismo de Macuchi en el Eoceno. Trazas de fisión en apatitos y edades Ar-Ar en hornblenda ubican a la Formación Loma Blanca en el intervalo Eoceno a Oligoceno (Fig. 10). En tanto que, edades Ar-Ar y K-Ar indican que el volcanismo Saraguro corresponde al Oligoceno Tardío. El 22,4 % de edades K-Ar concuerdan con su contraparte U-Pb, ATR y ZTR. Las edades obtenidas mediante Re-Os permiten estudiar episodios de mineralización en las Formaciones Macuchi, Loma Blanca y Saraguro. Además, edades U-Pb en circones detríticos permiten limitar la edad de máximo depósito de secuencias sedimentarias y volcanoclasticas de la cuenca Oriente, Costa y Cordillera Occidental.

3.7. Neógeno

En el Neógeno se reportaron trescientos cincuenta y seis (356) edades (Fig. 11). Las metodologías utilizadas incluyen: ZFT (36,5 %), K-Ar (34,2 %), AFT (14,8 %), U-Pb-Th (7,5 %), Re-Os (4,2 %) y Ar-Ar (2,5 %). Edades de traza de fisión en circones y apatitos junto a edades K-Ar y Ar-Ar ubican al volcanismo Tarqui en el Mioceno Superior [60]. Edades obtenidas mediante Re-Os en molibdenita y sulfuros diseminados en la matriz, se determinaron edades de mineralización en pórfidos en las cordilleras Real y Occidental. Edades U-Pb de circones detríticos permitieron identificar máximas edades de depósito en secuencias sedimentarias de la Cuenca Oriente y de la Costa. El 32 % de edades K-Ar en hornblenda y el 27 % de edades K-Ar en plagioclasa coinciden con su contraparte U-Pb en circones y trazas de fisión en circones y apatitos.

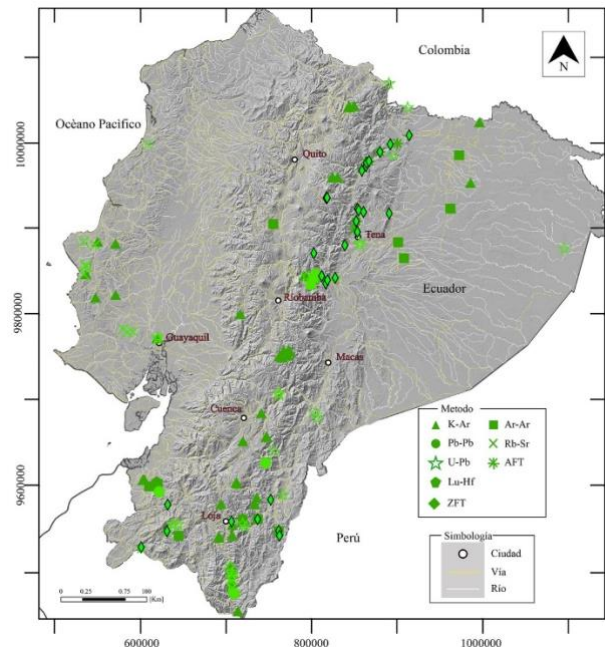


Figura 9. Mapa de edades del Cretácico reportadas en la margen continental ecuatoriana. Edades entre 145 Ma y 66 Ma.

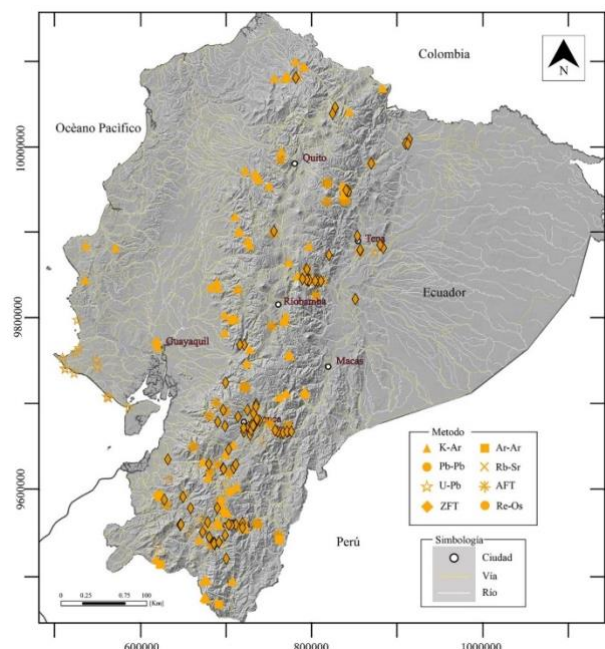


Figura 10. Mapa de edades del Paleógeno reportadas en la margen continental ecuatoriana. Edades entre 66 Ma y 23 Ma.

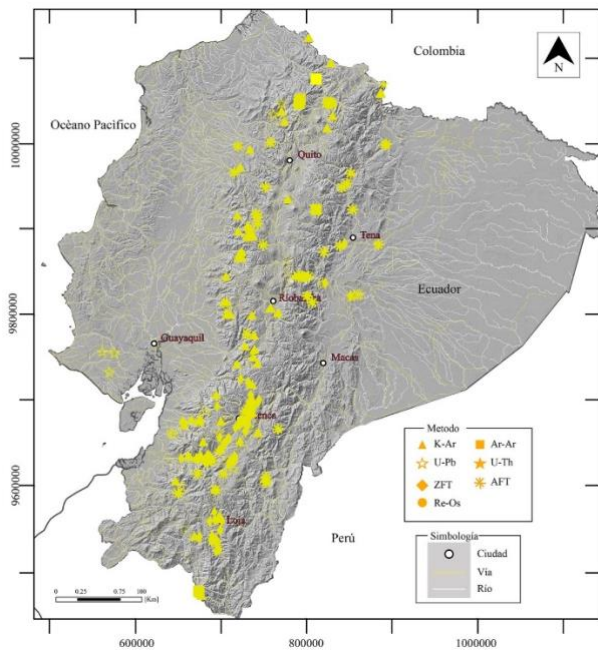


Figura 11. Mapa de edades del Neógeno reportadas en la margen continental ecuatoriana. Edades entre 23 Ma y 2.58 Ma.

4. DISCUSIÓN

4.1. Metodologías aplicadas en estudios geocronológicos en Ecuador

El total de datos adquiridos en esta investigación fue 1322, estos incluyen: AFT (8 %), Ar-Ar (3,2 %), K-Ar (44,5 %), Lu-Hf (1,3 %), U-Pb-Th (16,9 %), Rb-Sr (2,7 %), Sm-Nd (0,7 %), ZFT (19,5 %). Como muestra la figura 12, la metodología más utilizada en estudios geocronológicos en Ecuador es K-Ar, sin embargo, en rocas más antiguas al Neógeno y afectadas por procesos tectónicos que producen incremento y decrecimiento de la temperatura, la confiabilidad de este método de datación es baja, comparando estas edades con su contraparte reportada en U-Pb, Ar-Ar, AFT, ZFT, Rb-Sr, Re-Os y Sm-Nd. El método K-Ar es ampliamente utilizado para estudiar a rocas del Cuaternario y aunque un gran número de minerales presentan trazas de potasio (K), hay que tener en cuenta que es muy difícil o imposible distinguir todas las fuentes de Argón (Ar) presentes en muestras y la posibilidad de pérdidas de Ar debido a la difusión u otro fenómeno es incalculable [79]. Otro aspecto para considerar, es la temperatura de cierre del sistema (Fig. 13), si se considera la compleja historia de evolución geológica de la margen continental de Ecuador, que involucra acreción de terrenos, periodos de extensión y compresión, múltiples episodios magmáticos y erosión de bloques continentales; por lo tanto, cada uno de estos procesos tectónicos puede distorsionar con mucha facilidad el sistema K-Ar.

El Sm y Nd son tierras raras consideradas insolubles e inmóviles, es decir, son resistentes a procesos de alteración y meteorización; además, estos elementos

tienen una temperatura de cierre muy alta (Fig. 13). Por otra parte, el Nd no forma parte de las reacciones de metamorfismo, por lo que, el sistema Sm-Nd ($^{147}\text{Sm}-^{143}\text{Nd}$; $t_{1/2}=106$ Ga) se emplea para datar procesos ígneos en rocas antiguas incluso metamorfosadas [80]. En Ecuador, la metodología Sm-Nd se empleó con éxito para datar a las unidades Tres Lagunas y Moromoro en la Cordillera Real y Bloque Amotape – Tahuín.

El Lu y Hf también son tierras raras incompatibles, con comportamiento parecido al Sm – Nd, es decir, no se movilizan durante el metamorfismo o intemperismo. Minerales como la esfena y el apatito son los materiales más comunes analizados con el método Lu-Hf ($^{176}\text{Lu}-^{176}\text{Hf}$; $t_{1/2}= 38$ Ga). Este método se aplica para el estudio de la evolución del manto y la génesis del magma [81]. En Ecuador, este método fue aplicado en eclogitas y esquistos de la Formación Raspas del Bloque Amotape – Tahuín.

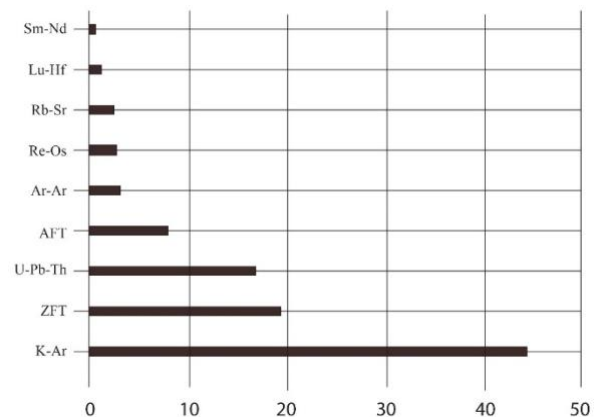


Figura 12. Estadísticas de métodos de datación empleados desde 1960 a 2021 en el Ecuador.

El método Rb-Sr ($^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$; $t_{1/2}=49$ Ga) tiene altas temperaturas de cierre (Fig. 11) y es ampliamente utilizado en materiales con altas concentraciones de K y Ca, por lo que, se convierte en un método ideal para la determinación de picos metamórficos en rocas de composición intermedia. Rocas del terreno Loja en la Cordillera Real fueron exitosamente datadas con este método [82].

El Re y Os son elementos fuertemente siderófilos y calcófilos, que frecuentemente se presentan en sulfuros, Au y menas de Cu-Ni. El método Re-Os ($^{187}\text{Re} - ^{187}\text{Os}$; $t_{1/2}=41$ Ga) aplica el N-TIMS (negativa - Spectrometry total de la ionización termal) que es ampliamente utilizado para determinar edades de mineralización [83]. En Ecuador, la edad de mineralización de 30 depósitos minerales ha sido determinada con ayuda de este método.

El Ar es un gas inerte que no reacciona químicamente y no se espera que forme parte del proceso de formación de una roca o cristalización mineral. La datación con el ^{39}Ar y el ^{40}Ar se basa en el hecho de que el ^{39}K puede ser bombardeado con neutrones en un reactor nuclear y producir una cantidad de ^{39}Ar que es proporcional al contenido de potasio de la muestra [84]. Este método es frecuentemente utilizado en la determinación de edades de rocas ígneas. En Ecuador, el basamento ígneo máfico y ultramáfico de la Cordillera Occidental y Costa fueron datados con este método.

El método de datación U-Pb se fundamenta en dos cadenas de desintegración, la serie de uranio de ^{238}U a ^{206}Pb , con un tiempo de vida media de 4 470 millones de años y la serie del actinio de ^{235}U a ^{207}Pb , con un tiempo de vida media de 704 millones de años [85]. Es el método de mayor confiabilidad y aceptación en la determinación de edades de cristalización y máximas edades de depósito en la actualidad. En Ecuador, la edad de intrusiones, así como la edad límite de secuencias sedimentarias y volcanoclásticas fueron determinadas con ayuda de U-Pb. Además, esta metodología permitió proponer modelos de evolución tectónica con mayor confiabilidad y verificables.

En el análisis de trazas de fisión se miden los daños en la estructura cristalina ocasionados por la fisión espontánea de átomos de ^{238}U en minerales ricos en U, como son apatitos y circones, mediante esta técnica pueden ser determinados periodos de subsidencia y levantamiento de bloques tectónicos [86]. Rocas de la Cordillera Real y las cuencas intramontañosas fueron estudiadas con trazas de fisión.

4.2. Perspectivas a futuro en el desarrollo de estudios geocronológicos

El 48,5 % de las edades radiométricas reportadas en el intervalo Proterozoico a Neógeno en Ecuador utilizan la metodología K-Ar. Aunque esta metodología es la más utilizada para datar rocas del Cuaternario, su confiabilidad es muy baja en rocas más antiguas al Neógeno, es así como, tan solo el 11.2 % de las edades K-Ar reportadas concuerdan con su contraparte determinada mediante otros métodos de datación.

En Ecuador se han reportado alrededor de 136 depósitos minerales con interés económico [26], en los cuales actualmente se realizan investigaciones geológicas. Sin embargo, tan solo para 30 depósitos se ha establecido la edad de mineralización a través del método Re-Os. Esto indica que la incertidumbre en cuanto a la determinación de edades de magmatismo y mineralización es muy grande en el Ecuador. Los modelos metalogenéticos tienen baja confiabilidad y deben ser analizados a la luz de nuevas metodologías de dataciones radiométricas. A futuro, los datos geocronológicos que se reporten en

nuevos artículos científicos, mapas, documentos técnicos, tesis de pregrado y posgrado, entre otros pueden ser integrados en la presente base de datos de libre acceso y uso común, con la finalidad de incentivar la discusión geo científica y de ser el caso, reinterpretar los datos recolectados.

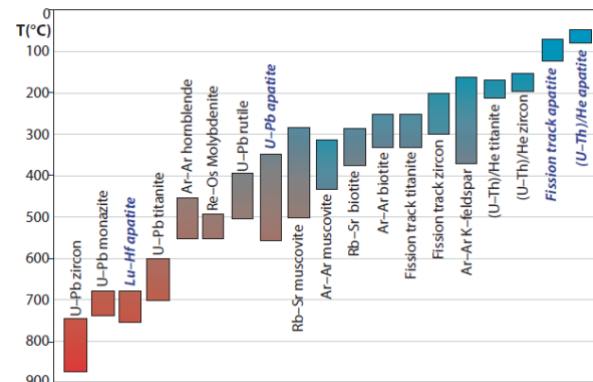


Figura 13. Temperaturas de cierre efectivas para varios termocronómetros. Tomado de Chew y Spikings [87].

En este contexto, también se identifica la necesidad de construir una base de datos geocronológicos que incluya relaciones isotópicas y permita verificar, analizar y reinterpretar los modelos tectónicos propuestos para la margen continental de Ecuador, de manera que permita entablar una discusión con argumentos teóricos sobre la veracidad de las edades reportadas. Finalmente, se considera necesario incrementar la densidad de dataciones en Ecuador, considerando que tan solo el 16,3 % de unidades geológicas reportadas en la cartografía geológica presentan una datación radiométrica [88], es decir, se desconoce la edad absoluta del 83,7 % de unidades geológicas cartografiadas en los mapas geológicos de Ecuador.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Desde 1960 a 2021, se han reportado en Ecuador, mil trescientos veintidós (1322) edades radiométricas para el intervalo Proterozoico a Neógeno. El método de datación más utilizado fue K-Ar, sin embargo, si las rocas analizadas fueron sometidas a intemperismo o cambios drásticos en temperatura, la confiabilidad de este método es muy baja, debido a la pérdida de Ar y al probable reinicio o reseteo del sistema. En las últimas dos décadas, el sistema U-Pb-Th en circones y apatitos, permitió establecer un control geocronológico de alta confiabilidad y proponer modelos de evolución geológica de mayor confiabilidad y verificables. En específico para los depósitos minerales en Ecuador, métodos de datación como Re-Os permitirían verificar y reportar edades de mineralización que contribuirían a la construcción de

modelos metalogenéticos confiables. Por otro lado, los métodos Sm-Nd y Lu-Hf permitirían evaluar las edades de picos metamórficos en el cinturón montañoso de los Andes.

La recopilación de edades realizada en este trabajo puede ser visualizada en formato KML en cualquier visor geográfico.

5.2. Recomendaciones

Para generar avances en la cartografía geológica en Ecuador, es necesario el entendimiento del marco geodinámico regional e incrementar la densidad de datos geocronológicos. En específico, establecer la edad de rocas intrusivas mediante la metodología U-Pb en circones magmáticos. También, definir las edades de máximo depósito de secuencias sedimentarias y volcanosedimentarias; así como también, su procedencia mediante U-Pb en circones detríticos.

Al establecer la edad de mineralización se podrían determinar zonas de interés minero, por lo que, se recomienda emplear la metodología Re-Os en rocas mineralizadas. De igual manera, la edad de antiguos deslizamientos también puede ser determinada mediante el sistema (U-Th)/He y en elementos cosmogénicos, esto contribuiría al entendimiento de los movimientos en masa reportados en Ecuador.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado como un insumo en el marco del Proyecto de Investigación Geológica y Disponibilidad de Ocurrencias Minerales en el Territorio Ecuatoriano, desarrollado por el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), anexo al Ministerio de Energía y Minas del Ecuador. Se extiende un cordial agradecimiento a los estudiantes de la Facultad de Geología y Petróleos de la Escuela Politécnica Nacional y Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador por su colaboración en la presente investigación.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] D. York, and R. M. Farquhar, *The earth's age and geochronology*, Pergamon international library, 2013. ISBN: 978-0-08-016387-1.

[2] T. Farrel, "Book Review: Geochronology and Thermochronology", *American Mineralogist*, vol. 106, no. 9, pp. 1544 – 1544, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2138/am-2021-B106922>.

[3] D. J. Condon, and M. D. Schmitz, "One hundred years of isotope geochronology, and counting", *Elements*, vol. 9, no. 1, pp. 15 – 17, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2113/gselements.9.1.15>.

[4] J. A. Evernden, "Summary K-Ar ages of igneous rocks in the northern Andes. Bulletin of the Geological Society of Southamerica", *North American Geological Bulletin*, vol. 19, no. 2, pp. 35-39, 1961.

[5] Instituto Frances del Petróleo – IFP y Servicio Nacional de Geología y Minas – SNGM, "A Brief Geological Review of Coastal Volcanic Rocks, Ecuador", in *V American Congress of Metal Mining. Mining and Trading Corporation of Canada. Ministry of economy and finance of Ecuador*, 1965, pp.7.

[6] V. Cotecchia, and F. Zezza, "The Eocene basement of the interandean corridor in the Latacunga-Ambato trough (Ecuador)", *Geol. Appl. Idrogeol.*, vol. 4, pp. 43 – 46, 1969.

[7] E. Muller-Kahle, and P. E. Damon, "K-Ar age of a biotite granodiorite associated with primary Cu-Mo mineralization at Chaucha, Ecuador", *PE DAMON, Correlation and chronology of ore deposit and volcanic rocks. Ann. Rept. COO-689-130*, 46, 48, 1970.

[8] P. J. Goossens, and W. L. Rose Jr, "Chemical composition and age determination of tholeiitic rocks in the basic igneous complex, Ecuador", *Geological Society of America Bulletin*, vol. 84, no. 3, pp. 1043 – 1052, 1973. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1973\)84<1043:CCAADO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1973)84<1043:CCAADO>2.0.CO;2).

[9] J. B. Kennerley, "Geology of the Loja Province, Southern Ecuador", *Institute of Geological Sciences*, vol. 23, pp. 1-34.

[10] H. Putzer, *Metallogenetic Provinces in Sudamerika*. Schwetzerbart Verlag, Stuttgart: Schwetzerbart Verlag, 1976.

[11] C. R. Bristow, and R. Hoffstetter on *Stratigraphy & International Union of Geological Sciences, Lexique stratigraphique internationale vol. 5 Amérique latine (2. éd)*, Centre National de la Recherche Scientifique, 1977. ISBN: 2222019273.

[12] W. Henderson, "Cretaceous to Eocene volcanic arc activity in the Andes of northern Ecuador", *Journal of the Geological Society*, vol. 136, no. 3, pp. 367 – 378, 1979. DOI: <https://doi.org/10.1144/gsjgs.136.3.036>.

[13] M. L. Hall, and J. Calle, "Geochronological control for the main tectonic-magmatic events of Ecuador",

Earth-Science Reviews, vol. 18, no. 3 – 4, pp. 215 – 239, 1982. DOI: [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(82\)90038-1](https://doi.org/10.1016/0012-8252(82)90038-1).

[14] T. Feininger, and M. L. Silberman, “K-Ar geochronology of basement rocks on the northern flank of the Huancabamba deflection, Ecuador (No. 82-206)”, US Geological Survey, 1982. DOI: <https://doi.org/10.3133/ofr82206>.

[15] Instituto Ecuatoriano de Minería – INEMIN, Informe anual de prospección geológica de en las provincias de Loja y Cañar, sur del Ecuador, Ministerio de energía y minas, Quito – Ecuador, 1987.

[16] J.B. Kennerley, Outline of the geology of Ecuador, London: Overseas geology and mineral resources, 1980.

[17] Winter, L., Tosdal, R., Franklin, J., & Tegard, P. (2002). A Step in the Formation of the Huancabamba Deflection in the Andes of Peru and Ecuador. Abstracts whit Programs–Geological Society of America, 34(6), 437.

[18] A. Lavenu, C. Noblet, M. G. Bonhomme, A. Egüez, F. Dugas, & G. Vivier. “New K/Ar age dates of Neogene and Quaternary volcanic rocks from the Ecuadorian Andes: Implications for the relationship between sedimentation, volcanism, and tectonics”, Journal of South American Earth Sciences. vol. 5(3-4), pp. 309-320. 1992.

[19] H. J. Herbert, and H. Pichler, “K-Ar ages of rocks from the Eastern Cordillera of Ecuador”, Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, pp. 483-493, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1127/zdgg/134/1983/483>.

[20] H. Pichler, and S. Aly, “Neue K-Ar-Alter plutonischer Gesteine in Ecuador”, Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, pp. 495 – 506. DOI: <https://doi.org/10.1127/zdgg/134/1983/495>.

[21] F. Barberi, M. Coltelli, G. Ferrara, F. Innocenti, J. M. Navarro, and R. Santacroce, “Plio-quaternary volcanism in Ecuador”, Geological Magazine, vol. 125, no. 1, pp. 1-14, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0016756800009328>.

[22] Instituto Ecuatoriano de Electrificación – INECEL, Características geológicas y peligros volcánicos de la región Interandina, Ministerio de Recursos Naturales, 1986.

[23] M. Litherland, J.A. Aspend and R. A. Jemielita. The metamorphic belts of Ecuador, British Geological Survey, Overseas Memoir 11, 1994.

[24] J. Aspend, and M. Litherland, “The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador”, Tectonophysics, vol. 205, no. 1-3, pp. 187-204, 1992. DOI: [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90426-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90426-7).

[25] M. Steinmann, D. Hungerbühler, D. Seward, and W. Winkler, “Neogene tectonic evolution and exhumation of the southern Ecuadorian Andes: a combined stratigraphy and fission-track approach”, Tectonophysics, vol. 307, no. 3-4, pp. 255-276, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00100-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00100-6).

[26] D. P. PRODEMINCA, “Epi-Mesotermiales Relacionados con Intrusiones de la Cordillera Occidental y Real Vol. 4”, Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, vol. 4, 2000.

[27] L. D. A. Luzieux, F. Heller, R. Spikings, C. F. Vallejo, and W. Winkler, “Origin and Cretaceous tectonic history of the coastal Ecuadorian forearc between 1 N and 3 S: Paleomagnetic, radiometric and fossil evidence”, Earth and Planetary Science Letters, vol. 249, no. 3-4, pp. 400-414, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.07.008>.

[28] S. M. Kay, V. A. Ramos, and W. R. Dickinson, “Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes in Ecuador”, in backbone of the Americas: Shallow subduction, plateau, uplift, and ridge and terrane collision, C. Vallejo, W. Winkler, R. A. Spikings, L. Luzieux, F. Heller, and F. Bussy, Colorado, Geological society of America, 2009, pp. 67-83. DOI: [https://doi.org/10.1130/2009.1204\(09\)](https://doi.org/10.1130/2009.1204(09)).

[29] R. A. Spikings, D. Seward, W. Winkler, and G. M. Ruiz, “Low-temperature thermochronology of the northern Cordillera Real, Ecuador: Tectonic insights from zircon and apatite fission track analysis”, Tectonics, vol. 19, no. 4, pp. 649-668, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000TC900010>.

[30] R. A. Spikings, W. Winkler, D. Seward, and R. Handler, “Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust”, Earth and Planetary Science Letters, vol. 186, no. 1, pp. 57-73, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00225-4](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00225-4).

[31] G. Ruiz, D. Seward, W. Winkler, and R. Spikings, “Detrital provenance and exhumation in the ecuadorian subandean zone: a key region leading to the understanding of Andean geodynamics”, presented at 5th International Symposium on Andean Geodynamics-

- ISAG, Toulouse, France, 2002. DOI: <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Reg-110.pdf>
- [32] R. A. Spikings, and P. V. Crowhurst, "(U–Th) /He thermochronometric constraints on the late Miocene–Pliocene tectonic development of the northern Cordillera Real and the Interandean Depression, Ecuador", *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 17, no. 4, pp. 239-251. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2004.07.001>.
- [33] M. Chiaradia, L. Fontboté, and B. Beate, "Cenozoic continental arc magmatism and associated mineralization in Ecuador", *Mineralium Deposita*, vol. 39, no. 2, pp. 204 – 222, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00126-003-0397-5>.
- [34] R. A. Spikings, W. Winkler, R. A. Hughes, and R. Handler, "Thermochronology of allochthonous terranes in Ecuador: Unravelling the accretionary and post-accretionary history of the Northern Andes", *Tectonophysics*, vol. 399, no. 1-4, pp. 195-220, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.12.023>.
- [35] R. A. Spikings, P. V. Crowhurst, W. Winkler, and D. Villagomez, "Syn-and post-accretionary cooling history of the Ecuadorian Andes constrained by their in-situ and detrital thermochronometric record", *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 30, no. 3-4, pp. 121-133, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2010.04.002>.
- [36] R. Spikings, R. Cochrane, D. Villagomez, R. Van der Lelij, C. Vallejo, W. Winkler, and B. Beate, "The geological history of northwestern South America: from Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75 Ma)", *Gondwana Research*, vol. 27, no. 1, pp. 95-139, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.06.004>.
- [37] R. Cochrane, R. Spikings, A. Gerdes, W. Winkler, A. Ulianov, A. Mora, and M. Chiaradia, "Distinguishing between in-situ and accretionary growth of continents along active margins", *Lithos*, vol. 202, pp. 382-394, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.05.031>.
- [38] C. Vallejo, C. Romero, B. K. Horton, R. A. Spikings, J. Gaibor, W. Winkler, and E. Mariño, "Jurassic to Early Paleogene sedimentation in the Amazon region of Ecuador: Implications for the paleogeographic evolution of northwestern South America", *Global and Planetary Change*, vol. 204, pp. 103555, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103555>.
- [39] E. G. Gutiérrez, B. K. Horton, C. Vallejo, L. J. Jackson, and S. W. George, "Provenance and geochronological insights into Late Cretaceous–Cenozoic foreland basin development in the Subandean Zone and Oriente Basin of Ecuador", *Andean Tectonics*, pp. 237-268, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816009-1.00011-3>.
- [40] R. Spikings, A. Paul, C. Vallejo, and P. Reyes, "Constraints on the ages of the crystalline basement and Palaeozoic cover exposed in the Cordillera real, Ecuador: 40Ar/39Ar analyses and detrital zircon U/Pb geochronology", *Gondwana Research*, vol. 90, pp. 77-101, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3133/ofr82206>.
- [41] F. Villares, A. Garcia-Casco, I. F. Blanco-Quintero, C. Montes, P. S. Reyes, and A. Cardona, "The Peltetec ophiolitic belt (Ecuador): a window to the tectonic evolution of the Triassic margin of western Gondwana", *International Geology Review*, vol. 63, no. 18, pp. 2232-2256. DOI: <https://doi.org/10.1080/00206814.2020.1830313>.
- [42] C. Vallejo, R. A. Spikings, B. K. Horton, L. Luzieux, C. Romero, W. Winkler, and T. B. Thomsen, "Late Cretaceous to Miocene stratigraphy and provenance of the coastal forearc and Western Cordillera of Ecuador: Evidence for accretion of a single oceanic plateau fragment", *Andean tectonics*, pp. 209-236, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816009-1.00010-1>.
- [43] M. Seyler, C. Witt, B. Omaña, C. Durand, M. Chiaradia, D. Villagomez, and M. Poujol, "Late Cretaceous felsic intrusions in oceanic plateau basalts in SW Ecuador: Markers of subduction initiation?", *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 110, pp. 103348, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103348> (Artículo).
- [44] C. A. Aizprua, "Forearc crustal structure and controlling factors on basin formation across the southernmost Northern Andes", PHD Doctor, Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2021. DOI: <https://theses.hal.science/tel-03434574/document>.
- [45] S. Brichau, P. Reyes, C. Gautheron, M. J. Hernández, F. Michaud, M. Leisen, A. Vacherat, M. Saillard, J.N. Proust and P. O'sullivan. "First timing constraints on the Ecuadorian Coastal Cordillera exhumation: Geodynamic implications", *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 105, Nov., 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103007>.
- [46] P. W. Reiners, R.W. Carlson, P.R. Reinne, K.M. Cooper, D. E. Granger, N. M. McLean, and B. Schoene. "Geochronology and thermochronology", California:

- John Wiley & Sons, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118455876>.
- [47] I. McDougall, T. M. Harrison, *Geochronology and Thermochronology by the ⁴⁰Ar/³⁹Ar Method*, Oxford: Oxford University, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1093/petrology/41.12.1823>.
- [48] T. Scheiber, G. Viola, R. Van der Lelij, A. Margreth, and J. Schönenberger, “Microstructurally-constrained versus bulk fault gouge K-Ar dating”, *Journal of Structural Geology*, vol. 127, 103868, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2019.103868>.
- [49] A. L. Oliviera, M. H. B. M. Hollanda, R. Siquiera, and A. A. Filho, “Using a ‘speedy’ unspiked K–Ar methodology to investigate age patterns in giant mafic dyke swarms”, *Geological Society, London, Special Publications*, vol. 518, no. 1, pp. 285–300, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1144/SP518-2020-25>.
- [50] M. D. Schmitz, and K. F. Kuiper, “High-precision geochronology”, *Elements*, vol. 9, no. 1, pp. 25–31, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2113/gselements.9.1.25>.
- [51] G. Gehrels, “Detrital zircon U-Pb geochronology applied to tectonics”, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 42, pp. 127–149, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-050212-124012>.
- [52] C. W. Romero, F. Carranco, A. Gramal, R. Pulupa, T. Velez, N. Cerny, and P. Pazmiño, “Discriminación de la secuencia meta-sedimentarias del río Oyacachi, en San Marcos, Ecuador”, *Revista Científica GeoLatitud*, vol. 5, no. 2, pp. 1–13, 2022.
- [53] B. K. Horton, and A. Folguera, “Tectonic inheritance and structural styles in the Andean fold-thrust belt and foreland basin”, In *Andean Structural Styles*, pp. 3–28, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85175-6.00001-8>.
- [54] E. Jaillard, M. Ordoñez, J. Suárez, J. Toro, D. Iza, and W. Lugo, “Stratigraphy of the late Cretaceous–Paleogene deposits of the Cordillera Occidental of central Ecuador: geodynamic implications”, *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 17, no. 1, pp. 49–58, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2004.05.003>.
- [55] P. Reyes, *Évolution du relief le long des marges actives: étude de la déformation Plio-Quaternaire de la cordillère côtière d'Équateur* (Doctoral dissertation, Université Nice Sophia Antipolis), 2013.
- [56] J. Toro Álava, and E. Jaillard, “Provenance of the Upper Cretaceous to upper Eocene clastic sediments of the Western Cordillera of Ecuador: Geodynamic implications”, *Tectonophysics*, vol. 399, no. 1–4, pp. 279–292, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.12.026>.
- [57] W. Winkler, D. Villagómez, R. Spikings, P. Abegglen, and A. Egüez, “The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador”, *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 19, no. 1, pp. 5–19, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2004.06.006>.
- [58] S. Baize, L. Audin, A. Alvarado, H. Jomard, M. Bablon, J. Champenois, and J. L. Le Pennec, “Active tectonics and earthquake geology along the Pallatanga fault, central Andes of Ecuador”, *Frontiers in Earth Science*, vol. 8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00193>.
- [59] G. Siravo, F. Speranza, M. Mulas, and V. Costanzo-Alvarez, “Significance of northern Andes terrane extrusion and genesis of the interandean valley: paleomagnetic evidence from the “Ecuadorian orocline”, *Tectonics*, vol. 40, no. 7, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020TC006684>.
- [60] D. Hungerbühler, M. Steinmann, W. Winkler, D. Seward, A. Egüez, D. E. Peterson, and C. Hammer, “Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador”, *Earth-Science Reviews*, vol. 57, no. 1–2, pp. 75–124, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00071-X](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00071-X).
- [61] W. T. Pratt, P. Duque, and M. Ponce, “An autochthonous geological model for the eastern Andes of Ecuador”, *Tectonophysics*, vol. 399, no. 1–4, pp. 251–278, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.12.025>.
- [62] A. Gramal-Aguilar, F. Carranco-Andino, C. Romero-Cóndor, R. Pulupa-Vela, D. Calderón-Romero, and S. Toainga-Oñate, “Evidencias de canibalización de secuencias Cretácicas y Paleógenas de la Cuenca Oriente en la cuña orogénica de los Andes ecuatorianos”, *Boletín de Geología*, vol. 43, no. 3, pp. 15–34, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18273/revbol.v43n3-2021001>.
- [63] C. W. Romero, E. D. C. Romero, M. V. R. Montesdeoca, M. E. N. Calero, M. V. M. Carrillo, and A. B. Gramal, “Reconstruyendo el pasado del planeta: El registro estratigráfico y sedimentológico de la Formación Tena en la carretera Tiwintza–Puerto Morona”, *Revista Científica GeoLatitud*, vol. 2, no. 2, pp. 2–13, 2019.

- [64] M. G. Ruiz, D. Seward, and W. Winkler, "Evolution of the Amazon Basin in Ecuador with special reference to hinterland tectonics: data from zircon fission-track and heavy mineral analysis", *Developments in Sedimentology*, vol. 58, pp. 907-934, 2007. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(07\)58036-2](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(07)58036-2).
- [65] N. Riel, J. E. Martela, S. Guillot, E. Jaillard, P. Monie, J. Yuquilema, and J. Mercier, "Fore arc tectonothermal evolution of the El Oro metamorphic province (Ecuador) during the Mesozoic", *Tectonics*, vol. 33, no. 10, pp. 1989-2012, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014TC003618>.
- [66] T. Jhon, E. E. Scherer, V. Schenk, P. Herms, R. Halama, and D. Garbe-Schönberg, "Subducted seamounts in an eclogite-facies ophiolite sequence: the Andean Raspas Complex, SW Ecuador", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 159, no. 2, pp. 265-284, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00410-009-0427-0>.
- [67] E. Jaillard, G. Laubacher, P. Bengtson, A. V. Dhondt, and L. G. Bulot, "Stratigraphy and evolution of the Cretaceous forearc Celica-Lancones basin of southwestern Ecuador", *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 12, no. 1, pp. 51-68, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(99\)00006-1](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(99)00006-1).
- [68] L. S. Winter, R. M. Tosdal, J. K. Mortensen, and J. M. Franklin, "Volcanic stratigraphy and geochronology of the cretaceous Lancones basin, northwestern Peru: position and timing of giant VMS deposits", *Economic Geology*, vol. 105, no. 4, pp. 713-742, 2010. DOI: <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.4.713>.
- [69] T. Mourier, C. Laj, F. Mégard, P. Roperch, P. Mitouard, and A. F. Medrano, "An accreted continental terrane in northwestern Peru", *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 88, no. 1-2, pp. 182-192, 1988. DOI: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(88\)90056-8](https://doi.org/10.1016/0012-821X(88)90056-8).
- [70] M. E. Valarezo, C. Vallejo, B. K. Horton, J. Gaibor, J. Esteban, L. J. Jackson, and B. Beate, "Sedimentological and provenance analysis of the Río Playas stratigraphic section: Implications for the evolution of the Alamor-Lancones Basin of southern Ecuador and northern Peru", *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 94, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102239>.
- [71] J. C. Vilanova, "Revisión bibliográfica del tema de estudio de un proyecto de investigación", *Radiología*, vol. 54, no. 2, pp. 108-114, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rx.2011.05.015>.
- [72] E. Gómez-Luna, D. Fernando-Navas, G. Aponte-Mayor, and L. A. Betancourt-Buitrago, "Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización", *Dyna*, vol. 81, no. 184, pp. 158-163, 2014.
- [73] K. Dougherty, "Getting to the core of geology LibGuides", *Science & Technology Libraries*, vol. 32, no. 2, pp. 145-159, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/0194262X.2013.777233>.
- [74] K. M. Cohen, D. A. Harper, P. L. Gibbard, and N. Amezcua, "ICS Tabla Cronoestratigráfica Internacional 2017/02: adaptación al español de América, actualizado", *La geología del tequila*, no. 1, 2017.
- [75] A. F. Rodríguez-Corcho, Y. Rojas-Agramonte, J. A. Barrera-Gonzalez, M. P. Marroquin-Gomez, S. Bonilla-Correa, D. Izquierdo-Camacho, and C. Montes, "The Colombian geochronological database (CGD)", *International Geology Review*, vol. 64, no. 12, 1635 – 1669, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/00206814.2021.1954556>.
- [76] C. Fleet, K. C. Kowal, and P. Pridal, "Georeferencer: Crowdsourced georeferencing for map library collections", *D-Lib magazine*, vol. 18, no. 11/12, p. 52, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1045/november2012-fleet>.
- [77] P. A. Werner, "Review of implementation of augmented reality into the georeferenced analogue and digital maps and images", *Information*, vol. 10, no. 1, p.12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/info10010012>.
- [78] Instituto de Investigación Geológico Minero y Metalúrgico – INIGEMM, *Mapa Geológico del Ecuador, escala 1: 1 000 000*. Ministerio de Recursos No Renovables del Ecuador, Quito – Ecuador, 2017.
- [79] N. Clauer, "The K-Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ methods revisited for dating fine-grained K-bearing clay minerals", *Chemical Geology*, vol. 354, pp. 163-185, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.05.030>.
- [80] M. N. Ducea, J. Ganguly, E. J. Rosenberg, P. J. Patchett, W. Cheng, and C. Isachsen, "Sm–Nd dating of spatially controlled domains of garnet single crystals: a new method of high-temperature thermochronology", *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 213, no. 1-2, pp. 31-42, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(03\)00298-X](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00298-X).

[81] J. Vervoort, “Lu-Hf dating: the Lu-Hf isotope system”, Encyclopedia of scientific dating methods, pp. 379-390, 2015.

[82] T. Zack, and K. J. Hogmalm, “Laser ablation Rb/Sr dating by online chemical separation of Rb and Sr in an oxygen-filled reaction cell”, Chemical Geology, vol. 437, pp. 120-133, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.05.027>.

[83] W. QU, C. LI, and G. Yang, “A review on the development of Re-Os isotopic dating methods and techniques”, Rock and Mineral analysis, vol. 28, no. 3, pp. 288-304, 2009.

[84] S. Kelley, “K-Ar and Ar-Ar dating”, Reviews in Mineralogy and Geochemistry, vol. 47, no. 1, pp. 785-818, 2002.

[85] D. M. Chew, P. J. Sylvester, and M. N. Tubrett, “U–Pb and Th–Pb dating of apatite by LA-ICPMS”, Chemical Geology, vol. 280, no. 1-2, pp. 200-216, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2010.11.010>.

[86] R. A. Donelick, P. B. O’Sullivan, and R. A. Ketcham, “Apatite fission-track analysis. Reviews in Mineralogy and Geochemistry”, Reviews in Mineralogy and Geochemistry, vol. 58, no. 1, pp. 49-94, 2005. DOI: <https://doi.org/10.2138/rmg.2005.58.3>.

[87] D. M. Chew, and R. A. Spikings. “Geochronology and thermochronology using apatite: time and temperature, lower crust to surface”, Elements vol. 11, pp. 189–194, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2113/gselements.11.3.189>.

[88] C. W. Romero-Cóndor, L. L. Oñate-Acurio, S. D. Paucar – Ayala, J.L. Herrera – Robalino, H. G. Freire Cabrera, A. V. Alban-Villacreces, C. R. Sangucho – Montenegro, M. E. Veliz Zambrano “Historical review of the geological cartography in Ecuador”, Ciencia Latina, vol. 7, n.º 4, pp. 2584-2621, ago. 2023.

ANEXOS

Tabla A1.

Catálogo de edades radiométricas del Ecuador

Table with columns: Geográficas, coordinates (lon/lat), geological data (Unidad, litología, zona, edad, tipo), and bibliographic references (author/year, title, journal, volume, issue, pages, doi link).

Geográficas	-78,620005	-0,03999956	764911	9995575	Formación Silante	Ígnea	Andesita	K-Ar	Wr	52,7	2,9	Edad de cristalización	Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Wallrabe Adams., (1990)	H.J. Wallrabe-Adams, "Petrología y desarrollo geotectónico de los Andes occidentales ecuatorianos: el Complejo Igneo Básico," Tectonofísica, vol. 185, no. 1-2, pp. 163-182, 1990.	https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90411-7
Geográficas	-78,74940135	-0,406779324	750494	9955004	Formación Silante	Ígnea	Andesita	K-Ar	Wr	52,7	2,9	Edad de cristalización	Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Wallrabe Adams., (1990)	H.J. Wallrabe-Adams, "Petrología y desarrollo geotectónico de los Andes occidentales ecuatorianos: el Complejo Igneo Básico," Tectonofísica, vol. 185, no. 1-2, pp. 163-182, 1990.	https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90411-7
Geográficas	-79,91646105	-2,104371422	620497	9767361	Formación Cayo	Ígnea	Dacita	K-Ar	Wr	52,9	2,4	Edad de cristalización	Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Wallrabe Adams., (1990)	H.J. Wallrabe-Adams, "Petrología y desarrollo geotectónico de los Andes occidentales ecuatorianos: el Complejo Igneo Básico," Tectonofísica, vol. 185, no. 1-2, pp. 163-182, 1990.	https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90411-7
Geográficas	-80,67999655	-1,400001786	535598	9845255	Formación Cayo	Ígnea	Dacita	K-Ar	Wr	52,9	2,4	Edad de cristalización	Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Wallrabe Adams., (1990)	H.J. Wallrabe-Adams, "Petrología y desarrollo geotectónico de los Andes occidentales ecuatorianos: el Complejo Igneo Básico," Tectonofísica, vol. 185, no. 1-2, pp. 163-182, 1990.	https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90411-7
Geográficas	-78,08218154	0,435109154	824812	10048155	Formación Chota	Ígnea	Toba	AFT	Apt	2,9	1,5	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Plioceno	Winkler et al., (2005)	W. Winkler, D. Villagómez, R. Spikings, P. Abegglen, and A. Egtež, "The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador," Journal of South American Earth Sciences, vol. 19, no. 1, pp. 5-19, 2005.	https://doi.org/10.1016/j.isames.2004.06.006
Geográficas	-78,07140934	0,440074426	826012	10048705	Formación Chota	Ígnea	Toba	ZFT	Zr	3,2	0,3	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Plioceno	Winkler et al., (2005)	W. Winkler, D. Villagómez, R. Spikings, P. Abegglen, and A. Egtež, "The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador," Journal of South American Earth Sciences, vol. 19, no. 1, pp. 5-19, 2005.	https://doi.org/10.1016/j.isames.2004.06.006
Geográficas	-78,09429438	0,445053023	823462	10049255	Formación Santa Rosa	Ígnea	Toba	ZFT	Zr	3,5	0,3	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Plioceno	Winkler et al., (2005)	W. Winkler, D. Villagómez, R. Spikings, P. Abegglen, and A. Egtež, "The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador," Journal of South American Earth Sciences, vol. 19, no. 1, pp. 5-19, 2005.	https://doi.org/10.1016/j.isames.2004.06.006
Geográficas	-78,04785032	0,438483906	828637	10048530	Formación Peñas Coloradas	Ígnea	Andesita	AFT	Apt	3,7	1,7	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Plioceno	Winkler et al., (2005)	W. Winkler, D. Villagómez, R. Spikings, P. Abegglen, and A. Egtež, "The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador," Journal of South American Earth Sciences, vol. 19, no. 1, pp. 5-19, 2005.	https://doi.org/10.1016/j.isames.2004.06.006
Geográficas	-78,08801627	0,433078427	824162	10047930	Formación Chota	Ígnea	Toba	AFT	Apt	4,1	1,2	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Plioceno	Winkler et al., (2005)	W. Winkler, D. Villagómez, R. Spikings, P. Abegglen, and A. Egtež, "The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador," Journal of South American Earth Sciences, vol. 19, no. 1, pp. 5-19, 2005.	https://doi.org/10.1016/j.isames.2004.06.006
Geográficas	-78,08801627	0,433078427	824162	10047930	Formación Chota	Ígnea	Toba	ZFT	Zr	4,8	0,4	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Plioceno	Winkler et al., (2005)	W. Winkler, D. Villagómez, R. Spikings, P. Abegglen, and A. Egtež, "The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador," Journal of South American Earth Sciences, vol. 19, no. 1, pp. 5-19, 2005.	https://doi.org/10.1016/j.isames.2004.06.006
Geográficas	-78,05323551	0,43803428	828037	10048480	No reporta	Ígnea	Toba	AFT	Apt	10	2	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Mioceno	Winkler et al., (2005)	W. Winkler, D. Villagómez, R. Spikings, P. Abegglen, and A. Egtež, "The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador," Journal of South American Earth Sciences, vol. 19, no. 1, pp. 5-19, 2005.	https://doi.org/10.1016/j.isames.2004.06.006
Geográficas	-78,03574204	0,41792418	829987	10046255	No reporta	Ígnea	Andesita	AFT	Apt	11	2	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Mioceno	Winkler et al., (2005)	W. Winkler, D. Villagómez, R. Spikings, P. Abegglen, and A. Egtež, "The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador," Journal of South American Earth Sciences, vol. 19, no. 1, pp. 5-19, 2005.	https://doi.org/10.1016/j.isames.2004.06.006
Geográficas	-78,06468475	0,422362458	826762	10046745	No reporta	Ígnea	Toba	AFT	Apt	12	4	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Mioceno	Winkler et al., (2005)	W. Winkler, D. Villagómez, R. Spikings, P. Abegglen, and A. Egtež, "The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador," Journal of South American Earth Sciences, vol. 19, no. 1, pp. 5-19, 2005.	https://doi.org/10.1016/j.isames.2004.06.006
Geográficas	-78,08265829	0,354919223	824762	10039280	Formación Chota	Ígnea	Toba	ZFT	Zr	28	2	Máxima edad de depósito	Cenozoico	Paleógeno	Oligoceno	Winkler et al., (2005)	W. Winkler, D. Villagómez, R. Spikings, P. Abegglen, and A. Egtež, "The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador," Journal of South American Earth Sciences, vol. 19, no. 1, pp. 5-19, 2005.	https://doi.org/10.1016/j.isames.2004.06.006
Geográficas	-78,05391497	0,421545178	827962	10046655	Formación Peñas Coloradas	Ígnea	Toba	ZFT	Zr	35	2	Máxima edad de depósito	Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Winkler et al., (2005)	W. Winkler, D. Villagómez, R. Spikings, P. Abegglen, and A. Egtež, "The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador," Journal of South American Earth Sciences, vol. 19, no. 1, pp. 5-19, 2005.	https://doi.org/10.1016/j.isames.2004.06.006
Geográficas	-80,088283	-4,268625	601175	9528120	Pórfido Linderos	Ígnea	Granodiorita	U-Pb	Zr	87,5	1,6	Edad de cristalización	Mesozoico	Cretácico	Cretácico Superior	Winter (2008)	L. Winter. The genesis of "giant" copper-zinc-gold-silver volcanogenic massive sulphide deposits at Tambogrande, Peru: Age, tectonic setting, paleomorphology, lithochemistry and radiogenic isotopes. Ph.D. thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 260 p. 2008.	https://dx.doi.org/10.14288/A.0052902
Geográficas	-80,088283	-4,268625	601175	9528120	Pórfido Linderos	Ígnea	Granodiorita	ZFT	Zr	87,5	1,3	Edad de cristalización	Mesozoico	Cretácico	Cretácico Superior	Winter (2008)	L. Winter. The genesis of "giant" copper-zinc-gold-silver volcanogenic massive sulphide deposits at Tambogrande, Peru: Age, tectonic setting, paleomorphology, lithochemistry and radiogenic isotopes. Ph.D. thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 260 p. 2008.	https://dx.doi.org/10.14288/A.0052902
Geográficas	-80,37296944	-2,408136111	569713	9733811	Formación Progreso	Ígnea	Toba	U-Pb	Zr	10,3	0,3	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Mioceno	Witt et al., (2019)	C. Witt, J. Y. Reynaud, D. Barba, M. Poutjol, C. Aizprua, M. Rivadeneira, and C. Amberg, "De la acreción al inicio de la cuenca del antearco: el caso del suroeste de Ecuador, Andes del Norte," Geología sedimentaria, vol. 379, pp. 138-157, 2019.	https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009
Geográficas	-80,31950556	-2,207902778	575668	9755942	Formación Subbaja	Sedimentaria	Arenisca	U-Pb	Zr	14,3	0,1	Máxima edad de depósito	Cenozoico	Neógeno	Mioceno	Witt et al., (2019)	C. Witt, J. Y. Reynaud, D. Barba, M. Poutjol, C. Aizprua, M. Rivadeneira, and C. Amberg, "De la acreción al inicio de la cuenca del antearco: el caso del suroeste de Ecuador, Andes del Norte," Geología sedimentaria, vol. 379, pp. 138-157, 2019.	https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009
Geográficas	-80,31927222	-2,206780556	575694	9756066	Formación Subbaja	Sedimentaria	Arenisca	U-Pb	Zr	14,3	0,3	Máxima edad de depósito	Cenozoico	Neógeno	Mioceno	Witt et al., (2019)	C. Witt, J. Y. Reynaud, D. Barba, M. Poutjol, C. Aizprua, M. Rivadeneira, and C. Amberg, "De la acreción al inicio de la cuenca del antearco: el caso del suroeste de Ecuador, Andes del Norte," Geología sedimentaria, vol. 379, pp. 138-157, 2019.	https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009
Geográficas	-80,44865556	-2,194558333	561307	9757423	Formación Subbaja	Ígnea	Toba	U-Pb	Zr	15,8	0,7	Edad de cristalización	Cenozoico	Neógeno	Mioceno	Witt et al., (2019)	C. Witt, J. Y. Reynaud, D. Barba, M. Poutjol, C. Aizprua, M. Rivadeneira, and C. Amberg, "De la acreción al inicio de la cuenca del antearco: el caso del suroeste de Ecuador, Andes del Norte," Geología sedimentaria, vol. 379, pp. 138-157, 2019.	https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009
Geográficas	-80,759	-1,819094444	526804	9798933	Formación Dos Bocas	Sedimentaria	Arenisca	U-Pb	Zr	23,2	0,5	Máxima edad de depósito	Cenozoico	Paleógeno	Oligoceno	Witt et al., (2019)	C. Witt, J. Y. Reynaud, D. Barba, M. Poutjol, C. Aizprua, M. Rivadeneira, and C. Amberg, "De la acreción al inicio de la cuenca del antearco: el caso del suroeste de Ecuador, Andes del Norte," Geología sedimentaria, vol. 379, pp. 138-157, 2019.	https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009
Geográficas	-80,22048056	-2,740841667	586645	9697024	Formación Zapotal	Sedimentaria	Arenisca	U-Pb	Zr	29,5	0,4	Máxima edad de depósito	Cenozoico	Paleógeno	Oligoceno	Witt et al., (2019)	C. Witt, J. Y. Reynaud, D. Barba, M. Poutjol, C. Aizprua, M. Rivadeneira, and C. Amberg, "De la acreción al inicio de la cuenca del antearco: el caso del suroeste de Ecuador, Andes del Norte," Geología sedimentaria, vol. 379, pp. 138-157, 2019.	https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009
Geográficas	-80,54842222	-2,319791667	550209	9743584	Formación Zapotal	Ígnea	Toba	U-Pb	Zr	32,5	0,3	Máxima edad de depósito	Cenozoico	Paleógeno	Oligoceno	Witt et al., (2019)	C. Witt, J. Y. Reynaud, D. Barba, M. Poutjol, C. Aizprua, M. Rivadeneira, and C. Amberg, "De la acreción al inicio de la cuenca del antearco: el caso del suroeste de Ecuador, Andes del Norte," Geología sedimentaria, vol. 379, pp. 138-157, 2019.	https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009
Geográficas	-80,89053333	-2,332805556	512171	9742153	Formación Ancón	Ígnea	Toba	U-Pb	Zr	40,5	0,6	Edad de cristalización	Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Witt et al., (2019)	C. Witt, J. Y. Reynaud, D. Barba, M. Poutjol, C. Aizprua, M. Rivadeneira, and C. Amberg, "De la acreción al inicio de la cuenca del antearco: el caso del suroeste de Ecuador, Andes del Norte," Geología sedimentaria, vol. 379, pp. 138-157, 2019.	https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009
Geográficas	-80,89051389	-2,337011111	512173	9741688	Formación Ancón	Sedimentaria	Arenisca	U-Pb	Zr	40,9	0,5	Máxima edad de depósito	Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Witt et al., (2019)	C. Witt, J. Y. Reynaud, D. Barba, M. Poutjol, C. Aizprua, M. Rivadeneira, and C. Amberg, "De la acreción al inicio de la cuenca del antearco: el caso del suroeste de Ecuador, Andes del Norte," Geología sedimentaria, vol. 379, pp. 138-157, 2019.	https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009
Geográficas	-80,78023611	-2,157830556	524437	9761492	Formación Ancón	Ígnea	Toba	U-Pb	Zr	48,6	0,8	Edad de cristalización	Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Witt et al., (2019)	C. Witt, J. Y. Reynaud, D. Barba, M. Poutjol, C. Aizprua, M. Rivadeneira, and C. Amberg, "De la acreción al inicio de la cuenca del antearco: el caso del suroeste de Ecuador, Andes del Norte," Geología sedimentaria, vol. 379, pp. 138-157, 2019.	https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009
Geográficas	-80,79655556	-2,378952778	522619	9737051	Formación Ancón	Sedimentaria	Arenisca	U-Pb	Zr	54	1,5	Máxima edad de depósito	Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Witt et al., (2019)	C. Witt, J. Y. Reynaud, D. Barba, M. Poutjol, C. Aizprua, M. Rivadeneira, and C. Amberg, "De la acreción al inicio de la cuenca del antearco: el caso del suroeste de Ecuador, Andes del Norte," Geología sedimentaria, vol. 379, pp. 138-157, 2019.	https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009
Geográficas	-80,91548056	-2,220530556	509398	9754563	Formación Azúcar	Sedimentaria	Arenisca	U-Pb	Zr	56,3	1,5	Edad de cristalización	Cenozoico	Paleógeno	Paleoceno	Witt et al., (2019)	C. Witt, J. Y. Reynaud, D. Barba, M. Poutjol, C. Aizprua, M. Rivadeneira, and C. Amberg, "De la acreción al inicio de la cuenca del antearco: el caso del suroeste de Ecuador, Andes del Norte," Geología sedimentaria, vol. 379, pp. 138-157, 2019.	https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009
Geográficas	-80,55708889	-2,242172222	549248	9752164	Formación Azúcar	Sedimentaria	Arenisca	U-Pb	Zr	57	1,3	Máxima edad de depósito	Cenozoico	Paleógeno	Paleoceno	Witt et al., (2019)	C. Witt, J. Y. Reynaud, D. Barba, M. Poutjol, C. Aizprua, M. Rivadeneira, and C. Amberg, "De la acreción al inicio de la cuenca del antearco: el caso del suroeste de Ecuador, Andes del Norte," Geología sedimentaria, vol. 379, pp. 138-157, 2019.	https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009
Geográficas	-80,448275	-2,63038889	561330	9709253	Formación Azúcar	Sedimentaria	Arenisca	U-Pb	Zr	60,6	0,5	Máxima edad de depósito	Cenozoico	Paleógeno	Paleoceno	Witt et al., (2019)	C. Witt, J. Y. Reynaud, D. Barba, M. Poutjol, C. Aizprua, M. Rivadeneira, and C. Amberg, "De la acreción al inicio de la cuenca del antearco: el caso del suroeste de Ecuador, Andes del Norte," Geología sedimentaria, vol. 379, pp. 138-157, 2019.	https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009
Geográficas	-80,43386667	-2,640483333	562931	9708131	Formación Azúcar	Sedimentaria	Arenisca	U-Pb	Zr	60,95	1,3	Máxima edad de depósito	Cenozoico	Paleógeno	Paleoceno	Witt et al., (2019)	C. Witt, J. Y. Reynaud, D. Barba, M. Poutjol, C. Aizprua, M. Rivadeneira, and C. Amberg, "De la acreción al inicio de la cuenca del antearco: el caso del suroeste de Ecuador, Andes del Norte," Geología sedimentaria, vol. 379, pp. 138-157, 2019.	https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009