

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS**

### **RECOPIACIÓN DE DATOS GEOCRONOLÓGICOS DE LA CORDILERA OCCIDENTAL Y LA COSTA ECUATORIANA, INTERPRETACIÓN GEODINÁMICA.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA GEÓLOGA**

**JOHANNA ESTEFANY CRIOLLO JIMA**

johanna.criollo@epn.edu.ec

**DIRECTOR: PhD. FABIÁN MARCELO VILLARES JIBAJA**

fabian.villares@epn.edu.ec

**Quito, agosto 2023**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, JOHANNA ESTEFANY CRIOLLO JIMA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**JOHANNA ESTEFANY CRIOLLO JIMA**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por JOHANNA ESTEFANY CRIOLLO JIMA, bajo mi supervisión.

---

**PhD. FABIÁN MARCELO VILLARES JIBAJA**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

JOHANNA ESTEFANY CRIOLLO JIMA

PhD. FABIÁN MARCELO VILLARES JIBAJA

## DEDICATORIA

*A mi familia entera, a mi abuelita y a mis grandes amigos; cada mañana le pido a Dios que me alcance la vida y me dé tiempo para regresar, aunque sea tanto solo un poco de lo mucho que me dan, de lo que generan en mí, ese sentimiento de que no soy yo, de que hay algo más, la sensación de que no existe el tiempo cuando nos reunimos o estamos juntos en casa.*

## AGRADECIMIENTO

Primero, agradezco a Dios, porque él ha sido mi fortaleza y refugio en mi vida personal y académica.

A mis padres, José y María por su apoyo incondicional en todos los aspectos y siempre han sido los que me han elevado el ánimo con un consejo o una palabra de aliento.

A mis hermanas, Paola y Madelyn porque han sido un apoyo fundamental en el desarrollo de mi persona y carrera estudiantil.

A mi Mamy Martha, quien a pesar de no haber estado físicamente conmigo en todas las etapas de mi vida, siempre ha estado presente con una llamada preguntando como estoy.

A mi pequeño angelito de cuatro patas que está en el cielo llamada Chiripa, quien estuvo acompañándome en mis noches de estudio y era la que siempre me esperaba muy contenta cuando llegaba a casa.

A mis grandes amigos: Nathaly Codena, Diana Gordón, Andrés Nuñez y en especial, a mis amigos, Ruben Chusín, Nicole Jara y Anahí Mullo, quien desde el primer semestre de esta carrera universitaria ha sido un pilar y apoyo fundamental, y ha estado siempre conmigo, en las buenas y en las malas, de principio a fin.

A todos los profesores del Departamento de Ingeniería en Geología de la Escuela Politécnica Nacional que supieron inculcar en mí, conocimientos y valores que me formaron como profesional, y de una manera especial, a las Ingenieras Elizabeth Lasluisa y Alexandra Orozco, por siempre apoyarme en los proyectos que se me han presentado tanto fuera como dentro de la universidad, y por reconocer cuando no estoy al cien por ciento.

Y finalmente al PhD. Fabián Villares por darme la oportunidad de realizar este proyecto y por sus sugerencias.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT.....	IX
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo General .....	2
1.2 Objetivos Específicos .....	2
1.3 Alcance .....	2
1.4 Ubicación del área de estudio .....	2
1.5 Marco Teórico .....	3
<b>2 CONTEXTO GEODINÁMICO.....</b>	<b>5</b>
2.1 Marco Geodinámico .....	5
2.2 Geología Regional.....	6
<b>3 METODOLOGÍA.....</b>	<b>10</b>
3.1 Flujo de trabajo de compilación y criterio de filtrado y análisis de edades radiométricas .....	10
3.2 Flujo de trabajo de compilación y criterios de filtrado de edades radiométricas. ....	11
<b>4 RESULTADOS, DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>12</b>
4.1 Resultados .....	12
Sistema isotópico .....	12
Material analizado.....	16
Interpretación .....	17
Métodos usados en las diferentes décadas a partir de los 60' .....	19
Diagramas KDE .....	20
4.2 DISCUSIÓN.....	23
Plateau y Arco Cretácico.....	24
Post-acreción.....	26
Arco Macuchi.....	26

Arco Saraguro .....	27
Arco Silante .....	27
Arco Mio-pliocénico .....	28
Intrusivos.....	28
4.3 Conclusiones.....	30
4.4 Recomendaciones .....	31
5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32
6 ANEXOS .....	38
6.1 ANEXO I .....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	3
<b>Figura 2.</b> Diagrama estadístico de los sistemas isotópicos más utilizados. ....	13
<b>Figura 3.</b> Mapa de localización de las muestras datadas clasificadas por sistema isotópico utilizado.....	14
<b>Figura 5.</b> Principales materiales utilizados para las dataciones de las 283 muestras. .....	17
<b>Figura 6.</b> Interpretaciones de las 283 muestras datadas. ....	18
<b>Figura 7.</b> Sistemas Isotópicos usados (izquierda) antes y (derecha) después de los 2000.....	19
<b>Figura 8.</b> Diagramas KDE de Costa, Cordillera Occidental, Miocene Offshore SW Ecuador y Modern River Samples.....	21
<b>Figura 9.</b> Gráficos KDE desde el Cretácico hasta el Cuaternario que indican los diferentes eventos geocronológicos y termocronológicos en la Cordillera Occidental del Ecuador.....	22
<b>Figura 10.</b> Gráficos KDE desde el Cretácico hasta el Cuaternario que indican los diferentes eventos geocronológicos y termocronológicos en la Costa del Ecuador. .....	22
<b>Figura 11.</b> Mapa de América del Sur que ilustra las principales Provincias tectónicas y las edades de sus eventos metamórficos más recientes (Chew et al., 2016).....	24

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Métodos de datación radiométrica. ....	4
<b>Tabla 2.</b> Métodos de datación radiométrica. Tomado de White, 2003 & Allègre, 2008. ....	5
<b>Tabla 3.</b> Número de dataciones recopiladas para cada sistema isotópico en el presente trabajo. ....	13
<b>Tabla 4.</b> Tipos de material analizado para las dataciones recopiladas. ....	16
<b>Tabla 5.</b> Interpretaciones de las dataciones recopiladas. ....	18
<b>Tabla 6.</b> Sistemas Isotópicos utilizados en cada década desde el año de 1960. .	19
<b>Tabla 7.</b> Edades precámbricas de la Cordillera Occidental y Costa agrupadas por rangos. Fm: Formación; Mb: Miembro; Gp: Grupo. ....	20
<b>Tabla 8.</b> Intrusivos datados radiométricamente cuyas edades van desde el arco Cretácico al arco Mio-pliocénico. ....	29

## RESUMEN

El presente proyecto se basó en la construcción de una base de datos radiométricos de la Costa y Cordillera Occidental del Ecuador, para comprender la evolución geodinámica de la zona en base a un análisis estadístico y diagramas KDE (Kernel Density Estimate). Se recolectaron un total de 4850 datos individuales, de los cuales 3870 pertenecen a la Costa y Cordillera Occidental, y representan la datación radiométrica de 283 muestras. El análisis estadístico indicó que no existen dataciones radiométricas en la zona NW de la región costera y que el método más utilizado es el de K-Ar. Los 4850 datos individuales fueron representados en gráficas de KDE y clasificados en cuatro grupos: Costa, Cordillera Occidental, "Miocene River Sand Samples", y "Miocene Offshore SW Ecuador", en los cuales existen edades desde el Precámbrico. Estas edades son picos heredados con una probable fuente de la Cordillera Real. Los 3870 datos individuales fueron representados igualmente en gráficos KDE y clasificados de acuerdo con el sistema isotópico. El KDE de U-Pb magmático reporta edades de cristalización para las Formaciones Pujilí (90.8 Ma), y San Juan (86.4 Ma), intrusivo en la Formación Silante (10.3 Ma), y para la Unidad Macuchi (42.1 Ma) en la Cordillera Occidental. En la Costa, reporta edades para los intrusivos Redondo, Pascuales y Dique Chivería con 98.4, 95.9 y 86.6 Ma respectivamente. El KDE de U-Pb detrítico indica edades de MDA (Maximun Deposition Age) de 56, 40.2, 16.6 y 10.2 Ma para la Unidad Saquisilí, Formación Apagua, Formación Silante y para el Grupo Saraguro respectivamente para la Cordillera Occidental. En la Costa, muestra edades de MDA de 60.2, 43.3, 31.3, 20.6, 14.2 y 10 Ma que corresponden a la Formación Azúcar, Grupo Ancón, Formación Zapotal, Formación Progreso, Formación Sube y Baja, y a la Formación Angostura respectivamente. El KDE de termocronología representa las edades obtenidas por K-Ar, Ar-Ar, U-Th, U-Th/He y Re-Os. En el KDE de termocronología de la Costa, se obtuvo un pico de edades K-Ar de 73 Ma para el intrusivo Pascuales, que podrían indicar un reseteo por actividad tectónica asociado a un evento de acreción que formó el basamento de la Costa y Cordillera Occidental a finales del Cretácico Superior.

**PALABRAS CLAVE:** Costa, Cordillera Occidental, KDE, U-Pb magmático, U-Pb detrítico, K-Ar, MDA.

## ABSTRACT

This project was based on the construction of a radiometric database of the Coast and Western Cordillera of Ecuador, to understand the geodynamic evolution of the area based on statistical analysis and KDE (Kernel Density Estimate) diagrams. A total of 4850 individual data were collected, of which 3870 belong to the Coast and Western Cordillera and represent the radiometric dating of 283 samples. The statistical analysis indicated that there are no radiometric dates in the NW zone of the coastal region and that the most used method is the K-Ar method. The 4850 individual data were represented in KDE graphs and classified into four groups: Coast, Western Cordillera, "Miocene River Sand Samples", and "Miocene Offshore SW Ecuador", in which there are ages from the Precambrian. These ages are legacy peaks with a probable source from the Cordillera Real. The 3870 individual data points were equally represented on KDE plots and classified according to isotopic system. The KDE of magmatic U-Pb reports crystallization ages for the Pujilí (90.8 Ma) and San Juan (86.4 Ma) Formations, intrusive in the Silante Formation (10.3 Ma), and for the Macuchi Unit (42.1 Ma) in the Cordillera Western. On the Coast, reported ages for the Redondo, Pascuales and Dique Chivería intrusives with 98.4, 95.9 and 86.6 Ma respectively. The KDE of detrital U-Pb indicates MDA (Maximum Deposition Age) ages of 56, 40.2, 16.6 and 10.2 Ma for the Saquisilí Unit, Apagua Formation, Silante Formation and for the Saraguro Group respectively for the Western Cordillera. On the Coast, it shows MDA ages of 60.2, 43.3, 31.3, 20.6, 14.2, and 10 Ma that correspond to the Azúcar Formation, Ancón Group, Zapotal Formation, Progreso Formation, Sube y Baja Formation, and Angostura Formation respectively. The thermochronology KDE represents the ages obtained by K-Ar, Ar-Ar, U-Th, U-Th/He, and Re-Os. In the KDE thermochronology of the Coast, a K-Ar age peak of 73 Ma was obtained for the Piñon Formation, which could indicate a reset due to tectonic activity associated with an accretion event that formed the basement of the Coast and Western Cordillera at the end of the Late Cretaceous.

**KEYWORDS:** Coast, Western Cordillera, KDE, U-Pb magmatic, U-Pb detrital, K-Ar, MDA.

# 1 INTRODUCCIÓN

Ecuador se encuentra en la parte occidental de Sudamérica, forma parte de los Andes Septentrionales y presenta cinco dominios morfotectónicos en respuesta al sistema de subducción Mesozoico – Cenozoico: la Costa, Cordillera Occidental, Valle Interandino, Cordillera Real y Cuenca Oriente. La Costa ecuatoriana está formada por los Bloques Piñón, San Lorenzo, Pedernales – Esmeraldas y Santa Elena (Vallejo et al., 2009). El Bloque Piñón es el basamento, es un plateau oceánico y corresponde a rocas máficas que presentan una edad de extrusión de basamento de 89 Ma aproximadamente (Luzieux et al., 2006).

La Cordillera Occidental está compuesta de rocas máficas oceánicas a intermedias, tectónicamente yuxtapuestas con depósitos turbidíticos del Cretácico Tardío al Oligoceno (Vallejo et al., 2009) y separadas por grandes fallas orientadas SSW – NNE (Hughes & Bermúdez et al., 1997). El Bloque Pallatanga es el basamento alóctono de esta Cordillera e incluye los terrenos sedimentarios y volcánicos de la Fm. Pallatanga y Complejo San Juan, Arco Río Cala del Cretácico Tardío, Unidad Tandapi, Grupo Angamarca, y rocas volcánicas y volcanoclásticas subaéreas del Oligoceno – Mioceno de afinidad calco – alcalina (Vallejo et al., 2020). El Bloque Pallatanga está confinado entre el Sistema de Fallas dextrales principales Chingual – Cosanga – Pallatanga – Puná al Este, la trinchera al Oeste, y una zona compleja de sutura al sur que recorre el Golfo de Guayaquil (Aizprua et al., 2019).

Tanto las Unidades y Formaciones de la Cordillera Occidental como de la Costa ecuatoriana han sido datadas mediante los diferentes sistemas isotópicos de datación radiométrica como K – Ar, Ar – Ar, Rb – Sr, Sm – Nd, U – Pb, Re – Os y U – Th/ He, así como mediante bioestratigrafía para establecer el entorno tectónico de esta zona y conocer el emplazamiento a lo largo del margen sudamericano. Sin embargo, la información está dispersa y en el país no existe una base de datos de datación radiométrica de las Unidades del basamento y su cobertura.

En consecuencia, el desarrollo de este trabajo se centra en la recopilación de datos geocronológicos en las diferentes Unidades y Formaciones de la Cordillera Occidental y Costa ecuatoriana, los cuales se han obtenido mediante los diferentes sistemas isotópicos y técnicas de datación radiométrica. El desarrollo de este proyecto se realizará mediante la metodología empleada por Rodríguez – Corcho et al., 2021, adaptando a las Unidades y divisiones geológicas de la zona de estudio para comprender su evolución geodinámica.

## **1.1 Objetivo General**

Conocer los eventos geológicos ocurridos en la Cordillera Occidental y la Región Costa ecuatoriana, a través de la recopilación de datos radiométricos publicados en artículos científicos, tesis doctorales, mapas e informes geológicos.

## **1.2 Objetivos Específicos**

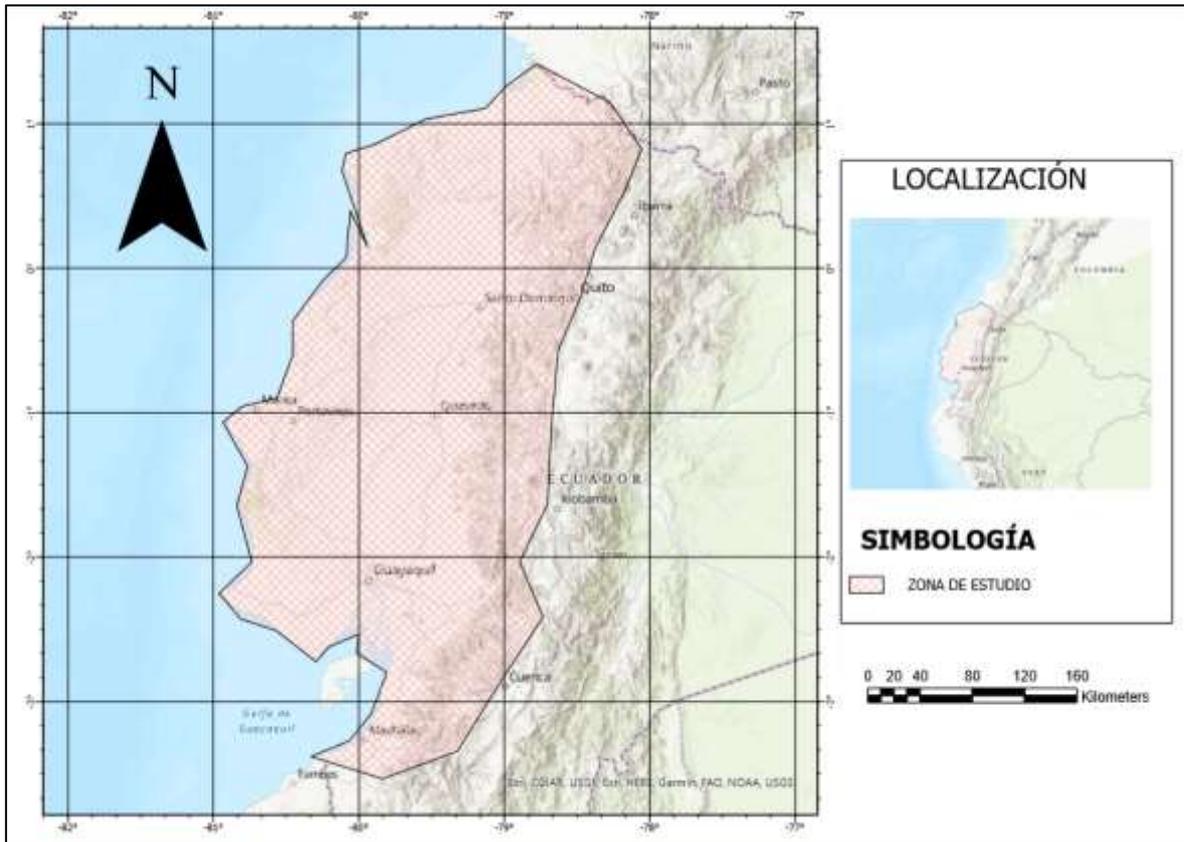
1. Recopilar Información Bibliográfica
2. Compilar los datos geocronológicos en un documento en Excel que incluya coordenadas, sistema isotópico, mejor edad, error, nombre de la muestra y material analizado.
3. Procesar datos mediante histogramas y diagramas KDE (Kerly Density Estimate).
4. Interpretar individual y regionalmente los datos.
5. Analizar los resultados y clasificar de acuerdo con el entorno tectónico.

## **1.3 Alcance**

El presente trabajo se basa en la recopilación y análisis de datos radiométricos publicados de la Cordillera Occidental y Costa ecuatoriana, los cuales se van a presentar en una base de datos y que posteriormente van a ser clasificados de acuerdo con el método isotópico y el tipo de edad que arrojan los mismos.

## **1.4 Ubicación del área de estudio**

Ecuador está dividido en varias zonas geomorfológicas de acuerdo con sus protolitos y a sus características geológicas propias como son la Cuenca Oriente, Cordillera Real, Bloque Amotape Tahuín (BAT), Cordillera Occidental, Costa, Cuencas Intramontañosas, y Volcanismo Plio-cuaternario. El desarrollo de este trabajo se centra en dos zonas específicas que son la Costa y la Cordillera Occidental, las cuales se encuentran entre las latitudes  $1.5^{\circ}$  N –  $3.30^{\circ}$  S y longitudes  $78.5^{\circ}$  –  $81^{\circ}$  W (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa de ubicación de la zona de estudio.

## 1.5 Marco Teórico

La geocronología determina la edad absoluta ( $t$ ) de rocas y minerales basándose en el decaimiento radioactivo, el cual consiste en un isótopo padre ( $N$ ) que se desintegra a un isótopo hijo ( $D^*$ ) a una velocidad conocida ( $\lambda$ ) (White, 2003) como se indica a continuación:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{D^*}{N} \pm 1\right)$$

**Ecuación 1.** Edad absoluta del decaimiento radioactivo.

Una propiedad significativa del decaimiento radiactivo es que no depende de efectos físicos y químicos externos, es decir, no se ve afectado por los cambios de presión, temperatura o los enlaces moleculares que conectan un nucleido radioactivo con los átomos vecinos (Allègre, 2008 & Vermeesch, 2020). Esto significa que la velocidad a la que un isótopo padre se desintegra en un tiempo establecido solo depende del número de átomos padres presentes (Vermeesch, 2020). Otro término importante de conocer es la Vida Media, que es el tiempo que tarda en desintegrarse el 50% del isótopo padre a 50% de isótopo hijo (Allègre, 2008).

A continuación, la Tabla 1 indica los distintos métodos de datación radiométrica con vidas medias superiores a 500 Ma.

**Tabla 1.** Métodos de datación radiométrica.

Sistema	Isótopo Padre (N)	Isótopo Hijo ( $D^*$ )	Vida Media (Ma)	Aplicaciones útiles
Rb – Sr	$^{87}\text{Rb}$	$^{87}\text{Sr}$	48800	Rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias (glauconita).
K – Ar	$^{40}\text{K}$	$^{40}\text{Ar}$	1250	Amplio rango de aplicaciones (Termocronología).
Ar – Ar	$^{40}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}$	1250	
U/Pb	$^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}$	4470	Edades precisas y exactas en rocas ígneas extrusivas e intrusivas.
U/Pb	$^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}$	7040	
Th – Pb	$^{232}\text{Th}$	$^{204}\text{Pb}$	14000	
K/Ca	$^{40}\text{K}$	$^{40}\text{Ca}$	1360	Raramente usado (sanidina autógena).
Sm – Nd	$^{147}\text{Sm}$	$^{143}\text{Nd}$	106000	Datación de rocas ígneas máficas
Lu - Hf	$^{176}\text{Lu}$	$^{176}\text{Hf}$	35700	Útil para datar rocas metamórficas y mineralización
Re - Os	$^{187}\text{Re}$	$^{187}\text{Os}$	42300	

Por otro lado, para determinar con precisión la edad, el sistema tuvo que haber permanecido como un SISTEMA CERRADO al método que se está utilizando desde que se superó la temperatura de clausura, es decir, no hay pérdida de  $D^*$  (Allègre, 2008).

A continuación, la Tabla 2 indica el material óptimo que debe ser analizado para obtener edades de cristalización por el método U-Pb o de enfriamiento mediante Ar-Ar.

**Tabla 2.** Métodos de datación radiométrica. Tomado de White, 2003 & Allègre, 2008.

	<b>MÉTODO</b>	
	<b>U - Pb</b>	<b>Ar - Ar</b>
<b>Litología:</b>		
Granito	<b>Material analizado:</b>	
Granodiorita	Zircón	Hornblenda, biotita
Diorita	Más preciso	Menos preciso
Gabro	Más exacto	Menos exacto
	<b>Material analizado:</b>	
Dolerita		Matriz, vidrio volcánico
Basalto		
	<b>Material analizado:</b>	
	Zircón	Sanidina, biotita
Toba volcánica	Más preciso	Menos preciso
	Más exacto	Menos exacto
	<b>Material analizado:</b>	
Flujos de lava máficos e ignimbritas		Matriz, vidrio volcánico

Por lo tanto, el método radiométrico de cristalización más preciso y exacto es el de datación radiométrica U – Pb en zircones.

## 2 CONTEXTO GEODINÁMICO

### 2.1 Marco Geodinámico

La Cordillera de los Andes comprende una cadena montañosa de más de 7000 kilómetros de extensión ubicada a lo largo del margen Pacífico de Sudamérica, en el cual Ecuador se encuentran en la Zona Volcánica Norte (Díaz, 2022), en el margen noroccidental de Sudamérica donde sucede la subducción de la placa de Nazca junto con la Cordillera de Carneige bajo la placa Sudamericana (Pennington, 1981). La subducción de las placas es influenciada por una serie de fallas siendo una de las principales, el sistema de fallas dextrales Chingual – Cosanga – Pallatanga – Puná (CCPP), la misma que controla el movimiento del Bloque Nor – Andino (NAB) (Díaz, 2022; Alvarado et al., 2016). Además, se cree que la placa Nazca subduce con una dirección Este – Oeste, a una velocidad de 5 – 7 cm/año aproximadamente y con un ángulo entre 25 y 35 grados (Gutscher et al., 1999

& Nocquet et al., 2014). Por ende, la convierte en la responsable de la gran actividad sísmica y magmática en la región, así como también de las deformaciones que presenta el margen costero del Ecuador (Pennington, 1981).

## **2.2 Geología Regional**

En respuesta al sistema de subducción, Ecuador presenta cinco dominios morfotectónicos: la Costa, Cordillera Occidental, Valle Interandino, Cordillera Real o también llamada Cordillera Oriental, y Cuenca Oriente (Vallejo et al., 2019).

### **Costa ecuatoriana**

La Costa ecuatoriana está compuesta de una corteza oceánica máfica y cubierta por depósitos de forearc del Paleógeno al Neógeno (Vallejo et al., 2019). La Formación Piñón es la principal unidad del basamento de la Costa, presenta una edad Ar-Ar entre 90 a 87 Ma, y corresponde a rocas máficas de plateau oceánico (Lapierre et al., 2000; Hughes & Pilatasig, 2002; Kerr et al., 2002; Mamberti et al., 2003).

La Formación Piñón está cubierta por material volcanoclástico turbidítico de la Formación Cayo del Cretácico Tardío (Jaillard et al. 1995 y 1997) y está sobrepuesta e intruida por la presencia de un arco volcánico Cretácico Superior representado por las Formaciones Orquídeas y San Lorenzo e intrusiones de composición intermedia a ácida (p.e. intrusiones de Pascuales) (Reynaud et al., 1999; Kerr et al., 2002; Macías, 2018). Las Formaciones Orquídeas y San Lorenzo son rocas máficas de afinidad de arco de isla (Luzieux, 2006), y que según algunos autores (p.e. Kennerly, 1980), presentan edades K-Ar comprendidas entre  $87 \pm 10$  y  $66 \pm 5$  Ma; mientras que otros sugieren un rango de edad que oscila entre 87 y 54 Ma (p.e. Luzieux et al., 2006; Jaillard et al.; 1997; Goossens & Rose, 1973). Las intrusiones situadas al norte de Guayaquil como son los intrusivos de Pascuales, presentan edades U-Pb en circones de 98 a 86 Ma (Macías, 2018). La Formación Cayo está sobrepuesta por depósitos sedimentarios de la Formación Guayaquil del Maastrichtiano al Paleoceno Tardío (Luzieux, 2006; Keller et al., 1997) y por su equivalente lateral fuertemente deformado que es la Formación Santa Elena (Jaillard et al., 1995). En el área de Guayaquil, la Formación Guayaquil está cubierta concordantemente por la Formación San Eduardo del Eoceno Inferior a Medio; mientras que la Formación Santa Elena está cubierta por los depósitos de ambiente de abanico submarino del Paleoceno Superior del Grupo Azúcar (Vallejo et al., 2019; Benítez, 1995). La Formación San Eduardo está sobrepuesta por lutitas laminadas y capas turbidíticas del Eoceno Medio de la Formación Las Masas (Vallejo et al., 2019). En la Península de Santa Elena, el Grupo Ancón del Eoceno Medio coronan el Grupo Azúcar (Vallejo et al., 2019), y el cual junto con la

Formación Las Masas son parte de una sucesión progresiva de abanicos submarinos (Luzieux, 2006). La Formación San Mateo está discordantemente cubierto por la Formación Zapotal en el sur y por la Formación Tosagua en el centro y norte de la Cuenca de Manabí (Vallejo et al., 2019; Luzieux, 2006). Hacia el norte, se puede correlacionar con la Formación Punta Blanca; las cuales presentan una edad Eoceno Medio a Tardío (Luzieux, 2006). En la parte norte del antearco costero, las Formaciones Pambil y Playa Rica son coetáneas con la Formación Zapotal, cuya base presenta una edad Oligoceno (Vallejo et al., 2019; Luzieux, 2006). Durante el Mioceno, el antearco ecuatoriano se caracterizó por un período de deformación en strike – slip y una extensión localizada que dio origen a la formación de una serie de cuencas extensionales de pull-apart como son, de sur a norte, las cuencas de Progreso, Manabí y Borbón (Benitez, 1995; Luzieux, 2006). El relleno sedimentario del Mioceno de estas cuencas en el sur, son depósitos costeros a marino de las Formaciones Dos Bocas, Villingota, El Consuelo, Sube y Baja y Progreso; mientras que en el norte se depositaron las Formaciones Dos Bocas, Villingota y Onzole (Vallejo et al., 2019).

### **Cordillera Occidental**

La Cordillera Occidental está compuesta de rocas ígneas y volcánicas tectónicamente yuxtapuestas con depósitos sedimentarios del Cretácico Tardío al Oligoceno, los cuales están separados por grandes fallas orientadas SSO – NNE (Vallejo et al., 2009). El basamento de la Cordillera Occidental de Ecuador es la Formación Pallatanga, el cual es un basamento ultramáfico y máfico de afinidad que varía entre E-MORB y basaltos de plateau oceánico (Vallejo, 2007; Hughes & Bermúdez, 1997; Kerr et al., 2002). Según Vallejo et al., (2007), el complejo ultramáfico San Juan es el componente intrusivo de un plateau oceánico y presenta una edad media ponderada de U/Pb de  $87.1 \pm 1.7$  Ma. Además, según el Servicio Geológico Británico (2001), en la Cordillera Occidental existen dos arcos oceánicos de edades Cretácico Superior y Cenozoico que son el arco volcánico Río Cala y el Bloque Macuchi respectivamente. Este último es llamado así debido a las incertidumbres sobre su origen alóctono (Vallejo et al., 2019). El arco volcánico Río Cala se encuentra en contacto discordante sobre la Formación Pallatanga, y según datos geoquímicos, indica un ambiente de tipo de arco de islas intraoceánicos (Chiaradia, 2009; Vallejo et al., 2019; Vallejo et al., 2007). El arco volcánico Río Cala incluye las Formaciones La Portada, Mulaute, Natividad, Pilatón y Río Cala (Díaz, 2022; Almargor, 2019). Una edad plateau Ar-Ar de  $66.7 \pm 16$  Ma es obtenida e interpretada como la edad de cristalización de la Formación Río Cala (Vallejo, 2007). El vulcanismo dentro del arco de Río Cala terminó en aproximadamente 70 Ma. (Vallejo, 2007; Whattam and Stern, 2015).

La Formación Yunguilla aparece en el borde oriental de la Cordillera Occidental, la cual, presenta una edad del Campaniano al Maastrichtiano (Bristow y Hoffstetter, 1997; Jaillard et al., 2004). La Formación Yunguilla se interpreta como parte de una cuenca de antearco que se formó a lo largo del margen continental durante el Cretácico Superior y se deformó durante la consiguiente acreción de los bloques alóctonos del oeste de Ecuador (Hughes & Pilatasig, 2002). El Grupo Angamarca se encuentra depositada a lo largo de la Cordillera Occidental y consiste en las Formaciones Saquisilí, Apagua, Pilaló, Unacota, El Laurel y Rumi Cruz (Hughes & Pilatasig, 2002), que se extiende desde el Paleoceno al Eoceno. En la parte central de la Cordillera Occidental, los sedimentos de la Formación Apagua se superpone e interfiere concordantemente con rocas volcánicas y volcanoclásticas de la Unidad Macuchi (Vallejo et al., 2019). El Grupo Angamarca está cubierto discordantemente por rocas volcánicas del Grupo Saraguro, el cual representa el vulcanismo del margen continental del Eoceno Tardío – Oligoceno (McCourt et al., 1997). El Grupo Saraguro presenta edades de K-Ar y de FT (fission track) que oscilan entre 38 y 20 Ma (Dunkley y Gaibor, 1997; Pratt et al., 1997). En la parte norte de la Cordillera Occidental, la Unidad San Juan de Lachas indica una edad K-Ar y Ar-Ar que oscila entre 36 y 32 Ma, lo que sugiere que la Unidad San Juan de Lachas es la continuación hacia al norte de los Depósitos Volcánicos de Saraguro (Van Thournout, 1991; Vallejo, 2007).

La Unidad Macuchi está compuesta por rocas volcánicas y volcanoclásticas de origen oceánico, que se ubica a lo largo del borde occidental de la Cordillera Occidental (Vallejo et al., 2016). Esta Unidad está incluida dentro del Bloque Macuchi, el cual para muchos autores (p.e. Hughes y Bermúdez, 1997; Hughes y Pilatasig, 2002), este bloque era alóctono y chocó con el margen continental durante el Eoceno Tardío. Vallejo (2007) en el Valle de Pallatanga, cerca del pueblo de Las Rocas, observó un contacto estratigráfico entre las rocas volcánicas de la Unidad Macuchi y las turbiditas cuarzosas de la Formación Apagua. En esta zona, Vallejo (2007) observó que las capas de andesitas basálticas intercaladas con tobas de la Unidad Macuchi tienen el mismo buzamiento que la Formación Apagua suprayacente. Además, Dunkley y Gaibor (1997) reportan una edad FT de  $37.8 \pm 3.5$  Ma para la Formación Apagua, cercana a su contacto con la Unidad Macuchi. En consecuencia, Vallejo (2007) sugiere que la Unidad Macuchi y la Formación Apagua fueron originalmente parte de un solo bloque que posteriormente fue desplazado por la Falla Chimbo-Toachi, y, por lo tanto, propone que el Bloque Macuchi es autóctono y no alóctono como otros autores lo indicaron en un principio. El Grupo Neógeno Zumbagua sobreyace discordantemente a depósitos deformados del Cretácico – Paleógeno (Vallejo et al., 2019). En la parte norte de la Cordillera Occidental, las edades de FT reportadas son de  $15.3 \pm$

1.9 Ma y  $14.5 \pm 2.7$  Ma para areniscas tobáceas, las cuales indican una edad de depósito del Mioceno Medio o más joven para el Grupo Zumbagua (Hughes & Bermúdez, 1997).

### **Modelos propuestos para la evolución tectónica de la Cordillera Occidental y la región costera del Ecuador.**

Existen varios modelos propuestos que explican la evolución tectónica de la Cordillera Occidental y la región costera del Ecuador. Algunos autores (p.e. Kerr et al., 2002; Aspden y Litherland, 1992) indica que los bloques oceánicos alóctonos Pallatanga, Piñón y Macuchi colisionaron entre el Cretácico Superior al Eoceno Tardío. Lebras et al., (1987) propuso que el arco de Macuchi era un arco intraoceánico que se formó sobre la Formación Piñón por subducción, y consideró que el arco de Macuchi es de edad Turoniense-Santoniense, coetáneo con la Formación Cayo de la región costera. Sin embargo, existe datación radiométrica y bioestratigráfica que apunta a una edad Eocena para este arco submarino. Otros autores (p.e. Van Thournout et al., 1992) proponen que, durante el Cretácico Inferior al Paleoceno, la subducción originó el arco San Lorenzo y las rocas volcánicas y sedimentarias de la Formación Cayo. Este arco se acrecentó en el margen continental entre 70 a 50 Ma, deformando los depósitos de la Formación Yunguilla, y que, durante el Eoceno Medio al Oligoceno Temprano, el arco submarino Macuchi se formó sobre la corteza oceánica acrecionada de la Formación Piñón. Por lo tanto, para algunos autores (p.e. Van Thournout et al., 1992; Kerr et al., (2002)), la Unidad Apagua representa un depósito de cuenca de trasarco, mientras que, al oeste, las Formaciones San Mateo y Punta Blanca corresponde a depósitos de antearco.

Kerr et al., (2002) y Hughes y Pilatasig (2002) utilizaron datos geoquímicos para indicar que, en la Cordillera Occidental, el Bloque Pallatanga se acumuló durante un episodio prolongado del Cretácico Superior, mientras que los arcos insulares Naranjal y Macuchi del Cretácico Superior acrecieron posiblemente con el margen continental durante el Eoceno, a lo largo de las fallas Chimbo-Toachi y Mulaute respectivamente. Por otra parte, Vallejo (2007) indica que la Unidad Macuchi y la Formación Apagua fueron originalmente parte de un solo bloque que posteriormente fue desplazado por la Falla Chimbo-Toachi, y, por lo tanto, sugiere que el Bloque Macuchi es autóctono.

### **3 METODOLOGÍA**

#### **3.1 Flujo de trabajo de compilación y criterio de filtrado y análisis de edades radiométricas**

Para la construcción de esta base de datos se siguió el enfoque de Rodríguez – Corcho, 2021, desarrollando un flujo de trabajo propio para recopilar, filtrar e interpretar todos los datos radiométricos de la Costa y Cordillera Occidental del Ecuador, mediante un análisis estadístico y diagramas KDE que resumen los espectros de dataciones de las dos zonas morfotectónicas.

Para ello, se realizó una recopilación bibliográfica exhaustiva de 33 referencias relacionadas con las edades radiométricas enfocadas desde el basamento hasta el arco Mio-pliocénico, esto incluye toda la literatura publicada como artículos científicos, tesis doctorales, mapas e informes geológicos disponibles desde el año de 1960 hasta diciembre 2022. Algunas muestras de las referencias fueron descartadas ya que no cumplían con los criterios mínimos de calidad como coordenadas erróneas y falta de información geológica relacionada con la muestra. Asimismo, se recopiló y se revisó artículos que incluyen datos de referencia de otras fuentes para evitar duplicaciones de datos en la base. En el caso de los duplicados, los datos se recopilaron a partir de la referencia original disponible. Para evitar entradas duplicadas, se verificó cuidadosamente los datos provenientes de tesis de pregrado, post grado, así como tesis doctorales porque normalmente estos datos se publican un par de años después. Los nombres de las Unidades se homogenizaron de acuerdo con la Estandarización de Abreviación, Simbolización y Formato de Base de Datos para Cartografiado Geológico del 2016, Versión 1.2 del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero y Metalúrgico (INIGEMM) y con el Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador realizado por Pablo Duque en el año 2000, para evitar duplicados debido a la gran cantidad de nombres de Unidades informales disponibles. En el caso en que las muestras no contienen el nombre de la Unidad litológica de origen, estas son llamadas como “not defined”.

El análisis estadístico se realizó con el número total de muestras datadas sin tomar en cuenta las muestras provenientes del “Modern River Sand Samples” ni las del “Miocene Offshore SW Ecuador”. Además, también se han considerado como muestras individuales aquellas dataciones que se han realizado en la misma roca, pero en diferente material, al menos que el autor haya especificado la mejor edad. El análisis estadístico se realizó considerando los siguientes criterios: sistema isotópico, el material analizado, la interpretación obtenida, y los métodos más usados antes y después de los 2000. Los

análisis geocronológicos U-Pb generalmente producen tres dataciones independientes:  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  y  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . El primero se utiliza para edades más jóvenes que 1000 Ma y el último para edades superiores a 1000 Ma. Para este trabajo, se va a llamar en general método  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ya sea para edades datadas con  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  o con  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , siempre y cuando se hayan realizado en rocas cristalinas (magmático). Dependiendo de estos parámetros, se mantuvieron las interpretaciones originales de las referencias compiladas, pero a medida que las técnicas analíticas y la precisión/exactitud de la datación radiométrica mejoraron con el tiempo, algunas interpretaciones de las edades fueron redefinidas o actualizadas.

Los histogramas son tradicionalmente la herramienta estadística elegida para evaluar la distribución de variables aleatorias (Rodríguez et al., 2021). Sin embargo, la distribución que indica un histograma puede dar lugar a interpretaciones ambiguas, ya que depende del número de bins utilizados para su construcción, especialmente en espectros multimodales como el registro geológico. Para superar este problema, en este trabajo se procesan todas las dataciones recopiladas mediante la elaboración de múltiples gráficos KDE, los cuales se construyeron utilizando una aplicación de Python 3.6 disponible gratuitamente en el siguiente enlace: <https://bit.ly/38ARmIG> (Rodríguez et al., 2021). Además, se utilizó una versión instalable de histogramas para Mac y Windows que se puede descargar en <https://bit.ly/3bK1RoQ> (Rodríguez et al., 2021). Los gráficos KDE se construyeron usando un ancho de banda que permita una visualización geológica significativa de los espectros de edad ya que las edades pico son muy sensibles al ancho de banda seleccionado.

### **3.2 Flujo de trabajo de compilación y criterios de filtrado de edades radiométricas.**

El proceso de compilación, generación y análisis estadístico de la base de datos radiométricos siguió los siguientes pasos cronológicos:

1. Se genera una hoja de cálculo de Excel para las 33 referencias la cual contiene: el nombre de la Unidad, nombre de la roca, material analizado, sistema isotópico, interpretación, edad, error, approach, técnica, dominio tectónico, coordenadas en grados decimales, laboratorio, referencia, y año.
2. Se realiza mapas de ubicación de todas las muestras que han sido datadas considerando el sistema isotópico empleado, así como la edad obtenida en cada una de ellas.

3. Se construye diagramas de pastel y diagramas de barras para el análisis estadístico del total de muestras datadas radiométricamente.
4. Se genera gráficos KDE para los datos individuales de la Costa, Cordillera Occidental, “Miocene Offshore SW Ecuador”, y “Modern River Sand Samples”.
5. Se clasifica y se analiza a las edades en dominios: plateau, arco cretácico, post-acreción, arco Macuchi, arco Saraguro, arco Silante y arco Mio-pliocénico.
6. Se consolida la información para la redacción e interpretación regional de los datos.

## **4 RESULTADOS, DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 Resultados**

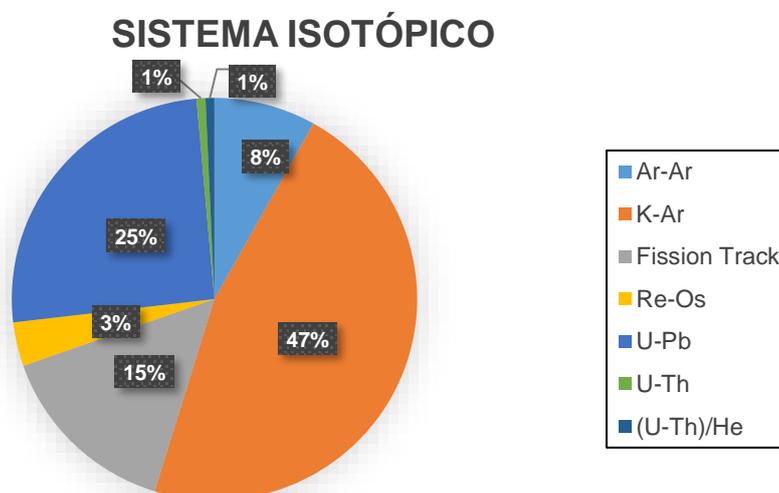
Esta contribución presenta un resumen de los datos de edad del sector NW del continente Sudamericano (territorio Ecuatoriano), específicamente de la Cordillera Occidental y Costa del Ecuador (Figura 1), con datos de cristalización magmática desde el Cretácico Inferior al Cuaternario (Figura 4). Se ha recopilado un total de 4850 datos individuales de datación radiométrica, de los cuales 3870 corresponden a Grupos, Formaciones y Unidades de la Cordillera Occidental y Costa del Ecuador, y los 980 restantes corresponden a las muestras de “Modern River Sand Samples” y “Miocene Offshore SW Ecuador” que serán tratados por separado. Los 3870 datos individuales son el resultado de la datación de 283 muestras de las cuales 64 pertenecen a la Costa y 219 a la Cordillera Occidental (Figura 3, Anexo I). Es importante indicar que en la Figura 3 y Figura 4 se observan muestras que se encuentran fuera del área de estudio y son parte de las diferentes publicaciones, sin embargo, no van a ser consideradas para este trabajo.

#### **Sistema isotópico**

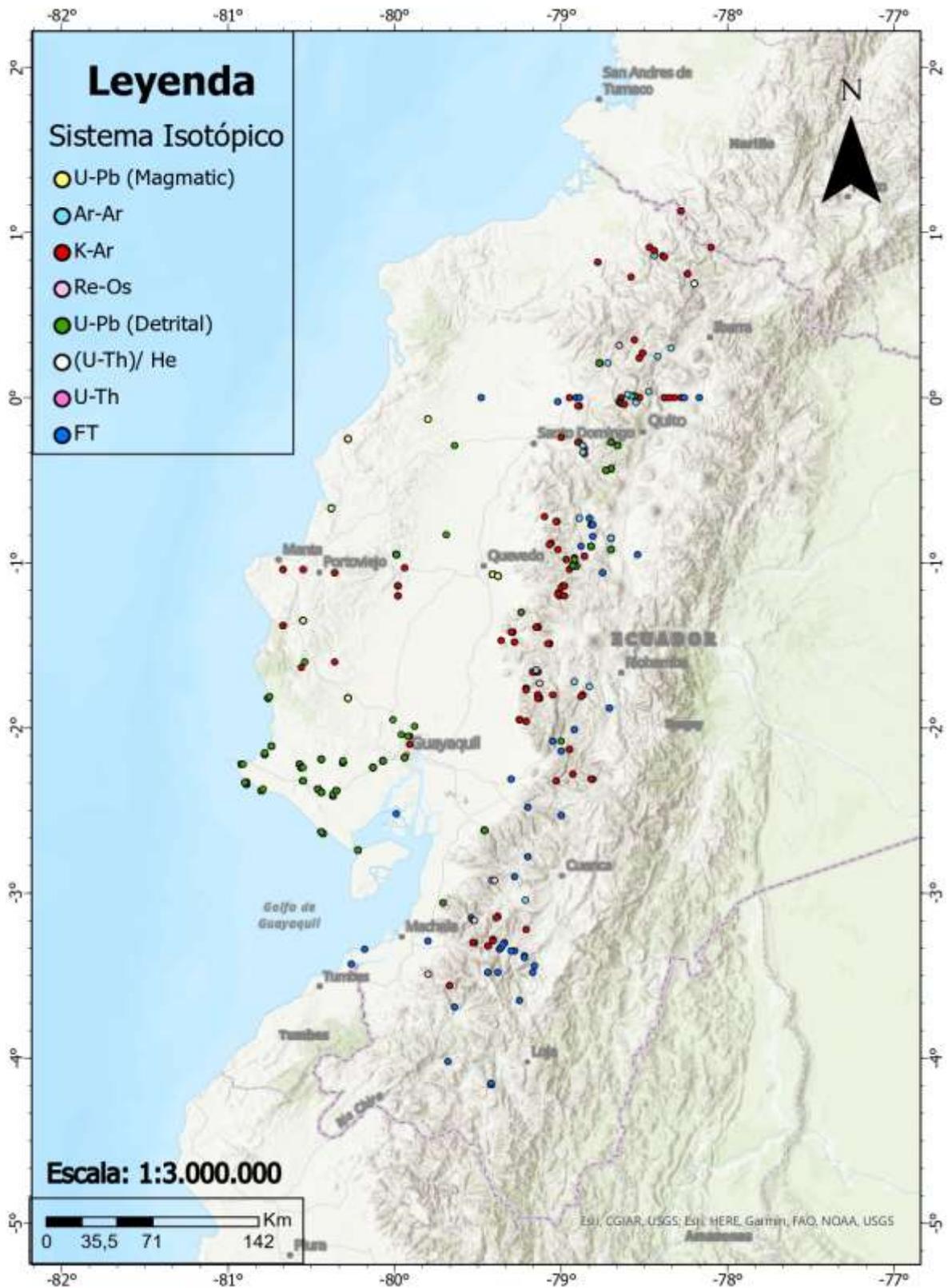
El sistema isotópico con mayor número de muestras de rocas analizadas es el de K – Ar, con 132, seguido de U – Pb con 72 muestras datadas que corresponden al 47 y al 25% respectivamente (Tabla 3, Figura 2). El total de muestras datadas por U-Pb es el resultado de la suma de rocas generadas por cristalización magmática y rocas sedimentarias, las cuales son clasificadas como U-Pb Magmático y U-Pb Detrítico respectivamente. En la Costa, el método más utilizado es el de U-Pb, mientras que, en la Cordillera Occidental, es el de K-Ar (Figura 3).

**Tabla 3.** Número de dataciones recopiladas para cada sistema isotópico en el presente trabajo.

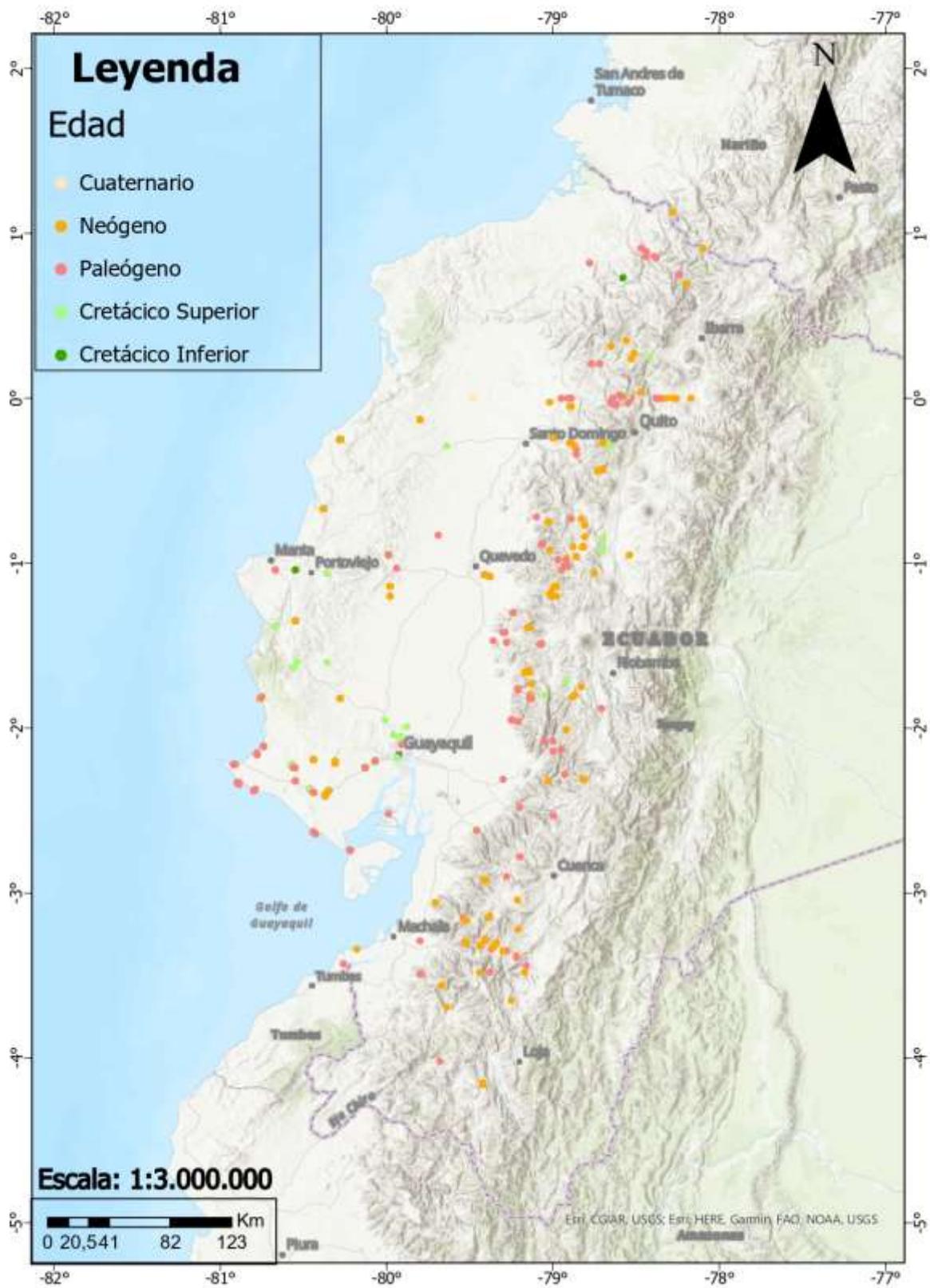
SISTEMA ISOTÓPICO	
Ar-Ar	23
K-Ar	132
FT	42
Re-Os	10
U-Pb	72
U-Th	2
(U-Th) /He	2
TOTAL	283



**Figura 2.** Diagrama estadístico de los sistemas isotópicos más utilizados.



**Figura 3.** Mapa de localización de las muestras datadas clasificadas por sistema isotópico utilizado.



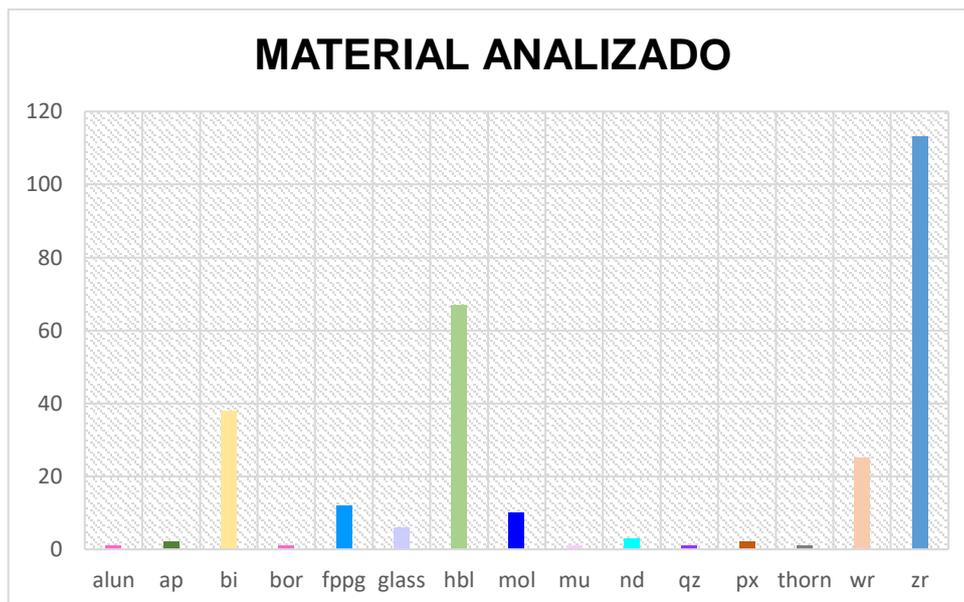
*Figura 4. Mapa de localización de las muestras datadas clasificadas por Edad.*

## Material analizado

De las 283 muestras datadas, 113 fueron en circones, 67 en hornblenda, 38 en biotita y 25 en roca total. Los minerales menos analizados fueron alunita, bornita, moscovita, cuarzo y torianita, los cuales juntos no sobrepasan el 1% del total (Tabla 4, Figura 5). Los circones fueron empleados por los métodos U-Pb y FT, mientras que los cristales de hornblenda y biotita por Ar-Ar y K-Ar. Las muestras que han sido clasificadas como “No definido” son aquellas que en las referencias originales no han especificado el material utilizado.

**Tabla 4.** Tipos de material analizado para las dataciones recopiladas.

MATERIAL ANALIZADO	
Alunita (alun)	1
Apatito (ap)	2
Biotita (bi)	38
Bornita (bor)	1
Feldespatos – plagioclasa (fppg)	12
Vidrio	6
Hornblenda (hbl)	67
Molibdenita (mol)	10
Muscovita (mu)	1
No definido (nd)	3
Piroxeno (px)	2
Cuarzo (qz)	1
Torianita (thorn)	1
Whole Rock (wr)	25
Circón (zr)	113
TOTAL	283



**Figura 5.** Principales materiales utilizados para las dataciones de las 283 muestras.

### Interpretación

De las 283 muestras de las cuales se han obtenido dataciones radiométricas, menos del 10% presentaban interpretaciones originales en las referencias. Por lo tanto, gran parte de las interpretaciones fueron inferidas o actualizadas para este trabajo siempre y cuando se pueda dar una interpretación certera considerando el sistema isotópico empleado, así como el material y roca analizada.

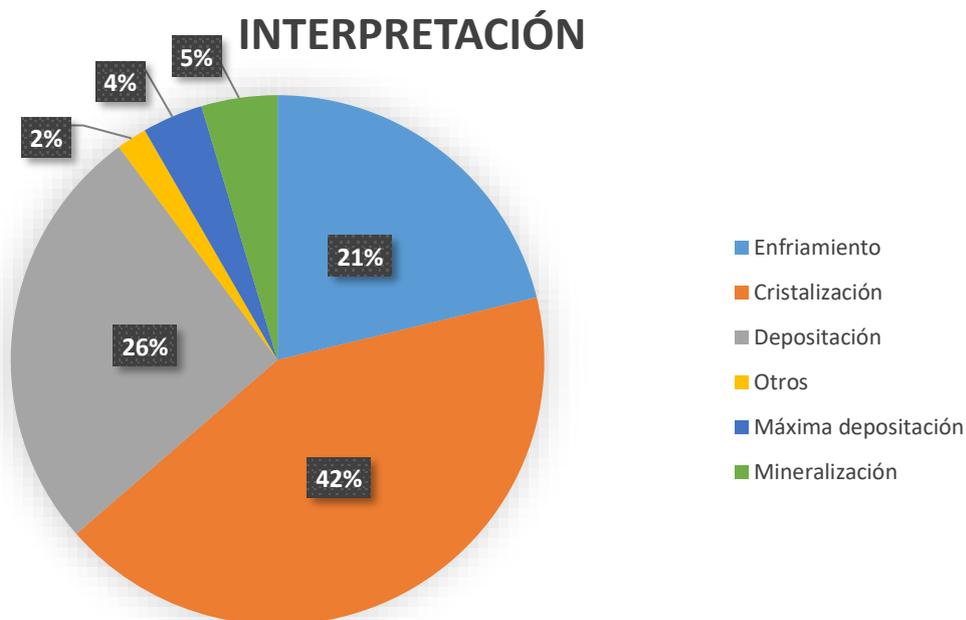
En la Tabla 5 y Figura 6, se puede observar que 92 de las 283 muestras recopiladas indican edades de cristalización ya sea extrusiva o intrusiva dependiendo del tipo de roca analizado, las cuales se han obtenido por los métodos U-Pb magmático, K-Ar, y Ar-Ar. Las edades de cristalización con U-Pb presentan un rango de edades de 98.4 a 10.34 Ma, con un predominio entre 98 a 85 Ma. Estas edades corresponden a los intrusivos Redondo, Pascuales, Bajo Grande, Chivería Dique, y a las Formaciones Pujilí y San Juan. Las edades catalogadas como “No definidas” son las dataciones restantes que se han realizado principalmente en K-Ar, el cual a pesar de que presente una variedad de aplicaciones, no se conoce con certeza hasta la actualidad que edad representa.

Las edades de enfriamiento se obtuvieron con FT, (U-Th) /He y U-Th, las cuales tienen un rango de edades de 38.5 a 0.085 Ma, con un predominio entre 26.7 a 20 Ma. Estas edades corresponden al Grupo Saraguro. Las edades de mineralización obtenidas por el método Re-Os oscilan entre 23.51 a 6.13 Ma y corresponden a Junín (6.63–6.13 Ma), Grupo Saraguro (9.92–9.54 Ma), Formación Burrohuayacu (12.93–12.75 Ma), intrusivo Telimbela (19.17 Ma), Granitoide Balsapamba (21.50 Ma), y Cangrejos (23.51 Ma). Las

interpretaciones de edades de máxima de depositación, y depositación se obtuvieron principalmente con U-Pb Detrítico; y las que son catalogadas como “otros” son las que corresponde a edades de Reseteo y Exhumación que se han obtenido con K-Ar y Ar-Ar, y corresponden a la Formación Piñón con 85 a 54 Ma y al Grupo Zaruma con 19.15 Ma respectivamente.

**Tabla 5.** Interpretaciones de las dataciones recopiladas.

INTERPRETACIÓN	
Enfriamiento	46
Cristalización	92
Depositación	57
Reseteo tectónico	3
Exhumación	1
Máxima depositación	8
Mineralización	10
No definido	66
TOTAL	283



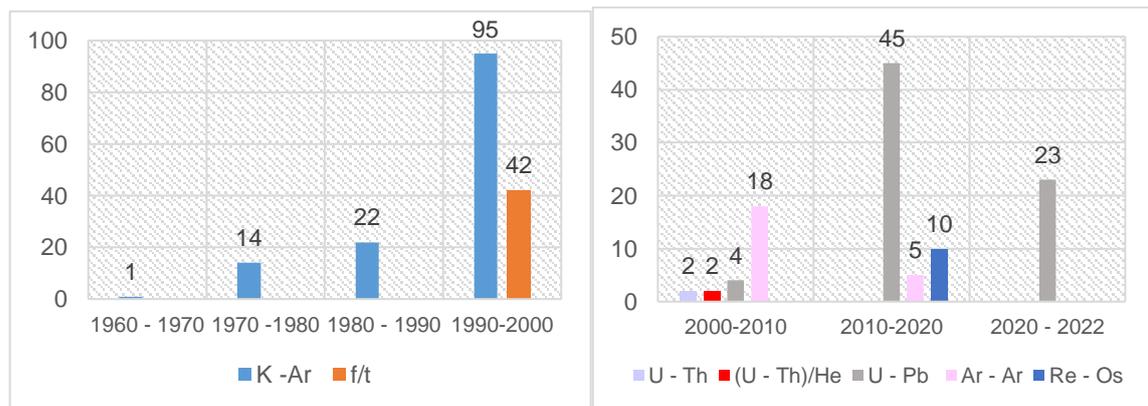
**Figura 6.** Interpretaciones de las 283 muestras datadas.

## Métodos usados en las diferentes décadas a partir de los 60'

Desde 1960 al 2000, se han datado radiométricamente 174 muestras principalmente con los métodos de K-Ar, y con FT en menor cantidad. De las de las 174 dataciones, solo 12 pertenecen a la Costa y han utilizado K-Ar. Estas muestras corresponden a la Formación Piñon, Plutón Gómez, intrusivo Pascuales y a la Formación Cayo. Desde los 2000 hasta la actualidad, el método más utilizado es el de U-Pb, seguido de Ar – Ar, los cuales muestran edades principalmente de cristalización tanto para muestras de la Cordillera Occidental como en la región Costera (Tabla 6, Figura 7).

**Tabla 6.** Sistemas Isotópicos utilizados en cada década desde el año de 1960.

DÉCADA	SISTEMA ISOTÓPICO								
	K - Ar	U - Th	U - Th/He	J - Pb (Detrital)	Ar - Ar	Re - Os	U -Pb (Magmatic)	f/t	
1960 - 1970	1	0	0	0	0	0	0	0	
1970 -1980	14	0	0	0	0	0	0	0	
1980 - 1990	22	0	0	0	0	0	0	0	
1990-2000	95	0	0	0	0	0	0	42	
2000-2010	0	2	2	2	18	0	2	0	
2010-2020	0	0	0	36	5	10	9	0	
2020 - 2022	0	0	0	13	0	0	10	0	
TOTAL	132	2	2	51	23	10	21	42	283



**Figura 7.** Sistemas Isotópicos usados (izquierda) antes y (derecha) después de los 2000.

## Diagramas KDE

La siguiente sección presenta los gráficos KDE, los cuales debido a la gran cantidad de datos disponibles en la base (>1000 registros), se construyeron con un ancho de banda adecuado que proporcione picos (o edades) que puedan representar todos los eventos principales registrados geológicamente en las dos zonas morfotectónicas del Ecuador.

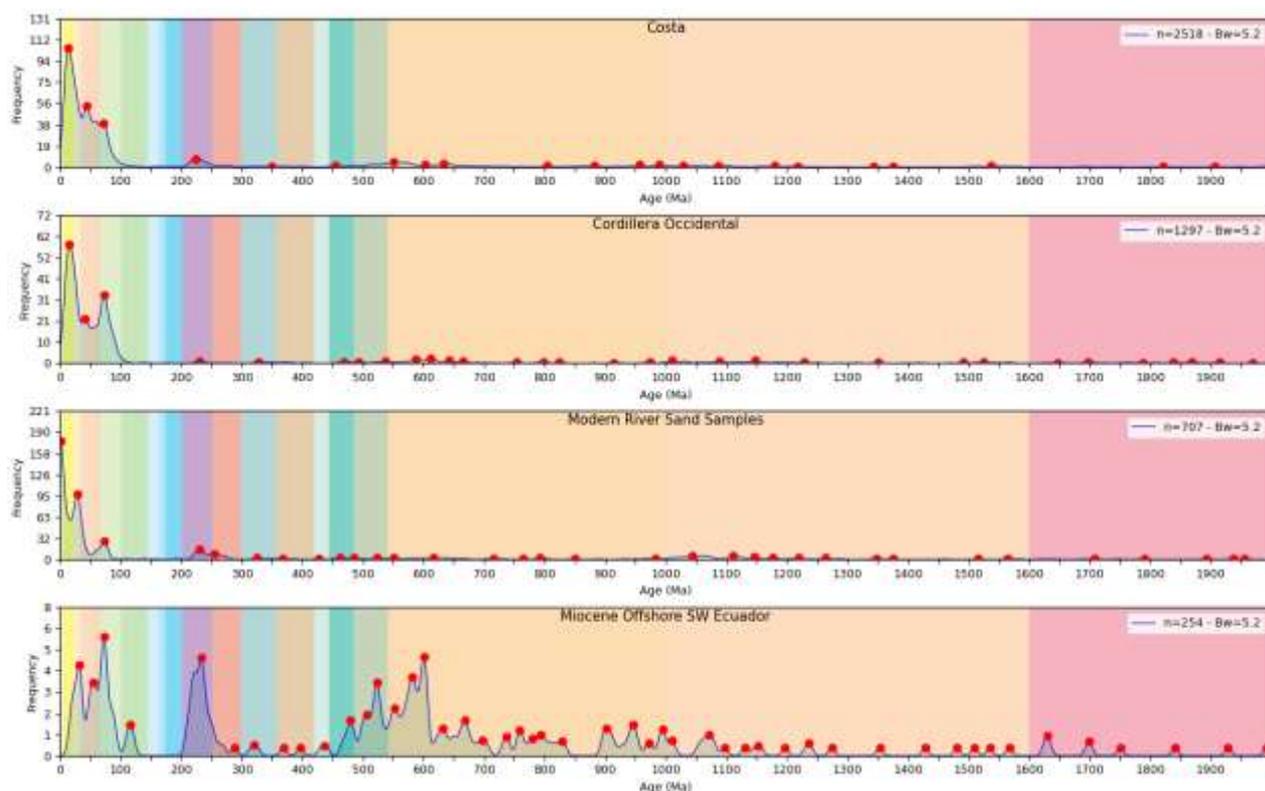
Para la construcción de los KDE con los 4850 datos individuales para la Costa, Cordillera Occidental, “Miocene Offshore SW Ecuador” y “Modern River Sand Samples”, se utilizó un ancho de banda de 5.2. La Figura 8 indica que, de manera general, los cuatro grupos registran edades desde el Precámbrico, los cuales se pueden agrupar en rangos (Tabla 7).

**Tabla 7.** Edades precámbricas de la Cordillera Occidental y Costa agrupadas por rangos.

Fm: Formación; Mb: Miembro; Gp: Grupo.

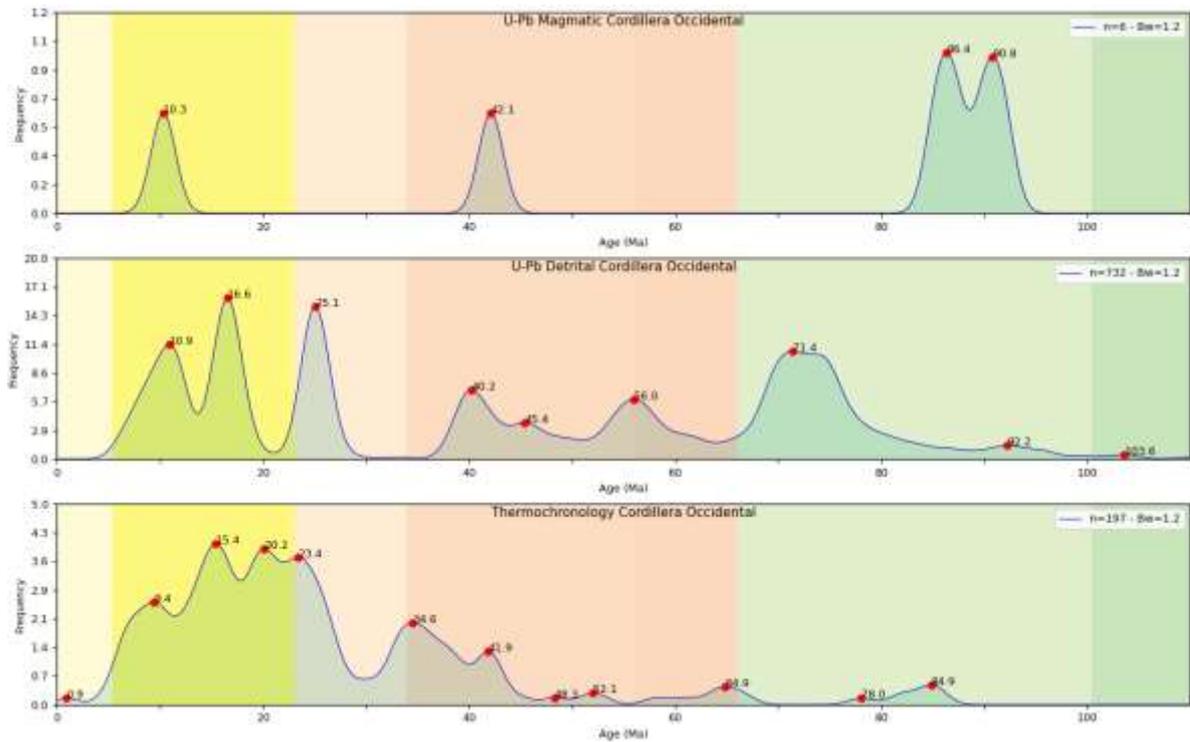
Rango (Ga)	Cordillera Occidental		Costa	
	Picos (Ma)	Unidad	Picos (Ma)	Unidad
1.3 – 1	1012	Fm. Yunguilla	1023	Mb. Dos Bocas
	1090		1090	
	1150		1175	
	1240		1220	
1.5 – 1.3	1350	Fm. Apagua	1350	Fm. Progreso
	1492		1370	
1.8 – 1.5	1520	Fm. Rumi Cruz	1540	Gp. Ancón Fm. Azúcar
	1620			
	1700			
	1795			
2 – 1.8	1845	Fm. Saguangal	1820 1910	Fm. Sube y Baja Fm. Zapotal
	1860			
	1910			
	1970			

En general, los picos de edades precámbricas de la Cordillera Occidental y Costa concuerdan con los picos de “Modern River Sand Samples” y “Miocene Offshore SW Ecuador” respectivamente (Figura 8).

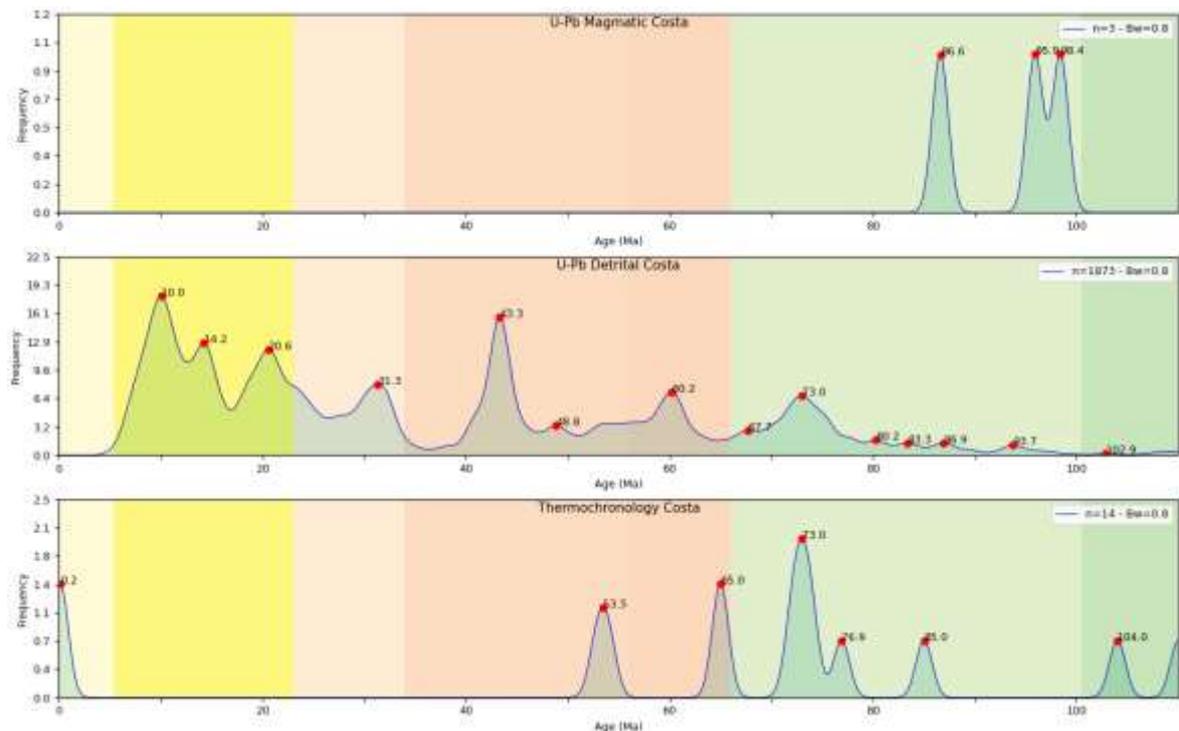


**Figura 8.** Diagramas KDE de Costa, Cordillera Occidental, Miocene Offshore SW Ecuador y Modern River Samples.

Las Figuras 9 y 10 muestran tres paneles apilados verticalmente para la Cordillera Occidental y la Costa: i) un KDE que muestra todas las fechas de U-Pb en rocas ígneas; ii) un KDE que muestra todas las edades de detritos U-Pb en rocas sedimentarias y volcanoclásticas; y iii) un KDE que muestra todas las edades registradas de termocronología que para la Costa fueron a partir de K-Ar y U-Th; mientras que para la Cordillera Occidental mediante Ar-Ar, FT, K-Ar, Re-Os y U-Th/He. En general, las dataciones de termocronología indican eventos de enfriamiento, mineralización, exhumación y de reseteo. El KDE con todas las edades U-Pb en circones detríticos se presenta para vincular Unidades litológicas con sus fuentes magmáticas probables y dar cuenta de eventos magmáticos que podrían no ser registrados por dataciones de circones en rocas ígneas. Además, los picos de edades de U-Pb detríticos proporciona una estimación de la edad máxima de depositación (MDA) que, en casos de gran proximidad al arco magmático, pueden acercarse a la edad estratigráfica real. Finalmente, las edades de enfriamiento, mineralización, exhumación y de reseteo se informan para restringir los eventos térmicos relacionados con el magmatismo de arco o con los episodios de exhumación.



**Figura 9.** Gráficos KDE desde el Cretácico hasta el Cuaternario que indican los diferentes eventos geocronológicos y termocronológicos en la Cordillera Occidental del Ecuador.

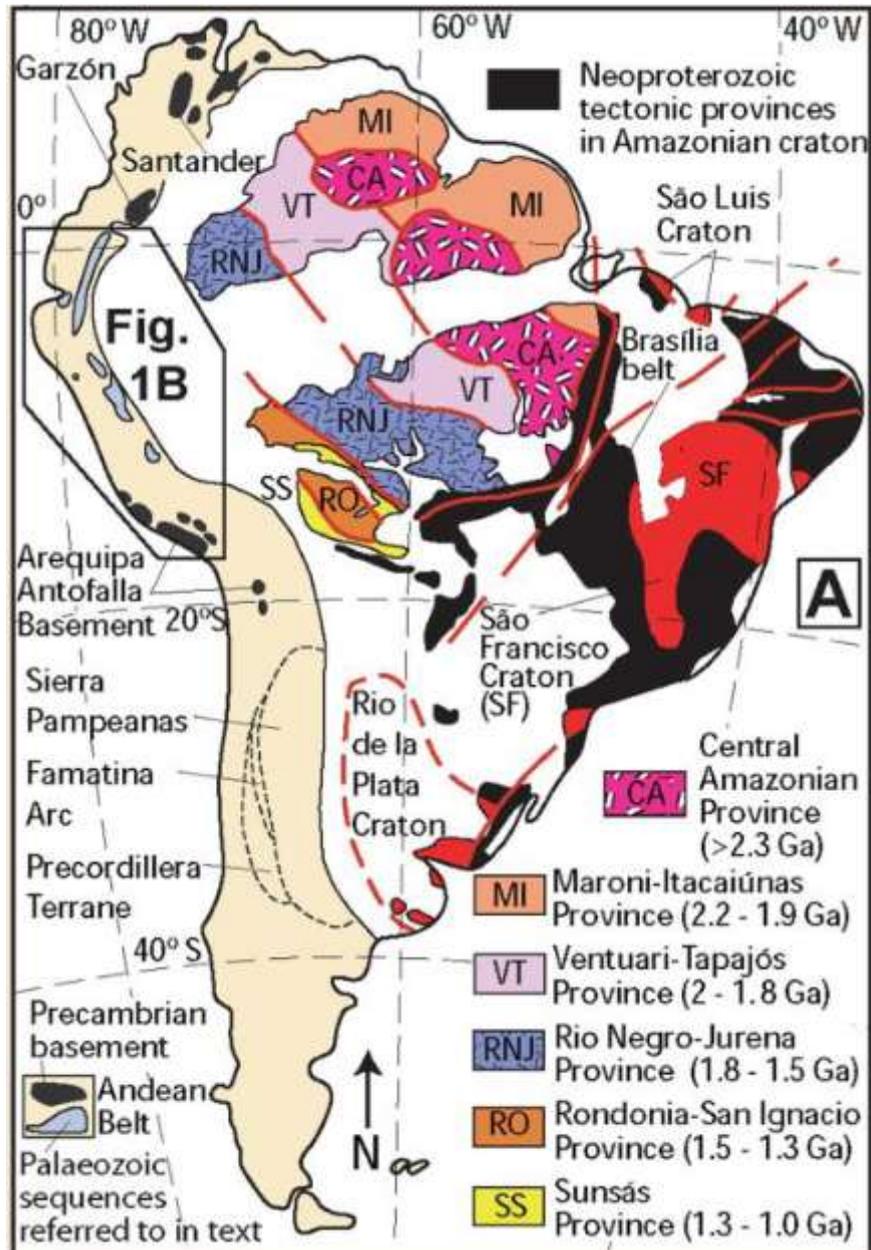


**Figura 10.** Gráficos KDE desde el Cretácico hasta el Cuaternario que indican los diferentes eventos geocronológicos y termocronológicos en la Costa del Ecuador.

## 4.2 DISCUSIÓN

En la Figura 8, se observa que en los cuatros grupos: Cordillera Occidental, Costa, “Modern River Sand Samples” y “Miocene offshore SW Ecuador” existen picos de edad más antiguos que 1000 Ma, es decir, desde el Precámbrico a pesar de que no deberían existir porque las dataciones radiométricas se realizaron en material joven, desde el Cretácico. Por lo tanto, esos picos representan el reciclaje de litologías más antiguas que ya se tenía, son picos heredados con una probable fuente de la Cordillera Real. De acuerdo con Chew et al., (2016), en este trabajo se asocia que los picos que se encuentran entre 1.3 - 1.0, 1.5 – 1.3, 1.8 -1.5, 2.0 – 1.8 Ga son reciclaje de fuentes que tuvieron como aporte a las Provincias de Sunsás, Rondonia – San Ignacio, Río Negro – Jurena, y Ventuari – Tapajós respectivamente (Figura 11).

Es decir, los picos de edades comprendidas entre 1.5 a 1.3 Ga de las Formaciones Yunguilla, Apagua, Progreso, y Mb. Dos Bocas son heredados de fuentes que tuvieron como aporte a las Provincias de Sunsás y Rondonia – San Ignacio; mientras que los picos de edades comprendidas entre 2 a 1.5 Ga de las Formaciones Rumi Cruz, Saguangal, Azúcar, Sube y Baja, Zapotal, y Gp. Ancón fueron de las Provincias de Río Negro – Jurena y Ventuari – Tapajós.



**Figura 11.** Mapa de América del Sur que ilustra las principales Provincias tectónicas y las edades de sus eventos metamórficos más recientes (Chew et al., 2016).

### Plateau y Arco Cretácico

El KDE de cristalización magmática de la Costa (Figura 10) muestra tres picos principales en 98.4, 95.9 y 86.6 Ma, los cuales representan los intrusivos que se ubican al norte de Guayaquil e intruyen a la Formación Piñón: Redondo, Pascuales, y Dique Chivería. Estas edades pico fueron obtenidas por Seyler et al., 2021 y concuerdan con las propuestas por Macías, (2018) quien presentó edades U-Pb para los intrusivos de 98 a 86 Ma. Mientras que, en la Cordillera Occidental, presenta dos picos en el arco cretácico (Figura 9) de 90.8

y 86.4 Ma que representan a las Formaciones Pujilí y San Juan respectivamente, los cuales son los componentes intrusivos del plateau oceánico de la Formación Pallatanga (Mamberti et al., 2004).

Las edades de U-Pb detrítico del arco Cretácico en la Costa (Figura 10) presenta picos de 93.7, 86.9, 83.3, 80.2, 73.0 (el más alto) y 67.7 Ma, de los cuales los cinco primeros representan MDA para el Grupo Ancón, y el último para la Formación Azúcar. Mientras que, en el KDE de la Cordillera Occidental (Figura 9), hay picos de 92.2 y 71.4 Ma los cuales pertenecen a la MDA de la Unidad Apagua y Formación Rumi Cruz respectivamente. Díaz (2022) indica una MDA para la Formación Rumi Cruz de 38 Ma y Hughes & Pilatasig (2002) sugieren una MDA de 40 Ma aproximadamente para la Unidad Apagua.

En el KDE de termocronología de la Costa (Figura 10) se han obtenido picos de edad K-Ar de 85.0, 76.9, y 73.0 Ma los cuales corresponde a la Formación Piñón, Plutón Gómez y al intrusivo Pascuales respectivamente. Según nuestra base de datos, Goossens et al., (1973) indica que 85 Ma es la edad de reseteo tectónico de la Formación Piñón. Para este trabajo, la edad de 76.9 Ma para el Plutón Gómez es interpretada como una edad de cristalización debido a que la muestra fue obtenida al norte de Guayaquil y es más joven que los tres picos prominentes en el circón magmático (98.4, 95.9 y 86.6 Ma) lo que sugiere que es un intrusivo más tardío que los de Pascuales, Redondo y Dique Chivería, los cuales intruyen de igual manera a la Formación Piñón. La edad de 73 Ma para el intrusivo Pascuales fue interpretada como una edad de reseteo y que posiblemente sugiere un episodio de acreción. Para la Cordillera Occidental, el KDE de termocronología (Figura 9) representa dos picos de edades Ar-Ar en 84.9 y 78 Ma los cuales pertenecen a las Formaciones Pujilí y Río Cala, y en comparación con las edades obtenidas en U-Pb magmático, sugieren que son edades de cristalización. Las Formaciones Cayo, San Lorenzo y Las Orquídeas del Cretácico Superior del Bloque Piñón son correlacionables con el Grupo Río Cala (Formaciones Pilatón, Mulaute y Natividad) de la Cordillera Occidental (Vallejo et al., 2019).

Vallejo (2007) sugirió que la ausencia de actividad ígnea relacionada con la subducción a gran escala a lo largo del margen continental ecuatoriano desde aproximadamente 85 a 65 Ma puede indicar un cese de la subducción debajo del margen continental. Sin embargo, las edades obtenidas en los KDE de los circones detríticos y en los de termocronología tanto para la Cordillera Occidental como Costa (Figura 9 y Figura 10), sugieren una actividad volcánica sostenida durante este tiempo.

## **Post-acreción**

Para el dominio de post-acreción con respecto a U-Pb detrítico en la Costa (Figura 10) se tiene un pico de 60.2 Ma, mientras que, en la Cordillera Occidental (Figura 9), es de 56.0 Ma, los cuales representan las MDA de la Formación Azúcar y la Unidad Saquisilí respectivamente. Por lo tanto, los resultados de U-Pb detrítico-recopilados para este dominio de pre-acreción indican edades de 60 a 56 Ma; las cuales concuerdan con las edades determinadas por Vallejo (2007) para el arco volcánico Maastrichtiense-Paleoceno Tandapi de la Cordillera Occidental. Además, revisando la base de datos de este trabajo, se encontró picos de edad de más de 2 Ga tanto para la Formación Azúcar (Figura 8) como para la Unidad Saquisilí, por lo que sugiere que el material detrítico derivado de la Cordillera Real llegó a los bloques Piñón y Pallatanga durante el Paleoceno. El KDE de termocronología en la Costa (Figura 10) presenta un pico de 65 Ma; mientras que en la Cordillera Occidental (Figura 9) de 64.9 Ma, los cuales corresponden a una edad K-Ar de reseteo tectónico de la Formación Piñón y una edad Ar-Ar de cristalización (Vallejo, 2007) de la Unidad Pilatón respectivamente.

## **Arco Macuchi**

El arco Macuchi se formó cerca del continente sudamericano (Vallejo, 2007), el cual para algunos autores (p.e. Hughes y Pilatasig, 2002; Kerr et al., 2002) acrecionó con el margen continental durante el Eoceno, a lo largo de las fallas Chimbo-Toachi; mientras que Vallejo (2007) sugiere que no hubo acreción en ese período porque las turbiditas de la Formación Apagua se superponen de manera conforme a las rocas no deformadas de la Unidad Macuchi.

El KDE de cristalización magmática de la Cordillera Occidental (Figura 9) indican una edad de 42.1 Ma la cual representa la edad de cristalización de la Unidad Macuchi. El KDE de U-Pb detrítico en la Costa (Figura 10) presenta picos de 48.9 y 43.3 Ma; mientras que en la Cordillera Occidental (Figura 9) de 45.4 y 40.2 Ma; los cuales pertenecen a las edades de MDA del Grupo Ancón y de la Formación Apagua respectivamente. Luzieux et al., (2006) propuso que la entrada volcánica del Eoceno a las regiones costeras representaba la erosión del arco de San Lorenzo del Cretácico, sin embargo, las edades detríticas recopiladas para este dominio sugieren una fuente volcánica de 42 a 50 Ma, por lo que se le atribuye al arco submarino de Macuchi. Además, revisando la base de datos de este trabajo existen picos de edad Precámbrico (Figura 8) tanto en la Formación Apagua y en el Grupo Ancón. Por lo tanto, estos picos apoyan la idea de Vallejo et al., (2019) en que, durante el Eoceno, hubo una predominancia de abanicos submarinos en la región costera

y Cordillera Occidental, los cuales se originaron de un arco submarino emergente de la Cordillera Oriental y de Macuchi. El KDE de termocronología de la Costa (Figura 10) indica una edad K-Ar de 53.5 Ma que fue obtenida e interpretada por Goossens et al., (1973) como una edad de reseteo de la Formación Piñón. Para la Cordillera Occidental, el KDE de termocronología (Figura 9) presenta tres picos de 52.1, 48.3 y 34.6 Ma; de los cuales los dos primeros representan edades de K-Ar para la Unidad Macuchi, y el último una edad FT para la Formación Ocaña. La edad de 48.3 Ma sugiere ser considerada como edad de cristalización para la Unidad Macuchi debido a que presenta una gran similitud con la obtenida con U-Pb magmático para esta Unidad.

### **Arco Saraguro**

El arco volcánico Saraguro es la correlación del volcanismo del Oligoceno de la parte norte de la Cordillera Occidental con el arco San Juan de Lachas en el sur, el cual ocurrió en un ambiente continental (Vallejo, 2007). Steinmann (1997) sugirió que el vulcanismo del arco Saraguro comenzó durante el Oligoceno tardío, aproximadamente a 29.5 Ma.

En la Figura 10, se observa que en el dominio arco Saraguro, se tiene edades de U-Pb detrítico de 31.4 Ma para la Costa y de 25.1 Ma para la Cordillera Occidental (Figura 9). Estas edades representan las MDA de las Formaciones Zapotal y Silante respectivamente. En el KDE de termocronología de la Cordillera Occidental (Figura 9) se tiene un pico de 23.4 Ma obtenido por FT, el cual indica la edad de enfriamiento del Grupo Saraguro generalizado en el sur de la Cordillera Occidental. Schütte et al., (2012) indicó edades de mineralización Re-Os de 23.51 Ma para Cangrejos, y de 9.54 Ma para el Grupo Saraguro.

### **Arco Silante**

En el arco Silante, en el KDE de U-Pb magmático de la Cordillera Occidental (Figura 9) existe un pico de 10.3 Ma que representa la edad de cristalización de una cuarzodiorita que está intruyendo a la Formación Silante. Con respecto a las edades U-Pb detrítico, en la Costa (Figura 10) existen picos de 20.6, 14.2 y 10.0 Ma, los cuales pertenecen a las MDA de las Formaciones Progreso, Sube y Baja y Angostura respectivamente. En la Cordillera Occidental, las edades U-Pb detrítico (Figura 9) presenta picos de 16.6 y 10.9 Ma, los cuales son las MDA de la Formación Silante y del Grupo Zumbagua, mientras que en el KDE de termocronología hay picos de 20.2, 15.4 y 9.4 Ma, que representan las edades de enfriamiento de las Formaciones Jubones y Granitoides El Corazón obtenidos con FT, y la edad de cristalización de la Formación Quimsacocha por Ar-Ar.

## **Arco Mio-pliocénico**

Las edades de termocronología para el arco mio-pliocénico en la Cordillera Occidental (Figura 9) presenta un pico de 0.9 Ma, mientras que en la región costera (Figura 10) hay de 0.2 Ma, que representan las edades de enfriamiento de una roca volcanoclástica de la Mina de Buenos Aires obtenida por FT, y la Formación San Mateo por U-Th.

## **Intrusivos**

De todos los intrusivos de los que se han recopilado las edades radiométricas desde el Cretácico hasta el arco Mio-pliocénico (Tabla 7), la gran mayoría corresponde a edades K-Ar y son de los intrusivos: Las Guardias, Bilevan, Pascuales, Cachaco, Río Santiago, Río Baboso, Echeandía, Undushig, Cóndor Samana, Tandapi, Apuela, Maldonado, Selva Alegre, y SN (Sin nombre). Además, también se han realizado dataciones K-Ar en intrusivos en: Macuchi, el Grupo Zumbagua, y en las Formaciones Apuela, Apagua, Cisarán y Yunguilla. Mientras que solamente se han realizado cuatro dataciones en U-Pb magmático y corresponden a los intrusivos Redondo (98.4 Ma), Pascuales (95.9 Ma), Bajo Grande (90.0 Ma), y a una intrusión de la Formación Silante (10.3 Ma). Solo dos muestras se han realizado en FT y corresponden a edades de enfriamiento de los intrusivos Maldonado con 7.5 Ma y Selva Alegre con 9.6 Ma.

En la Tabla 8 se puede evidenciar que en el dominio Post-acreción y en el arco Mio-pliocénico no se obtienen edades de los intrusivos. En el arco cretácico, están los intrusivos Bilevan y Pascuales que han sido datados por K-Ar y arrojan edades de 78 y 73.3 Ma respectivamente. El intrusivo Pascuales presenta una edad U-Pb magmático de 95.9 Ma, por lo tanto, la edad de 73.3 Ma es de reseteo por actividad tectónica. En el dominio arco Macuchi, están presentes los intrusivos Cachaco, Río Baboso, e Intrusivo en Unidad Macuchi, los cuales arrojan edades K-Ar de 34.7, 40.8 y 38.6 Ma respectivamente. En el arco Saraguro, existen edades K-Ar para los intrusivos Cóndor Samana con 24.7 Ma, Echeandía con 25.7 Ma, Tandapi con 32.06 Ma, e Intrusivo en Gp. Zumbagua con 23.05 Ma. En el arco Silante, los intrusivos Apuela, Telimbela y SN presentan edades K-Ar de 16.05, 20 y 15.51 Ma; así como también para los intrusivos en las Formaciones Apagua, Apuela, Cisarán y Yunguilla con 22.05, 17.20, 7.15 y 10.08 Ma respectivamente. Finalmente, los intrusivos Undushig, Río Santiago y Las Guardias presentan edades que varían entre el arco Cretácico hasta el arco Silante, por lo tanto, pueden indicar edades de reseteo por actividad tectónica o exhumación.

**Tabla 8.** Intrusivos datados radiométricamente cuyas edades van desde el arco Cretácico al arco Mio-pliocénico.

DOMINIO	SISTEMA ISOTÓPICO		
	K-Ar	U-Pb magmatic	FT
ARCO CRETÁCICO	Bilevan	Redondo	
	Las Guardias	Pascuales	
	Pascuales	Bajo Grande	
POST-ACRECIÓN			
ARCO MACUCHI	Las Guardias		
	Cachaco		
	Río Santiago		
	Intrusivo en Macuchi		
	Río Baboso		
ARCO SARAGURO	Echeandía		
	Undushig		
	Cóndor Samana		
	Intrusivo en Fm. Apagua		
	Intrusivo en Gp. Zumbagua		
	Las Guardias		
	Tandapi		
ARCO SILANTE	Apuela	Intrusivo en Fm. Silante	Maldonado
	Intrusivo en Fm. Apagua		Selva Alegre
	Intrusivo en Fm. Apuela		
	Intrusivo en Fm. Cisarán		
	Intrusivo en Fm. Yunguilla		
	Intrusivo SN (Sin Nombre)		
	Las Guardias		
	Telimbela		
	Río Santiago		
	Undushig		
ARCO MIO-PLIOCÉNICO			

### 4.3 Conclusiones

1. El método más utilizado para la datación radiométrica de Grupos, Formaciones y Unidades tanto de la Costa como de la Cordillera Occidental ha sido el de K-Ar, y a partir del año 2000, se han implementado los otros métodos como son de U-Pb, Re-Os, U-Th, U-Th/He, K-Ar, y Ar-Ar. La zona NW de la región costera del Ecuador no presenta dataciones radiométricas, en las cuencas Borbón y Manabí solo existen datos paleontológicos.
2. La presencia de circones detríticos de edad Precámbrica tanto en la Cordillera Occidental, Costa, "Miocene River Sand Samples", y "Miocene offshore SW Ecuador", sostienen la idea de Vallejo et al., (2009) en que el arco submarino de Macuchi estuvo cerca de rocas del basamento más antiguas en la Cordillera Real de Ecuador.
3. El KDE de U-Pb magmático reporta edades de cristalización de 90.8, 86.4, 42.1, y 10.3 Ma para la Formación Pujilí, Formación San Juan, Unidad Macuchi, y para el intrusivo en la Formación Silante respectivamente en la Cordillera Occidental, mientras que, para la Costa, reporta edades de 98.4, 95.9 y 86.6 que pertenecen a los intrusivos Redondo, Pascuales y Dique Chivería respectivamente. Además, estos intrusivos junto con el de la Formación Silante son los únicos que se han datado por U-Pb, los restantes han sido en gran mayoría por K-Ar, y en menor cantidad por FT.
4. Los diagramas KDE de U-Pb detrítico, en la Cordillera Occidental reportan edades de MDA para la Unidad Saquisilí, Formación Apagua, Formación Silante y para el Grupo Saraguro de 56, 40.2, 16.6 y 10.2 Ma respectivamente. Mientras que, en la Costa, las MDA son de 60.2, 43.3, 31.3, 20.6, 14.2 y 10 Ma que corresponde a la Formación Azúcar, Grupo Ancón, Formación Zapotal, Formación Progreso, Formación Sube y Baja, y a la Formación Angostura respectivamente.
5. El KDE de termocronología de la Costa muestra un pico de edades K-Ar de 73 Ma para el intrusivo Pascuales, la cual es una edad de reseteo por actividad tectónica asociado a un evento de acreción que formó el basamento de la Costa y Cordillera Occidental a finales del Cretácico Superior.

#### 4.4 Recomendaciones

1. Se recomienda realizar mayor cantidad de dataciones en la zona NW de la región Costera del Ecuador debido a que solo existen dataciones paleontológicas y no se puede precisar o interpretar las edades de los distintos Grupos, Formaciones, Intrusivos y Unidades de la región costera del Ecuador.
2. Debido a que las cuencas de Guayllabamba, Latacunga, y de Riobamba carecen de datos geocronológicos, es necesario realizar dataciones radiométricas en las cuencas intra-montañas centro – norte de la Cordillera Occidental del Ecuador.
3. Se recomienda realizar dataciones radiométricas en U-Pb en los intrusivos tanto para la Costa como en la Cordillera Occidental para conocer las edades de cristalización porque las edades actuales son en K-Ar, las cuales pueden ser de reseteo o pueden estar modificadas por alteración.
4. Puesto a que las únicas edades de mineralización que se tiene hasta el momento son las realizadas por Schütte et al., (2012), se recomienda realizar dataciones en Re-Os para cooperar con la caracterización del cinturón metalogénico del Mioceno en Ecuador.
5. U-Pb en baddeleyita podría ser un método alternativo para datar nuevamente el basamento tanto de la Costa como Cordillera Occidental porque las edades de los intrusivos son más antiguas.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aizprua, C., Witt, C., Johansen, S. E., & Barba, D. (2019). Cenozoic stages of forearc evolution following the accretion of a sliver from the late cretaceous-Caribbean Large Igneous Province: SW Ecuador-NW Peru. *Tectonics*, 38(4), 1441-1465.
- Allègre, C. J. (2008). *Isotope Geology* (C. Sutcliffe, Trad.). Cambridge University Press.
- Almagor, E. S. (2019). Identificación y caracterización de las facies sedimentarias de la Formación Silante en las secciones Nono-Tandayapa y Calacalí-Nanegalito. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20270>.
- Andres F. Rodriguez-Corcho, Yamirka Rojas-Agramonte, Johana A. Barrera- Gonzalez, Maria P. Marroquin-Gomez, Sarah Bonilla-Correa, David Izquierdo-Camacho, Sofia M. Delgado-Balaguera, David Cartwright-Buitrago, Maria D. Muñoz-Granados, William G. Carantón-Mateus, Alejandro Corrales-García, Andrés F. Laverde-Martinez, Aura Cuervo-Gómez, Marco A. Rodriguez-Ruiz, Juan P. Marin-Jaramillo, Nicole Salazar-Cuellar, Laura C. Esquivel-Arenales, Maria E. Daroca, A. Sofía Carvajal, Ana M. Perea-Pescador, Juan D. Solano-Acosta, Sergio Diaz, Alejandro Guillen, German Bayona, Agustín Cardona-Molina, Bruce Eglinton & Camilo Montes (2022) The Colombian geochronological database (CGD), *International Geology Review*, 64:12, 1635-1669, DOI: 10.1080/00206814.2021.1954556.
- Aspden, J.A., Litherland, M., 1992. The geology and mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Andean Geodynamics*. Oliver, R.A. et al. (Editors). *Tectonophysics* 205, 187–204.
- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Jaillard, E., Mothes, P., Jarrín, P., ... & Cisneros, D. (2016). Partitioning of oblique convergence in the Northern Andes subduction zone: Migration history and the present-day boundary of the North Andean Sliver in Ecuador. *Tectonics*, 35(5), 1048-1065.
- Benítez, S. (1995). Evolución geodinámica de la provincia sur-equatoriana en el Cretáceo superior-Terciario (Disertación Doctoral, Laboratorio de Geología, Universidad Joseph Fourier de Grenoble. Francia.
- Bristow, C. R., & Hoffstetter, R. (1977). *Lexique Stratigraphique International*; Ecuador. (2nd ed).

- Chew, D. M., Pedemonte, G., & Corbett, E. (2016). Proto-Andean evolution of the Eastern cordillera of Peru. *Gondwana Research: International Geoscience Journal*, 35, 59–78. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.03.016>.
- Chiaradia, M., 2009. Adakite-like magmas from fractional crystallization and melting-assimilation of mafic lower crust (Eocene Macuchi arc, Western Cordillera, Ecuador). *Chem. Geol.* 265, 468–487.
- Díaz, M. Y. (2022). Sedimentología, Estratigrafía y Proveniencia de la Formación Rumi Cruz de la Cordillera Occidental del Ecuador.
- Dunkley, P., Gaibor, A., 1997. Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 2° -3°S. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartografica y Geologica, Informe 2. CODIGEM–BGS, Quito, Ecuador, p. 139.
- Duque, P. (2000). *Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador*.
- Goossens, P. & Rose Jr, W. (1973). Chemical composition and age determination of tholeiitic rocks in the basic igneous complex, Ecuador. *Geological Society of America Bulletin*, 84(3), 1043-1052.
- Gutscher, M. A., Malavieille, J., Lallemand, S., & Collot, J. Y. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Science Letters*, 168(3-4), 255-270.
- Hughes R., & Bermudez R. 1997. Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 0°00' and 1° 00'S. Proyecto de desarrollo minero y control ambiental, programa de información cartográfica y geológica. Report Number 4. CODIGEM British Geological Survey, Quito, Ecuador, 75 pp.
- Hughes, R. A., & Bermúdez, R. (1997). Geology of the Western Cordillera between 0°00' and 1°00'S (N.o 4; Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información cartográfica y Geológica, p. 75). CODIGEM-BGS.
- Hughes, R., & Pilatasig, L. (2002). Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador. *Tectonophysics*, 345(1-4), 29-48.
- Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Peter son, D.E., Helg, U., and Hammer, C., 2002, Neogene Andean geodynam ics of southern Ecuador: *Earth-Science Reviews*, v. 57, p. 75–124, doi: 10.1016/S0012-8252(01)00071-X.

- Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero y Metalúrgico (INIGEMM). (2016). *Estandarización de Abreviación, Simbolización y Formato de Base de Datos para Cartograficado Geológico. Versión 1.2.*
- Jackson, L.J., Horton, B.K., and Vallejo, C. (2019). Detrital zircon U-Pb geochronology of modern Andean rivers in Ecuador: Fingerprinting tectonic provinces and assessing downstream propagation of provenance signals: *Geosphere*, v. 15.
- Jaillard, E., Ordoñez, M., Benitez, S., Berrones, G., Jiménez, N., Montenegro, G., & Zambrano, I. (1995). Basin development in an accretionary, oceanic-floored fore-arc setting: southern coastal Ecuador during late Cretaceous-late Eocene time.
- Jaillard, E., Benitez, S., Mascle, G.H., (1997). Les déformations paléogènes de la zoned'avant-arc sud-équatorienne en relation avec l'évolution géodynamique. *Bull. Soc.Géol., France* 168 (4), 403–412.
- Jaillard, E., Ordoñez, M., Suarez, J., Toro, J., Iza, D., Lugo, W., 2004. Stratigraphy of the Late Cretaceous Paleogene deposits of the cordillera occidental of Central Ecuador: geodynamic implications. *J. S. Am. Earth Sci.* 17, 49–58.
- Keller, G., Adatte, T., Hollis, C.J., Ordonez, M., Zambrano, I., Jimenez, N., Stinnesbaeck, W., Aleman, A., Hale, E., 1997. The cretaceous/tertiary boundary event in Ecuador; reduced biotic effects due to eastern boundary current setting. *Mar. Micropaleontol.* 31, 97–133.
- Kennerly, J. (1980)- Outline of the geology of Ecuador., *Overseas Geol. Miner. Resour., Inst. Geol. Sci., London*,55, 17 p.
- Kerr, A., Aspden, J., Tarney, J., & Pilatasig, L. (2002). The nature and provenance of accreted oceanic terranes in western Ecuador: geochemical and tectonic constraints. *Journal of the Geological Society*, 159(5), 577-594.
- Lapierre, H., Bosch, D., Dupuis, V., Polvé, M., Maury, R. C., Hernandez, J., Monié, P., Yeghicheyan, D., Jaillard, E., Tardy, M., De Lépinay, B., Mamberti, M., Desmet, A., Keller, F., & Sénebier, F. (2000). Multiple plume events in the genesis of the peri-Caribbean Cretaceous oceanic plateau province. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B4), 8403-8421. DOI: <https://doi.org/10.1029/1998JB900091>.
- Lebras, M., Megard, F., Dupuy, C., Dostal, J., 1987. Geochemistry and tectonic setting of pre-collision Cretaceous and Paleogene volcanic rocks of Ecuador. *Geol. Soc. Am. Bull.* 99, 569–578.

- Luzieux, L., Heller, F., Spikings, R., Vallejo, C., Winkler, W.. (2006). 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 - EARTH PLANET SCI LETT.* 249. 400-414. 10.1016/j.epsl.2006.07.008.
- Macías Mosquera, K. S. (2018). *Geoquímica de los Plutones de Pascuales y de Bajo Grande (Cantón Jipijapa): dataciones U-Pb en Zircones e implicaciones geodinámicas.* Universidad de Guayaquil.
- Mamberti, M., Lapierre, H., Bosch, D., Jaillard, E., Ethien, R., Hernandez, J., & Polvé, M. (2003). Accreted fragments of the Late Cretaceous Caribbean–Colombian Plateau in Ecuador. *Lithos*, 66(3-4), 173-199.
- McCourt, W.J., Duque, P., Pilatasig, L.F., 1997. Geology of the Western Cordillera of Ecuador between 1–2°S, Proyecto de Desarrollo Minero y Contro Ambiental, Programa de Informacion Cartografica y Geologica, Informe 3. CODIGEM–British Geological Survey, Quito, Ecuador, p. 150.
- Nocquet, J.-M., Villegas-Lanza, J. C., Chlieh, M., Mothes, P. A., Rolandone, F., Jarrin, P., Cisneros, D., Alvarado, A., Audin, L., Bondoux, F., Martin, X., Font, Y., Régnier, M., Vallée, M., Tran, T., Beauval, C., Maguiña Mendoza, J. M., Martinez, W., Tavera, H., & Yepes, H. (2014). Motion of continental slivers and creeping subduction in the northern Andes. *Nature Geoscience*, 7(4), 287-291. <https://doi.org/10.1038/ngeo2099>
- Pennington, W. D. (1981). Subduction of the Eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 86(B11), 10753-10770. <https://doi.org/10.1029/JB086iB11p10753>.
- Pepper, M., Gehrels, G., Pullen, A., Ibanez-Mejia, M., Ward, K.M., and Kapp, P. (2016). Magmatic history and crustal genesis of western South America: Constraints from U-Pb ages and Hf isotopes of detrital zircons in modern rivers: *Geosphere*, v. 12, no. 5, p. 1532–1555.
- Pratt, W., Figueroa, J., Flores, B., 1997. Geology of the Western Cordillera of Ecuador between 3–4° S, Proyecto de Desarrollo Minero y Contro Ambiental, Programa de Informacion Cartografica y Geologica, Informe 1. CODIGEM–British Geological Survey, Quito, Ecuador, p. 96.
- Reynaud, C., Jaillard, É., Lapierre, H., Mamberti, M., & Mascle, G. H. (1999). Oceanic plateau and island arcs of southwestern Ecuador: their place in the geodynamic

- evolution of northwestern South America. *Tectonophysics*, 307(3-4), 235–254. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00099-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00099-2).
- Schütte, P., Chiaradia, M., Barra, F. et al. Metallogenic features of Miocene porphyry Cu and porphyry-related mineral deposits in Ecuador revealed by Re-Os, <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar, and U-Pb geochronology. *Miner Deposita* 47, 383–410 (2012). <https://doi.org/10.1007/s00126-011-0378-z>
- Seyler, M., Witt, C., Omaña, B., Durand, C., Chiaradia, M., Villagómez, D., & Poujol, M. (2021). Late Cretaceous felsic intrusions in oceanic plateau basalts in SW Ecuador: Markers of subduction initiation? *Journal of South American Earth Sciences*. 110. 103348. [10.1016/j.jsames.2021.103348](https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103348).
- Spikings, R.A., Winkler, W., Seward, D., Handler, R., 2001. Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth Planet. Sci. Lett.* 186, 57–73.
- Steinmann, M. 1997. The Cuenca basin of southern Ecuador: tectono-sedimentary history and the Tertiary Andean evolution. Ph.D. dissertation, Institute of Geology, ETH Zurich, Switzerland
- Vallejo Cruz, C. (2007). Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late Cretaceous-Paleogene) (Doctoral dissertation, ETH Zurich).
- Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R., & Luzieux, L. (2009). Evolución geodinámica de la cordillera Occidental (Cretácico tardío-Paleógeno).
- Vallejo, C., Soria, F., Tornos, F., Naranjo, G., Rosero, B., Salazar, F., & Cochrane, R. (2016). Geology of El Domo deposit in central Ecuador: A VMS formed on top of an accreted margin. *Mineralium Deposita*, 51(3), 389-409. <https://doi.org/10.1007/s00126-015-0616-x>
- Vallejo, C., Spikings, R. A., Horton, B. K., Luzieux, L., Romero, C., Winkler, W., & Thomsen, T. B. (2019). 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. *En Andean Tectonics* (pp. 209-236). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816009-1.00010-1>
- Vallejo, C., Almagor, S., Romero, C., Herrera, J. L., Escobar, V., Spikings, R. A., Winkler, W., & Vermeesch, P. (2020). Sedimentology, Provenance and Radiometric Dating

- of the Silante Formation: Implications for the Cenozoic Evolution of the Western Andes of Ecuador. *Minerals*, 10(10), 929. <https://doi.org/10.3390/min10100929>
- Van Thournout, F., Hertogen, J., & Quevedo, L. (1992). Allochthonous terranes in northwestern Ecuador. *Tectonophysics*, 205(1-3), 205-221.
- Vermeesch, P. (2021). Maximum depositional age estimation revisited. *Geoscience Frontiers*, 12(2), 843–850. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.08.008>.
- Whattam, S.A., Stern, R.J., 2015. Late Cretaceous plume-induced subduction initiation along the southern margin of the Caribbean and NW South America: the first documented example with implications for the onset of plate tectonics. *Gondwana Res.* 27, 38–63.
- White, W. M. (2003). *Geochemistry* (2a ed.). Wiley-Blackwell.
- Witt, C., Rivadeneira, M., Poujol, D., Beida, D., Beseme, G., Montenegro, G., 2016. Tracking ancient magmatism and Cenozoic topographic growth within the Northern Andes forearc: constraints from detrital U-Pb zircon ages. *Geol. Soc. Am. Bull.* 129, 415–428.

## 6 ANEXOS

### 6.1 ANEXO I

CANTIDAD TOTAL DE MUESTRAS DATADAS POR UNIDAD							
Ancón Gp.	10	Gabby Papa Grande	2	Macuchi Unit	11	San Juan Lachas	4
Angamarca Gp.	2	Gomez Pluton	1	Maldonado Intrusive	5	Sacapalca Fm.	1
Angostura Fm.	6	Gonzanamá Fm.	2	Manu	1	Sanguangal Fm.	2
Apagua Fm.	5	Guadalupe	3	Marcabelli Intrusive	0	San Fernando	2
Apuela Intrusive	4	Guayaquil Mb.	1	Mulaute Unit	1	San Mateo Fm.	1
Azúcar Fm.	8	Intrusion in Apagua Fm.	2	Not defined	13	Santa Isabel Fm.	7
Bajo Grande Intrusive	1	Intrusion on Apuela	3	Ocaña Fm.	2	Saquisilí Unit	1
Balsapamba Granitoid	3	Intrusive on Cisarán	1	Onzole Fm.	2	Saraguro Gp.	12
Bilevan Intrusive	1	Intrusive on Macuchi	1	Paccha	1	Selva Alegre Intrusive	1
Burrohuayco Fm.	2	Intrusive on Yunguilla	1	Pascuales Intrusive	2	Silante Fm.	9
Cachaco Intrusive	2	Intrusive on Zumbahua	1	Pilatón Unit	4	Soldados Fm.	1
Cangrejos	1	Intrusive SN	4	Piñón Fm.	9	Sube y Baja Fm.	6
Cayo Fm.	1	Jaramillo Terrace	1	Pisayambo Fm.	2	Tandapi Intrusive	1
Cerro Cauca Fm.	2	Juan Velasco Porphyry	1	Plancharumi	1	Telimbela Intrusive	7
Chazo Juan Telimbela	6	Jubones Fm.	5	Progreso Fm.	4	Tomebamba Unit	1
Chivería Dique	1	Junín	2	Pujili Fm.	6	Totoras Fm.	1
Cisarán Fm.	3	L.M. Buenos Aires	2	Quimsacocha Fm.	1	Undushig Intrusive	5
Cóndor Samana Intrusive	1	La Junta Dique	1	Redondo Intrusive	1	Villingota Fm.	1
Dos Bocas Mb.	3	La Merced	1	Río Baboso Intrusive	5	Yunguilla Fm.	2
Echeandía Intrusive	6	La Paz Fm.	1	Río Cala Fm.	2	Zapotal Fm.	6
El Corazon Granitoid	13	Las Guardias Intrusive	7	Río Santiago Intrusive	8	Zaruma Gp.	1
Gabro near Lita	1	San Juan Fm.	1	Rumi Cruz Fm.	2	Zumbahua Gp.	2
TOTAL							283