

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE GEOLOGÍA**



**TESIS:**

**Geocronología U-Pb de Zirrones Detríticos del  
Grupo Yura en Tacna**

Para optar el Título Profesional de:

**Ingeniero Geólogo**

**Autor: Bach. Angel Carlos SALAS COLCA**

**Asesor: Dr. Favio MENA OSORIO**

**Cerro de Pasco, Perú – 2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE GEOLOGÍA**



**TESIS:**

**Geocronología U-Pb de Zirrones Detríticos del  
Grupo Yura en Tacna**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Msc. Saturnino FLORES COAGUILA  
Presidente del Jurado

Mg. Eder Guido ROBLES MORALES  
Miembro del Jurado

Mg. Javier LÓPEZ ALVARADO  
Miembro del Jurado

Esta tesis es dedicada a mis seres queridos que se encuentran lejos y en especial a mi madre y a mi hermana.

“En la ciencia hemos de interesarnos por las cosas, no por las personas”

**Marie Curie**

## **RECONOCIMIENTOS**

La elaboración de esta tesis se realizó gracias al proyecto GR41A “Registro de variaciones climáticas en los sedimentos durante el Mesozoico y Cenozoico del Sur de Perú” realizada en el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) con el apoyo del FONDECYT, el cual tuvo como responsable al Dr. Aldo Alván, que es también el asesor del presente trabajo y Coordinador General del Convenio 216-2015 entre INGEMMET y FONDECYT (CIENCIACTIVA, Perú).

También agradezco al Ing. Elvis Sánchez e Inés Trinidad por su apoyo, y a mis compañeros del proyecto: Edid Iquiapaza, Iván Becerra, Yacory Bustamante y Katerin Ramirez.

Finalmente agradezco a todas aquellas personas, que de algún modo contribuyeron con el presente estudio.



## RESUMEN

La presente tesis titulada: “Geocronología U-Pb en zircones detríticos del Grupo Yura en Tacna” está enfocada en reconstruir el marco geodinámico de depositación de las areniscas del Grupo Yura en el departamento de Tacna, y en modo general de la cuenca Arequipa-Tarapacá, por tanto se elabora un modelo paleogeográfico del jurásico-cretácico inferior de la cuenca Arequipa, que abarco desde el sur peruano, norte de Chile y la parte noroccidental de Argentina. El método empleado es la geocronología U-Pb en los zircones detríticos (*detrital zircon*) del Grupo Yura, que tiene por finalidad descifrar la procedencia sedimentaria, relacionado a diversas fuentes generadoras de zircon (principalmente arcos magmáticos), adicionalmente se estudia: la morfología externa de los zircones, por medio de la observación petrográfica; y la estructura interna de los zircones [OZP], mediante imágenes de catodoluminiscencia. Se estudiaron un total de doce (12) muestras las cuales pasaron por un procedimiento que consiste en la separación granulométrica, gravimétrica, magnética y finalmente la selección a mano de zircones (entre 80 y 100 granos) con ayuda del microscopio estereoscópico. Tres (3) muestras fueron colectadas en los alrededores del cerro Challatita, ocho (8) en el cerro Chachacumane, y dos (2) en la quebrada Ataspa.

Los análisis U-Pb, la morfología y las estructuras internas de los zircones de la Formación Cachíos, Formación Labra y Formación Hualhuani, presentan muchas similitudes, por lo cual todos los resultados son interpretados del mismo modo. La principal forma que tienen los zircones es redondeada, esto indica una fuente de rocas metamórficas y/o rocas sedimentarias con alto grado de madurez, en menor cantidad se encuentran zircones con hábito prismático a piramidal; la estructura interna de estos cristales revela que la mayoría son redondeados y poseen los patrones de zoneamiento oscilatorio [OZP] propios de un crecimiento en un ambiente magmático, la otra parte de los zircones posee núcleos heredados o xenocrísticos y bordes fenocrísticos, los cuales representan crecimiento en el ambiente metamórfico. Los resultados de geocronología U-Pb presentan una moda (~80%) entre 500 a 700 Ma, la cual está relacionada a la orogenia Pampeana, el segundo mayor grupo de edades esta entre 900 y 1200 Ma, y las rocas parentales son el Macizo Arequipa y la faja orogénica Sunsas-Grenville, en cantidades menores se obtuvieron edades de 200 a 300 Ma (rift Mitu), proveniente de la Cordillera Oriental, y las edades >1200 Ma representan el reciclaje sedimentario del Cratón Amazónico y/o la edad del protolito del Macizo Arequipa (~1.9 Ga). El amplio espectro de edades entre 500 – 700 Ma del presente estudio y anteriores, solo pueden ser originado en un arco magmático, en este caso la Orogenia Pampeana, el cual represento el principal rasgo topográfico positivo, localizado en el margen oriental de la cuenca Arequipa, y la ausencia de edades andinas (< 200 Ma) señalan la ausencia del vulcanismo durante la depositación del Grupo Yura, es decir, el arco volcánico se encontraba inactivo, probablemente ocasionado por subducción “flat-slab”.

**Palabras clave:** geocronología U-Pb, zircones detríticos, cuenca Arequipa, Grupo Yura, cuenca Mesozoica, procedencia sedimentaria, geología andina

## ABSTRACT

The present study titled “U-Pb Geochronology in Detrital Zircon of Yura Group at Tacna” is focused in building of the geodynamic setting of deposition of sandstones of Yura Group at Tacna, and a major scale of the Arequipa – Tarapacá Basin, therefore a palaeogeographic model of Jurassic-lower cretaceous of Arequipa basin is elaborated, this one included southern Peru, northern Chile and possibly northeastern Argentina. The methodology used is detrital zircon U-Pb geochronology, its purpose is unravel the sedimentary provenance related to several sources of zircon (mainly magmatic arcs), furthermore the outer morphology of zircons is studied by petrographic observation; and internal morphology of zircons [OZP] by cathodoluminescence imaging. Twelve (12) samples were studied, they passed through granulometric, gravimetric, magnetic separation and hand picking (between 80 and 100 grains) with stereomicroscope. Three (3) samples were collected around cerro Challatita, eight (8) at cerro Chachacumane, and two (2) at quebrada Ataspaca.

U-Pb analysis, morphology, and internal structures of zircon from Cachíos Formation, Labra Formation and Hualhuani Formation, all of them exhibit many similarities, so they were interpreted in the same way. The mostly morphology of zircon is rounded, it points a source from metamorphic rocks and/or highly mature sedimentary rocks, and the minority of them have prismatic and pyramidal habits, the internal structures of this crystals reveal that they are rounded and have zoning pattern oscillatory [OZP] belonging of a magmatic environment, the other part have an inherited or xenocristic core and a fenocristic rim, which represent a metamorphic environment. The results of U-Pb geochronology have a mode (~80%) between 500 to 700 Ma, this one is related to Pampean Orogeny, and the second group of ages are between 900 to 1200 Ma, and the parental rocks are the Arequipa Massif and Susnsas-Grenville belt, in smaller quantities there are ages between 200 to 300 Ma (Mitu rift) coming from Cordillera Oriental and the ages >1200 Ma represent sedimentary recycling of Amazonian Craton and/or Arequipa Massif protolith (~1.9 Ga). The broad spectrum of ages between 500 to 700 Ma in this study and others, it is only possible that they were derived from a fossil magmatic arc, in this case the Pampean Orogeny, which was the mainly positive feature in the landscape, located in the east, and the lack of andean ages (< 200 Ma) points out an absence volcanism during Jurassic and lower Cretaceous, so the volcanic arc was inactive during deposition of Yura Group, probably because of flat slab subduction.

**Key words:** U-Pb geochronology, detrital zircon, Arequipa basin, Yura Group, Mesozoic basin, sedimentary provenance, Andean geology

## RESUMO

A presente tesis intitulada “Geocronología U-Pb em zircões detríticos do Grupo Yura em Tacna” esta focada em reconstruir o quadro geodinâmico de depósito dos arenitos do Grupo Yura em Tacna, e no modo geral da bacia Arequipa – Tarapacá, portanto é feito um modelo paleogeográfico do jurássico e cretáceo inferior da bacia Arequipa, que cobria o sul do Peru, o norte do Chile e o nordeste da Argentina. O método usado é a Geocronología U-Pb em zircões detríticos (*detrital zircón*) do Grupo Yura, que tem como objetivo decifrar a procedencia sedimentar, relacionado a diferentes fontes geradoras dos zircões (principalmente os arcos magmáticos), adicionalmente é estudado: a morfología externa dos zircões através da observação petrográfica; e a estrutura interna dos zircões por meio de imagens de catodoluminescência. Doze (12) amostras foram estudadas, elas passaram por um procedimento que consiste na separação granulométrica, gravimétrica, magnética e finalmente a seleção à mão dos zircões (entre 80 y 100 grãos) com ajuda do estereoscópio. Três (3) amostras foram coletadas nas proximidades do cerro Challatita, oito (8) no cerro Chachacumane e duas (2) amostras na quebrada Ataspaca.

As análises U-Pb, a morfología e as estruturas internas dos zircões da Formación Cachíos, Formación Labra e Formación Hualhuani, apresentam muitas semelhanças, pelo qual os resultados são interpretados da mesma maneira. A principal forma que os zircões têm eles é arredondado, isso indica uma fonte de rochas metamórficas e/ou rochas sedimentares muito maduras, em menos quantidades se encontram zircões com hábito prismático e piramidal; a estrutura interna destes cristais revela que a maioria são arredondados e têm padrões de zoneamento oscilatório [OZP] pertencente a um ambiente magmático, a outra parte têm núcleos herdados xenocrísticos e bordas fenocrísticos, os quais representam o crescimento em um ambiente metamórfico. Os resultados da geocronología U-Pb representam uma moda (~80%) entre 500 a 700 Ma, a qual está relacionada a Orogénese Pampeana, o segundo maior grupo de idades está entre 900 a 1200 Ma, e as rochas parentais são o Macizo Arequipa e a faixa orogénica Sunsas-Grenville, em quantidades menores foram obtidas idades entre 200 a 300 Ma (rift Mitu), vindo da Cordillera Oriental, e as idades >1200 Ma representam o reciclagem sedimentar do Cráton Amazônico e/ou a idade do protolito do Macizo Arequipa (~1.9 Ga). O amplo espectro de idades entre 500 – 700 Ma obtido neste estudo e estudos anteriores, só é possível que foram de um arco magmático, neste caso da Orogénese Pampeana, a qual representou o principal característica topográfica positiva, localizado na margem leste da bacia Arequipa e a ausência de idades andinas (< 200 Ma) apontam a ausência do vulcanismo durante o depósito do Grupo Yura, quer dizer, o Arco vulcânico estava inativo, provavelmente causada por *flat-slab* subducção.

**Palavras chaves:** geocronología U-Pb, zircões detríticos, bacia Arequipa, Grupo Yura, bacia Mesozoica, procedencia sedimentar, geología andina

## INTRODUCCIÓN

La ruptura del supercontinente Pangea sucedió a finales del Triásico e inicios del Jurásico, este evento dio lugar a la formación de dos grandes masas continentales: Laurasia, al norte, y Gondwana al sur (Benedetto, 2019). En el margen occidental de Gondwana se encontraba el proto-continente de América del Sur, por ende los proto-territorios del Perú y Chile, donde se abrió la cuenca Arequipa – Tarapacá durante el Jurásico inferior en este lado del continente (Vicente, 2006), lo que actualmente se conoce como los Andes Centrales.

La cuenca sedimentaria Arequipa-Tarapacá abarcó gran parte del sur peruano, el norte de Chile y la parte noroccidental de Argentina, esta paleocuenca estuvo activa durante el Mesozoico (Triásico superior – Cretácico inferior) y fue originada por un proceso de adelgazamiento litosférico (Sempere et al., 2002) a causa de la subducción. El relleno de la cuenca inicio con el emplazamiento de rocas volcánicas de la Formación Chocolate, posteriormente se formó un ambiente de plataforma carbonatada, en un mar epírico, el cual origino la Formación Pelado y Socosani, el cual pasa gradualmente a un ambiente detrítico, de este modo inicia la depositación del Grupo Yura, el cual comprende esencialmente de intercalaciones entre areniscas y lutitas, (Wilson y García, 1992; Acosta et al., 2011), y con una etapa carbonata bastante restringida a consecuencia de un ambiente tipo Lagoon (Salinas, 1985).

La Orogénesis Andina tuvo lugar durante el relleno en la cuenca Arequipa, la cual es representada por pasar de un ambiente marino a un ambiente continental (inversión de cuenca) la cual es representada por la Formación Labra (Vicente, 1982). A pesar de que el inicio de la Orogénesis Andina se caracteriza por una intensa actividad volcánica en gran parte del margen occidental de Sudamérica, en la zona de estudio (Tacna) no existe evidencia de tal vulcanismo en el Jurásico medio el registro estratigráfico.

Estudios anteriores sobre el Grupo Yura estuvieron enfocados en: la datación relativa mediante fósiles y ambientes sedimentarios, análisis de estructuras de sedimentarias (Alván., et al. 2018), y finalmente los estudios de procedencia sedimentaria los cuales utilizaron técnicas de: minerales pesados (Trinidad et al., 2016), geoquímica de roca total (Iquiapaza et al., 2016), conteo de granos QFL. Otros estudios de procedencia de unidades litoestratigráficas del Cenozoico implican el estudio del Grupo Yura como una de las rocas fuente, es decir, que aportó sedimentos a cuencas cenozoicas, sin ser este grupo el objetivo de tales estudios (Decou et al., 2013; Sundell et al., 2018).

El principal problema a resolver es dilucidar la geodinámica de la cuenca Arequipa en Tacna (zona de estudio), y también proyectar los resultados a otras zonas de la cuenca. Para comprender la evolución de la cuenca Arequipa (Perú) y en específico la del Grupo Yura en el Sur del Perú (Oxfordiano – Berriasiano), se estudia la procedencia sedimentaria de esta unidad en el departamento de Tacna, es decir, se investiga: la naturaleza y localización de los sedimentos desde la roca fuente hasta la cuenca

sedimentaria, y los factores que han influenciado la composición de la roca sedimentaria detrítica.

La presente tesis aplica la geocronología U-Pb a los zircones (*detrital zircon*) en las areniscas del Grupo Yura con la finalidad de comprender con alta precisión los eventos ocurridos en la cuenca ya que la edad de cada grano nos indica un origen y un posible evento orogénico (Fedo et al., 2003). Para ello fue necesario realizar una compilación de datos de geocronología realizados en el Grupo Yura en otras localidades, del mismo modo de otras unidades mesozoicas sincrónicas; y también la actividad de arcos magmáticos fósiles pre-Mesozoicos del Perú y Sudamérica.

## ÍNDICE

RECONOCIMIENTOS .....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
RESUMO .....	vi
INTRODUCCIÓN.....	vii
ÍNDICE.....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS .....	xii
LISTA DE MAPAS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS .....	xiv
LISTA DE TABLAS .....	xvii

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y Determinación del Problema.....	18
1.2. Formulación del Problema .....	18
1.2.1. Problema General.....	18
1.2.2. Problemas Específicos .....	18
1.3. Formulación de Objetivos .....	18
1.3.1. Objetivo General .....	18
1.3.2. Objetivos Específicos.....	19
1.4. Justificación de la Investigación.....	19
1.5. Importancia y Alcances de la Investigación.....	19
1.6. Limitaciones de la investigación .....	19
1.7. Generalidades .....	20
1.7.1. Ubicación .....	20
1.7.2. Accesibilidad.....	20

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes .....	22
2.2. Bases Teórico Científicas .....	26
2.2.1. Isotopos, Desintegración y Datación Radioactiva .....	26
2.2.2. Geocronología U-Pb .....	28
2.2.2.1. Isocronas U-Pb.....	28
2.2.2.2. Método Zircón U-Pb .....	29

2.2.2.3. Técnicas Analíticas de Datación .....	34
2.2.3.Zircón: Características, Morfología .....	37
2.2.4.Geocronología U-Pb de Zirrones Detríticos .....	39
2.2.4.1. Diagramas de Representación.....	41
2.3. Marco Geológico .....	43
2.3.1.Cuenca Arequipa - Tarapacá.....	43
2.3.2.Estratigrafía.....	45
2.3.2.1. Macizo Arequipa.....	45
2.3.2.2. Grupo Yamayo.....	48
2.3.2.3. Formación Chocolate .....	49
2.3.2.4. Formación Pelado .....	50
2.3.2.5. Formación Socosani.....	50
2.3.2.6. Grupo Yura .....	51
2.3.3.Rocas Intrusivas .....	56
2.3.3.1. Complejo Plutónico Mal Paso .....	56
2.3.4.Arcos Volcánicos .....	57
2.4. Definición de Términos.....	57
2.5. Hipótesis.....	60
2.5.1.Hipótesis General.....	60
2.5.2.Hipótesis Específicas .....	60
2.6. Identificación de las Variables .....	60

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1. Tipo de Investigación .....	61
3.2. Diseño de la Investigación .....	62
3.3 Población - Muestra.....	62
3.3.1 Población.....	62
3.3.2 Muestra .....	62
3.4 Método de la Investigación .....	62
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	63
3.6. Técnicas de Procesamiento .....	66
3.6.1.Preparación Mecánica de Muestras .....	67
3.6.2.Separación Gravimétrica.....	70
3.6.3.Separación de Zirrones .....	76
3.6.4.Datación Radiométrica U-Pb .....	80
3.7. Análisis de Datos.....	80
3.8. Tratamiento Estadístico de Datos.....	80

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Presentación de Resultados .....	81
4.1.1. Morfología de los Zircones .....	81
4.1.2. Catodoluminiscencia de los zircones .....	83
4.1.3. Geocronología U-Pb .....	85
4.1.3.1. Resultados - Subzona A .....	86
4.1.3.2. Resultados - Subzona B .....	86
4.2. Discusión .....	91
4.2.1. Procedencia Sedimentaria .....	93
4.2.1.1. Edad Rift Mitú .....	93
4.2.1.2. Edad Pampeana .....	93
4.2.1.3. Edad Sunsas – Grenville .....	93
4.2.1.4. Edad Famatiniana .....	95
4.2.1.5. Edades del Cratón de Amazonia .....	96
4.2.2. Orogenia Pampeana .....	97
4.2.3. Marco Geodinámico de la cuenca Arequipa .....	100
CONCLUSIONES .....	105
RECOMENDACIONES .....	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	107
APÉNDICES .....	116



## LISTA DE SÍMBOLOS

**CL:** Catodoluminiscencia

**ID-TIMS:** Dilución Isotópica y Espectrometría de Masas por Termoionización

**LA-ICP-MS:** Ablación Laser Acoplado a un Espectrómetro de Masas con Fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo

**SIMS:** Espectrometría de Masas de Iones Secundarios

**KDE:** Estimador de Densidad Kernel

**PDP:** Plot de la Densidad de Probabilidad

**RRE:** Elementos de tierras raras

**zrn:** Zircón

**PPL:** Luz Polarizada Plana

**ka:** Miles de años

**Ma:** Millón de años

**Ga:** Billón de años

**×100:** Cien aumentos

**n:** número de minerales

**η:** índice de refracción

**Pb<sup>c</sup>:** plomo común

**δ<sup>18</sup>O:** relación de los isotopos estables de oxígeno

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1.1.- Mapa de Ubicación y Accesibilidad .....	21
Mapa 2.1.- Mapa Geológico de la Zona de Estudio .....	46
Mapa 3.1.- Mapa de Ubicación de las Muestras.....	65
Mapa 4.1.- Mapa Geológico de la Subzona A.....	87
Mapa 4.2.- Mapa Geológico de la Subzona B .....	89

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.- Cadena de desintegración radioactiva de los isotopos de U y Th.....	30
Figura 2.2.- Geocronómetros y Termocronómetros. ....	31
Figura 2.3.- Apariencia de núcleos xenocrísticos en zircón .....	33
Figura 2.4.- Flujograma de las técnicas analíticas de datación U-Pb en zircón. ....	34
Figura 2.5.- Ejemplo del volumen analizado en zircón por las técnicas de Microhaces. ....	35
Figura 2.6.- Representación esquemática de la datación radiométrica U-Pb por la técnica LA-ICP-MS. ....	36
Figura 2.7.- Zircón analizado por LA-ICP-MS.. ....	37
Figura 2.8.- Clasificación tipológica del zircón en la escala geotermométrica y química. Propuesto por Pupin (1980). ....	38
Figura 2.9.- Potenciales caminos de transporte del zircón. ....	40
Figura 2.10.- Diagrama de Concordia. ....	42
Figura 2.11.- Diagrama: Estimación de Densidad Kernel [KDE]. ....	43
Figura 2.12.- La Cuenca Arequipa y sus límites en el sur del Perú. ....	44
Figura 2.13.- Columna estratigráfica generalizada de la zona de estudio. ....	47
Figura 2.14.- Afloramiento del Grupo Yura en el Cerro Chachacumane (Tacna). ....	52
Figura 2.15.- Afloramiento de la Formación Cachíos en el Cerro Chachacumane. ....	53
Figura 2.16.- Afloramiento de la Formación Labra en la Quebrada Ataspaca. ....	54
Figura 2.17.- Muestra de mano de la Formación Gramadal del Cerro Chachacumane . ....	55
Figura 2.18.- Afloramiento de la Formación Hualhuani en el Cerro Chachacumane. ....	56
Figura 3.1.- Etapas de la Investigación. ....	62
Figura 3.2.- Afloramiento de la Formación Labra en el Cerro Challatita. ....	63
Figura 3.3.- Afloramiento de la Formación Hualhuani, en el Cerro Tocuco .....	66
Figura 3.4.- Flujograma de las técnicas de procesamiento. ....	66
Figura 3.5.- Chancacora primaria (proceso). ....	67
Figura 3.6.- Tamizador Ro-Tap y los tamices. ....	67
Figura 3.7.- Pesado de todas las mallas. ....	68
Figura 3.8.- Limpiador Ultrasónico Retsch (de tamices). ....	68
Figura 3.9.- Sellador de bolsas. ....	68
Figura 3.10.- Fracciones de los tamices listas para almacenarse. ....	68
Figura 3.11.- (Izquierda) Lavado de muestras. (Derecha) Muestras llevadas a la campana extractora. ....	69
Figura 3.12.- Campana de extracción de gases (Frontier). ....	69
Figura 3.13.- Procedimiento con el ácido acético. ....	69
Figura 3.14.- Muestras de la malla N° 200 secando en el horno. ....	70
Figura 3.15.- Pesado final de las muestras, listas para separar con líquido pesado. ....	70
Figura 3.16.- Politungstato de Sodio en estado sólido (granulado). ....	71
Figura 3.17.- Politungstato de Sodio (líquido) en el agitador magnético. ....	71
Figura 3.18.- Medición de la densidad del Politungstato de Sodio. ....	71
Figura 3.19.- Lubricación de la llave del embudo de decantación. ....	72
Figura 3.20.- Preparación del papel filtro para el embudo cónico. ....	72

Figura 3.21.- Instrumentos utilizados para la separación de minerales pesados. ....	73
Figura 3.22.- Mineral pesado y ligero capturado en los embudos.....	73
Figura 3.23.- Limpieza del papel filtro y el mineral pesado con agua hervida, el líquido se recupera en la probeta graduada.....	74
Figura 3.24.- (Líquido pesado + Agua) reposando en la cocina eléctrica para ser recuperada.....	74
Figura 3.25.- Vasos de precipitación conteniendo los minerales pesados y ligeros en el horno eléctrico.....	74
Figura 3.26.- Materiales utilizados para almacenar los minerales pesados y ligeros.....	75
Figura 3.27.- Pasos para guardar los minerales ligeros y pesados. ....	75
Figura 3.28.- Mesa de trabajo de separación de minerales pesados.....	76
Figura 3.29.- Materiales utilizados para la separación magnética.....	76
Figura 3.30.- Pasos para la separación de minerales pesados magnéticos y no magnéticos.....	77
Figura 3.31.- Materiales utilizados para la separación de zircones.....	78
Figura 3.32.- Hand-picking zircón.....	78
Figura 3.33.- Vista de los minerales pesados de la muestra GR41A-15-207.....	79
Figura 3.34.- Zircones de la muestra GR41A-16-084.....	79
Figura 4.1.- Estudio de la morfología de zircones en el microscopio petrográfico.....	81
Figura 4.2.- Zircones redondeados del Grupo Yura de Tacna.....	82
Figura 4.3.- Zircones cristalinos del Grupo Yura de Tacna aptos para el análisis tipológico de Pupin.....	83
Figura 4.4.- Imágenes de Catodoluminiscencia en zircones de la Formación Cachíos..	84
Figura 4.5.- Imágenes de Catodoluminiscencia en zircones de la Formación Hualhuani.	84
Figura 4.6.- Imágenes de Catodoluminiscencia en zircones de la Formación Labra. ....	85
Figura 4.7.- Columna estratigráfica del Cerro Challatita (Pachía), y los resultados de la distribución de edades U-Pb en gráficos KDE. ....	88
Figura 4.8.- Columna estratigráfica del Cerro Chachacumane (Palca), y los resultados de la distribución de edades U-Pb en gráficos KDE. ....	90
Figura 4.9.- Columna estratigráfica de la quebrada Ataspaca (Palca), y los resultados de la distribución de edades U-Pb en gráficos KDE. ....	91
Figura 4.10.- Provincias orogénicas de Sudamérica.....	92
Figura 4.11.- Evolución esquemática del basamento de Arequipa durante el Mesoproterozoico. ....	94
Figura 4.12.- Bloques que constituyen el basamento preandino. ....	94
Figura 4.13.- Reconstrucción paleogeográfica de Rodinia hace 990 Ma.....	95
Figura 4.14.- Paleogeografía del arco magmático Famatiniano, Paleozoico temprano. ....	96
Figura 4.15.- Reconstrucción paleogeográfica del Jurásico medio – Cretácico inferior.....	97
Figura 4.16.- Reconstrucción esquemática de Gondwana, enfatizando la localización de la Orogenia Terra Australis y la Orogenia Pampeana. ....	98
Figura 4.17.- Reconstrucción esquemática paleogeográfica del sur del Perú y norte de Bolivia durante el Ordovícico.....	99

Figura 4.18.- Esquema paleogeográfico de la cuenca Goyllarisquizga, Cretácico inferior, norte del Perú.....	100
Figura 4.19.- Reconstrucción paleogeográfica de la Cuenca Tarapacá en el norte de Chile, en el Jurásico inferior.....	101
Figura 4.20.- Localización de las muestras estudiadas por U-Pb del Grupo Yura.....	101
Figura 4.21.- KDE de muestras del Grupo Yura de estudios anteriores. ....	103
Figura 4.22.- Reconstrucción paleogeográfica esquemática de la cuenca Arequipa (Jurásico medio – superior). ....	104

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1.- Constantes de desintegración y vida media de los nuclidos U-Th-Pb. ....	28
Tabla 2.2.- Abundancias de los isótopos de Pb .....	34
Tabla 2.3.- Características de los métodos de datación geocronológica U-Pb.....	35
Tabla 2.4.- Estabilidad de los Minerales Pesados .....	37
Tabla 2.5.- Variables. ....	60
Tabla 3.1.- Materiales y equipos utilizados.....	64
Tabla 4.1.- Recopilación de dataciones U-Pb en zircón al Grupo Yura.....	102
Tabla 4.2.- Recopilación de dataciones U-Pb con picos en edades pampeanas.....	102

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Identificación y Determinación del Problema

La Cuenca mesozoica sedimentaria Arequipa-Tarapacá (cf. Vicente, 1981) contiene en su relleno rocas volcánicas, sedimentarias y volcano-sedimentarias que abarcan desde el Jurásico Inferior hasta el Cretácico Inferior, y abarcan gran parte del sur peruano. De estas rocas se han estudiado: sus facies sedimentarias (Alván et al., 2018), su contenido fosilífero (Acosta et al., 2011) los minerales pesados (p.ej. Trinidad et al., 2016) y su geoquímica (Iquiapaza et al., 2016); sin embargo, sus límites aún no están claramente definidos, tampoco su origen y su contexto paleogeográfico. Estas incógnitas surgen debido a que el registro estratigráfico por sí solo no es tan claro ni completo. Por lo tanto, el presente estudio emplea la geocronología U-Pb, el análisis morfológico y las imágenes de catodoluminiscencia en zircones detríticos pertenecientes a las rocas sedimentarias detríticas del Grupo Yura, las cuales nos permiten conocer no solamente la edad de los zircones, sino también, el conocimiento de los procesos geodinámicos que gobernaron la Cuenca Arequipa, tales como la evolución del relieve, la existencia de arcos magmáticos que actualmente afloran y finalmente las rocas parentales que sirvieron de aporte a la cuenca.

### 1.2. Formulación del Problema

#### 1.2.1. Problema General

- ¿Cuál fue marco geodinámico de la cuenca Arequipa, según la geocronología U-Pb de zircones detríticos del Grupo Yura en el departamento de Tacna?

#### 1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son las formas de los zircones observadas desde la visualización petrográfica?
- ¿Cuál fue la evolución magmática de los zircones según las imágenes de catodoluminiscencia?
- ¿De dónde provienen los sedimentos del Grupo Yura en Tacna?
- ¿Cuáles fueron los eventos metamórficos e ígneos que influenciaron la evolución de la cuenca Arequipa?

### 1.3. Formulación de Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo General

- Reconstruir la evolución geodinámica y sedimentaria de la Cuenca Arequipa en el sur del Perú (Tacna) entre el ~Calloviano y el Cretácico inferior con el uso de los geocronología U-Pb de zircones.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Reconocer y analizar la morfología de los zircones con el microscopio petrográfico.
- Interpretar la evolución magmática y/o metamórfica de los zircones con el soporte de las imágenes de catodoluminiscencia.
- Determinar la procedencia sedimentaria del Grupo Yura en Tacna.
- Identificar los eventos metamórficos y/o ígneos que tuvieron influencia en la evolución de la Cuenca Arequipa.

### **1.4. Justificación de la Investigación**

La aplicación de la geocronología U-Pb en zircones detríticos para el estudio la Cuenca Arequipa, nos abre el camino a información que es útil para conocer con mayor precisión el tiempo los procesos geológicos que actuaron y modelaron evolución de esta cuenca, principalmente en tiempo que abarca la depositación del Grupo Yura (posiblemente Calloviano a Berriasiano; Acosta et al., 2011). A priori la morfología de los zircones nos ayudará a determinar tentativamente los principales tipos de rocas fuente, y la catoluminiscencia la evolución la evolución de estos zircones. La geocronología U-Pb en zircones detríticos es una herramienta fundamental en el estudio de cuencas sedimentarias.

### **1.5. Importancia y Alcances de la Investigación**

Los resultados de los estudios nos ayudarán a consolidar los conocimientos sobre la Cuenca Arequipa-Tarapacá, y con ello se puede establecer argumentos de correlación y la cronología de las unidades que rellenan la cuenca de manera más precisa, la cual contribuirá en la elaboración de la Carta Geológica Nacional con mayor precisión y menor incertidumbre.

Mediante el análisis de los espectros geocronológicos de las rocas del Grupo Yura se podrá tener argumentos para la presentación de un modelo crono-estratigráfico que permita mejorar las exploraciones de recursos minerales, esto gracias a una mejor definición espacio-temporal de los arcos volcánicos fósiles, por otra parte también es útil en la caracterización de un posible reservorio de hidrocarburos.

### **1.6. Limitaciones de la investigación**

- ❖ Existen escasos afloramientos del Grupo Yura en la zona de estudio (Tacna).
- ❖ Los granos de zircón son escasos, debido a que gran parte de las rocas poseen más del 15% de matriz (grauvacas) y la mayoría de estas son cuarzosas, por lo que, la colecta de zircones toma un tiempo considerable.
- ❖ Hasta la fecha, se tiene pocos análisis de facies sedimentarias en las rocas detríticas mesozoicas, debidos principalmente a la escasez de afloramientos.



- ❖ La cuenca Arequipa-Tarapacá (en estudio) también abarca el norte del territorio chileno, sin embargo la información disponible de esa zona es escasa.

## **1.7. Generalidades**

### **1.7.1. Ubicación**

La zona de estudio está ubicada políticamente en el departamento de Tacna, al noreste de la ciudad de Tacna, y abarca parte de las provincias de Tarata y Tacna.

Topográficamente se encuentra ubicado dentro de los cuadrángulo Pachía 36-v (cuadrantes: I y II) y Palca 36-x (cuadrantes: III y IV).

Geográficamente la zona de estudio se encuentra ubicada entre las siguientes coordenadas geográficas (Mapa 1.1):

Latitud Sur:	17° 39' 00" - 17° 54' 00"
Longitud Oeste:	70° 10' 00" - 69° 51' 00"

### **1.7.2. Accesibilidad**

Las vías de acceso para llegar a la zona de estudio es la siguiente:

- 1- Por vía terrestre o vía aérea: Lima – Tacna (1 h 45 min)

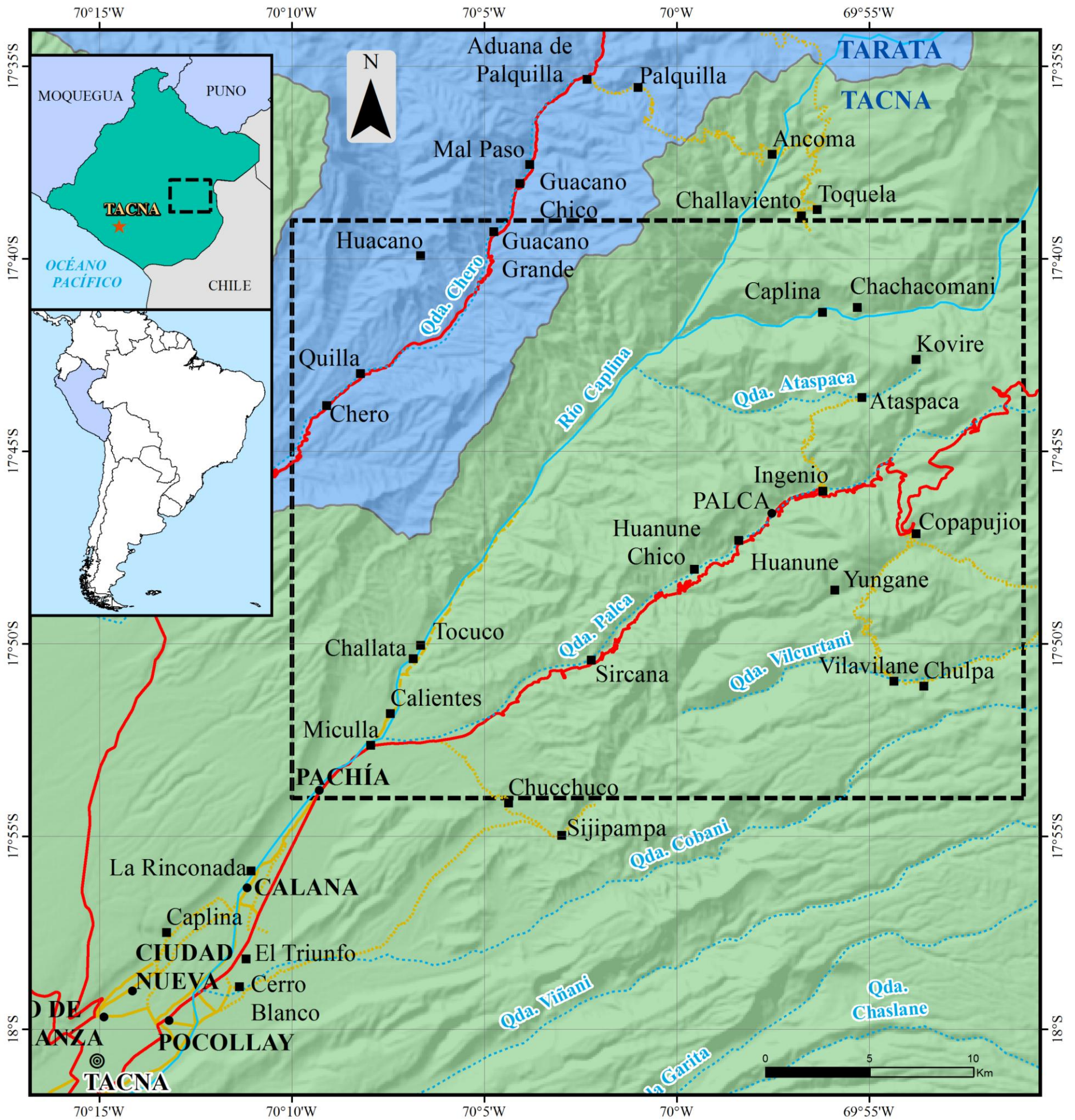
Del Aeropuerto Jorge Chávez de la ciudad de Lima, al Aeropuerto Coronel FAP Carlos Ciriani Santa Rosa de la ciudad de Tacna.

- 2- Por vía terrestre: Tacna – Palca (1 h 30 min)

De la ciudad de Tacna hasta el distrito de Palca, y al centro poblado Copapuquio por vía asfaltada; y al centro poblado Ataspaca por vía afirmada.

- 3- Por vía terrestre: Tacna – Palca (30 min)

De la ciudad de Tacna, hasta el distrito de Pachía por vía asfaltada, y al centro poblado de Tocuco por vía afirmada.



SIMBOLOGÍA			
	Zona de Estudio		Centro Poblado
	Limite Provincial		Capital Departamental
	Río		Capital Provincial
	Quebrada		Capital Distrital
SUPERFICIE DE RODADURA		RED VIAL	
Asfaltado		NACIONAL	DEPARTAMENTAL
Afirmado			
Sin Afirmar			
Trocha			

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b> Facultad de Ingeniería Escuela de Formación Profesional de Geología		
<b>MAPA DE UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD</b>		
Elaborado por : Angel Carlos, SALAS COLCA	Escala : 1 : 200 000	Mapa N° : 1.1

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

Los afloramientos del Grupo Yura en el departamento de Tacna están constituidos esencialmente por intercalaciones entre areniscas y lutitas, y rocas calcáreas subordinadas, las cuales se depositaron en la Cuenca Arequipa aproximadamente desde el Jurásico medio hasta el Cretácico inferior. En el Perú, numerosos autores han realizado diversas interpretaciones sobre el ambiente de depositación del Grupo Yura, basándose en el análisis de facies sedimentarias (Salinas, 1985; Alvan et al., 2018) y el contenido fósil (von Hillebrandt, 1987), en las diversas localidades donde aflora este grupo, a partir de las cuales han determinado que la cuenca se desarrolló en un marco tectónico de trasarco o de tipo rift (p.ej. Sempere et al., 2002), es decir, estuvo controlado por esfuerzos tectónicos distensivos (Sistema de Fallas Incapuquio, Acosta et al., 2011), la cual posteriormente comenzó a emerger pasando gradualmente de un ambiente netamente continental, representado por ende el inicio de la Orogénesis Andina.

La geocronología, es una herramienta imprescindible en geología, y es utilizada para calcular la edad de eventos geológicos, los cuales quedan registrados en ciertos minerales y/o rocas. La **“geocronología U-Pb en zircones detríticos”** es una herramienta utilizada en la interpretación de procedencia del zircón para desarrollar una historia geológica de una cuenca sedimentaria y sus regiones fuentes circundantes. Esta herramienta comprende de tres aspectos muy importantes que son: (a) el método U-Pb el cual muy preciso, gracias a que posee una doble cadena de desintegración que permite evaluar el comportamiento del sistema U-Pb, por otro lado, (b) el zircón, el cual es un mineral muy resistente a los procesos sedimentarios, y además tiene la característica química de que en el momento de su formación incorpora U, y tiende a rechazar el Pb no radiogénico; y presenta una tasa de difusión muy baja del Pb radiogénico; finalmente (c) la técnica de datación por LA-ICP-MS la cual es capaz de analizar una gran cantidad de zircones en un corto periodo de tiempo a un costo relativamente bajo, y; resultando así ser una herramienta muy robusta de análisis.

#### **2.1. Antecedentes**

En la zona de trabajo se han realizado recientemente estudios acerca de la proveniencia sedimentaria enfocado en del Grupo Yura utilizando las técnicas de minerales pesados (Trinidad et al., 2016) y geoquímica de roca total (Iquiapaza et al., 2016), mas no utilizando geocronología en zircones. Adicionalmente se han realizado otros estudios de procedencia sedimentaria pero aplicados a rocas paleozoicas y triásicas en la zona de estudio y alrededores (Boekhout et al., 2013; Reinmann et al., 2015).

Para comprender la procedencia sedimentaria del Grupo Yura en Tacna, es menester tener conocimiento de trabajos anteriores, además de tener en claro sus límites



estratigráficos y los cambios en las nomenclaturas, los cuales son importantes entre cada unidad litoestratigráfica subyacente al Grupo Yura.

1. El primer estudio realizado en la zona de Palca fue realizado por Felsh (1921) en un estudio titulado: “Indicios del petróleo en capas del Calloviano – Jurásico, en la quebrada Chichaja (Palca – Tacna)” que fue publicado en Chile, sin embargo esta publicación no se ha podido localizar en bibliotecas nacionales.
2. **Wilson y García (1962)** como parte del levantamiento de la Carta Geológica Nacional, publicaron un boletín correspondiente: “**Geología de los Cuadrángulos de Pachía y Palca (Hojas 36-v y 36-x)**”, donde establecen las bases de la geología de la zona, como la nomenclatura estratigráfica y geología estructural, además elevan a la categoría de “Grupo” a la entonces Formación Yura al constatar su amplia distribución regional (Arequipa).
3. **Vicente (1981)** publica un trabajo titulado: “**Elementos de la Estratigrafía Mesozoica Sur-Peruana**”, en el cual realiza una síntesis sobre las rocas del Jurásico y Cretácico del Sur Peruano desde la frontera con Chile (18°S) hasta Chala (16° S), con el objetivo de resolver problemas sobre la paleogeografía entre el Jurásico y Cretácico de Sudamérica.

Como resultado de su estudio resume las características del Grupo Yura en la Cordillera Occidental en los sectores de: 1) Sector de Yura (Arequipa) y 2) Sector de Pachía-Palca (Tacna), en el que establece que existe una correlación de Formación Ataspaca y la Formación Chachacumane (Pachía-Palca) con la Formación Puente-Cachíos y Formación Labra (Yura), respectivamente.

4. **Vicente, Beaudoin, Chávez y León (1982)** en su trabajo “**La Cuenca de Arequipa (Sur Perú) durante el Jurásico - Cretácico Inferior**”, denominan a la cuenca occidental del sur del Perú como Cuenca Arequipa, y basándose en el análisis de facies sedimentarias que presenta cada unidad, proponen 3 etapas en el desarrollo de la cuenca: 1) Individualización de la cuenca, 2) Relleno turbidítico y 3) Colmatación; en las cuales la Formación Puente y Cachíos se encuentra en la segunda etapa y la Formación Labra corresponde a la tercera etapa.
5. **Salinas, E. (1985)** en sus tesis de grado “**Evolución Paleogeográfica del Sur del Perú a la luz de los Métodos de Análisis Sedimentológicos de las Series del Departamento de Tacna**”, el cual gracias a estudios sedimentológicos y estratigráficos contribuye al conocimiento de la evolución paleogeográfica y tectónica de la Cuenca Mesozoica Sur Peruana.

En sus estudios reconoce que los fósiles de la “Formación Machani” pertenecen al Pérmico y no al Triásico (Wilson & García, 1992), además también reconoce la existencia de la Formación Gramadal y Formación Hualhuani en la zona de Palca,

en la Quebrada Quilla, los que son asignados al Cretácico Inferior en base a evidencias fosilíferas y su posición estratigráfica.

6. **Ronald M. & Cervantes J. (2000)**, como parte del programa de revisión y actualización del Mapa Geológico del Perú (1:50 000), en su informe **“Memoria Explicativa de los Cuadrángulos de Pachía y Palca”** del INGEMMET, en el cual correlacionan las formaciones del Grupo Yura de Tacna, con las formaciones del Grupo Yura de Arequipa.
7. **Adán Pino, Sempere, Jacay y Fornari (2004)** presentaron una publicación titulada: **“Estratigrafía, Paleogeografía y Paleotectónica del Intervalo Paleozoico superior – Cretáceo inferior en el Área de Mal Paso (Tacna)”** del INGEMMET, donde interpretan, que una potente secuencia de rocas volcánicas básicas presentes en la zona de estudio, se habrían originado como resultado de esfuerzos extensionales que actuaron en la Cuenca Arequipa, y además que esta encontraba inicialmente sumergida.

Para el Grupo Yura, la parte inferior de la Formación Ataspaca, compuesta de lutitas con fósiles nectónicos y bentónicos del Calloviano, que progradan a rocas más areniscosas (parte media de la Formación Ataspaca) evidenciando así la somerización de la cuenca. Las intercalaciones de areniscas y lutitas suprayacentes demuestran que la cuenca aún continuaba en subsidencia pero de forma más moderada, y sobre estas rocas yacen areniscas cuarcíticas que confirma el ambiente continental, probablemente de ríos. Por lo tanto el Grupo Yura representa la inversión de la Cuenca Arequipa que prograda de un medio marino somero, a un medio netamente continental.

8. **H. Acosta, Alván, Mamani, Oviedo y Rodriguez (2011)** publicaron el Boletín N° 139 **“Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca”** como parte de la actualización de carta geológica a 1:50 000, en el cual se plantearon algunas modificaciones en los nombres de las unidades litoestratigráficas, además se realizó una interpretación acerca de los ambientes depositacionales

En su estudio obtienen que el Grupo Yura se deposita entre un medio de facies fluviales y deltaicas, y de rampa para la Formación Gramadal, adicionalmente gracias a la colecta de fósiles se refinaron las edades de las unidades litoestratigráficas.

9. **Boekhout, Sempere, Spikings y Schaltegger (2013)** presentaron el artículo **“Late Paleozoic to Jurassic chronostratigraphy of coastal southern Peru: Temporal evolution of sedimentation along an active margin”** con el objetivo de realizar una revisión de todos los estudios bioestratigráficos y sedimentológicos llevados en la costa sur del Perú (15-18°S) y limitar la duración y extensión de los periodos de

sedimentación utilizando geocronología U-Pb en zircones pre Andinos, del Carbonífero al Jurásico.

Entre los estudios que realizaron, en los centros poblados de Mal Paso (zona de estudio) y Estique Pampa establecieron nuevas edades (U-Pb) para la Formación Machani (al que denominan como Grupo Yamayo) y la Formación Chocolate, además confirman la continuidad estratigráfica donde algunos autores establecieron un hiato entre ambas formaciones (Wilson & Garcia, 1962; Acosta et al., 2011), lo que implica un cambio en el basamento de las rocas de la Cuenca Arequipa en el área de estudio.

10. **C. Reimann et al. (2015)** en su artículo intitulado **“Multi-method provenance model for early Paleozoic sedimentary basins of southern Peru and northern Bolivia (13°- 18°S)”**, la cual tuvo como objeto de estudio los minerales y fragmentos líticos que constituyen las rocas Ordovicicas y Devonianas del sur del Perú y norte de Bolivia. Para este estudio utiliza técnicas analíticas como: geoquímica de roca total, petrografía y geoquímica de minerales ligeros y pesados, datación de minerales detríticos (zircón y rutilo) y análisis isotópicos de Pb, Hf y O.

Los resultados de este estudio indican que las rocas del Grupo Yamayo son mineralógicamente inmaduras, y por ello también, su composición en minerales pesados presenta un índice ZTR de 57 (minerales metamórficos tales como titanita, epidota y granate son relativamente abundantes), estos datos junto con los de paleocorrientes (dirección de transporte hacia el oeste), sugieren que la depositación del Grupo Yamayo es producto de un primer ciclo de sedimentación derivada localmente del gneis del Macizo Arequipa.

11. **Iquiapaza, Alván, Sánchez y Mamani (2016)** en su publicación presentada al XVIII Congreso Peruano de Geología intitulado **"Petrología y litogeoquímica sedimentaria del Grupo Yura en el departamento de Tacna (Cuenca Arequipa)"**, que tuvo como objetivo la caracterización litogeoquímica de cada formación del Grupo Yura en Tacna, utilizando elementos mayores, del cual se obtiene como resultado que el contenido de  $Al_2O_3$  en la Formación Puente y/o Cachíos es mucho mayor que el presente en las formaciones Labra, Gramadal y Hualhuani. Por otro lado el contenido de  $K_2O$  es mayor en el segundo grupo que en el primero.

A partir de lo enunciado se concluye que las diferencias entre  $Al_2O_3$  y  $K_2O$  se pueden deber a un cambio drástico en las rocas fuente o a un cambio climático de escala mundial.

12. **Trinidad, Alván, Sánchez y Benites (2016)** en su publicación presentada al XVIII Congreso Peruano de Geología intitulado **"Proveniencia sedimentaria de las rocas detríticas del Grupo Yura (Jurásico-Cretáceo) en Tacna, basado en**

**análisis de minerales pesados”** la cual fue realizada con el objetivo de determinar la procedencia de las rocas detríticas del Grupo Yura en Tacna.

En este trabajo se utilizaron la identificación y caracterización cualitativa y cuantitativa de los minerales pesados presentes en dicha unidad; de este estudio se concluyo que los detritos de la Formación Chocolate fueron los principales aportantes para las rocas de la Formación Puente y/o Cachíos, así como los detritos de las rocas Grupo Ambo para la Formación Labra, y finalmente los las rocas de la Formación Hualhuani tuvieron como principal aporte al Macizo Arequipa. Adicionalmente también considera la existencia de un “Cuerpo Metamórfico II” y de un “Cuerpo Plutónico I” (aún no identificados) que han aportaron sus sedimentos a las rocas del Grupo Yura.

## **2.2. Bases Teórico Científicas**

### **2.2.1. Isotopos, Desintegración y Datación Radioactiva**

Un átomo está compuesto por dos entidades: un núcleo central que contiene la mayor parte de la masa (más del 99,9%) y un conjunto de electrones orbitando.

El núcleo del átomo tiene una carga positiva, la cual es balanceada por una nube negativa de electrones. Un átomo es eléctricamente neutro cuando existe una cantidad idéntica del número de electrones y protones. Los protones tienen carga positiva ( $p^+$ ), mientras que los neutrones son eléctricamente neutros ( $n^0$ ) y los electrones son negativos ( $e^-$ ). El número de protones es el número atómico  $Z$ , y la suma de del número de protones más el número de neutrones es el número de masa  $Z + N = A$ .

Thomson (1914) y Aston (1919) demostraron que para un número atómico  $Z$ , (con una posición determinada en la Tabla Periódica de Mendeleev), hay diferentes números de masa  $A$ , por lo tanto ellos contienen diferentes cantidades de neutrones. Tales nucleídos son conocidos como **isotopos** de un elemento. Estos isotopos son creados durante procesos nucleares, los cuales son colectivamente conocidos como nucleosíntesis la cual tiene lugar en las estrellas.

#### **2.2.1.1. Desintegración Radioactiva**

Los nucleídos con bajo número de masa son estables debido a que su número de neutrones y protones son aproximadamente iguales ( $N = Z$ ), pero cuando su número de masa aumenta, como también la relación neutrón/protón aumenta hasta  $N/Z = 1.5$ , la estabilidad decrece.

El camino de un nucleído a la estabilidad es en realidad una “valle de energía”, en el cual los nucleídos inestables decaen emitiendo partículas y energía. Esto es conocido como el proceso de **desintegración radioactiva**.

La **radioactividad** es el proceso por el cual los átomos inestables son sometidos a transformaciones espontáneas que involucran la emisión de partículas (p.ej. desintegración  $\beta$ ,  $\alpha$ , fisión espontánea) y de energía (neutrino), resultando en cambios en el Z y/o N del isótopo padre lo que conlleva a la transformación de un isótopo de un elemento en el de otro elemento, este isótopo radiogénico hijo a su vez también puede ser radioactivo y desintegrarse repetidamente.

Los átomos de U y Th se desintegran por la emisión de partículas  $\beta^-$  (Z+1) y  $\alpha$  (Z-2, A-4) dando lugar a una serie de radionúclidos hijos de corta vida que forman: la Serie del Actinio ( $^{235}\text{U}$ ), Serie del Radio ( $^{238}\text{U}$ ) y Serie del Thorio ( $^{232}\text{Th}$ ) como se observa en la Figura 2.1.

### 2.2.1.2. Datación Radioactiva (Padre – Hijo)

Los isótopos radioactivos de larga vida de ciertos elementos se desintegran a isótopos hijos estables (radiogénicos) los cuales se acumulan en rocas y minerales. Esta relación de isótopos padre-hijo proporcionan un medio para medir las edades de rocas terrestres y extraterrestres basadas en la ley de la radioactividad (Faure & Mensing, 2005).

Pierre Curie (1902) y Rutherford & Soddy (1902a, b) propusieron la **Ley de la Radioactividad**, esta puede ser representada por una teoría simple expresión matemática:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad [2.1]$$

Dónde:

- N : Número de átomos restante en un tiempo  $t$
- $N_0$  : Número de átomos inicial ( $t = 0$ )
- $\lambda$  : Constante de desintegración radioactiva del elemento
- $t$  : Tiempo

Construyendo la ecuación de la isócrona se obtiene:

$$D = D_0 + N(e^{\lambda t}) \quad [2.2]$$

Dónde:

- D : Número de isótopos hijos en un tiempo  $t$
- $D_0$  : Número de isótopos hijos inicial ( $t = 0$ )

### Suposiciones para la Datación Radioactiva

El valor numérico de tiempo obtenido de la ecuación es un “fecha” (*date*). La interpretación de estos datos (age) depende ciertas suposiciones acerca de la historia geológica de la roca o mineral que está siendo datado.



- La roca o mineral a ser datado, ha permanecido con su sistema cerrado, es decir, no ha ganado ni perdido isotopos padre o hijo, excepto por la desintegración del isotopo padre a un isotopo hijo.
- La constante de desintegración del nuclido radiogénico padre es independiente del tiempo y no es afectado por las condiciones físicas en la cual el nuclido puede haber estado sometido y su valor es conocido con precisión.
- La cantidad inicial de los isotopos hijos en una roca o mineral debe ser conocida.

### 2.2.2. Geocronología U-Pb

Los isotopos de U y Th se desintegran emitiendo partículas alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) y neutrinos ( $Q$ ) (Fig. 2.1), las cuales dan lugar a una serie de isotopos hijos intermedios los cuales siempre conducen a un isotopo estable de Pb (Bateman, 1910). Las vidas medias de estos isotopos hijos intermedios son mucho más cortas que la del isotopo padre, por lo tanto estas series de desintegración satisfacen la condición del equilibrio secular, por ello se ha establecido que los isotopos de Th y U se desintegran directamente a Pb.

En la Tabla 2.1 se muestran los últimos pares de isotopos padre-hijo, en los que se observa que la vida media del  $^{238}\text{U}$  es comparable con la edad de la Tierra, mientras que para  $^{235}\text{U}$  es mucho más pequeño, por ello casi la totalidad del  $^{235}\text{U}$  primordial en la Tierra ha decaído a  $^{207}\text{Pb}$ , mientras vida media del  $^{232}\text{Th}$  es comparable con la edad del universo.

Tabla 2.1.- Constantes de desintegración y vida media de los nuclidos U-Th-Pb.

Serie	Constante de desintegración ( $\lambda$ )	Vida Media
$^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$	$4.9475 \times 10^{-11}$	14.01 Ba
$^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$	$9.8485 \times 10^{-10}$	703.8 Ma
$^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$	$1.55125 \times 10^{-10}$	4468 Ma

Las constantes fueron determinadas por Jaffey et al. (1971) y son recomendadas por Steiger y Jäger (1977).

#### 2.2.2.1. Isocronas U-Pb

Cada una de las tres series de desintegración permite la construcción de tres ecuaciones independientes separadas, asumiendo un equilibrio secular en el momento del cierre del sistema. La derivación de la ecuación de desintegración [2.2], para el sistema U-Th-Pb está dada por las siguientes ecuaciones:

$$\left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right) = \left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_0 + \left(\frac{^{238}\text{U}}{^{204}\text{Pb}}\right) (e^{\lambda_{238}t} - 1) \quad [2.3]$$

$$\left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right) = \left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_0 + \left(\frac{^{235}\text{U}}{^{204}\text{Pb}}\right) (e^{\lambda_{235}t} - 1) \quad [2.4]$$

$$\left(\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right) = \left(\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_0 + \left(\frac{^{235}\text{Th}}{^{204}\text{Pb}}\right) (e^{\lambda_{232}t} - 1) \quad [2.5]$$

Las ecuaciones de desintegración pueden ser utilizadas para construir diagramas de isócronas y por lo tanto calcular la edad de rocas y/o minerales, siendo la condición más importante que el sistema U-Pb haya permanecido cerrado desde el momento de su formación hasta el presente, de esta manera el sistema pueda ser datado satisfactoriamente.

Desafortunadamente el sistema U-Pb rara vez permanece cerrado, debido a la movilidad del plomo, y especialmente del uranio en condiciones de metamorfismo de bajo grado y meteorización en superficie. Sin embargo a pesar de este inconveniente la Isócrona U-Pb puede ser aplicada satisfactoriamente en algunos casos como:

- ❖ Datación de carbonatos (corales)
- ❖ Datación de metamorfismo prógrado (en granates)

A pesar de las dificultades antes mencionadas, la principal ventaja del sistema U-Pb es que existen dos series de desintegración diferentes: 1)  $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$  y 2)  $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$  los cuales proporcionan resultados confiables de datación, (Faure, 1989; Dickin, 1997), gracias a que proporcionan una revisión interna del sistema, es decir, es posible comprobar si el sistema U-Pb se mantuvo cerrado.

Esto significa que es posible obtener información de edades en sistemas que han sido disturbados, ya que ambas series de desintegración se encuentran vinculadas debido a que la relación  $^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 137,88$  es constante en casi todas las rocas de la corteza (Steiger & Jäger, 1977), un último estudio realizado por Hiess, Condon, McLean y Noble (2012) indica que un valor más preciso es el de 137,82.

Tres técnicas de datación aprovechan esta situación, y son conocidas como:

- ❖ Método zircón U-Pb
- ❖ Datación Pb común
- ❖ Modelo de edad galena

#### 2.2.2.2. Método Zircón U-Pb

Si se tiene un mineral que incorpora grandes cantidades de uranio al momento de su formación, pero no incorpora plomo no radiogénico ( $^{204}\text{Pb} = 0$ ), la ecuación [2.3] puede ser simplificada de la siguiente manera:

$$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}} = (e^{\lambda_{238}t} - 1) \quad [2.6]$$



Donde la presencia de Pb en el mineral representa únicamente al plomo radiogénico (originado por la desintegración del Uranio); de la misma manera para la ecuación [2.4]:

$$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}} = (e^{\lambda_{235}t} - 1) \quad [2.7]$$

La uraninita y la monacita fueron los primeros minerales utilizados en la geocronología U-Pb, en vista de su tendencia para incorporar grandes concentraciones de uranio pero muy poco Pb común o inicial ( $^{204}\text{Pb}$ : no radiogénico), sin embargo su distribución limitada restringe su utilidad.

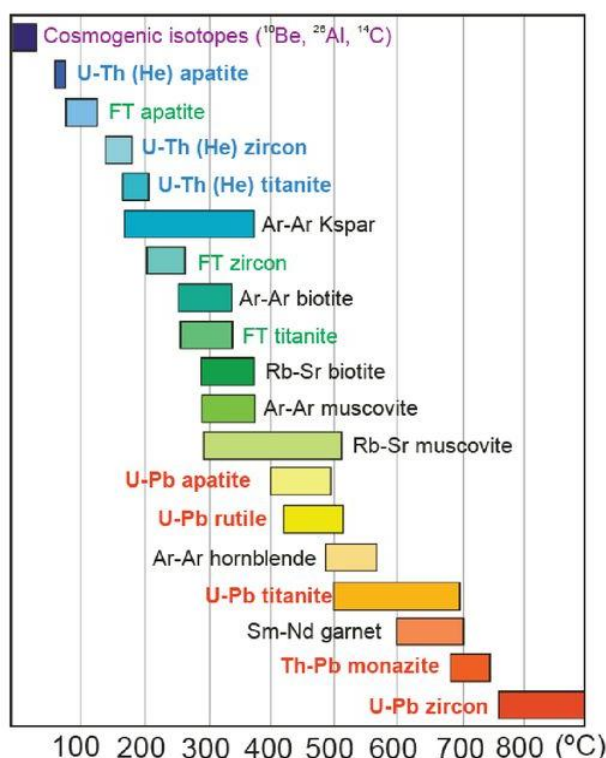


Figura 2.2.- Geocronómetros y Termocronómetros. Tomado de Gehrels y Vervoort (2012).

Por otra parte el zircón es un mineral que al momento de su formación concentra naturalmente U, gracias a que radio iónico de  $\text{U}^{+4}$  (1,10 Å) es capaz sustituir al de  $\text{Zr}^{+4}$  (0,87 Å); el zircón típicamente contiene de 5 a 4000 ppm (Ahrens, Cherry & Erlank, 1967; Gorz, 1974), y tiende a rechazar plomo no radiogénico ( $\text{Pb}^{+2} = 1,37 \text{ \AA}$ ), con cantidades de solo ~2 ppb a 80 ppm (Watson, Cherniak, Hanchar, Harrison & Wark, 1988), aunque la cantidad de  $^{204}\text{Pb}$  presente probablemente se deba a la presencia de microinclusiones de minerales como: apatito, feldespato, sulfuros, etc. (Bowring, Schoene, Crowley, Ramezani & Condon, 2006). Los zircones también tienen la característica de que al cristalizar su sistema isotópico U-Pb es resistente a perturbaciones y alteraciones (Harley & Kelly, 2007). Además el zircón también tiene gran distribución, virtualmente presente en todos los tipos de rocas, principalmente en la mayoría de rocas ígneas intermedias a ácidas. Por lo tanto se ha vuelto el principal mineral utilizado para datación U-Pb.

Como se mencionó anteriormente el sistema U-Pb puede presentar sesgos ocasionados principalmente a que su sistema no ha permanecido cerrado y a otros factores, los cuales son resumizadas en las siguientes:

**a. Pérdida de Pb**

La forma más común que evidencia que el sistema isotópico U-Pb se encontraba abierto, es manifestado por la pérdida de Pb, que es probablemente causado por el daño que genera la radiación que se acumula en un grano debido a la radiación que emite el Th y el U al desintegrarse. Mediciones experimentales de difusión de Pb en zircones indican que la pérdida de Pb probablemente no es dominada por el volumen de difusión (Lee, Williams & Ellis, 1997; Cherniak & Watson, 2001), sino está relacionado a la pérdida de dominios dañados por radiación a través de fracturas y defectos cristalinos. Una vez la red cristalina es distorsionada y dañada, los iones de Pb tienen un camino (“corto circuito”) para propagarse fuera del cristal, resultando en granos que tienen una deficiencia de Pb, y por lo tanto aparentan una edad más joven.

Históricamente, la mejor manera para minimizar los efectos de pérdida de Pb ha sido escoger los granos, más claros, menos magnéticos, sin fracturas y someterlas a abrasión mecánica antes de su análisis (Krogh 1982a, 1982b) para remover el borde externo que frecuentemente es rico en U y en consecuencia es sometido a mayor radiación.

**b. Núcleos Heredados (Xenocrísticos)**

La ocurrencia de núcleos xenocrísticos es una característica muy común en zircones, ocurren como núcleos envueltos por el crecimiento de zircón magmático reciente, pero también existen simplemente como núcleos ya sea redondeados o rara vez en formas euédrales (Corfu, Hanchar, Hoskin & Kinny, 2003). Pueden ser incorporados en sistemas magmáticos por asimilación (reciclaje magmático) de la roca caja durante la generación, transporte y/o erupción de los magmas. Esto es manifestado por la presencia de granos con núcleos antiguos (xenocrísticos) que están sobrecrecidos por zircón más joven (fenocrístico), y/o por granos enteramente xenocrísticos. Es posible identificarlos gracias a la aplicación de imágenes de Catodoluminiscencia [CL] (Corfu et al., 2003).

Los núcleos xenocrísticos son comúnmente diferenciados de sus bordes gracias a su geometría irregular, el cual trunca el zonamiento interno. Tales discontinuidades pueden indicar reabsorción de tempranas fases del zircón (Corfu et al., 2003).

Este zonamiento OZP [Patrones de Zoneamiento Oscilatorio] que presentan algunos zircones, es causante de la obtención de “fechas” discordantes, debido a que en las técnicas de análisis existe la posibilidad de analizar ambos dominios del grano de zircón como si fueran uno solo (Schoene, 2013).

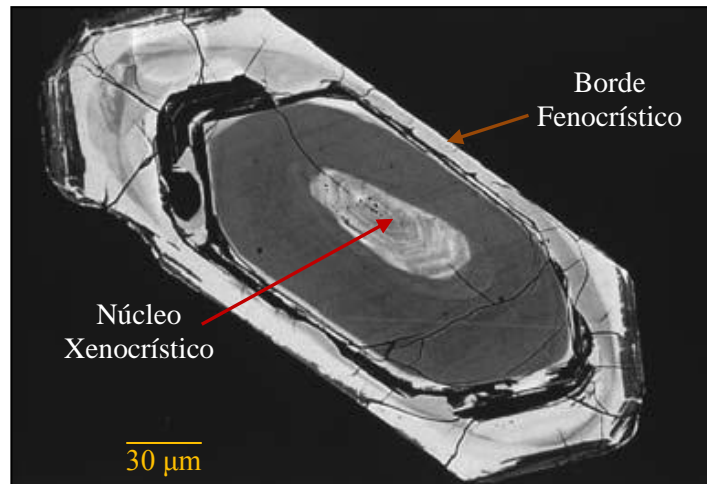


Figura 2.3.- Apariencia de núcleos xenocrísticos en zircón. Fotografía en CL, Granito NO de Carion, Central Madagascar. Tomado de Kröner (2012).

### c. Desequilibrio de Isotopos Hijos Intermedios

Se tiene conocimiento desde hace más de 30 años de que el sistema U-Pb en los zircones puede ser afectado por el particionamiento de los isotopos hijos intermedios dentro de la serie de desintegración del U durante la cristalización. En la mayoría de los casos estos efectos han sido bastante ínfimos y por ello ignorados (Bowring et al., 2006). Sin embargo gracias a que la precisión analítica ha mejorado, estos efectos deben ser considerados especialmente para rocas Mesozoicas y más jóvenes (Bowring et al., 2006). Los isotopos hijos intermedios (Figura 2.1) que tienen una larga vida, pueden afectar el equilibrio secular asumido en el sistema isotópico U-Pb, estos elementos son:  $^{230}\text{Th}$  (tiene una vida media de 75 ka) en la serie de desintegración del Radio ( $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$ ), y  $^{231}\text{Pa}$  (tiene una vida media de 34 ka) para la serie del Actinio ( $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$ ), (Mattinson, 1973; Schärer, 1984).

El problema del  $^{230}\text{Th}$  es importante en minerales que incorporan preferencialmente Th, tal como la monacita. Debido a que el radio iónico del Th es ligeramente más grande que el de U, el isotopo hijo intermedio  $^{230}\text{Th}$  es comúnmente excluido del lugar octaedral del zircón, resultando en una deficiencia de  $^{230}\text{Th}$  y en consecuencia resultado edades anómalamente jóvenes en  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , este problema es más dramáticas para zircones menores a los 50 Ma (Bowring et al., 2006).

En el sistema  $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$ , el efecto de  $^{231}\text{Pa}$  seria de menor magnitud debido a que su vida media es relativamente más corta que la del  $^{230}\text{Th}$ , a no ser que el fraccionamiento químico en el magma sea significativamente más grande para Pa que para Th. En ausencia de estudios sobre el particionamiento de  $^{231}\text{Pa}$  relativo a U y Th, y solo basándose en el radio iónico relativo, se sugiere que la exclusión de  $\text{Pa}^{+4}$  en zircones debe ser menor que la del Th (Mattison, 1973; Barth, Oberli & Meier, 1989).

#### d. Corrección por Pb común (Pb<sup>c</sup>)

Las ecuaciones [2.3] – [2.5] ilustran la importancia de la corrección de la presencia de plomo común (<sup>204</sup>Pb) en un sistema para obtener un fechamiento preciso. Como el <sup>204</sup>Pb siempre se encuentra como el isótopo menos abundante (<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb >> 1000, característico en zircón), es difícil de medir.

Tabla 2.2.- Abundancias de los isótopos de Pb

Isótopo	Abundancia Natural (%)
<sup>208</sup> Pb	52.4
<sup>207</sup> Pb	22.1
<sup>206</sup> Pb	24.1
<sup>204</sup> Pb	1.4

Tomado de International Union of Pure and Applied Chemistry [IUPAC] (2003). Recuperado de <http://www.ciaaw.org/lead.htm>.

#### 2.2.2.3. Técnicas Analíticas de Datación

Existen dos métodos utilizados principalmente en la geocronología U-Pb aplicada a los zircones:

- ❖ El método de Dilución Isotópica y Espectrometría de Masas por Termoionización [ID-TIMS] (conocido como el método convencional).
- ❖ Las técnicas de Microhaces

La principal diferencia entre estas técnicas, es que en la técnica de Microhaces el zircón es analizado por un láser en una montura epoxy, y en el método convencional el zircón es disuelto, y el U y Pb son separados de los otros elementos antes de su análisis.

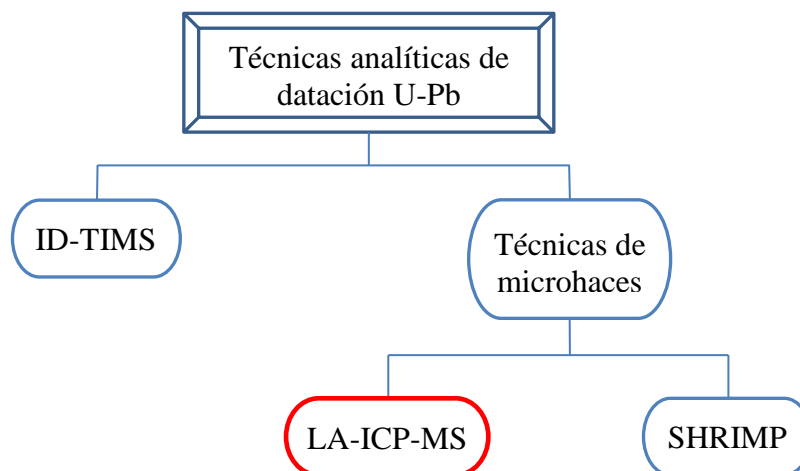


Figura 2.4.- Flujograma de las técnicas analíticas de datación U-Pb en zircón.

Las técnicas de Microhaces permiten analizar volúmenes muy pequeños de un zircón, y también brindan una alta resolución espacial. Adicionalmente los análisis pueden ser realizados rápidamente, y la contaminación en el laboratorio puede ser minimizada o eliminada. Sin embargo la alta resolución espacial tiene una desventaja en términos de precisión analítica; la precisión de las técnicas de Microhaces: Ablación Laser Acoplado a un Espectrómetro de Masas con Fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo [LA-ICP-MS] y Espectrometría de Masas de Iones Secundarios [SIMS] es inferior al de ID-TIMS por aproximadamente un orden de magnitud (Ireland & Williams, 2003).

Tabla 2.3.- Características de los métodos de datación geocronológica U-Pb

Características	Técnica de Microhaces		Método convencional
	LA-ICP-MS	SIMS	ID-TIMS
Diámetro (spot)	10 – 60 $\mu\text{m}$	10 – 20 $\mu\text{m}$	Fragmentos desde
Profundidad	5 – 20 $\mu\text{m}$	<2 $\mu\text{m}$	~50 $\mu\text{m}$
Duración por análisis	1 – 4 min	10 – 30 min	3 horas
Precisión por análisis	1 – 8 % ( $2\sigma$ )	1 – 5 % ( $2\sigma$ )	0.1 – 0.3% ( $2\sigma$ )

Adaptado de Bowring et al. (2006).

Esto se debe a que la técnica de Microhaces depende de la alternancia en los análisis, es decir, de zircons estándar (con edad y composición química conocida) y zircons desconocidos (que serán datados). En el transcurso de los análisis, las medidas de las edades crudas de los zircons desconocidos vendrán a ser la medida “estándar”, y esta es asumida para alternarse con los zircons desconocidos.

Debido a que se conoce la edad del zircón estándar, zircons desconocidos pueden ser normalizados. Esta aproximación es satisfactoria pero el límite de precisión es de  $2\sigma$  (2 desviaciones estándar), alrededor del 1-3% de precisión, comparado con la precisión de ID-TIMS de 0.1 – 0.3%.

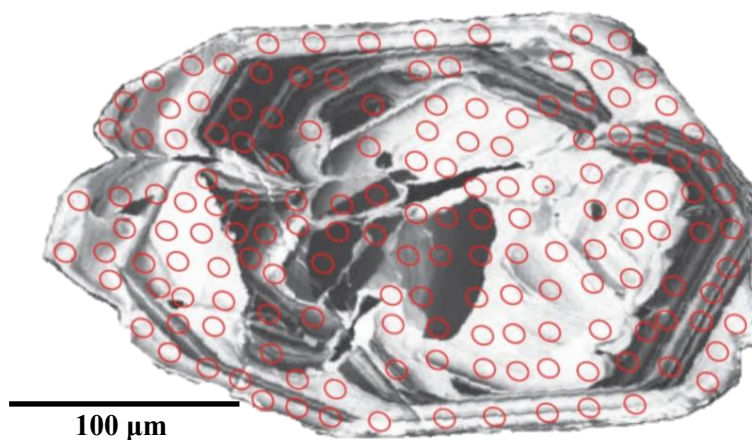


Figura 2.5.- Ejemplo del volumen analizado en zircón por las técnicas de Microhaces. El diámetro del láser (spot:  $\odot$ ) es de 10  $\mu\text{m}$ . Tomado de Gehrels et al. (2009).



### 2.2.2.3.1. Datación por el Método LA-ICP-MS

El método Ablación Láser Acoplado a un Espectrómetro de Masas con Fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo [LA-ICP-MS] proporciona una rápida y asequible manera para generar gran cantidad de datos isotópicos U-Pb, el cual es ideal para caracterizar complejas poblaciones de zircones detríticos (Fedo, Sircombe & Rainbird, 2003).

La técnica LA-ICP-MS se ha convertido en uno de los métodos más rápidamente adoptados gracias a su alta resolución espacial, rápido tiempo de análisis y su relativamente bajo costo, permitiendo así ser útil para trabajos en zircones detríticos (Chang, Vervoort, McClelland & Knaack, 2006). Un sistema LA-ICPMS consiste en dos partes: (1) un sistema de ablación láser, que incluye el análisis de la muestra y (2) ICP-MS.

El sistema de ablación láser utilizado en geocronología U-Pb comúnmente consiste de un láser de longitud de onda corta ( $<266$  nm), en estado sólido (Nd-YAG) o gaseoso (ArF Excimer). Un haz láser es focalizado sobre la superficie del zircón, dentro de una célula con ventanas transparentes, generando instantáneamente un volumen finito de la muestra sólida en un aerosol de los constituyentes (partículas abladas). El aerosol generado es llevado desde la célula por una antorcha de plasma por incorporación de un gas de transporte. Se han estudiado una variedad de gases, notando que cada gas afecta la sensibilidad instrumental. Como resultado de estos estudios la mayoría de los laboratorios utilizan He con o sin trazas de  $N_2$ , H y Ar (Schoene, 2013). Varios tipos de ICP-MS son utilizados en la Ablación Láser para geocronología U-Th-Pb:

- Cuadrupolo
- Colector magnético-simple
- Colector magnético-múltiple

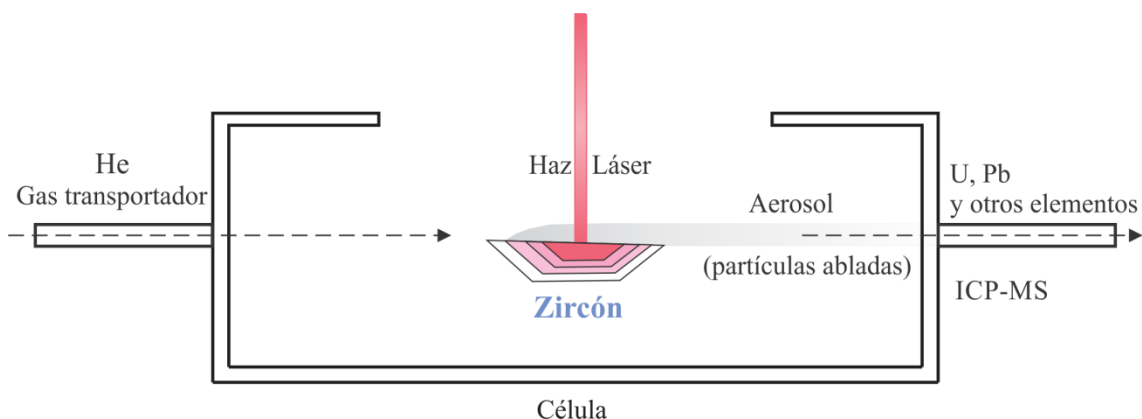


Figura 2.6.- Representación esquemática de la datación radiométrica U-Pb por la técnica LA-ICP-MS. Adaptado de Schoene (2014).

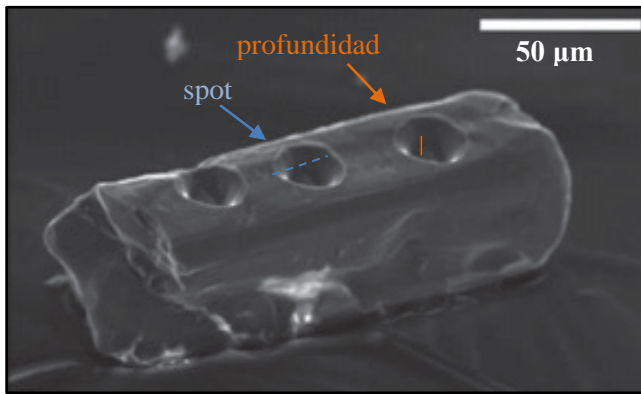


Figura 2.7.- Zircón analizado por LA-ICP-MS. Modificado de Cottle et al. (2009).

### 2.2.3. Zircón: Características, Morfología

Los zircones pueden formarse bajo casi en todas las condiciones geológicas, incluye: el origen magmático, metamórfico, metasomático e hidrotermal (p.ej., Rubin, Henry & Price, 1989; Claoué-Long, King & Kerrich, 1990; Black, Kinny & Sheraton, 1991; Vavra et al., 1996; Liati & Gebauer, 1999; Rubatto et al., 1999; citados en Tomaschek et al. (2003)), y también posiblemente diagenético, (Saxena, 1966; Baruah et al., 1995; Hower, et al., 1999) aunque este último parece ser muy raro y en realidad estar relacionado a fluidos hidrotermales de fuentes externas (Hoskin & Schaltegger, 2003).

Tabla 2.4.- Estabilidad de los Minerales Pesados

Acción Mecánica y Química		Acción Química			Estabilidad mecánica
Arenas de orilla de mar	Estratos subterráneos	Meteorización (?)	Meteorización en rocas y suelos		
Thoulet (1913)	Pettijohn (1941)	Smithson (1941)	Sindowski (1949)	L. y C. Dryden (1946)	Dietz (1973)
	Rutilo				
<b>Zircón</b>	<b>Zircón</b>	<b>Zircón</b>	<b>Zircón</b>	<b>Zircón</b>	<b>Zircón</b>
Rutilo	Turmalina Monacita	Rutilo Turmalina Apatito	Rutilo Turmalina	Turmalina Monacita	Kyanita
Biotita Apatito	Granate Biotita Apatito	Granate			Granate
Anfíboles	Estauroлита Kyanita Hornblenda	Estauroлита Kyanita	Estauroлита Kyanita Anfíboles	Kyanita Hornblenda	Rutilo Estauroлита Turmalina
Piroxenos	Augita	Minerales Ferromagnesianos	Granate	Estauroлита	
Olivino	Olivino		Augita Apatito Olivino	Granate	Olivino Andalucita

Nótese la resistencia del zircón. Adaptado de Poldevaart (1955) y Dietz (1973).



Por otra parte, zircones metamórficos, en condiciones de metamorfismo de bajo grado, suelen heredar los formas de sus protolitos con algunos sobrecrecimientos; y los zircones que crecen en condiciones metamórficas de alto grado tienen forma ovoide o subredondeada las cuales son interpretadas como bordes de reabsorción debido a la presencia de fluidos intergranulares subsaturados en  $ZrSiO_4$  (Hoskin & Black, 2000). También se ha registrado el crecimiento de zircones nuevos (ausentes en el protolito) en un amplio rango de temperaturas y presiones bajo condiciones de metamorfismo prógrado (Liatí & Gebauer, 1999; Bingen, Austrheim & Whitehouse, 2001; citados por Hoskin y Schaltegger (2003)), y retrógrado (Pan, 1997; Roberts & Finger, 1997; Degeling, Eggins & Ellis, 2001; Whitehouse & Platt, 2003; citados por Hoskin y Schaltegger (2003)).

Adicionalmente debe considerarse que el redondeamiento también es provocado por procesos fisicoquímicos tales como recristalización (Mager, 1981; Deer, Howie & Zussman, 1997, Tichomirowa, 2003; citados por Gärtner et al., 2013), corrosión en el ambiente magmático, y granos pre-redondeados como componentes detríticos especialmente en granos del tipo-S (Tichomirowa et al., 2001; Roger et al., 2004; citados por Gärtner et al., 2013).

#### **2.2.4. Geocronología U-Pb de Zircones Detríticos**

El zircón ha jugado un prominente y complejo rol en la interpretar la composición e historia de sedimentos antiguos y recientes. Esto se da gracias a que es sumamente refractario en la superficie terrestre, y ocurre virtualmente en todos los depósitos sedimentarios y proporciona un vínculo fundamental en el entendimiento de la historia de la roca fuente de un depósito. La geocronología es de lejos la más poderosa herramienta para extraer información de los granos de zircones detríticos.

Actualmente la geocronología de zircones detríticos es utilizada principalmente para 4 aplicaciones (Gehrels, 2012; 2014):

##### **A. Determinar la Procedencia**

La geocronología de zircones detríticos ha evolucionado como una poderosa herramienta en estudios de procedencia, gracias a: que estos zircones detríticos son ubicuos en areniscas, (gracias a que el zircón es altamente resistente a la meteorización física y química), y a técnicas de datación como LA-ICP-MS que permiten analizar grandes poblaciones de zircones con gran precisión (Thomas, 2011; Geherels, 2012).

El análisis de zircones detríticos utiliza la información de la procedencia del zircón para desarrollar una historia geológica de cuencas sedimentarias y de las regiones circundantes. La edad de un grano de zircón detrítico es interpretada como la edad de cristalización de la roca en la cual se originó. En un roca sedimentaria siliciclástica probablemente se encuentren componentes de múltiples fuentes

cristalinas como resultado de: 1) múltiples episodios magmáticos y/o metamórficos en una localidad, 2) la yuxtaposición de rocas de diferentes edades debido a estructuras como fallas, 3) por la mezcla por confluencia de múltiples drenajes de diferentes localidades, y 4) el reciclaje de sedimentos antiguos combinado con fuentes primarias jóvenes. Por lo tanto, para caracterizar todos los componentes de la procedencia sedimentaria, todas las edades dentro de una población de zircones detríticos deben ser determinados (Thomas, 2011).

En estudios de procedencia, una ventaja y a la vez desventaja es que los zircones una vez en el sistema este permanecen en el sistema. Es decir, debido a la remarcable durabilidad del zircón, este puede ser retrabajado por medio de múltiples ciclos sedimentarios, y las fuentes intermedias pueden ser “enmascaradas”, dejando así una incorrecta interpretación, solo identificando exclusivamente las fuentes primarias, las que comprometen la interpretación de la procedencia (Thomas, 2011).

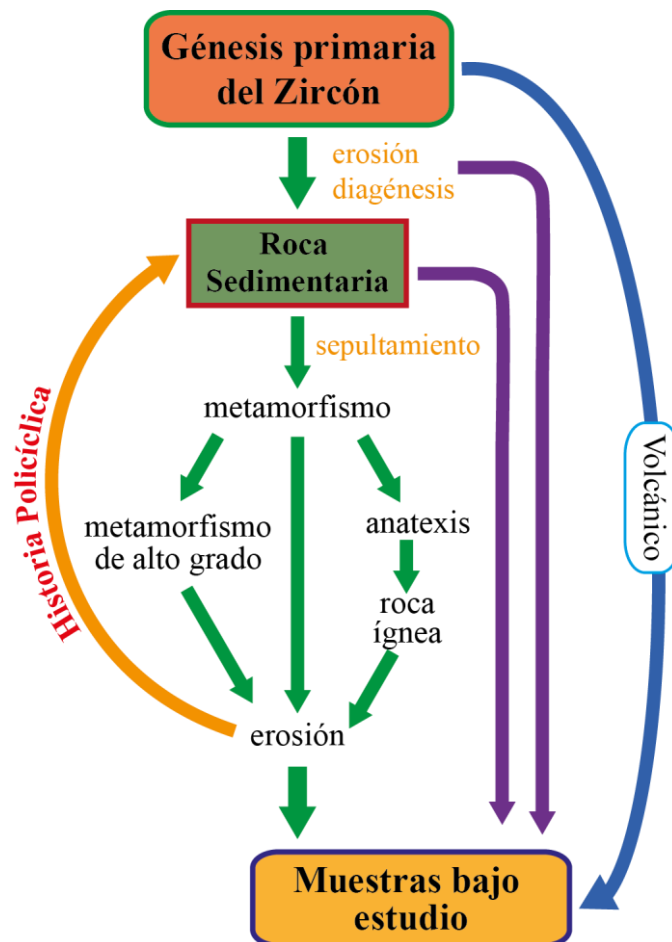


Figura 2.9.- Potenciales caminos de transporte del zircón. Zircones pueden ser reciclados de rocas sedimentarias y metamórficas y mezclados con zircón de fuentes primarias. Adaptado de Carter y Bristow (2000).

Idealmente, una muestra analizada debería representar completamente la historia geológica incluyendo la evidencia de todas las posibles procedencias y sus

relaciones de unos con otros. Sin embargo, la complejidad natural y el sesgo artificial impiden tal situación.

La complejidad inicia con la misma roca fuente, ya que los zircones detríticos no son necesariamente representativos del conjunto completo de detritos de una unidad sedimentaria. Las rocas con baja abundancia de zircones (p.ej., gabros) serán insuficientemente representados en una muestra sedimentaria enfocada en zircones detríticos (Fedó et al., 2003). Zircones demasiado pequeños no pueden ser analizados debido a los requerimientos de los equipos de análisis (Gehrels, 2012). Ver Tabla 2.3.

Una vez los fechamientos han sido obtenidos, el siguiente paso es comparar la distribución de edades resultantes con la historia magmática (y posiblemente metamórfica y/o hidrotermal) de posibles regiones fuentes. Esto se realiza gracias a una compilación de edades U-Pb disponibles de estudios anteriores (Gehrels, 2014).

## **B. Determinar Edades Máximas de Depositación**

El estudio de zircones detríticos da lugar a limitar la edad de una sucesión estratigráfica siliciclástica. La premisa está basada en el principio de las inclusiones, es simplemente que “la edad de depositación de un estrato debe ser más reciente que la edad del zircón detrítico más joven contenido en ella”. En el caso de que existan rocas ígneas que atraviesen las secuencias sedimentarias, también es posible determinar una edad mínima (Fedó et al., 2003). Es de gran utilidad en secuencias sedimentarias donde no hay presencia de capas volcánicas interestratificadas (p.ej., Grupo Yura) y no existen fósiles para datación relativa (Nelson, 2001).

## **C. Correlación de Unidades Sedimentarias**

Se realizan comparaciones de los espectros de edades de los zircones detríticos de las unidades litoestratigráficas estudiadas con otras unidades de cuencas vecinas para establecer posibles correlaciones.

## **D. Caracterización de Terrenos Fuente**

En el caso de que la procedencia sea conocida, la información de zircones detríticos proporciona una poderosa herramienta para caracterizar las regiones fuente, ya que adicionalmente al estudio U-Pb, se pueden realizar análisis por isótopos de Hf, O, tierras raras.

### **2.2.4.1. Diagramas de Representación**

En sistemas ígneos y metamórficos, los análisis geocronológicos están caracterizados por poseer una simple y generalmente normal distribución (Fedó et al., 2003), siendo así

que estos datos isotópicos son representados como elipses en diagramas de Concordia (Figura 2.9; Wetherill, 1956), en las que se utiliza las ecuaciones [2.6] y [2.7]; y/o en diagramas Tera–Wasserburg (Tera & Wasserburg, 1972).

Sin embargo, para una muestra con un amplio rango de edades, como es típico en análisis de zircones detríticos, estos diagramas de Concordia suelen ser visualmente saturados y confusos, además de oscurecer la población de edad más joven (Gehrels, 2012). De este modo, datos de zircones detríticos son comúnmente representados en diagramas univariantes tales como histogramas o diagramas de probabilidad de densidades [PDP: “*Probability Density Plot*” o “*probability density distribution*”] o la combinación de ambos (Fedo et al., 2003; Gehrels, 2012), debido a que solo los histogramas presentan dos desventajas: 1) las mediciones de edades y sus errores inherentes no son considerados, esto se manifiesta en la manera que una medición con un error estándar de  $\pm 100$  Ma podría aparecer una misma barra (intervalo de clase) junto a otra medición con un error estándar de  $\pm 1$  Ma, a pesar de que ambas mediciones no sean estrictamente comparables, y 2) el tamaño de los intervalos de la clase en los histogramas es introducido arbitrariamente con valores no estrictamente comparables (5 Ma, 20 Ma, 100 Ma; Fedo et al; 2013).

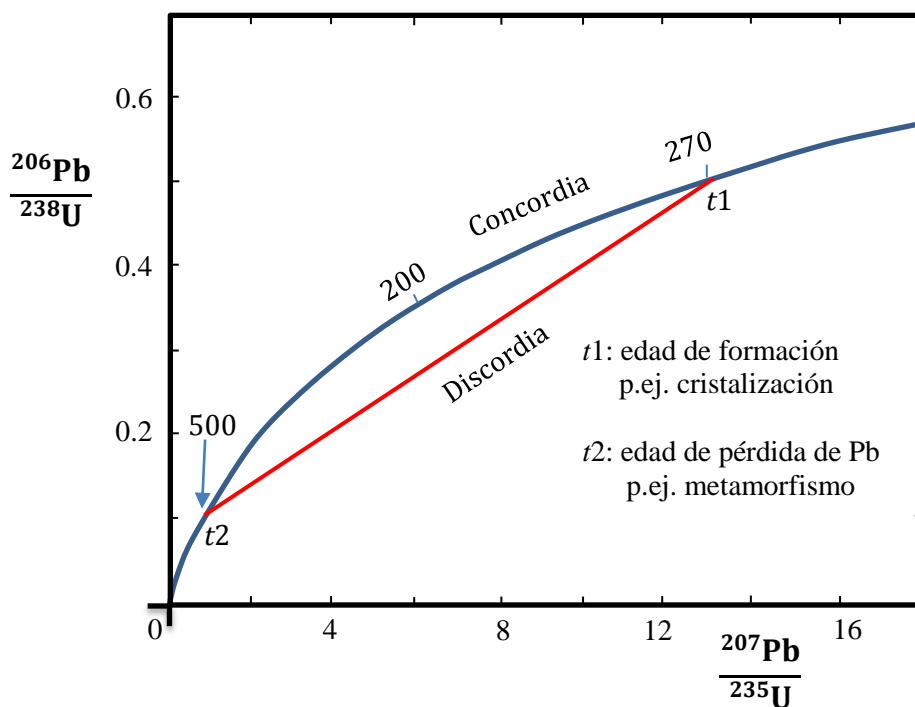


Figura 2.10.- Diagrama de Concordia.

Actualmente se conoce que los PDP carecen de base teórica como estimador de densidad de probabilidad, a pesar de su nombre (Vermeesch, 2012). El Estimador de Densidad Kernel [KDE: *Kernel density estimation*], es una robusta alternativa al PDP y no requiere ningún tipo de parámetro en la distribución de los elementos, y actualmente se utiliza representar grandes poblaciones de edades U-Pb (Vermeesch, 2012; Saylor & Sundell, 2016), el KDE es definido como:

$$f_n(x) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{nh} K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad [2.8]$$

$f_n(x)$  : Estimación de la densidad  
 $h$  : Ancho de banda  
 $K$  : Función Kernel  
 $x_i$  : edad promedio

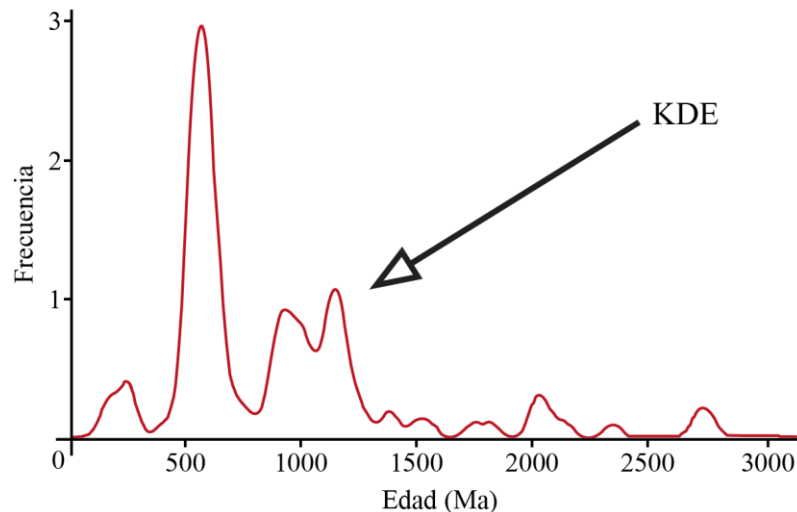


Figura 2.11.- Diagrama: Estimación de Densidad Kernel [KDE].

### 2.3. Marco Geológico

El Grupo Yura en la zona de estudio se ubica en el sur del Perú, forma parte de las unidades de la Cuenca Arequipa. El primer mapa geológico, de la zona de estudio (cuadrángulos de Pachía y Palca), fue elaborado por Wilson y García en 1962, posteriormente un segundo mapa es elaborado Monge y Cervantes (2000), como parte de la Actualización de la Carta Geológica Nacional. Una última actualización a escala 1:50 000 fue elaborado por Acosta et al. (2011). En el presente trabajo se utiliza el mapa geológico de Monge y Cervantes (2000), realizando modificaciones al Grupo Cabanillas, y al Intrusivo (Devónico-Carbonífero) en base a nuevos datos geocronológicos (Boekhout et al., 2013).

#### 2.3.1. Cuenca Arequipa - Tarapacá

La cuenca triásico-jurásica del sur del Perú, denominada también como Cuenca Arequipa por Vicente et al. (1982), se originó debido a un proceso de adelgazamiento litósferico durante el Liásico y el Dogger ocasionado por un proceso de rifting (Sempere et al., 2002).

Aun no se conocen con exactitud los límites de la Cuenca Arequipa, pero se cree que su borde oriental lo conformaba el Alto Cusco – Puno, su límite septentrional el “Alto estructural Totos-Paras” (Carlotto, Rodríguez, Acosta, Cárdenas, & Jaillard, 2009) y al sur se extiende hasta el norte de Chile y parcialmente el norte de Argentina, donde es conocida como la cuenca Tarapacá (Vicente, 2006).



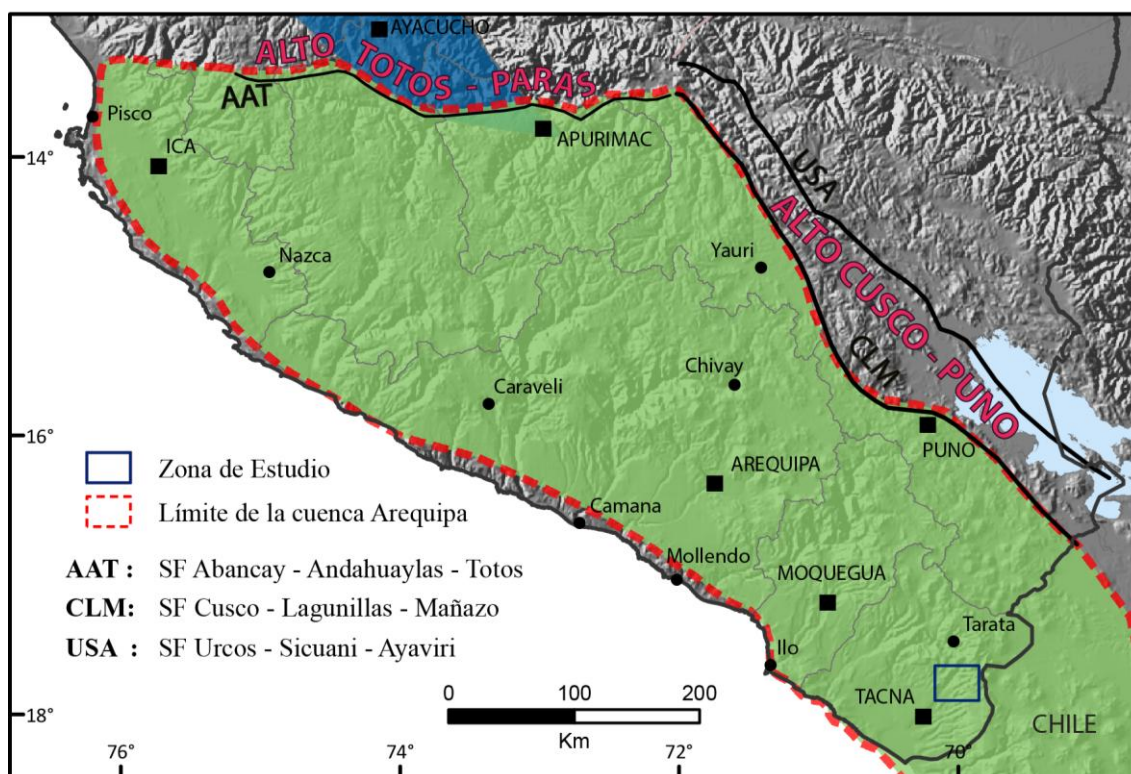


Figura 2.12.- La Cuenca Arequipa y sus límites en el sur del Perú. Modificado de Carlotto et al. (2009) y Vicente (2006).

Vicente et al. (1982) considera tres etapas en la evolución de la cuenca Arequipa:

## 1. Individualización de la Cuenca

Inicialmente se describe a la Formación Chocolate como una secuencia volcánica básicas de ambiente continental (Salinas, 1985), sobre el cual se empezaron a depositar los sedimentos de la Cuenca Arequipa, estudios posteriores (Pino, 2003; Pino et al., 2004) reportan la existencia de lavas almohadilladas, lo cual indica que las erupciones ocurrieron en un medio subacuático, además de que su parte superior está constituido de rocas carbonatadas que contienen fósiles de edad Sinemuriana (Alvan, 2009) esto indica que la Formación Chocolate es parte de las unidades que conforman la Cuenca Arequipa, y esta se empezó a depositar probablemente desde el Triásico Superior, además evidencia que dicha cuenca se encontraba sumergida.

Sobre esta unidad yacen secuencias de areniscas seguido de rocas calcáreas intercaladas con lutitas (Monge & Cervantes, 2000; Pino, 2003) correspondientes a la Formación Pelado, estas facies indican un ambiente de plataforma carbonatada muy somera (Acosta et al., 2011).

Posterior a esto ocurre una transgresión marcada por el conglomerado basal de la Formación Socosani seguido de rocas calcáreas de grano más fino que indican una la profundización de la cuenca. Lo que evidencia una tectónica distensiva que provoca la profundización de la cuenca (Salinas, 1985)

## **2. Relleno Turbidítico**

Representado por las formaciones Puente y Cachíos, las secuencias areno-pelíticas de la Formación Puente representado por un sistema de abanicos sub marinos que es sellado por las facies pelíticas de la Formación Cachíos (Salinas, 1985)

## **3. Colmatación Siliciclástica**

Representado por las secuencias siliciclásticas de la Formación Labra que implican una deformación en la cuenca, seguido por una disminución en los aportes siliciclasticos representada por la Formación Gramadal denominada como la etapa de Remate Carbonatado. Finalmente culminan con sedimentos siliciclásticos de la Formación Hualhuani.

### **2.3.2. Estratigrafía**

La estratigrafía en el área de estudio está conformada por un basamento metamórfico, y las unidades subyacentes están compuestas principalmente de rocas sedimentarias detríticas y también carbonatadas con solo una unidad de rocas volcánicas (Wilson & García, 1962; Acosta et al., 2011)

Las nomenclaturas de las unidades litoestratigráficas están adaptadas de acuerdo a los estudios más recientes (p.ej., Boekhout et al., 2013).

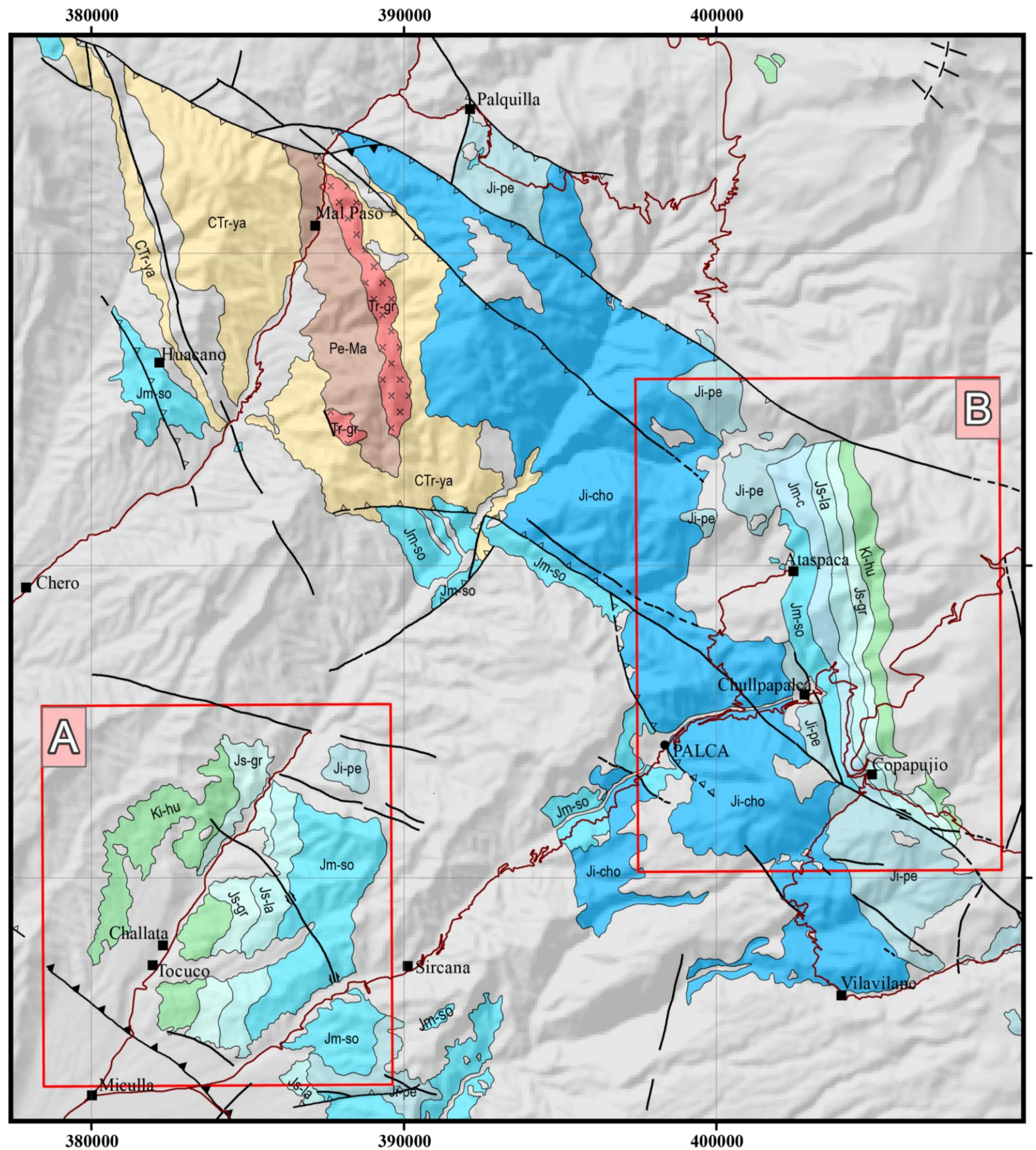
Las rocas que sobreyacen al Grupo Yura son: el Miembro Samanape (Grupo Toquepala), la Formación Moquegua, Formación Huaylillas, Grupo Tacaza, y los sedimentos recientes, los cuales están conformados por depósitos aluviales y fluviales. No se entra en detalle acerca de estas unidades debido a que no tienen relevancia para el objetivo del presente estudio.

#### **2.3.2.1. Macizo Arequipa**

Esta unidad fue inicialmente denominada como Complejo Basal de la Costa por Wilson y García (1962) en base a la correlación con los afloramiento descritos por Bellido y Narváez (1960). Esta unidad fue inicialmente denominada por distintos nombres, debido a estudios independientes en diferentes localidades del sur peruano (p.ej. gneis de Charcani , Complejo Basal de la Costa) comprenden de gneisses y esquistos, asociados con granitos alcalinos rojos y dioritas gnéissicas, que afloran en distintos lugares de la costa sur del Perú. Cobbing y Pitcher (1972) denominaron a todos estos afloramientos como Macizo Arequipa.

Wilson & García (1962), en los cuadrángulos de Palca y Pachía en la quebrada Chero, cerca del kilómetro 60 de la carretera Tacna y Tarata, describieron ortogneis graníticos y granodioríticos a una faja angosta como rocas más antiguas de la región. Localmente esta unidad fue descrita como Complejo Metamórfico Mal Paso (Salinas, 1985; Acosta et al., 2011) el cual también forma parte del Macizo de Arequipa.





**UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS**

- |               |                     |  |                                    |
|---------------|---------------------|--|------------------------------------|
| <b>Ki-hu</b>  | Formación Hualhuani |  | Rocas y Sedimentos post Grupo Yura |
| <b>Js-gr</b>  | Formación Gramadal  |  | Complejo Plutónico Mal Paso        |
| <b>Js-la</b>  | Formación Labra     |  |                                    |
| <b>Jm-c</b>   | Formación Cachíos   |  |                                    |
| <b>Jm-so</b>  | Formación Socosani  |  |                                    |
| <b>Ji-pe</b>  | Formación Pelado    |  |                                    |
| <b>Ji-cho</b> | Formación Chocolate |  |                                    |
| <b>CTr-ya</b> | Grupo Yamayo        |  |                                    |
| <b>Pe-Ma</b>  | Macizo Arequipa     |  |                                    |

**ESTRUCTURAS**

- |  |                        |  |                   |
|--|------------------------|--|-------------------|
|  | Falla                  |  | Lineamiento       |
|  | Falla inferida         |  | Sobreescurimiento |
|  | Falla inversa inferida |  |                   |

**SIMBOLOGÍA**

- |  |                  |
|--|------------------|
|  | Vias de Acceso   |
|  | Subzona          |
|  | Centros Poblados |

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b> Facultad de Ingeniería Escuela de Formación Profesional de Geología		
<b>MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>		
Elaborado por : Angel Carlos, SALAS COLCA	Escala : 1 : 150 000	Mapa N° : 2.1

Eratema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Litología	Edad U/Pb	Descripción
Cretácico	Inferior	Formación Hualhuani			Areniscas intercaladas con lutitas subordinadas.
Jurásico	Superior	Formación Gramadal			Intercalaciones de areniscas, lutitas y niveles calcáreos.
		Formación Labra			Intercalaciones entre areniscas y lutitas.
		Formación Cachíos			Lutitas intercaladas con areniscas subordinadas.
	Inferior	Formación Socosani			Areniscas intercaladas con calcarenitas y calizas.
		Formación Pelado			Conglomerados en la base, intercalaciones de areniscas y calizas.
Triásico	Superior	Formación Chocolate		<p>◆ 215.85 Ma</p> <p>◆ 218.8 Ma</p>	Coladas de andesitas basálticas y dacitas, y niveles de areniscas.
Pérmico		Grupo Yamayo			Conglomerados granodrecientes a areniscas, lutitas, calcarenitas.
Carbonífero					
Devónico					
Precámbrico		Macizo Arequipa		<p>◆ 1.0 Ga</p> <p>◆ 220.7 Ma</p> <p>◆ 1.9 Ga</p>	Ortogneis con laminaciones. Roca intrusiva de dos micas.

### Simbología

	Arenisca		Lutita
	Calcarenita		Rocas Intrusivas
	Caliza		Rocas Metamórficas
	Conglomerado		Rocas Volcánicas

### Referencias

- ◆ Edad del protolito  
Loewy et al. (2004), Casquet et al. (2010)
- ◆ Edad de metamorfismo  
Casquet et al. (2010)
- ◆ Edades máximas de depositación  
Boekhout et al. (2013)
- ◆ Edad de cristalización  
Boekhout et al. (2013)

Figura 2.13.- Columna estratigráfica generalizada de la zona de estudio.

En la zona de estudio la litología consiste de un ortogneis granítico, el cual presenta laminaciones que tienen un ancho de 1-5 mm y están ligeramente onduladas y pocas veces se ven estructuras de gneis, estas rocas están compuestas de hornblenda, mica y feldspatos con cuarzo (Wilson & García, 1962). En algunos afloramientos del gneis se encuentran vetas o pequeños diques de pegmatitas de forma irregular (compuesta p.ej.



ortosa, moscovita, cuarzo, anfíboles, Acosta et al., 2011), estas pegmatitas son de reemplazamiento (Wilson & García, 1962). Encontrando este afloramiento en la quebrada Chero, cerca del km 60 de la carretera Tacna y Tarata.

Sobre esta unidad yace en discordancia angular el Grupo Yamayo (Carbonífero - Triásico superior) con lutitas y conglomerados de clastos polimícticos (Pino et al., 2004).

Se ha determinado que el Macizo de Arequipa tiene un protolito sedimentario de ~2 Ga (Casquet et al., 2010) y los protolitos ígneos tienen edades de cristalización entre 1790 Ma a 1818 Ma (Wasteneys et al., 1995; Loewy et al., 2004). Estas rocas fueron sometidas a un evento metamórfico hace 1 – 1.2 Ga (Orogenia Sunsas – Grenville). Posteriormente el Macizo Arequipa fue intruido por plutones graníticos del Ordovícico alrededor de 465 Ma los cuales pertenecen al Arco Magmático Famatiniano (Loewy et al., 2004; Casquet et al., 2010).

### **2.3.2.2. Grupo Yamayo**

Esta unidad fue inicialmente llamada Formación Machani, en base a los afloramientos del Cerro Machani, la cual fue considerado de edad Triásica en base a fragmentos de ostrea no diagnosticada que indican una edad postpaleozoica (Wilson & García, 1962), posteriormente Salinas (1985) determina que aquellos fragmentos de ostrea en realidad son de un bivalvo determinado como *Myalina pliopetina*, los que indican una edad del Pérmico inferior (Newell, 1942). Monge y Cervantes (2000) denominan a esta unidad como Grupo Cabanillas en base a información paleontológica que corresponde al Devoniano (p.ej., *Mytilares sp.*, *Paracyclas rugosa*, *Dysodonta sp.*). Pino, Jacay, Sempere y Ianuzzi (2002), reportan el hallazgo de plantas *Nothorhacopteris* y *Tomiodendron*, que indican una edad del Carbonífero, y por lo tanto lo denominan como Grupo Ambo. Debido a la falta de un consenso en esta unidad, Boekhout et al. (2013) lo denominaron como Grupo Yamayo<sup>1</sup> (unidad sedimentaria siliciclástica del Paleozoico originalmente definido en el área de El Fiscal, en el valle del Tambo, Arequipa (Bellido y Guevara, 1963)) a estratos sedimentarios que sobreyacen al basamento en la costa sur del Perú y subyacen a la Formación Chocolate, la que sostienen en base a resultados de geocronología U-Pb en zircones detríticos, en el presente trabajo se le denomina como Grupo Yamayo basándose en los estudios realizados hasta la actualidad.

El Grupo Yamayo en la zona de estudio aflora en los alrededores de los cerros: Machani, Chinchillan y Huacano (hoja de Pachía). Litológicamente está constituido por conglomerados polimícticos con clastos de cuarzo y gneis (parte inferior), que

---

<sup>1</sup> Boekhout et al. (2013) determinaron que el Grupo Yamayo engloba a las unidades : Grupo Yamayo, Formación Machani, Formación Torán, los Conglomerados Pocoma y las Lutitas Cocachacra.

granodecrecen a lutitas, calcarenitas, con matriz arcillosa y calcárenita con esporádicos canales conglomerádicos (parte superior), (Acosta et al., 2011).

Sobreyace en discordancia angular al Macizo Arequipa, varios autores mencionan que subyace en discordancia paralela a la Formación Chocolate (p.ej., Wilson & Garcia, 1962); los nuevos datos geocronológicos (Boekhout et al., 2013) afirman que en realidad subyace en contacto concordante<sup>2</sup> a la Formación Chocolate. El espesor de la unidad se estima aproximadamente en unos 1,200 m (Monge & Cervantes, 2000).

Los resultados geocronológicos indican que esta unidad comprende un periodo del Carbonífero medio al Triásico superior (edad máxima de  $218.8 \pm 3.3$  Ma, en el techo de la unidad, tomada de una arenisca en el distrito de Estique Pampa; Boekhout et al., 2013). Sin embargo Boucot, Isaacson y Laubacher (1980) reportaron fósiles devónicos en el área del Fiscal al igual que Monge y Cervantes (2000) en los cuadrángulos de Pachía y Palca (área de estudio). La presencia del Devónico no es tema del presente estudio por lo tanto se limita a asignarle a la unidad la edad de Carbonífero – Triásico superior.

### **2.3.2.3. Formación Chocolate**

Denominada por primera vez como Formación Junerata (Wilson & García, 1962) en el Cerro Junerata, estudios posteriores (p. ej., Vicente (1981), Salinas, (1985), Monge & Cervantes (2000)) permitieron correlacionarla con la Formación Chocolate del departamento de Arequipa (Jenks, 1948; Benavides, 1962). También es denominada Formación Chocolate Inferior por Acosta et al. (2011) con fines cartográficos. Aflora en los cerros Palquilla y Ticana, cabe mencionar que los afloramientos del Cerro Junerata en realidad corresponden al Grupo Toquepala (Acosta, Mamani, Alván, Oviedo & Rodríguez, 2010). Litológicamente se trata de rocas volcánicas conformadas por coladas de andesitas basálticas y dacitas de textura afanítica, de color gris con evidencia de fluidificación, siendo esta la parte superior de la formación, la parte basal no aflora en el área de estudio (Acosta et al., 2011).

Tiene un espesor aproximado de 1500 m. Sobreyace en conformidad al Grupo Yamayo (Boekhout et al., 2013) y subyace en discordancia erosiva a la Formación Pelado.

En base a los fósiles de gasterópodos y bivalvos hallados en la Playa Vila Vila en la Yarada: *Spiriferina sp.*, *Trigonodus sp.*, *Promathilda sp.* y *Triadocidaris sp.* (Determinado por M. Aldana, Alván et al., 2010), determinan una agrupación que sugiere una edad correspondiente al Triásico superior, además en el área de Mal Paso se realizaron dataciones geocronológicas U-Pb en zircón a una ignimbrita, en la base de la formación resultando en una edad  $215.85 \pm 0.82$  Ma (Boekhout et al., 2013) la cual confirma el Triásico Superior. Mientras las rocas de la formación suprayacente

---

<sup>2</sup> Pino et al. (2004) y Sempere et al. (2002) ya habían propuesto la ausencia de un hiato entre el Grupo Ambo (Grupo Yamayo) y la Formación Junerata (Formación Chocolate).

contienen en su parte basal la biozona de *Arietites Bucklandi* que corresponden al Sinemuriano inferior (Salinas, 1985). Por lo que la edad de esta formación se ubica en el Triásico superior – Hetangiano?.

#### **2.3.2.4. Formación Pelado**

Definida por Wilson y García (1962) como Formación Pelado en el cerro Pelado, en el área de Bellavista. También denominada Formación Chocolate Superior por Acosta et al. (2011) con fines cartográficos. Aflora en los cerros: Tocuco, Tres Cruces, Chari (cuadrángulo de Pachía) y en los cerros: Chontacollo, Pelado y Talaviata (cuadrángulo de Palca).

Litológicamente su composición en la parte inferior es de conglomerados, areniscas, limolitas calcáreas gris claras en capas delgadas, con niveles de calizas silicificadas con presencia de fósiles, seguido por intercalaciones de capas delgadas de limolitas calcáreas fisibles gris oscuras fisibles, con limolitas verdes. En la parte superior se tiene una intercalación de calizas gris oscura con limolitas oscuras en capas delgadas a medianas con presencia de fósiles (Monge & Cervantes, 2000).

No es posible determinar su espesor ya que sus afloramientos se encuentran en repeticiones debido a la actividad del Sistema de Fallas Incapuquio, aunque se estima que esta en los 250 y 400 m (Acosta et al., 2011). Sobreyace en contacto erosivo a la Formación Chocolate e infrayace en contacto concordante a la Formación Socosani (Acosta et al., 2011).

En base a evidencias paleontológicas, en la base de la formación se encuentra la biozona *Arietites bucklandi* de la parte superior del Sinemuriano inferior (Salinas, 1985), y en parte superior de la formación se han hallados fósiles pertenecientes a las biozonas *Meridiceras externum* y *Echioceras meridianus* que corresponden a la parte inferior y media del Pliensbachiano inferior (Hillebrandt, 2006). Por lo tanto se afirma que la edad de esta formación se encuentra entre el Sinemuriano inferior y el Pliensbachiano superior.

#### **2.3.2.5. Formación Socosani**

Descrita inicialmente como Formación San Francisco (Wilson & García, 1962) en la Pampa San Francisco cerca de la desembocadura de la quebrada Palca. Vicente (1981) y Salinas (1985) proponen que esta unidad junto con la Formación Pelado son equivalente a la Formación Socosani de Arequipa (Jenks, 1948; Benavides, 1962). Posteriormente Monge y Cervantes, (2000) y Acosta et al. (2011) establecen el uso de Formación Socosani en base a características paleontológicas y litológicas. Aflora en las quebrada: Ataspaca, Palca, Ammos; cerros: Tocuco y San Francisco y también en los cerros: Ticana y Sino (Acosta et al., 2011).

Litológicamente está constituido en la base por una secuencia de cuarcitas pardo amarillentas intercalada con limolitas gris oscuras en capas delgadas fuertemente disturbadas por fallas pequeñas, seguido por calizas y limolitas calcáreas gris oscuras en capas delgadas en algunos casos característicamente laminar, con presencia de ammonites y la parte superior una secuencia de areniscas calcáreas pardas en capas medianas con presencia de fósiles y niveles delgados de calizas limolíticas gris oscuras en capas delgadas (Monge & Cervantes, 2000).

El espesor de los afloramientos se encuentra entre los 300 m y 400 m (Acosta et al., 2011), sobreyace y subyace en contacto progresivo a la Formación Pelado y al Grupo Yura.

Las sucesiones basales contienen a las biozonas de *Dactylioceras hoelderi* y *Harpoceras bifrons*, (Acosta et al., 2011) las cuales corresponden a la parte superior del Toarciano inferior y parte inferior del Toarciano medio respectivamente. En Yura, Arequipa una capa de cenizas en la base de la Formación Socosani, fue datada por el método U-Pb resultando en una edad máxima de  $185.8 \pm 1.0$  Ma (Pliensbachiano), (Boekhout et al., 2013). En los niveles superiores, Wilson y García (1962) colectaron ammonites posiblemente de la biozona de *Punchenquia malarguensis* del Aaleniano superior, y *Sonninia sp.* del Bajociano inferior. Salinas (1985), reporta fósiles de la zona *Bredyia manflasensis* del Aaleniano inferior, colectados en la quebrada Ammos. Hillebrandt y Westermann (1985) colectan en los alrededores de Palca, ammonites de la zona de *Bredyia manflasensis* del Aaleniano inferior y la zona de *Punchenquia malarguensis* del Aaleniano superior. Hillebrandt (1970) reporta a *Epistrenoceras sp.* del Batoniano superior en Copapuquio al norte del cerro Pelado. En base a todas las evidencias expuestas la edad de esta unidad se encuentra entre el Toarciano inferior y Batoniano superior.

#### **2.3.2.6. Grupo Yura**

Wilson y García (1962) denominaron a una potente secuencia de cuarcitas, areniscas y lutitas, como Grupo Yura en base a similitudes litológicas con la unidad de aquel entonces nombrada como “Formación Yura” en el valle del río Yura, Arequipa por Jenks (1948) y Benavides (1962). En la zona de estudio fue elevada a la categoría de Grupo debido a que se comprobó su extensión regional y fue dividida en dos unidades cartografiables que fueron denominadas de la base al techo como: Formación Ataspaca y Formación Chachacumane (Wilson & García 1962).

Esta estratigrafía es posteriormente reinterpretada por Vicente (1981) y Salinas (1985), que proponen y respaldan que la Formación Ataspaca es correlacionable con las formaciones Puente y Cachíos de Arequipa, del mismo modo Formación Chachacumane es correlacionable con la Formación Labra. Adicionalmente Salinas (1985) expone la presencia de las formaciones Gramadal y Hualhuani en Tacna.



Los últimos estudios consideran la exclusión de la Formación Hualhuani (Alván et al., 2018), del Grupo Yura. En el departamento de Tacna esta unidad consiste en las formaciones Cachíos, Labra y Gramadal; la Formación Puente está ausente en la zona de estudio (Tacna).

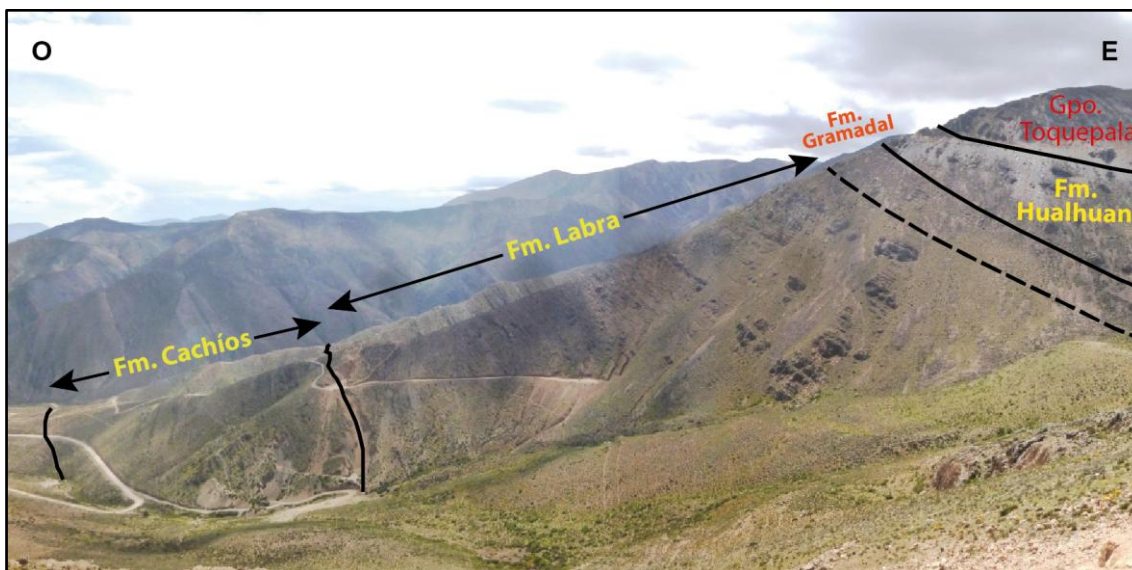


Figura 2.14.- Afloramiento del Grupo Yura en el Cerro Chachacumane (Tacna).

#### 2.3.2.6.1. Formación Cachíos

Definida inicialmente como Formación Ataspaca en la quebrada Chachacumane por Wilson y García (1962), la que su parte inferior sería equivalente a la Formación Puente y Cachíos de Arequipa (Jenks, 1948; Benavides, 1962; Vicente, 1981; Salinas, 1985). Tiene afloramientos en las quebradas: Quilla y Vilavilani, y en los cerros: Pelado, Caplina, Yaurimojo, Paquercara, Chulluncane y Chachacumane. En la zona de estudio se encuentra ausente la Formación Puente (Alván et al., 2018).

Su composición litológica en la base está compuesta de intercalaciones de lutitas y limolitas grises verdosas pardo amarillentas en capas delgadas, con areniscas cuarzosas grises con tonalidades verdosas que van aumentando su espesor; en la parte intermedia continua la intercalación de areniscas en capas más delgadas (20 cm) con niveles de lutitas gris oscura carbonosas (de 5 y 10 cm); hacia el techo aumenta la presencia de lutitas en capas delgadas de colores grises a negras (carbonosas) con laminaciones paralelas, con intercalación de areniscas cuarzosas de grano medio grises claras (pardas) en capas delgadas (Monge & Cervantes, 2000).

Presenta un espesor aproximado de 450 m. Suprayace en contacto progresivo a la Formación Socosani y subyace de manera concordante y gradual a la Formación Labra (Acosta et al. 2011).

En la base de la formación se han encontrado fósiles de las biozonas *Hecticoceras proximum* y de *Reineckeia anceps* que corresponden al Calloviano inferior a medio respectivamente, las mismas que se encuentran en Arequipa (Vicente, 1981; Jenks, 1948; Benavides, 1962; Alván et al., 2010), en la parte superior no se reportan fósiles, pero debido a que subyace de manera concordante a la Formación Labra con base Oxfordiana, se considera que la Formación Cachíos corresponde al Calloviano.



Figura 2.15.- Afloramiento de la Formación Cachíos en el Cerro Chachacumane.

#### 2.3.2.6.2. Formación Labra

Descrita inicialmente como Formación Chachacumane (Wilson & García, 1962), posteriormente Vicente (1981) y Salinas (1985) lo correlacionan con la Formación Labra de Arequipa (Jenks, 1948; Benavides, 1962), y Monge y Cervantes (2000) establecen su uso. Aflora en las quebradas: Quilla, Chulluncane y Chachacumane al este de Palca (Acosta et al., 2011).

Litológicamente su base está constituida por capas de limolitas fisibles y siltitas arcillosas, con esporádicas capas de areniscas, con suaves plegamientos sinsedimentarios, el nivel medio está conformada por intercalaciones de lutitas negras con laminación interna paralela de hasta 5 m con areniscas grano fino a medio ínterestratificado con limolitas gris oscura con espesores de hasta 10 m con predominio de areniscas, culminando en capas medias a gruesas de arenisca cuarzosas blanquecinas de grano medio. La secuencia superior constituido por areniscas cuarzosas en capas delgadas a medianas con presencia de ondulitas simétricas de pequeña escala,

esporádicos niveles de limolitas con laminación interna paralela en capas delgadas (Monge & Cervantes, 2000).

Tiene un espesor de 270 - 300 m. La Formación Labra suprayace y subyace de manera concordante a la Formación Cachíos y Formación Gramadal respectivamente.

Wilson y García (1962) mencionan que en la Formación Chachacumane (Formación Labra), hallaron fósiles de plantas en las lutitas negras. Salinas (1985) colectó en la quebrada Cuviri a los ammonites *Perisphinctinae ind.* y *Oppeliidae ind.* del Oxfordiano (determinados por A. von Hillebrandt), en niveles que corresponderían a la parte inferior de la Formación Labra, de la misma manera en que se presentan en Arequipa (Jenks, 1948; Benavides, 1962). Por evidencias fósiles descritas y la similitud litológica se le da la misma edad que en Arequipa (Vicente, 1989), que estaría comprendida entre Oxfordiano – Kimeridgiano.



Figura 2.16.- Afloramiento de la Formación Labra en la Quebrada Ataspaca.

### 2.3.2.6.3. Formación Gramadal

Reconocida por primera vez en la zona de estudio por Salinas (1985)<sup>3</sup>, a una serie detrito-pelítica frecuentemente calcárea.

Litológicamente está constituida por areniscas arcillosas (Fig. 2.16) en capas delgadas intercaladas con limolitas gris oscura en paquetes medianos, limolitas negras característicamente laminares ínterestratificado con pequeñas láminas de óxido de



hierro. También se observan calizas micríticas orgánicas oscuras en capas medianas a delgadas.

Sus mejores afloramientos se encuentran al borde de las quebradas Quilla y Chachacumane. En la quebrada Quilla presenta 60 m de espesor (Acosta et al., 2011).

Salinas (1985) reportó la presencia de helechos del género *Lacopteris* que resulta en edades del Neocomiano, Monge y Cervantes (2000) reportan son *Windhauseniceras sp.* (Titoniano), *Perisphinctes sp.* (Oxfordiano-Titoniano). Debido a estos hallazgos se le considera perteneciente al Jurásico superior.



Figura 2.17.- Muestra de mano de la Formación Gramadal del Cerro Chachacumane

#### **2.3.2.6.4. Formación Hualhuani**

Salinas (1985)<sup>3</sup> reconoce a una serie sedimentaria predominantemente silicoclástica, que conforma la parte superior del Grupo Yura, está compuesta al 95% de granos de cuarzo y algunos granos de zircón. Litológicamente se tiene una secuencia inferior de areniscas finas en capas delgadas con estructuras de ondulitas simétricas, y niveles que presentan estratificación oblicua con dirección hacia el Sur y al Oeste. Se tiene además capas gruesas de cuarcitas de hasta 4 m sin estructura sedimentaria interna.

Aflora en el Cerro Llaullacane y en el curso medio a superior de la Quebrada Quilla y Chachacumane. En la quebrada Quilla aflora con 160 m de espesor (Acosta et al., 2011).

---

<sup>3</sup> Pino et al. (2004) afirman que los afloramientos de la Formación Gramadal y la Formación Hualhuani que reconoció Salinas (1985) en la parte superior de la Formación Ataspaca en realidad son parte de la Formación Chulluncane (Grupo Toquepala) basándose en el contenido fósil de la “Formación Gramadal” que resultan en una edad titoniana.

La naturaleza de los sedimentos manifiesta un ambiente netamente continental. La ausencia de fósiles impide determinar su edad, por lo tanto, en base a la posición estratigráfica se asume para la Formación Hualhuani el Neocomiano inferior (Monge & Cervantes, 2000).



Figura 2.18.- Afloramiento de la Formación Hualhuani en el Cerro Chachacumane.

### **2.3.3. Rocas Intrusivas**

En el área de estudio únicamente aflora un cuerpo de rocas ígneas el cual antecede al inicio de depositación en la cuenca Arequipa.

#### **2.3.3.1. Complejo Plutónico Mal Paso**

Estas rocas afloran cerca al centro poblado Mal Paso. Está compuesto por leucogranitos, de color mayormente blanquecino, consiste principalmente de cuarzo, ortoclasa, biotita y moscovita (Pino et al. 2002); el cual fue datado por el método  $Ar^{40}/Ar^{39}$  en moscovita, resultando en una edad del Triásico superior (M.Fornari, Laboratoire de Géochronologie, Géosciences Azur, Francia, inédito). Posteriormente Boekhout et al. (2013) realiza la datación por U-Pb en zircón en una muestra de granito (09FB82; N: 8051220.482, E: 387661.567) resultando en una edad del Triásico tardío  $220.7 \pm 1.6$  Ma (n = 14).

### 2.3.4. Arcos Volcánicos

Durante el tiempo de relleno de la Cuenca Arequipa, se encontraban en actividad los arcos volcánicos Chocolate y Río Grande, los cuales también aportaron materiales de relleno. Los arcos volcánicos fueron clasificados en función a su composición geoquímica y geocronología por Mamani et al. (2010).

#### 2.3.4.1. Arco Volcánico Chocolate

De edad de entre 190 – 170 Ma, en el arco está representado por basaltos a andesitas toleíticas, y calcoalcalinas; dioritas y granitos calcoalcalino, en la zona de trasarco está compuesto por riolitas calcoalcalinas, monzonitas, granodioritas y granitos calcoalcalinos.

#### 2.3.4.2. Arco Volcánico Río Grande

De edad entre 170 – 130 Ma, en el arco está representado por basaltos, basalto andesitas toleíticas y calcoalcalina; dioritas y granitos calcoalcalino, en la zona de trasarco está compuesto por riolitas calcoalcalinas, monzonitas, granodioritas y granitos calcoalcalinos.

### 2.4. Definición de Términos

- ♣ **Age (edad).**- es la interpretación de una fecha o grupo de fechas (p.ej. edad de cristalización, erupción, enfriamiento).
- ♣ **Biozona.**- unidad básica de la clasificación bioestratigráfica, Las unidades bioestratigráficas (biozonas) son conjuntos de estratos que se definen y caracterizan por su contenido fósil, sin tener en cuenta su espesor, ni su extensión geográfica.
- ♣ **Catodoluminiscencia (CL).**- es un fenómeno que ocurre en algunos materiales en el cual cuando se les incide un haz de electrones, estos emiten luz visible, su uso en zircones detríticos permite la identificación de diferentes dominios. Por ejemplo en zircón, elementos de Tierras Raras trivalentes dominan la CL, por otra parte el U y el daño resultante por radiación suprime la CL, por lo tanto en zircones ricos en U existe poca CL, lo que permite distinguir zonas ricas y pobres en U.
- ♣ **Cratón Amazónico.**- se encuentra localizado al norte de Sudamérica, cubre alrededor de  $4.3 \times 10^5$  km<sup>2</sup>, y se encuentra rodeado por franjas orogénicas Neoproterozoicas, está dividido en seis principales provincias geocronológicas:
  - a) Franja Móvil Súnas - Grenville (1.2 – 0.9 Ga)
  - b) Franja Móvil Rondonia - San Ignacio (1.55 – 2 Ga)
  - c) Franja Móvil Río Negro - Juruena (1.8 – 1.55 Ga)

- d) Franja Móvil Ventuari - Tapajos (2.0 – 1.8 Ga)
- e) Provincia Marconi - Icantiunas (2.2 – 1.9 Ga)
- f) Provincia Amazónica Central (>2.3 Ga)

- ♣ **Cuenca Sedimentaria.**- grandes regiones de la corteza, de topografía negativa, generalmente de forma elongada, donde se acumulan sedimentos en sucesiones de cientos a miles de metros de espesor durante largos periodos de tiempo (millones de años) y su extensión puede alcanzar de miles a millones de km<sup>2</sup>.
- ♣ **Datación radiométrica.**- es un procedimiento técnico empleado para determinar la edad absoluta de rocas, minerales y restos orgánicos. El método se basa en las proporciones de un isótopo padre y de uno o más descendientes de los que se conoce su semivida o periodo de semidesintegración (vida media), contenidos en la muestra que se va a estudiar. Existen distintos métodos: U-Pb, <sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar, K-Ar, Re-Os, etc.
- ♣ **Date (fecha).**- es el resultado de una ecuación de desintegración (isócrona), o la media ponderada de un grupo de fechas, no tiene ninguna significancia geológica.
- ♣ **Diagrama de Concordia.**- diagrama binario donde se representa la relación: <sup>238</sup>U/<sup>206</sup>Pb vs <sup>235</sup>U/<sup>207</sup>Pb.
- ♣ **Diagrama Tera-Wasseburg.**- diagrama binario donde se representan la relación: <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb vs <sup>238</sup>U/<sup>206</sup>Pb, donde solo se trabajan edades Mesozoica y más recientes.
- ♣ **Equilibrio Secular.**- en una serie de desintegración radioactiva cuando el producto de la abundancia de un isótopo y su constante de desintegración son iguales entre todos los productos hijos intermedios y el isótopo padre, solo se cumple cuando la vida media del isótopo padre es mucho mayor, que la de los isótopos hijos intermedios, p.ej. U-Pb.
- ♣ **Gondwana.**- supercontinente del hemisferio sur, que comprendía el ensamble de las áreas presentes de: Sudamérica, Sudáfrica, India, Australia, Arabia y Antártica.
- ♣ **Isocrona.**- línea recta ideal, la cual resulta de la unión de los puntos definidos al plotear en un gráfico binario la relación de isótopos radiogénicos contra los isótopos padres (p.ej., <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr vs <sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr), de una misma muestra. Se define como una línea ideal debido a que solo podría ser recta, únicamente en el caso de que se tratase de un sistema cerrado.
- ♣ **Isótopos.**- son los átomos de un mismo elemento, cuyos núcleos tienen una cantidad diferente de neutrones, y por lo tanto, difieren en número de masa (A).

- ♣ **Minerales Pesados.**- minerales accesorios de alta densidad ( $\geq 2,87 \text{ g/cm}^3$ ), compuestos por diversas especies minerales tales como: zircón, apatito, rutilo, turmalina, monacita, xenotimo, granates, piroxenos, micas, anfíboles, etc.
- ♣ **Orogenia Greenville.**- es uno de los episodios orogénicos más grandes de la Tierra, ocurrió con el ensamble del supercontinente Rodinia, al final de la era Mesoproterozoica hace 1,2 – 1,0 billones de años.
- ♣ **Politungstato de Sodio.**- Líquido pesado no tóxico  $\text{Na}_6[\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}]$ , soluble en agua, de densidad  $2,87 \text{ g/cm}^3$  que es empleado en la separación de minerales pesados y ligeros.
- ♣ **Procedencia Sedimentaria.**- los estudios de procedencia sedimentaria se realizan para reconstruir e interpretar la historia del sedimento desde la erosión de la roca parental hasta el sepultamiento final de sus detritos, el objetivo de estos estudios es deducir las características de las áreas fuente a partir de las propiedades composicionales y texturales de los sedimentos detríticos.
- ♣ **Sistema abierto.**- es un sistema en el que la materia y la energía entran y salen. La mayoría de los sistemas naturales son de este tipo.
- ♣ **Sistema cerrado.**- es un sistema independiente en cuanto a la materia, es decir, la materia no puede entrar ni salir, pero la energía sí.
- ♣ **Temperatura de Cierre.**- es la temperatura en la cual un sistema se ha enfriado, por lo tanto ya no existe difusión significativa de isótopos padre o hijos hacia fuera del sistema, es decir, al ambiente externo. Esta temperatura varía entre los diferentes minerales, es específico para un mineral y un sistema isotópico
- ♣ **Zircón ( $\text{ZrSiO}_4$ ).**- Es un ortosilicato perteneciente al sistema tetragonal. su peso específico se encuentra entre  $4,6 - 4,7 \text{ g/cm}^3$ . Es un mineral accesorio muy común en la naturaleza y ocurre en una amplia variedad de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, además de poseer una gran resistencia a los procesos sedimentarios. Es conocido por incorporar en su red cristalina, una diversidad de elementos trazas lo cuales tienen la capacidad de almacenar importante información química (Y, Hf, TR, Pb, He, Nd) e isotópica ( $\text{U}^{238,235}$ ,  $\text{Th}^{232}$ , Hf,  $\delta^{18}\text{O}$ ); lo cual le permite ser utilizada en un amplio rango de investigaciones en geología.
- ♣ **Zircón estándar.**- dataciones radiométricas en las cuales se emplea técnicas de Microhaces (SIMS y LA-ICP-MS) requieren el desarrollo de materiales de referencia tanto para la calibración de la edad con ajuste matricial y para el control de calidad. Los requerimientos para tales materiales son:



- a) Homogeneidad y concordancia de la relación radiométrica U/Pb.
- b) Bajo contenido de  $^{204}\text{Pb}$ .
- c) Contenido moderado de U (de decenas a miles de ppm).
- d) Estructura cristalina (no metamórfico).
- e) Tamaño adecuado para la repetición de los análisis (varios granos con diámetro entre milímetros y centímetros).
- f) Disponibilidad para ser utilizado por la comunidad científica. Algunos ejemplos de zircones estándar son: Temora (416,8 Ma), 9435 (55,5 Ma), R33 (419,3 Ma), Plešovice (337,2), 49127 (136,6 Ma), Fish Canyon Tuff (28,5 Ma), Ecstall (91,5 Ma), etc.

## 2.5. Hipótesis

### 2.5.1. Hipótesis General

El análisis de procedencia, puede indicar aportes de unidades recicladas debido al marco tectónico en el que se depositó el Grupo Yura, como provenientes del Geoanticlinal del Marañón, y del Macizo Arequipa.

### 2.5.2. Hipótesis Específicas

- i. Las edades más jóvenes probablemente serán correlacionables con la actividad del Arco Volcánico Chocolate y del Arco Volcánico Río Grande ya que estuvieron adyacentes a la Cuenca de Arequipa, por el lado occidental.
- ii. Las unidades litoestratigráficas que más aporte de zircones tuvieron, fueron el Macizo Arequipa y el Arco Volcánico Chocolate.
- iii. Por la ubicación de la zona de estudio parte de los detritos deben provenir de las Orogenias Pampeano, Famatiniano y del Cratón Amazónico.

## 2.6. Identificación de las Variables

Tabla 2.5.- Variables.

<b>Variables Independientes</b>	<b>Variables Intervinientes</b>	<b>Variables Dependientes</b>
<b>A. Edad de los zircones</b>	Núcleos xenocrísticos	Tamaño de los zircones Color de los zircones
<b>B. Morfología de los zircones</b>	Reciclaje sedimentario Reciclaje magmático	Tipo de roca fuente

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Un método de investigación combinado como lo es el presente estudio, implica recopilar toda la literatura en detalle sobre: el método de investigación (geocronología U-Pb en zircones detríticos), estudios geológicos realizados en la zona de estudio (Tacna) y en otras localidades donde también aflora el Grupo Yura; y una etapa de campo, donde se aplica dicha metodología, en este caso a los afloramientos ubicados en el Cerro Chachacumane (Pachía), Cerro Challata y Tocuco (Palca), siendo además los únicos afloramientos donde aflora la secuencia completa del Grupo Yura en el departamento de Tacna. El trabajo de campo inicia con la identificación del afloramiento, la colecta de muestras de ~4 kg de areniscas y su respectiva descripción tanto de la muestra y el afloramiento. Posteriormente el trabajo de laboratorio involucró varias etapas, las que comprenden: separación granulométrica, química, gravimétrica, magnética y finalmente la selección a mano de los granos de zircón “*hand-pick*”, para ser enviadas al laboratorio de Geocronología (SERNAGEOMIN en Chile).

Estos zircones son datados por el método U-Pb, y las edades resultantes son filtradas (según su discordancia), procesadas y representadas en diagramas de Estimación de Densidad Kernel [KDE] los que permiten visualizar su distribución, y así poder comparar con las dataciones compiladas de unidades más antiguas que el Grupo Yura, y también agruparlas de acuerdo a los diversos episodios orogénicos ocurridos en Sudamérica; de este modo realizar el análisis de procedencia, y reconstruir la paleogeografía en la Cuenca Arequipa durante la depositación del Grupo Yura.

#### 3.1. Tipo de Investigación

Según la naturaleza de los objetivos se trata de las siguientes tipos:

- ❖ **Investigación Observacional:** porque está basada en describir procesos dinámicos que tuvieron lugar en el pasado (Jurásico medio al Cretácico inferior), tal como la formación de rocas y estructuras sedimentarias, cristalización de zircones.
- ❖ **Investigación Descriptiva:** se describe la procedencia sedimentaria del Grupo Yura, y posiblemente también su edad de depositación.
- ❖ **Investigación Explicativa:** se describen y explican los procesos geodinámicos, la tectónica, la paleogeografía, de la Cuenca Arequipa en el sur del Perú, del Jurásico Medio al Cretácico inferior (Grupo Yura).

Según la naturaleza de la información obtenida:

- ❖ **Investigación Cuantitativa:** como resultado de la datación radiométrica U-Pb se obtendrán distintas “fechas”, las cuales son representadas en diagramas para su interpretación (p.ej., Concordia, Estimador de Densidad Kernel), de esta manera se trata de determinar una edad de un evento importante (p.ej. edad de metamorfismo, edad de depositación máxima, cristalización).

### 3.2. Diseño de la Investigación

El diseño de investigación es de tipo experimental y se desarrolló tal como se visualiza en la Figura 3.1.

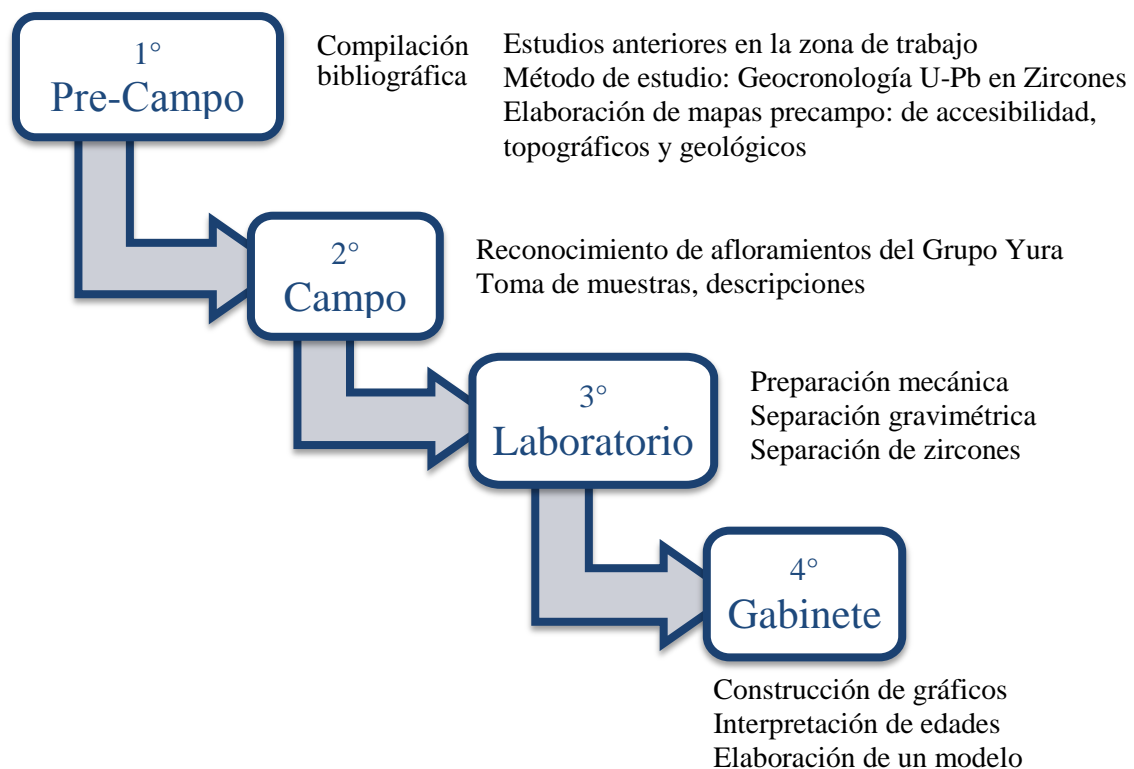


Figura 3.1.- Etapas de la Investigación.

### 3.3 Población - Muestra

#### 3.3.1 Población

En el presente trabajo la población comprende todas las edades de todos los zirrones presentes en las 12 muestras de roca colectadas para el presente estudio.

#### 3.3.2 Muestra

En el presente estudio se utilizaron las edades de 100 a 120 zirrones de una muestra de roca, para poder representar aproximadamente todas las poblaciones de edades presentes de las rocas de las que provienen.

### 3.4 Método de la Investigación

Se trata de una investigación combinada (documental y de campo). Debido a que la presente investigación abarca una primera etapa donde se recopilan fuentes bibliográficas tales como:

- ❖ Geología del Grupo Yura en la zona de estudio (Tacna) y otros sectores.
- ❖ La cuenca sedimentaria mesozoica Arequipa-Arequipa
- ❖ Aplicación de la geocronología en rocas sedimentarias
- ❖ El método de estudio a aplicar: geocronología U-Pb en zircones detríticos.

Posteriormente la investigación consiste en una etapa de práctica, donde se realizó una salida de campo a la zona de estudio (Tacna) para recopilar información tal como:

- ❖ Colecta de muestras
- ❖ Toma de datos geográficos de las muestras
- ❖ Descripción de los afloramientos y de las muestras

### 3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para este tipo de trabajo se realiza un muestreo a las areniscas de grano medio a grueso (diámetro comprendido entre 0,25 – 2 mm; Wentworth (1922)) pertenecientes al Grupo Yura (formaciones Puente/Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani), las muestras tienen un peso alrededor de 2 a 4 Kg, escogiéndose muestras lo más representativas posibles y de preferencia con poca cantidad de matriz, registrándose también todas las características de los afloramientos de cada muestra.

Posteriormente cada muestra de estudio es ubicada en una columna estratigráfica.



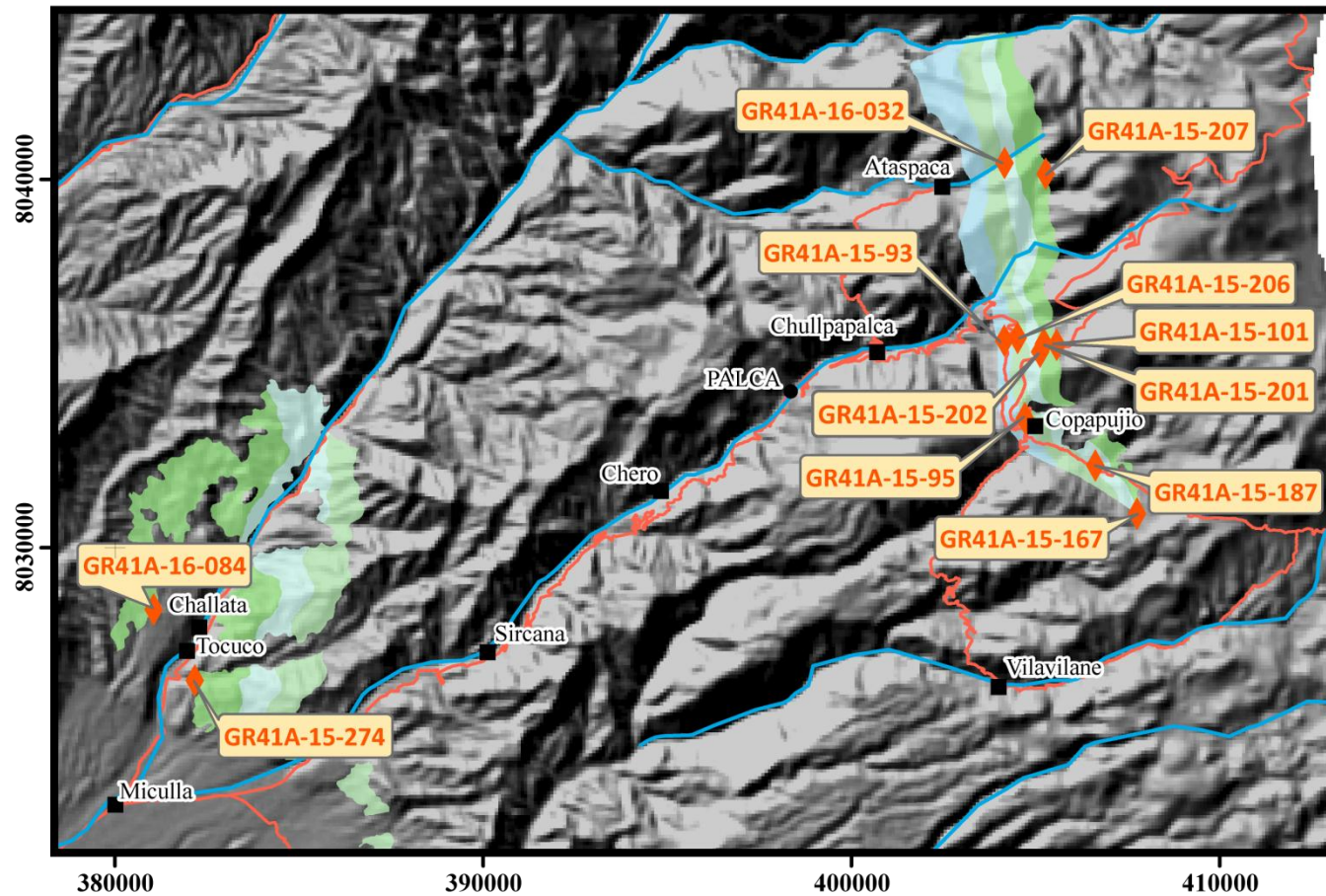
Figura 3.2.- Afloramiento de la Formación Labra en el Cerro Challatita.

Para realizar todos los trabajos se utilizaron los instrumentos en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1.- Materiales y equipos utilizados.

<b>Etapa</b>	<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
<b>Campo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Picota</li> <li>- Brújula</li> <li>- Protactor</li> <li>- Libreta de campo</li> <li>- Bolsas de muestreo</li> <li>- Lupa x20</li> <li>- Planos geológicos</li> <li>- Planos topográficos</li> <li>- Fotografías aéreas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GPS</li> <li>- Radio</li> </ul>
<b>Preparación Mecánica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamices</li> <li>- Alcohol</li> <li>- Bolsas de muestra</li> <li>- Ácido acético</li> <li>- Agua desionizada</li> <li>- Vasos de precipitación</li> <li>- Piseta</li> <li>- Bagueta de vidrio</li> <li>- Papel Film</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chancadora</li> <li>- Tamizador</li> <li>- Limpiador ultrasónico (tamices)</li> <li>- Campana de gases</li> <li>- Horno eléctrico</li> <li>- Balanza analítica</li> </ul>
<b>Separación Gravimétrica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Politungstato de Sodio</li> <li>- Soporte universal</li> <li>- Embudo de decantación</li> <li>- Embudo cónico</li> <li>- Papel filtro</li> <li>- Densímetro</li> <li>- Probeta graduada</li> <li>- Frascos de vidrio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agitador magnético</li> <li>- Horno eléctrico</li> <li>- Campana de gases</li> <li>- Cocina eléctrica</li> <li>- Hervidor eléctrico</li> </ul>
<b>Separación de Zircones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Imán</li> <li>- Aguja hipodérmica</li> <li>- Frascos Criovial</li> <li>- Hojas bond</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Microscopio Estereoscópico</li> </ul>

Se tomaron un total de 12 muestras del Grupo Yura y la Formación Hualhuani, siendo dos (02) muestras de la Formación Cachíos, cuatro (05) muestras de la Formación Labra, y cuatro (05) muestras de la Formación Hualhuani, las cuales están distribuidas como se observa en el mapa 3.1.

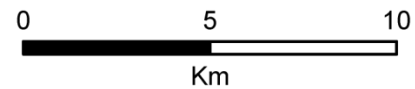


**UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS**

- Grupo Yura
- Fm. Hualhuani
  - Fm. Gramadal
  - Fm. Labra
  - Fm. Cachíos

**SIMBOLOGÍA**

- Vias de Acceso
- Drenaje
- Centros Poblados
- Provincia



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b> Facultad de Ingeniería Escuela de Formación Profesional de Geología		
<b>MAPA DE UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS</b>		
Elaborado por : Angel Carlos, SALAS COLCA	Escala : Gráfica	Mapa N° : 3.1





Figura 3.3.- Afloramiento de la Formación Hualhuani, en el Cerro Tocuco. Se tomó la muestra GR41A-16-084 (arenisca de grano medio).

### 3.6. Técnicas de Procesamiento

Se dividen en tres etapas; cada etapa se diferencia de la subsecuente en: el lapso de tiempo de trabajo, los instrumentos utilizados y la cantidad de muestra utilizada.

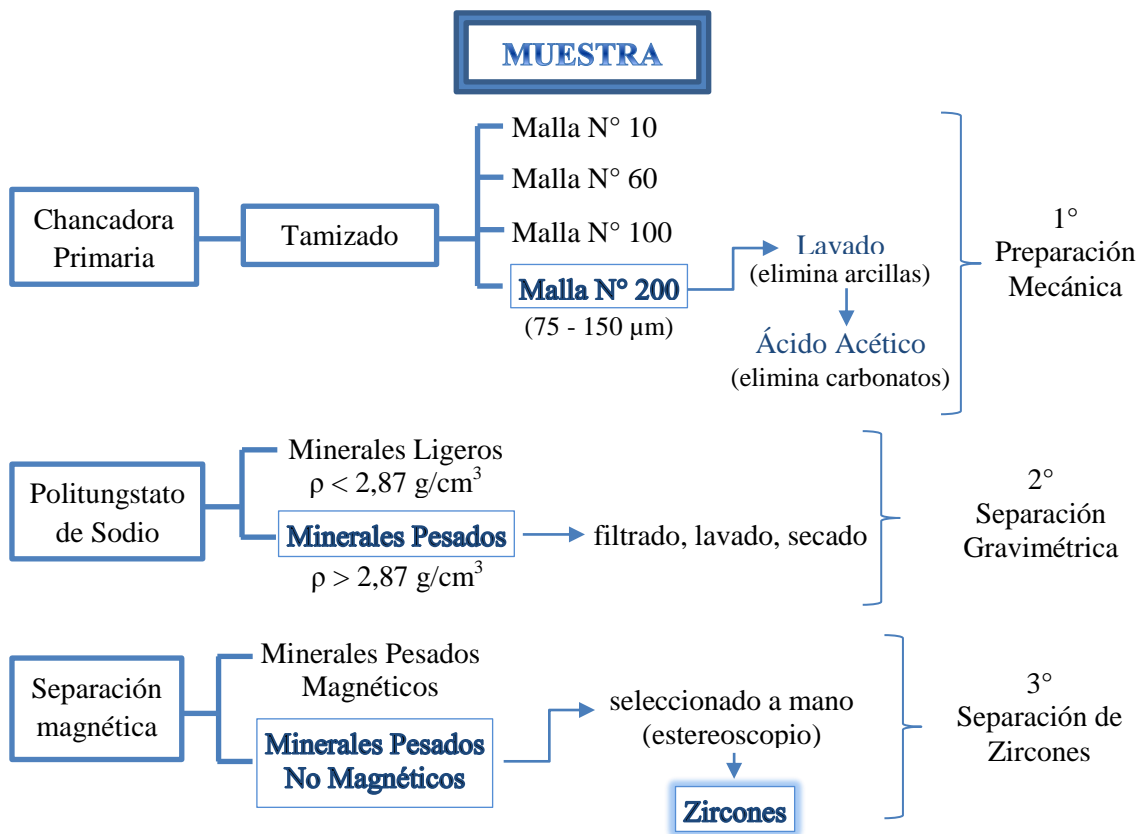


Figura 3.4.- Flujo de las técnicas de procesamiento.

### 3.6.1. Preparación Mecánica de Muestras

Las muestras colectadas fueron llevadas al laboratorio para que sean pulverizadas por la Chancadora Primaria resultando en partículas de tamaño igual o inferior a ½ pulgada.



Figura 3.5.- Chancadora primaria (proceso).

Una vez que las muestras han sido chancadas, se agregaron de 500 a 800 g de la muestra pulverizada al Tamizador RoTap, las que serán tamizadas por las mallas: N° 10, 60, 100 y 200 (Standard U.S.A.), por un lapso de tiempo de 10 a 12 minutos.

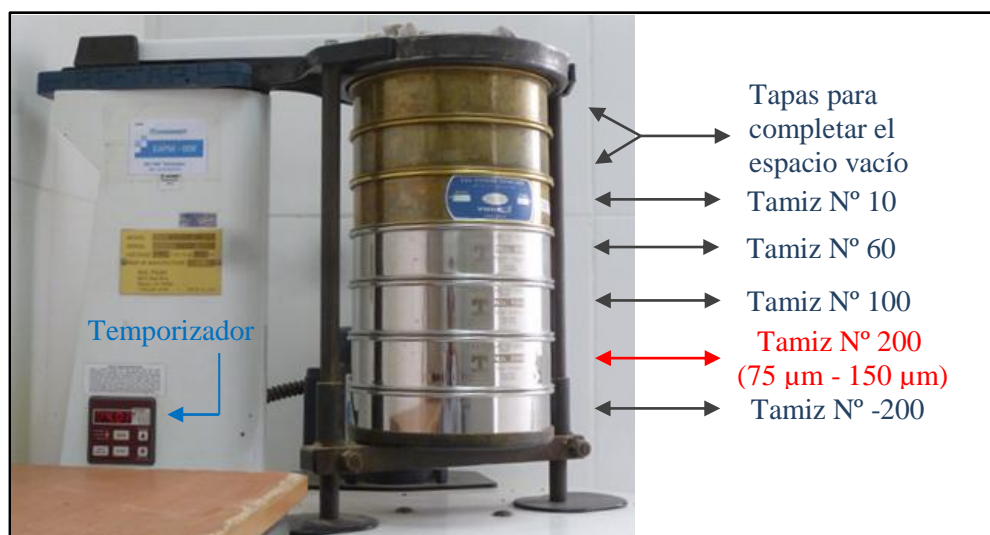


Figura 3.6.- Tamizador Ro-Tap y los tamices.

Posteriormente las fracciones contenidas en cada una de estas mallas se pesaron, codificaron y se almacenaron. Después de este proceso los tamices deben ser limpiados (en el Limpiador Ultrasónico) y secados para continuar con las siguientes muestras.



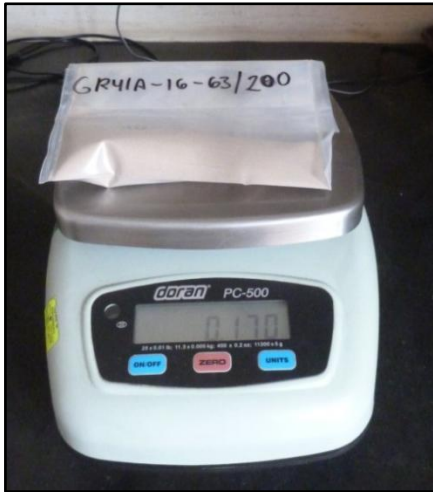


Figura 3.7.- Pesado de todas las mallas.



Figura 3.9.- Sellador de bolsas.



Figura 3.8.- Limpiador Ultrasónico Retsch (de tamices).

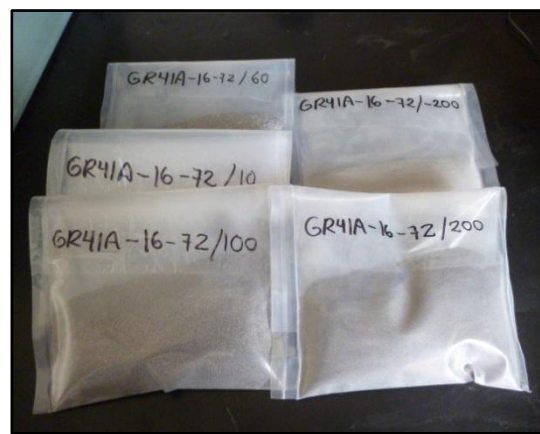


Figura 3.10.- Fracciones de los tamices listas para almacenarse.

La siguiente parte del trabajo continua únicamente con la fracción contenida en la malla N° 200 (partículas con diámetro comprendido entre 75  $\mu\text{m}$  y 150  $\mu\text{m}$ ), en el que se prosigue lavándola con agua corriente en la malla N° 200 para eliminar el contenido de arcilla, una vez que la muestra se encuentre libre de arcillas, este se almacena momentáneamente en un recipiente metálico o un vaso de precipitado, y son cubiertos con papel film para prevenir cualquier tipo de contaminación.

Posteriormente las muestras son llevadas dentro de la Campana Extractora, donde pasaron por digestión acida con Ácido Acético ( $\text{CH}_3\text{-COOH}$ ) al 5%, esta acción realizó repetidas veces hasta eliminar por completo el contenido de carbonatos (frecuentemente los carbonatos están presentes como cemento o en venillas), es decir hasta que la muestra deje de efervescer, moviendo suavemente los sedimentos con la bagueta. Una vez que la muestra ha dejado de efervescer, se añade agua, y el líquido (agua + ácido acético) se vierte en un balde, para que el ácido acético sea reciclado (Figura 3.13).

Las muestras después de pasar por el ácido acético, son lavadas por segunda vez con agua corriente. Las muestras se lavan hasta eliminar todos los restos del ácido acético y de las arcillas restantes.



Figura 3.11.- (Izquierda) Lavado de muestras. (Derecha) Muestras llevadas a la campana extractora.



Figura 3.12.- Campana de Extracción de gases (Frontier).

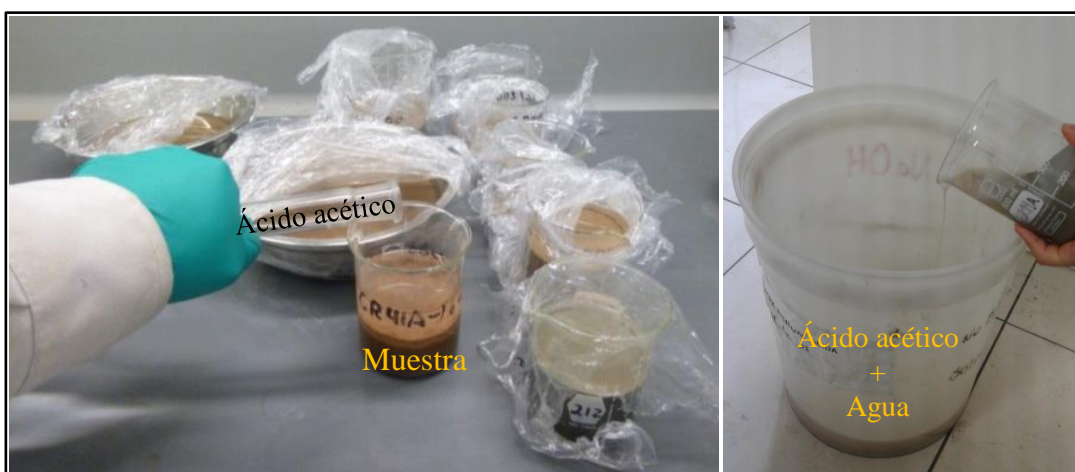


Figura 3.13.- Procedimiento con el ácido acético.

Finalmente la muestra es llevada al horno eléctrico (Binder) a una temperatura no mayor a los 50 °C y cuando están totalmente secos estos son nuevamente pesados (en una balanza analítica de mayor precisión), posteriormente las muestras son codificadas y guardadas en bolsas Ziploc para proseguir con la siguiente etapa de separación de minerales pesados.



Figura 3.14.- Muestras de la malla N° 200 secando en el horno.

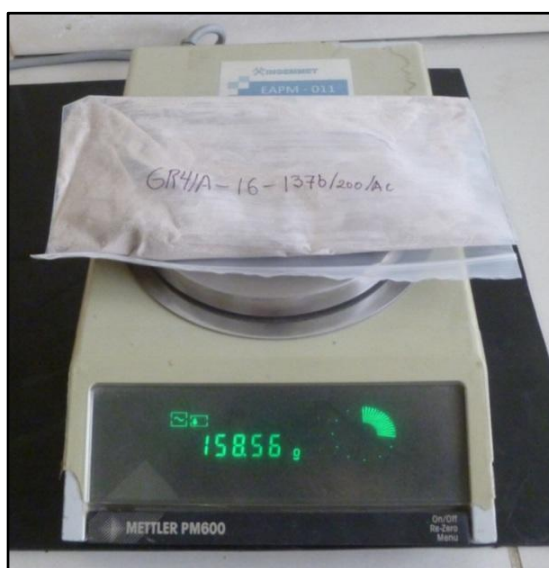


Figura 3.15.- Pesado final de las muestras, listas para separar con líquido pesado.

### 3.6.2. Separación Gravimétrica

Para iniciar el trabajo de separación de los minerales pesados con el Politungstato de Sodio  $\text{Na}_6[\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}]$ , este debe llevarse del estado sólido al líquido, es decir, se disuelven 3 kg de Politungstato de Sodio en 1 litro de agua desionizada, durante 30 minutos, este proceso se realiza con ayuda del agitador magnético. Verificando que este llegue a la densidad adecuada de  $2,87 \text{ g/cm}^3$ , el cual se verifica sumergiendo un densímetro dentro una probeta graduada con 100 ml de Politungstato de Sodio; la medida del densímetro debe indicar 2,87 como se muestra en la Figura 3.18.





Figura 3.16.- Politungtato de Sodio en estado sólido (granulado).

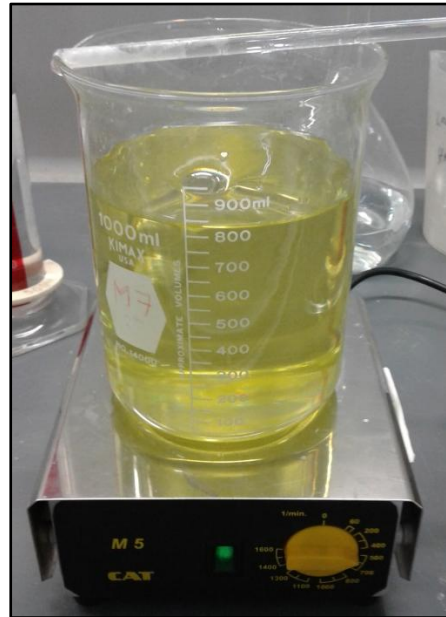


Figura 3.17.- Politungtato de Sodio (líquido) en el agitador magnético.

A pesar de que la densidad del zircón oscila de  $4,5$  a  $4,6 \text{ g/cm}^3$  el Politungtato de Sodio no debe sobrepasar la densidad de  $2,87 \text{ g/cm}^3$ , debido a que este líquido se vuelve más viscoso cuando su densidad aumenta. Por otra parte se ha reportado cambios en la densidad del zircón debido a la metamictización (debido al U y Th) hasta  $\sim 3,9 \text{ g/cm}^3$ , es decir, la densidad disminuye  $\sim 17\%$  (Murakami, et al., 1991).

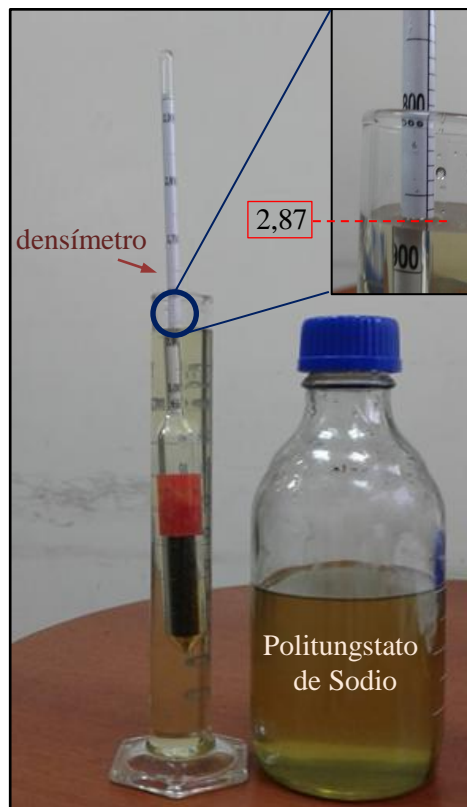


Figura 3.18.- Medición de la densidad del Politungtato de Sodio.

Una vez medida la densidad, se procede a preparar los instrumentos de trabajo para la separación (decantación) de los minerales pesados y ligeros.

Se inicia colocando los embudos de decantación en los soportes universales, los que decantan en embudos con papel filtro colocados encima para capturar los minerales ligeros y los minerales pesados, finalmente el líquido pesado es filtrado en un vaso precipitación.

La llave de los embudos de decantación debe estar bien lubricada para su fácil manejo (Figura 3.19); y los papeles filtro deben ser debidamente doblados (Figura 3.20) y empapados con agua desionizada para que se adapten fácilmente a la forma de los embudos cónicos y para evitar contaminar el líquido pesado que será reciclado; el papel filtro AHLSTROM se utiliza para capturas los minerales pesados, y el papel filtro de café se utiliza para los minerales ligeros.

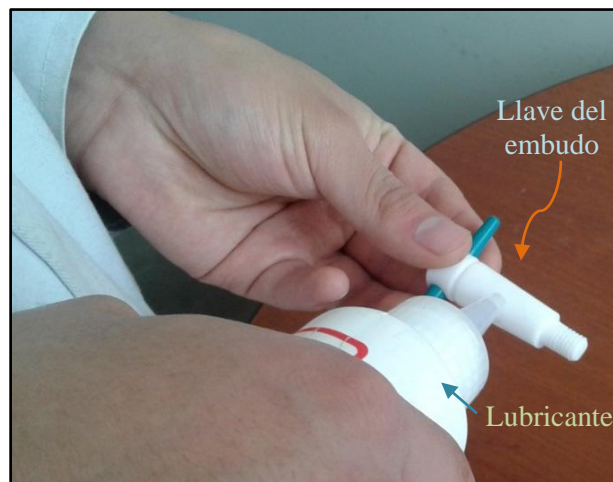


Figura 3.19.- Lubricación de la llave del embudo de decantación.



Figura 3.20.- Preparación del papel filtro para el embudo cónico.

En cada embudo de decantación se vierten: 100 ml de líquido pesado, y de 30 – 40 g de la muestra resultantes de la etapa de Preparación Mecánica, luego esta mezcla es agitada sutilmente para homogenizar los sedimentos dentro del Politungstato de Sodio, y así ayudar con la segregación de minerales pesados y ligeros. Es de importancia que esta mezcla sea agitada constantemente (~ 2 min) para evitar que los sedimentos se aglutinen dentro del líquido pesado.

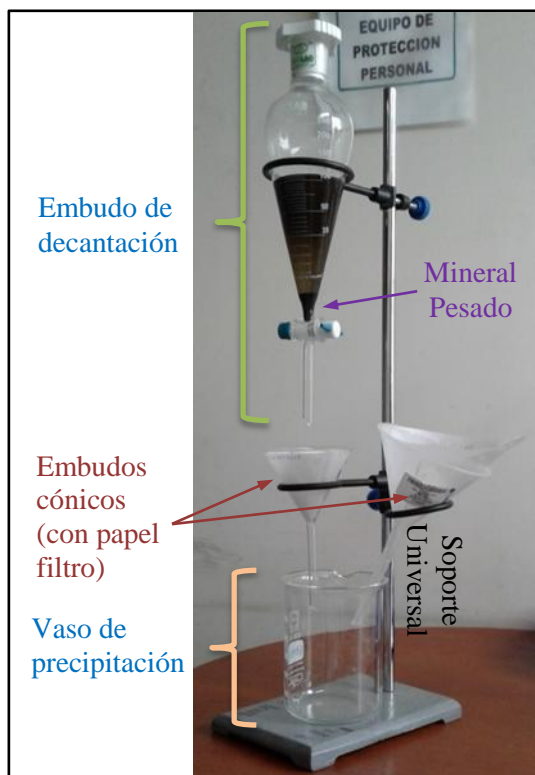


Figura 3.21.- Instrumentos utilizados para la separación de minerales pesados.



Figura 3.22.- Mineral pesado y ligero capturado en los embudos.

Una vez culminada la decantación (alrededor de 40 a 50 minutos) se gira cuidadosamente la llave para liberar todos los minerales pesados que han precipitado, sobre el embudo con papel filtro AHLSTROM, se realiza lo mismo para el embudo de minerales ligeros; posterior a ello se agita nuevamente el embudo de decantación y se libera la llave con los minerales ligeros y el líquido pesado al embudo con papel filtro para café, como en la Figura 3.20.

Después de que el líquido pesado haya sido filtrado completamente, este es guardado. Se prosigue lavando con agua hervida los embudos de decantación, los papeles filtro, y los minerales (ligeros y pesados), los cuales han quedado impregnados de líquido pesado, para recuperar todo el Politungstato de Sodio posible. Este líquido recuperado (Politungstato de Sodio + Agua), es vertido en un vaso de precipitación, que es llevado a una cocina eléctrica para evaporar el agua que se le adiciono en la limpieza de los instrumentos, y de esta manera recuperar el Politungstato de Sodio a la densidad indicada.

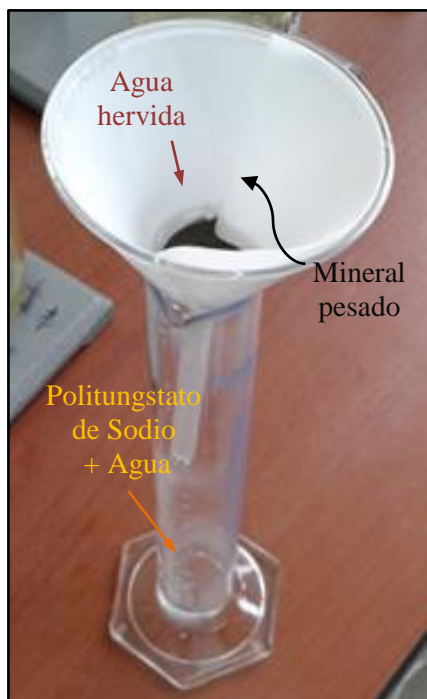


Figura 3.23.- Limpieza del papel filtro y el mineral pesado con agua hervida, el líquido se recupera en la probeta graduada.



Figura 3.24.- (Líquido pesado + Agua) reposando en la cocina eléctrica para ser recuperada

Una vez que los papeles filtro conteniendo los minerales (pesados y ligeros) hayan sido lavados con agua hervida (para remover el líquido pesado remanente), se envuelven cuidadosamente y dentro de un vaso de precipitación codificado, se llevan a la horno eléctrico, donde se dejan reposando alrededor de 24 horas hasta que se encuentren completamente secos a una temperatura no mayor a 50°C.



Figura 3.25.- Vasos de precipitación conteniendo los minerales pesados y ligeros en el horno eléctrico.

Una vez las muestras estén secas, desdoblado el papel filtro que las contiene, estas se llevan sobre un papel bond con un doblez por la mitad y son llenados en frascos codificados, como se indica en la Figura 3.27.



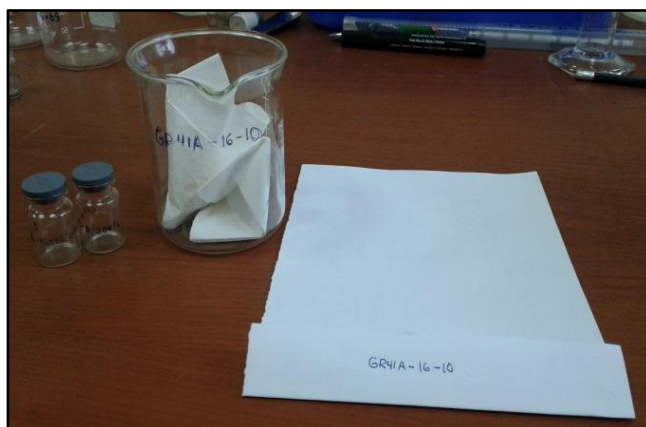


Figura 3.26.- Materiales utilizados para almacenar los minerales pesados y ligeros.

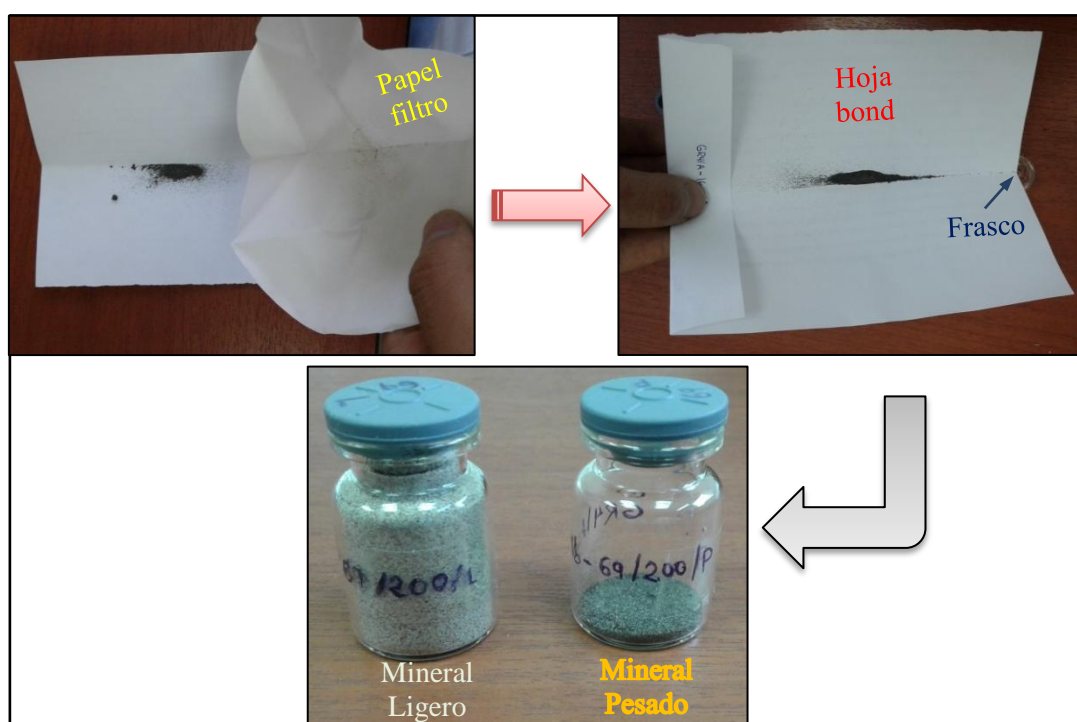


Figura 3.27.- Pasos para guardar los minerales ligeros y pesados.

Una dificultad presente en la etapa de Separación con Líquido Pesado es la baja abundancia de minerales pesados (por lo tanto del zircón) en las muestras, ya que las rocas del Grupo Yura al ser de edad Mesozoica, los ensambles de minerales pesados han sido afectados por: a) el tiempo que han permanecido sepultados y b) a la acción de fluidos intergranulares que a mayor profundidad adquieren mayor temperatura y consigo mayor potencial de disolución (Morton & Hallsworth, 1999). A pesar de esta premisa, minerales resistentes tales como el zircón son aparentemente estables (Morton, 1979). Sin embargo se tuvo que realizar el proceso de separación de minerales pesados dos veces en cada muestra, para que sea posible obtener la cantidad requerida de zircons para el presente estudio.





Figura 3.28.- Mesa de trabajo de separación de minerales pesados, Laboratorio de INGEMMET.

### 3.6.3. Separación de Zircones

Posteriormente los minerales pesados son sometidos a la separación magnética, esto se realiza para disminuir la cantidad de minerales pesados de los que se escogerán los zircones, y también debido a que se ha observado una correlación positiva entre pérdida de Pb y susceptibilidad magnética (Silver, 1963) ya que se los zircones tienen una susceptibilidad magnética que varía de diamagnético a paramagnético. Sin embargo la separación magnética de zircones paramagnéticos es suficiente para causar un sesgo en los resultados (Sircombe & Stern, 2002) por eso se ha optado separar la fracción magnética solo con un imán.

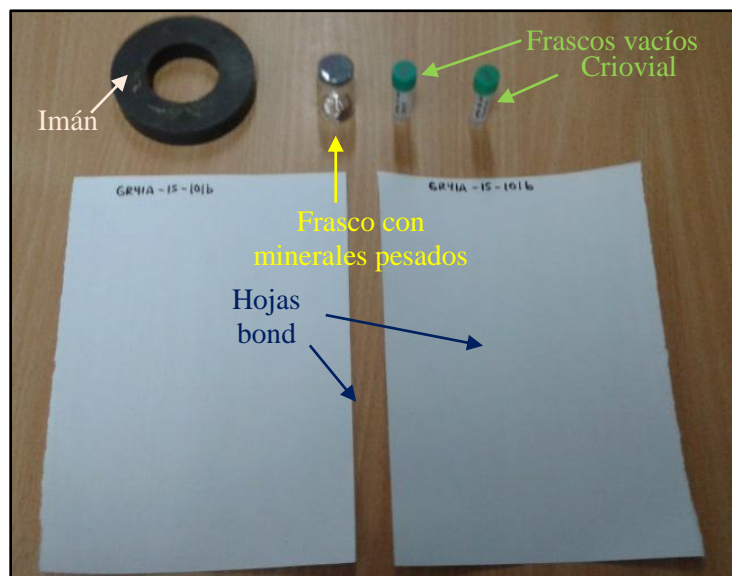
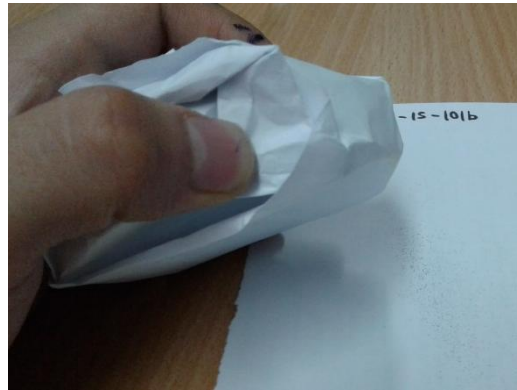
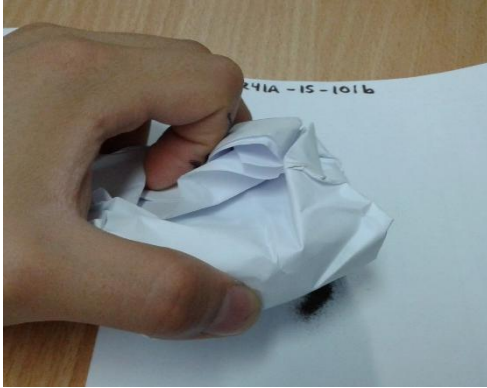


Figura 3.29.- Materiales utilizados para la separación magnética.

Se vierten los minerales pesados en una hoja bond.



Se envuelve el imán con una hoja de papel bond y se ubica sobre el papel que contiene los minerales pesados, los minerales pesados quedan adheridos al papel que envuelve al imán.



Los minerales adheridos en la hoja se dejan caer en la otra hoja limpia, y cada fracción es guardada en distintos frascos.

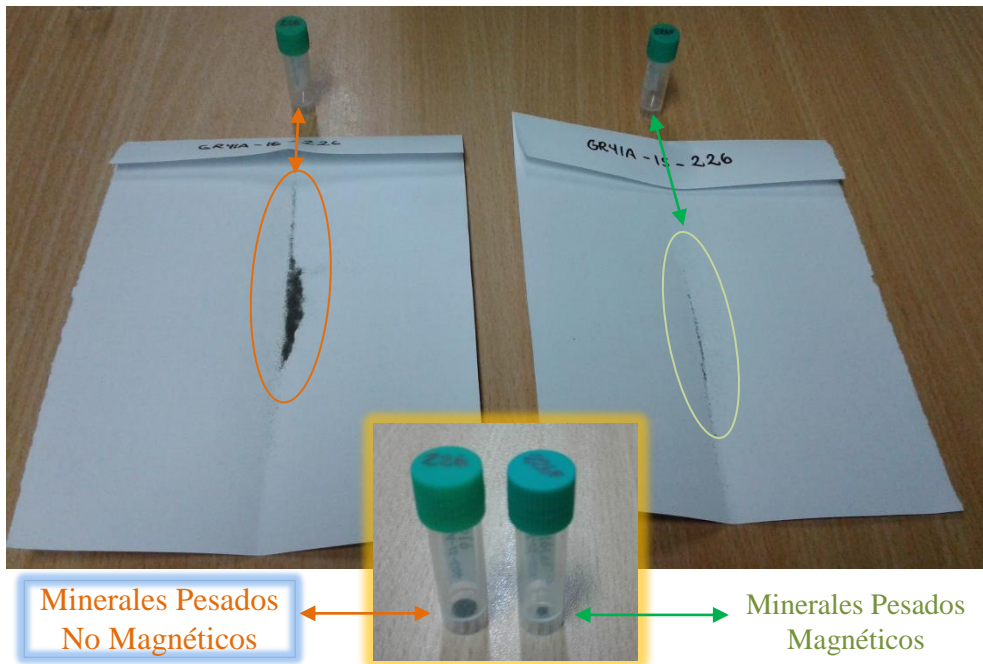


Figura 3.30.- Pasos para la separación de minerales pesados magnéticos y no magnéticos.

Finalmente, de los minerales pesados no magnéticos, una fracción de una muestra es vertida en un trozo de papel bond y es visualizado en el Microscopio Estereoscópico (Olympus SC30).

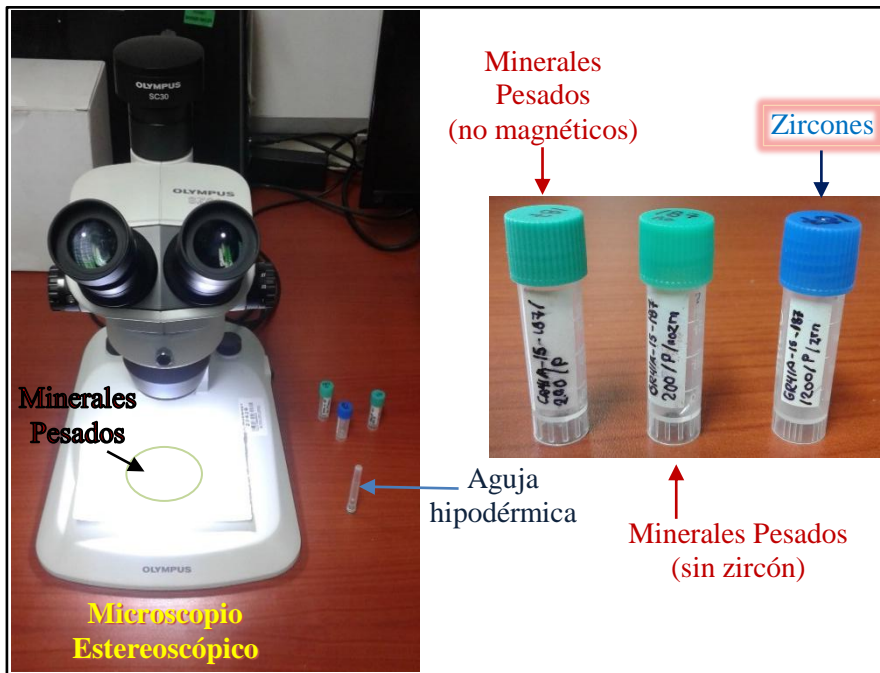


Figura 3.31.- Materiales utilizados para la separación de zircones.

Luego se seleccionan los zircones con ayuda de la aguja hipodérmica y son llevados al frasco de color azul. Una vez que se haya terminado de guardar los zircones en la fracción de minerales pesados no magnéticos, los minerales restantes son almacenados en un frasco distinto. Este paso debe realizarse repetidas veces hasta alcanzar la cantidad de 100 a 120 zircones por muestra.

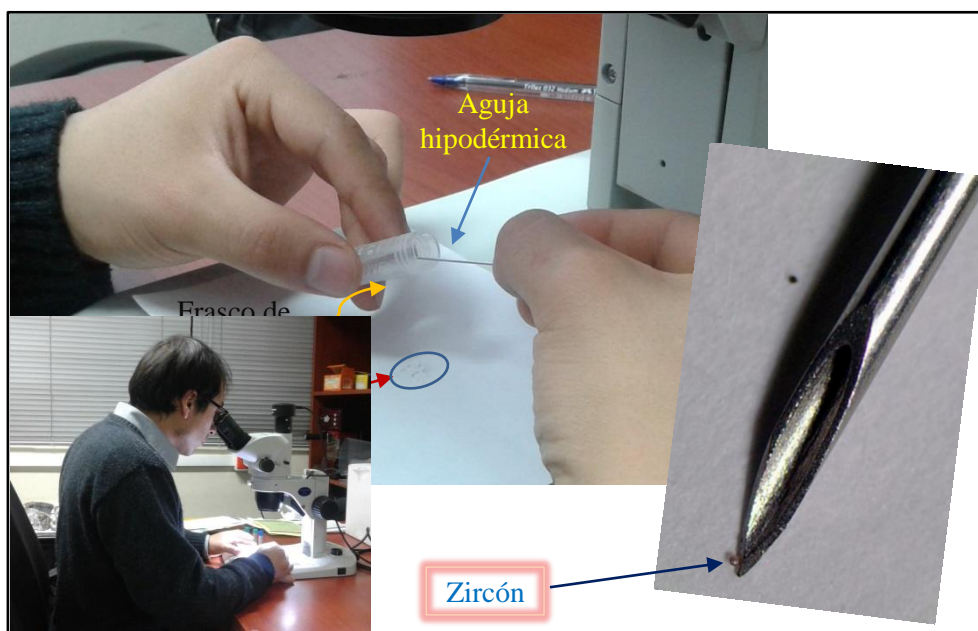


Figura 3.32.- Selección a mano del zircón (*hand-picking*).



El criterio para seleccionar los zircons es que estos deben ser escogidos de manera aleatoria, irrespectivamente de su color, forma, grado de redondeamiento, etc; exceptuando granos rotos y con inclusiones, ya que estos ocasionarían sesgos en el cálculo de la edad (p.ej., pérdida de plomo, diferente composición de otros minerales presentes como inclusiones) (Gehrels, 2012). Las fotomicrografías fueron tomadas con el software analySIS getIT 5.2.

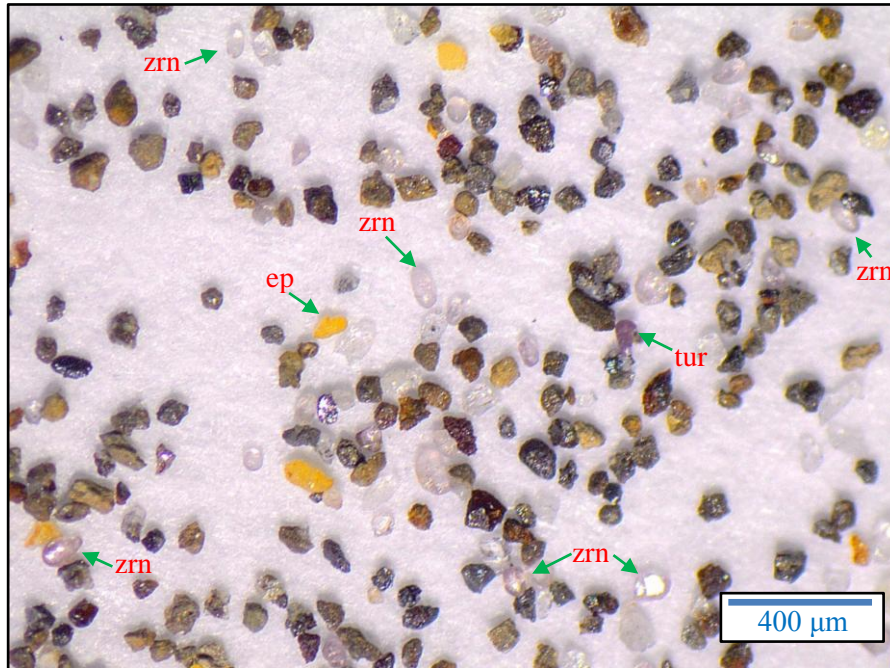


Figura 3.33.- Los minerales pesados de la muestra GR41A-15-207b (Formación Hualhuani) bajo el Microscopio Estereoscópico. Abreviaturas: zrn: zircón

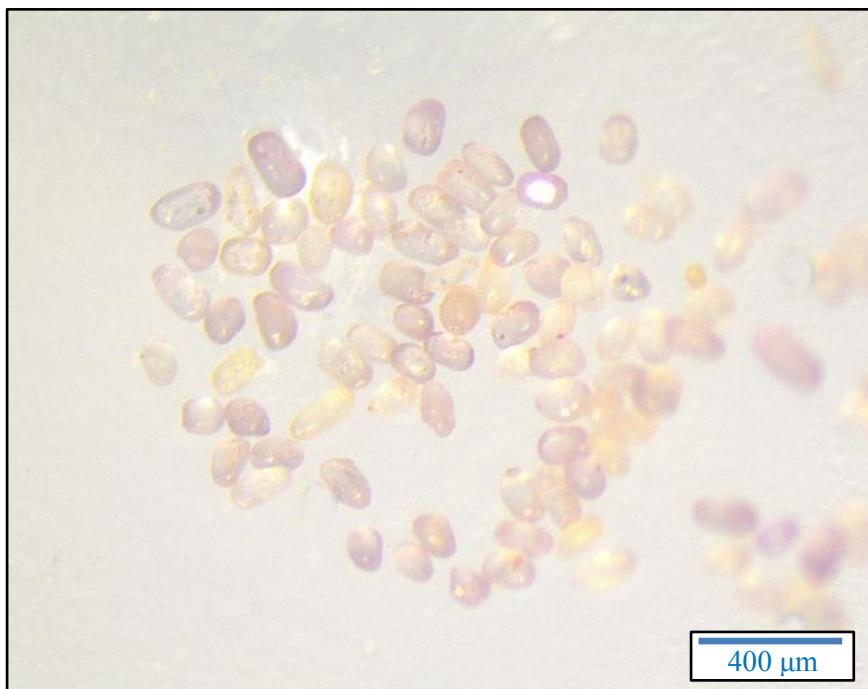


Figura 3.34.- Los zircons de la muestra GR41A-16-084 (Formación Hualhuani). Dentro del frasco azul (de zircons), se pueden observar que los granos son redondeados.

### 3.6.4. Datación Radiométrica U-Pb

La datación radiométrica se llevó a cabo en el laboratorio del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) en Chile, se realizó por el método U-Pb, utilizando la técnica de Microhaces: “Ablación Laser Acoplado a un Espectrómetro de Masas con Fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo [LA – ICP – MS]”. Para los análisis se utilizó el zircón estándar GJ-1 (Jackson et al., 2004).

### 3.7. Análisis de Datos

Para cumplir con los objetivos con que se plantean gracias a la geocronología U-Pb de zircones detríticos, es menester realizar una recopilación de todas las dataciones geocronológicas U-Pb que han realizado anteriormente, para evaluar la procedencia (unidades más antiguas al Grupo Yura) y también la correlación (afloramientos del Grupo Yura en distintos lugares del Perú).

### 3.8. Tratamiento Estadístico de Datos

El número de zircones a analizar por muestra debe ser aproximadamente 117, para representar con un 95% de certeza todas las poblaciones de edades existentes en cada una de las muestras (Vermeesch, 2004).

Antes de representar la distribución de las edades (*date*) gráficamente, se debe calcular la discordancia de cada edad individualmente, trabajando solo con las edades que presenten una discordancia menor o igual al 10% de discordancia para tener un alto grado de precisión (Spencer, Kirkland & Taylor, 2016).

$$\text{Concordancia \%} = 100 \times \frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{238}\text{U}} / \frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{207}\text{Pb}} \quad [3.1]$$

Por lo tanto:

$$\text{Discordancia \%} = 100 - 100 \times \frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{238}\text{U}} / \frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{207}\text{Pb}} \quad [3.2]$$

Posteriormente se debe elegir la edad (*date*) resultante de la relación isotópica  $\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{207}\text{Pb}}$  para edades que sean más antiguas que 1,4 Ga. Y para edades que son más jóvenes de 1,4 Ga se elige la edad  $\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{238}\text{U}}$ . Esto se debe a que los zircones más antiguos han sido más susceptibles a la pérdida de Pb de su sistema, y en el segundo caso se debe a que el  ${}^{207}\text{Pb}$  en zircones muy jóvenes es analíticamente indetectable (Gehrels, 2012).

Finalmente para representar las edades seleccionadas, estas se han ploteado en el software DZstat v.2.2 que exporta un diagrama en el Estimador de Densidad Kernel. (Saylor & Sundell, 2016).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Presentación de Resultados

El presente estudio tiene el objetivo principal de realizar el análisis de procedencia de las rocas sedimentarias del Grupo Yura en Tacna, para cual se ha empleado las técnicas de:

- 1) Morfología de zircones
- 2) Imágenes de Catodoluminiscencia de zircones
- 3) Geocronología U-Pb de zircones

##### 4.1.1. Morfología de los Zircones

La morfología de los zircones, en el presente estudio, es empleada como una herramienta para el análisis de la procedencia sedimentaria, ya que la morfología que caracteriza a cada zircón, nos ayuda a poder inferir un posible protolito, es decir, su roca madre. Según varios estudios, los zircones que tienen caras cristalinas desarrolladas, de euhedrales a subhedrales, provienen de rocas ígneas (Pupin, 1980), y los zircones redondeados frecuentemente son provenientes de rocas metamórficas (Hoskin & Black, 2000), aunque el redondeamiento también puede ser el resultado de múltiples ciclos sedimentarios que afectaron a un zircón originalmente de origen ígneo (Gehrels, 2012).

Para observar detalladamente la morfología de cada zircón, estos han sido montados en slides de vidrio junto con una resina epoxi Bálamo de Canadá ( $\eta = 1,538$ ) y fueron observados en el microscopio petrográfico.

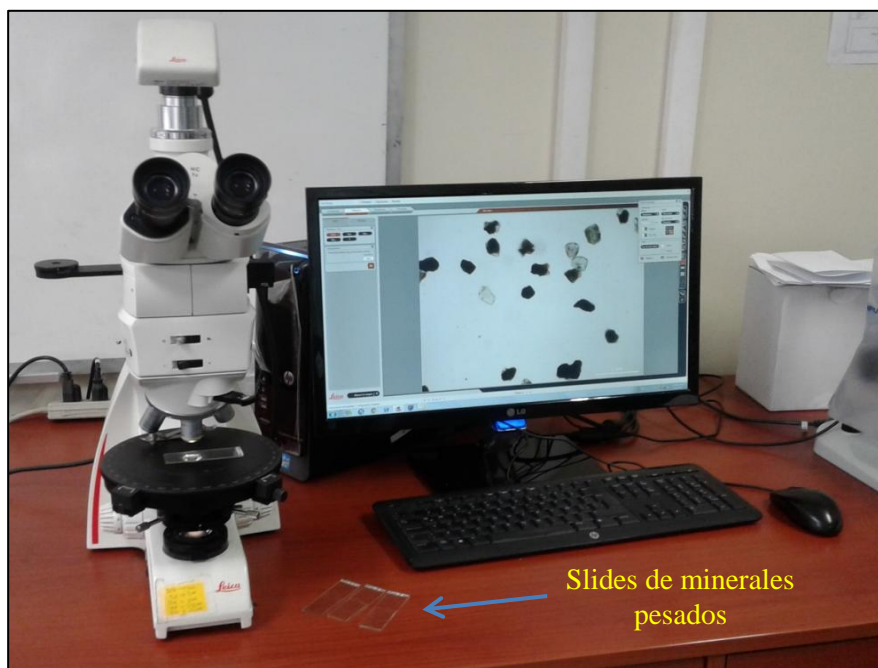


Figura 4.1.- Estudio de la morfología de zircones en el microscopio petrográfico.

Las microfotografías fueron tomadas por el microscopio polarizador Leica con el software Application Leica Suite v4.1.

La morfología de los zircones más abundante en cada una de las formaciones del Grupo Yura, son las formas subredondeadas a redondeadas (no es posible distinguir caras cristalinas).

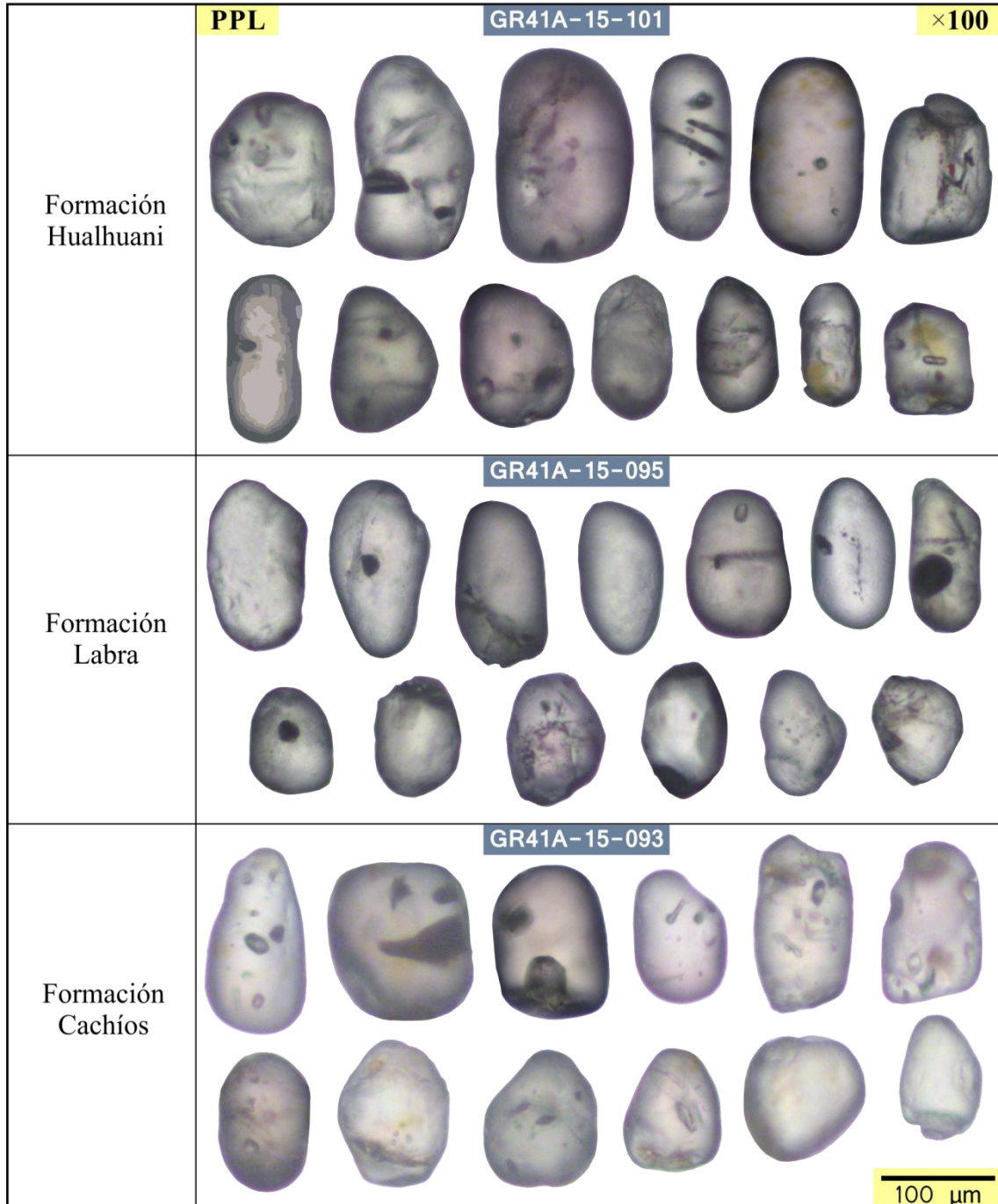


Figura 4.2.- Zircones redondeados del Grupo Yura de Tacna.

En menor abundancia se encuentran zircones con caras cristalinas, es decir de origen magmático, sin embargo no se ha encontrado la cantidad de zircones cristalinos suficiente (>100 granos por muestra; Zajzon, Szabó, Weiszburg & Jeffries (2011)) para

realizar el análisis tipológico propuesto por Pupin (1980), ver Figura 2.7. Los zircones cristalinos se presentan en la Figura 4.3

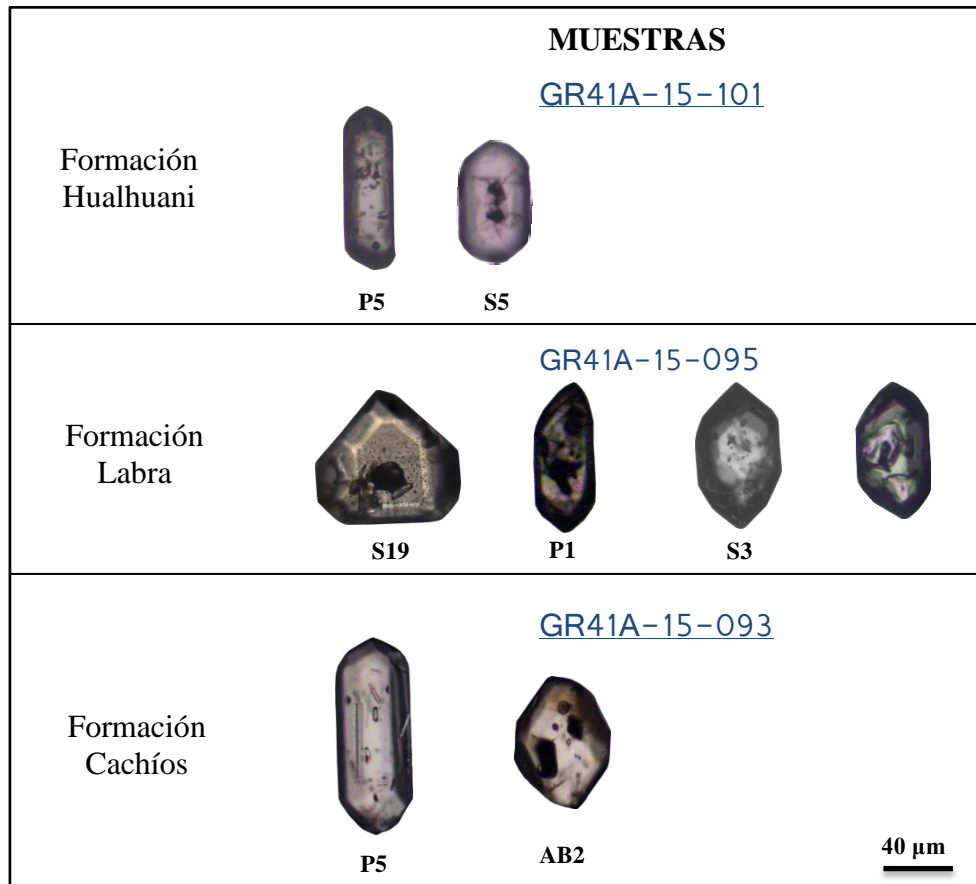


Figura 4.3.- Zircones cristalinos del Grupo Yura de Tacna aptos para el análisis tipológico de Pupin.

Del análisis morfológico en zircones, se deduce que la principal fuente de aporte para estos sedimentos fue un cuerpo de rocas metamórficas y/o posiblemente también rocas sedimentarias (recicladas).

También se evidencia claramente que como roca fuente se encontraba un cuerpo de rocas ígneas, desafortunadamente el bajo contingente de estos cristales impide poder realizar una clasificación clara según el análisis tipológico del zircón (Pupin, 1980), sin embargo, a su vez podría tratarse de una roca relativamente pobre en zircones, es decir una roca ígnea con bajo contenido de  $\text{SiO}_2$  (mafia a intermedia).

#### 4.1.2. Catodoluminiscencia de los zircones

Las imágenes de catoluminiscencia son capaces de revelar la estructura interna de minerales que poseen Oxígeno en su composición. Por lo tanto en el zircón nos permite observar su evolución magmática y/o metamórfica.



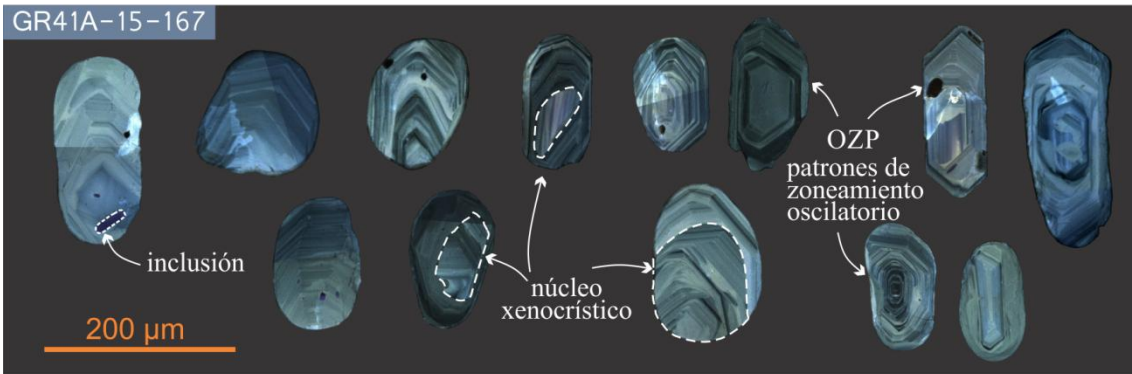


Figura 4.4.- Imágenes de Catodoluminiscencia en zircons de la Formación Cachíos.

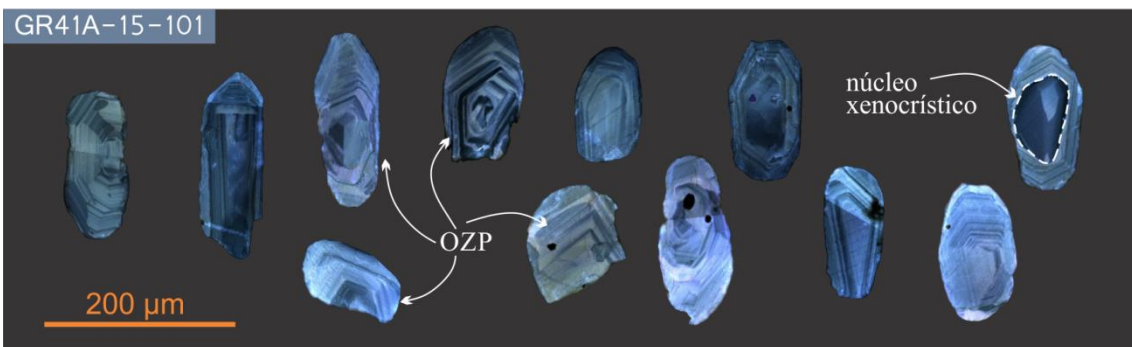


Figura 4.5.- Imágenes de Catodoluminiscencia en zircons de la Formación Hualhuani.

Se observa que la mayor parte de zircones son redondeados y tienen un zonamiento interno propio de su crecimiento en el ambiente magmático (OZP). En menor cantidad se encuentran zircones que tienen núcleos heredados o xenocrísticos, los cuales se formaron en dos etapas distintas en tiempo y ambiente (magmático y/o metamórfico).



Figura 4.6.- Imágenes de Catodoluminiscencia en zircones de la Formación Labra.

#### 4.1.3. Geocronología U-Pb

Posterior al filtro de los resultados del análisis geocronológicos U-Pb (sección 3.8), estos son presentados en un gráfico de Estimador de Densidad Kernel [KDE] tal como estableció Vermeesch (2012). Los gráficos fueron creados en el software DZstat versión 2.2 (Saylor & Sundell, 2016).

Se estudiaron 12 muestras, de las cuales se analizaron un total de 1269 zircones del Grupo Yura de los cuales 74 resultados fueron descartados por presentar resultados discordantes (Ver apéndice).

Los espectros de edades del Grupo Yura, en las formaciones Cachíos, Labra y Hualhuani presentan espectros de edades muy similares, por ello se deduce que la fuente de aporte para esta unidad fue la misma, variando únicamente en el ambiente de depositación (facies sedimentarias).

#### **4.1.3.1. Resultados - Subzona A**

Se elaboró una columna estratigráfica en el cerro Challatita (Mapa 4.1, Figura 4.7), donde se tomaron las muestras GR41A-16-084 y GR41A-15-274.

La mayor parte de los zircones tiene edades entre 0.7 – 0.5 Ga los cuales coinciden con los ciclos orogénicos Pamepano - brasilianos respectivamente. Seguido en abundancia se encuentran las edades comprendidas entre 0.9 – 1.2 Ga los cuales representan la orogenia Grenville, en menor abundancia se encuentran las edades del Rift Mitu, que tuvo como eje la Cordillera Oriental, y las edades cratónicas que corresponderían al cratón Amazónico y/o probablemente a otros cratones que acrecieron al núcleo sudamericano.

En esta subzona se tiene además edades menores a 200 Ma relacionado al arco magmático andino, los cuales son escasos en todo el Grupo Yura, sin embargo en la muestra GR41A-15-274 (Formación Labra) contiene un zircón de edad  $162.3 \pm 2.3$  (Kimmeridgiano) la cual es conforme con la edad fosilífera asignada a esta unidad, sin embargo carece de relevancia debido a su estadística (n=1).

#### **4.1.3.2. Resultados - Subzona B**

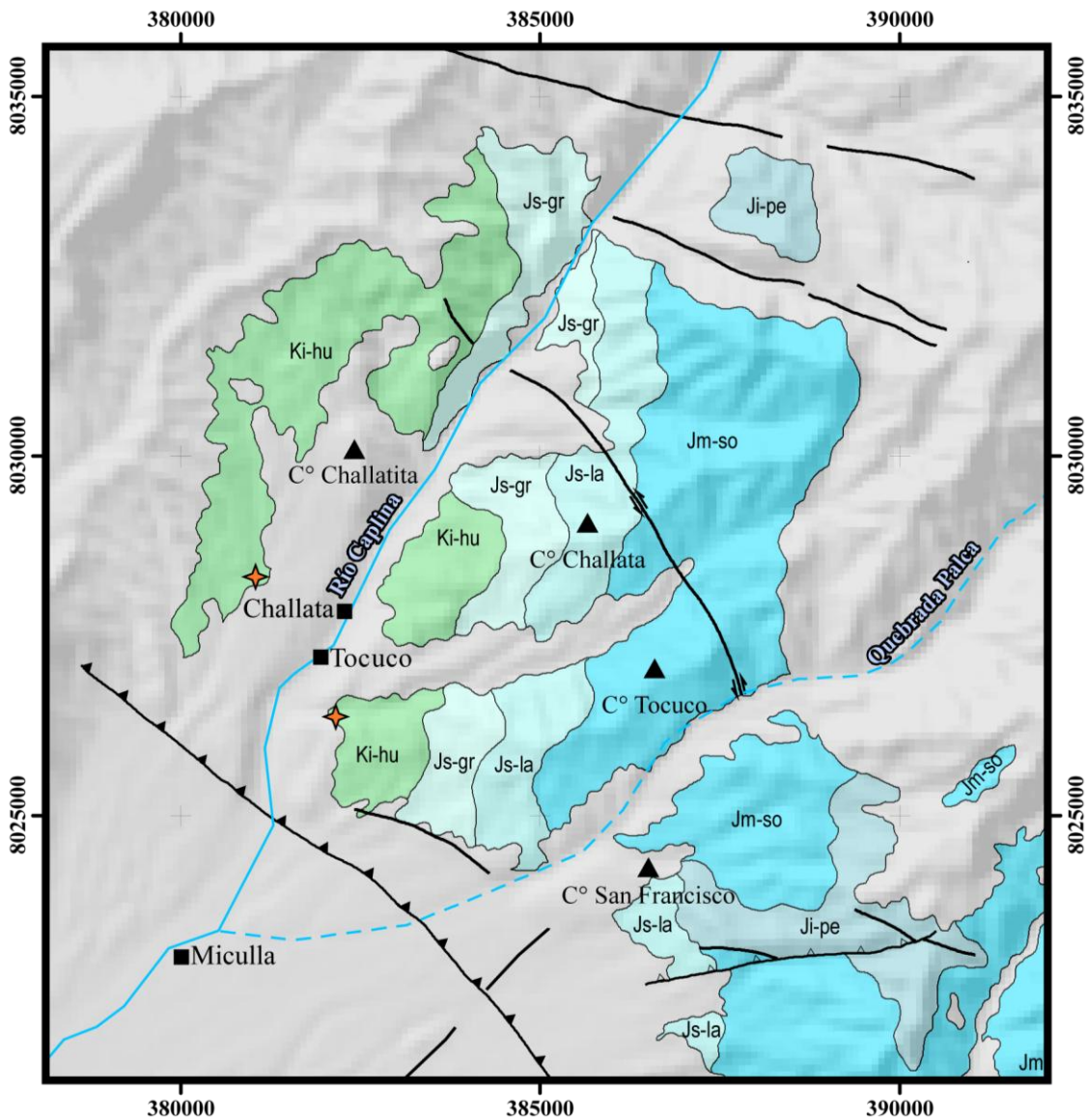
En la zona B se levantaron columnas estratigráficas en el cerro Chachacumane y la quebrada Ataspa (Mapa 4.2; Figuras 4.8 y 4.9)

La columna estratigráfica en el cerro Chachacumane representa la localidad tipo en Tacna (Wilson y García, 1962), es decir, es la sección donde aflora la secuencia completa.

La distribución de edades en la Zona B es muy similar a la Zona A, teniendo como aporte principal zircones de edad entre 0.7 – 0.5 Ga, menor 0.9 – 1.2 Ga y edades subordinadas cantidades del Rift Mitu y cratónicas.

Edad menores a 200 son muy escasas; el zircón más joven (n = 1) de la muestra GR41A-15-093 (Formación Cachíos) posee una edad de  $163.6 \pm 2.6$ , y el zircón más joven de la muestra GR41A-15-095 (Formación Labra) tiene una edad  $152.2 \pm 2.3$  (n = 1). Ambas edades coinciden con la edad asignada por contenido fosilífero de dichas unidades; pero al igual que en la Subzona A, carecen de relevancia estadística.





**UNIDADES**

- Rocas y Sedimentos post Grupo Yura
- Ki-hu Formación Hualhuani
- Js-gr Formación Gramadal
- Js-la Formación Labra
- Jm-so Formación Socosani
- Ji-pe Formación Pelado

**SÍMBOLOS**

- Cerro
- Muestras
- Localidades
- Río
- Quebrada

**ESTRUCTURAS**

- Falla
- Falla inferida
- Falla inversa inferida
- Sobreescurimiento
- Lineamiento

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b> Facultad de Ingeniería Escuela de Formación Profesional de Geología		
<b>MAPA GEOLÓGICO</b> <b>SUBZONA A</b>		
Elaborado por : Angel Carlos, SALAS COLCA	Escala : 1 : 100 000	Mapa N° : 4.1

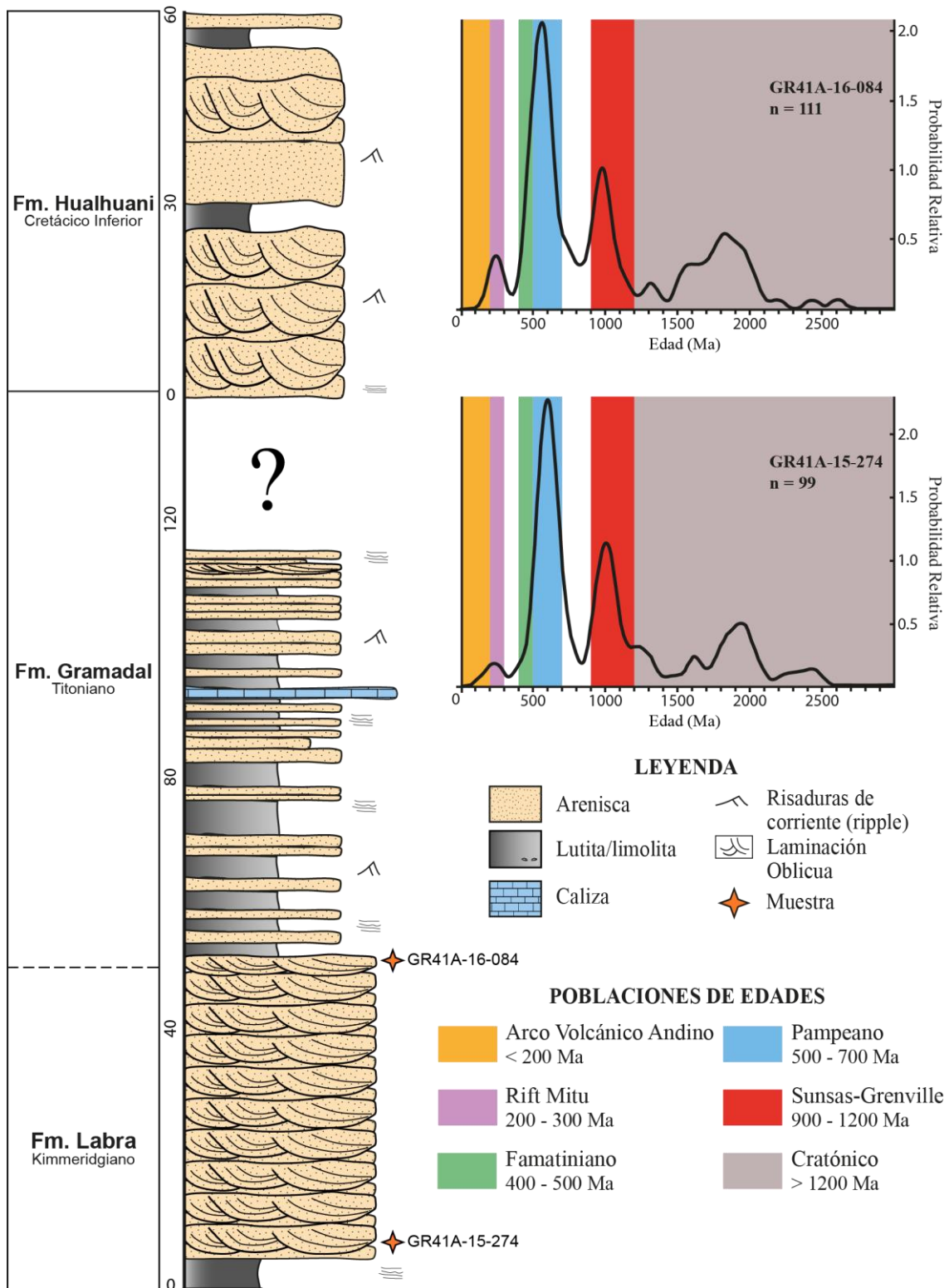
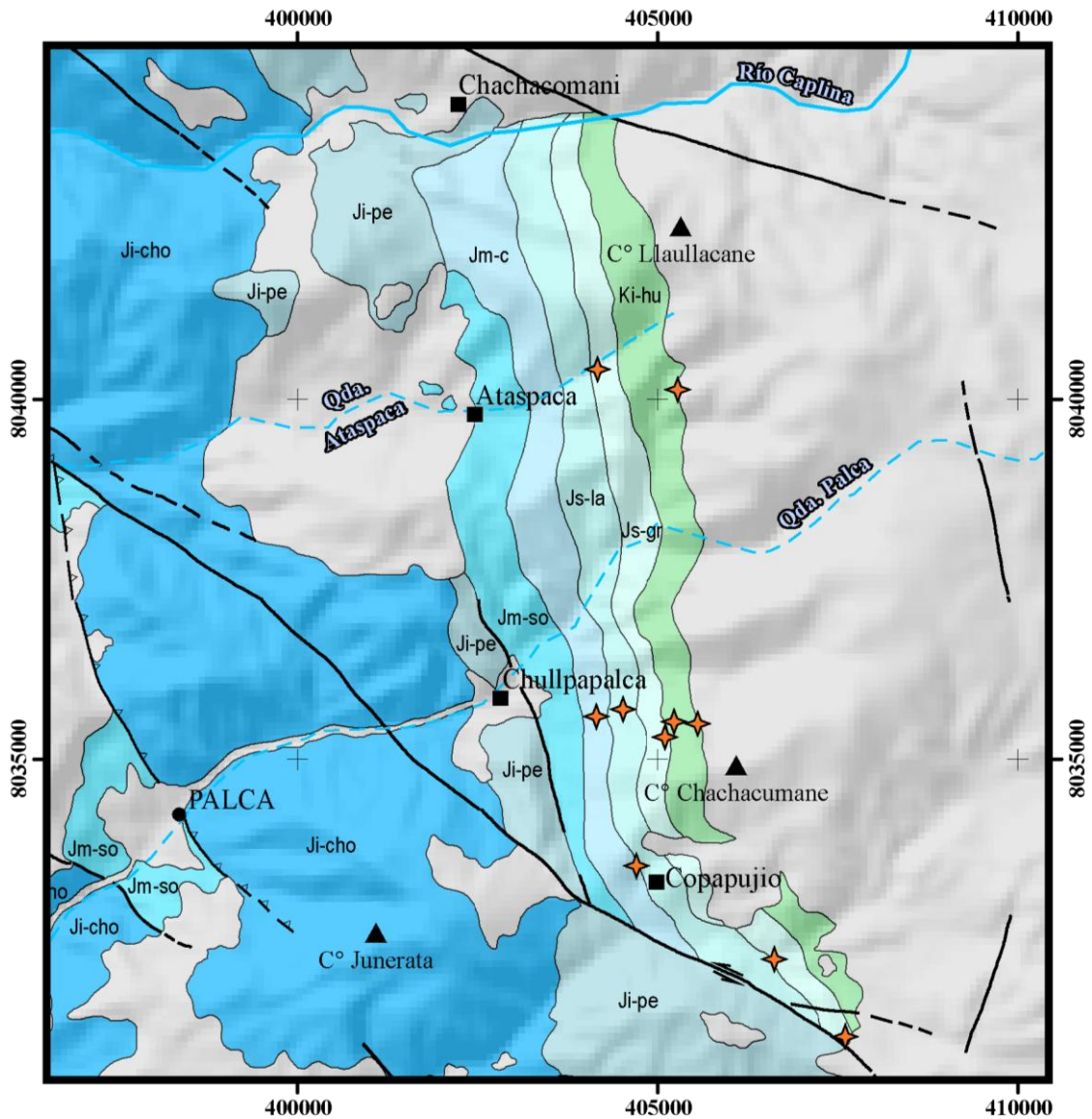


Figura 4.7.- (Izquierda) Columna estratigráfica del Cerro Challatita (Pachía), a la derecha resultados de la distribución de edades U-Pb en gráficos KDE.



### UNIDADES

- Rocas y Sedimentos post Grupo Yura
- Ki-hu Formación Hualhuani
- Js-gr Formación Gramadal
- Js-la Formación Labra
- Jm-c Formación Cachíos
- Jm-so Formación Socosani
- Ji-pe Formación Pelado

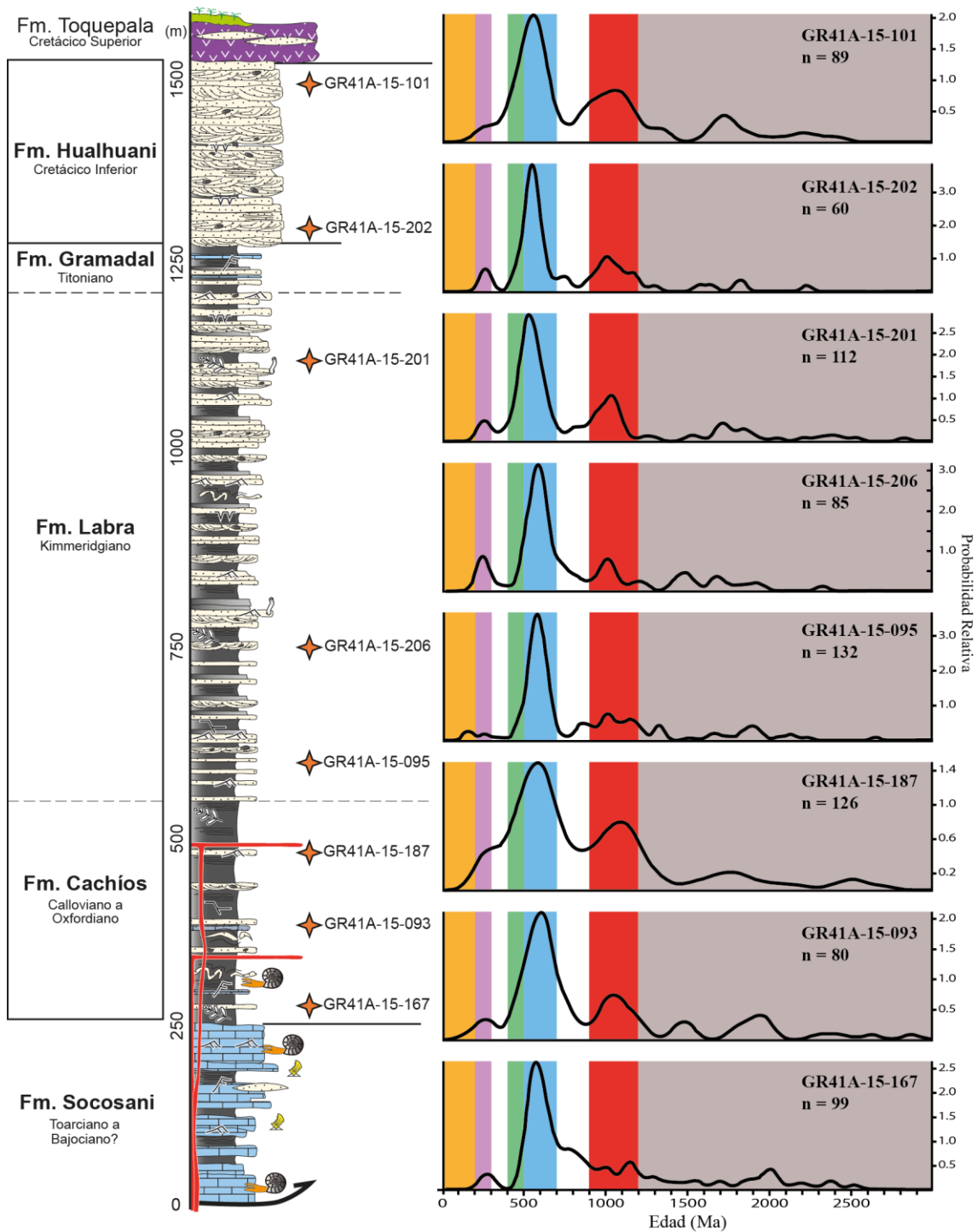
### SÍMBOLOS

- Cerro
- Muestras
- Localidades
- Río
- Quebrada

### ESTRUCTURAS

- Falla
- Falla inferida
- Sobreescurrimiento
- Lineamiento

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b> Facultad de Ingeniería Escuela de Formación Profesional de Geología		
<b>MAPA GEOLÓGICO</b> <b>SUBZONA B</b>		
Elaborado por : Angel Carlos, SALAS COLCA	Escala : 1 : 100 000	Mapa N° : 4.2



**LEYENDA**

- |  |           |  |          |
|--|-----------|--|----------|
|  | Lutita    |  | Muestra  |
|  | Calizas   |  | Ammonite |
|  | Areniscas |  | Slumps   |
|  | Lavas     |  |          |

**POBLACIONES DE EDADES**

- |  |                                   |  |                                   |
|--|-----------------------------------|--|-----------------------------------|
|  | Arco Volcánico Andino<br>< 200 Ma |  | Pampeano<br>500 - 700 Ma          |
|  | Rift Mítu<br>200 - 300 Ma         |  | Sunsas-Grenville<br>900 - 1200 Ma |
|  | Famatiniano<br>400 - 500 Ma       |  | Cratónico<br>> 1200 Ma            |

Figura 4.8.- (Izquierda) Columna estratigráfica del Cerro Chachacumane (Palca), a la derecha resultados de la distribución de edades U-Pb en gráficos KDE.



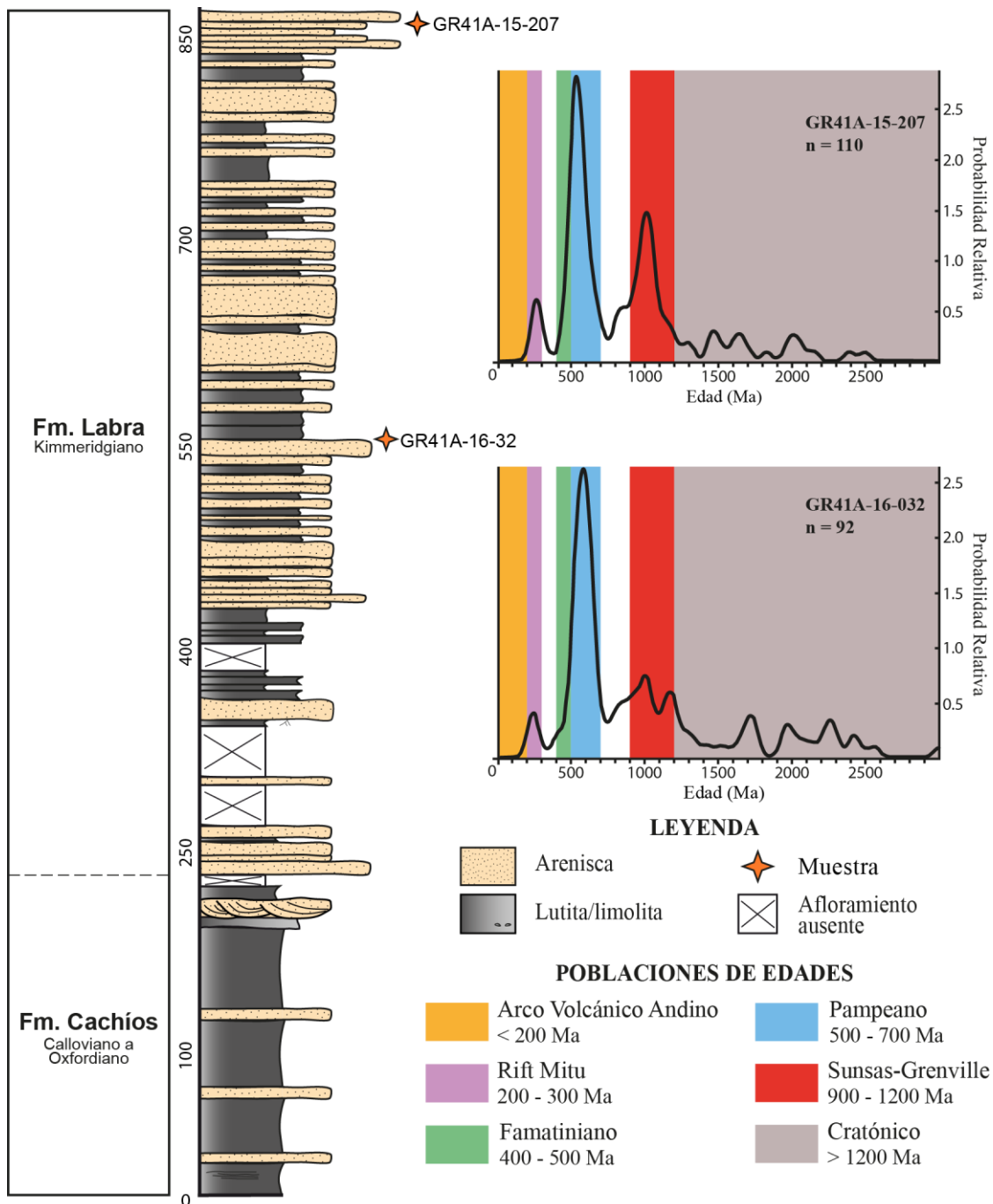


Figura 4.9.- (Izquierda) Columna estratigráfica de la quebrada Ataspaca (Palca), a la derecha resultados de la distribución de edades U-Pb en gráficos KDE.

## 4.2. Discusión

Los zircones, son uno de los minerales más resistentes en el registro geológico, estos se originan principalmente en rocas ígneas intermedias a ácidas, las cuales son representativas de episodios orogénicos que implican la formación de nueva corteza continental generalmente en un margen activo (crecimiento continental; Hawkesworth et al., 2010; Roberts & Spencer, 2015).

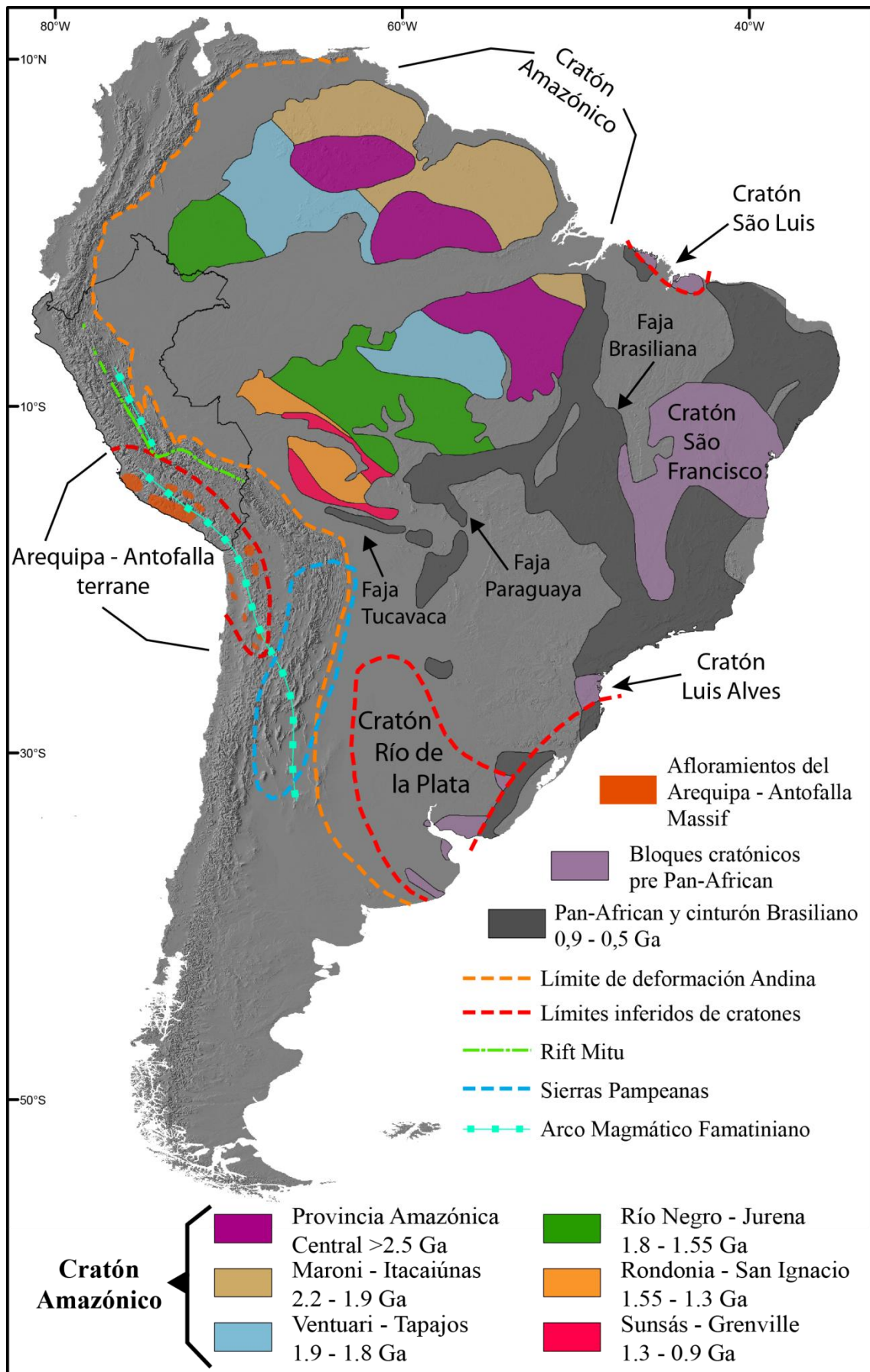


Figura 4.10.- Provincias orogénicas de Sudamérica. Modificado de Chew et al. (2008), Bahlburg et al. (2008) e Ibanez-Mejia et al. (2015).

Por lo tanto la edad de los zircones también representan las edades de los episodios orogénicos a lo largo de la historia de la Tierra, y en este estudio el desarrollo geodinámico-sedimentario del lado occidental de Gondwana (Figura 4.10).

#### **4.2.1. Procedencia Sedimentaria**

El espectro de edades de los zircones en el Grupo Yura de Tacna presentan picos que corresponden a la Orogenia Pampeana y Grenviliana, también existen menores picos de edades que corresponderían al Rift y al Cratón Amazónico.

##### **4.2.1.1. Edad Rift Mitú**

El Rift (“abortado”) Mitú se desarrolló principalmente en el sur del Perú, formando depocentros para unidades sedimentarias y volcánicas sin-rift donde se depositaría el Grupo Mitú (triásico medio), que aún es parcialmente preservado como afloramientos aislados en la Cordillera Oriental (Spikings et al., 2016).

La edad del Complejo Plutónico Mal Paso ( $220.7 \pm 1.3$  Ma), su carácter alcalino (de dos micas) probablemente está relacionado con intrusiones del rift Mitú (Boekhout et al., 2013).

Se observan un pico menor de edades del Grupo Mitú (Figuras 4.7 – 4.9), lo cual indica que la Cordillera Oriental aportó sedimentos al Grupo Yura.

##### **4.2.1.2. Edad Pampeana**

La tendencia modal de las edades de los zircones del Grupo Yura son las edades pampeanas y/o brasilianas (700 – 500 Ma) y se resalta en la presente tesis que la mayoría de los zircones analizados corresponden a estas edades.

Sin embargo actualmente no afloran rocas de esta edad en el Perú, el único afloramiento de estas edades en los Andes se encuentran en Argentina, en las Sierras Pampeanas, pero existen más de 300 km de distancia desde a la cuenca Arequipa en el Perú, lo cual hace improbable que sea una fuente de aporte, debido a este problema Chew et al., (2008) postularon la presencia de la Orogenia Pampeana en norte y centro del Perú, lo cual se discute a detalle en la sección 4.2.2.

Existen otros afloramientos en Sudamérica de estas edades, tales como la faja Tucavaca, la faja Paraguaya y la faja Brasiliana (Figura 4.10); no obstante la composición mineral de las rocas de estas fajas carecen de abundancia de zircones (Reinmann et al., 2010), por ello son descartados como una fuente importante de sedimentos del Grupo Yura, del mismo modo la distancia hacia la cuenca Arequipa es grande.

##### **4.2.1.3. Edad Sunsas – Grenville**

Las edades comprendidas entre 0,9 – 1,2 Ga están relacionadas a la Orogenia Grenville, el cual resulto en el ensamble del supercontinente Rodinia durante el Mesoproterozoico.

Esta cadena Grenviliana se encontraba presente a lo largo del margen occidental de Gondwana (Cratón Amazónico y otros bloques) y en el margen oriental de Laurentia donde se encuentran excelentes afloramientos, por el contrario en Sudamérica sus afloramientos son discontinuos y limitadamente estudiados, debido a que han experimentado múltiples eventos orogénicos a lo largo de todo Fanerozoico (Chew et al., 2008).

La presencia de edades grenvilianas en el Perú, deben su existencia a la colisión y acreción del bloque alóctono Arequipa (*Arequipa terrane*, Ramos, 2008) sobre el margen occidental del Cratón Amazónico durante la orogenia Greenville, el cual se encuentra en el sur del Perú y norte de Chile y es el basamento de la cuenca Arequipa-Tarapacá.

La existencia de edades grenvilianas en el Grupo Yura es explicada por el reciclaje sedimentario de unidades como el Grupo Yamayo que se formó directamente de sedimentos derivados del Macizo Arequipa (Reinmann et al., 2015).

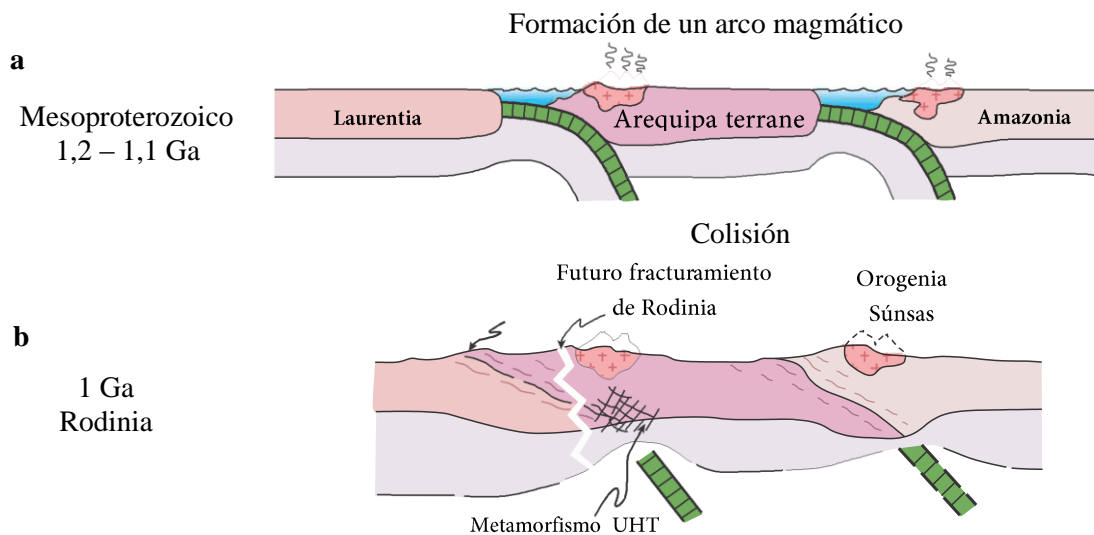


Figura 4.11.- Evolución esquemática del basamento de Arequipa durante el Mesoproterozoico. Tomado de Ramos (2008).

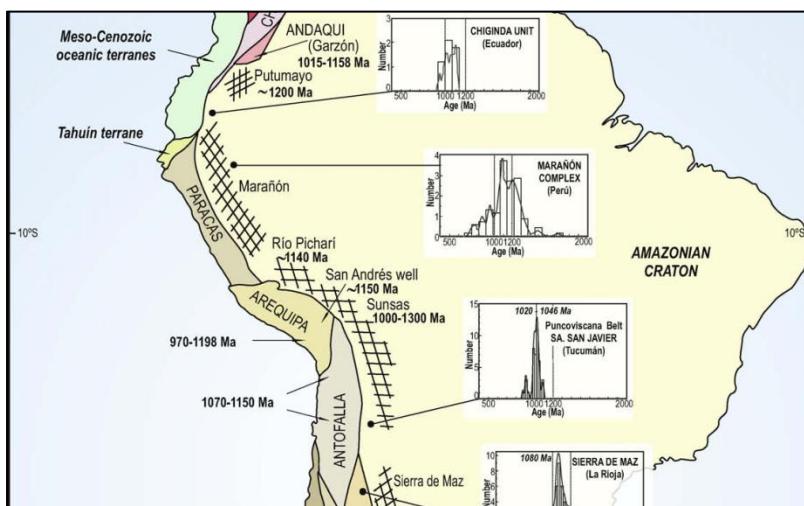


Figura 4.12.- Bloques que constituyen el basamento preandino. Tomado de Ramos (2010a).

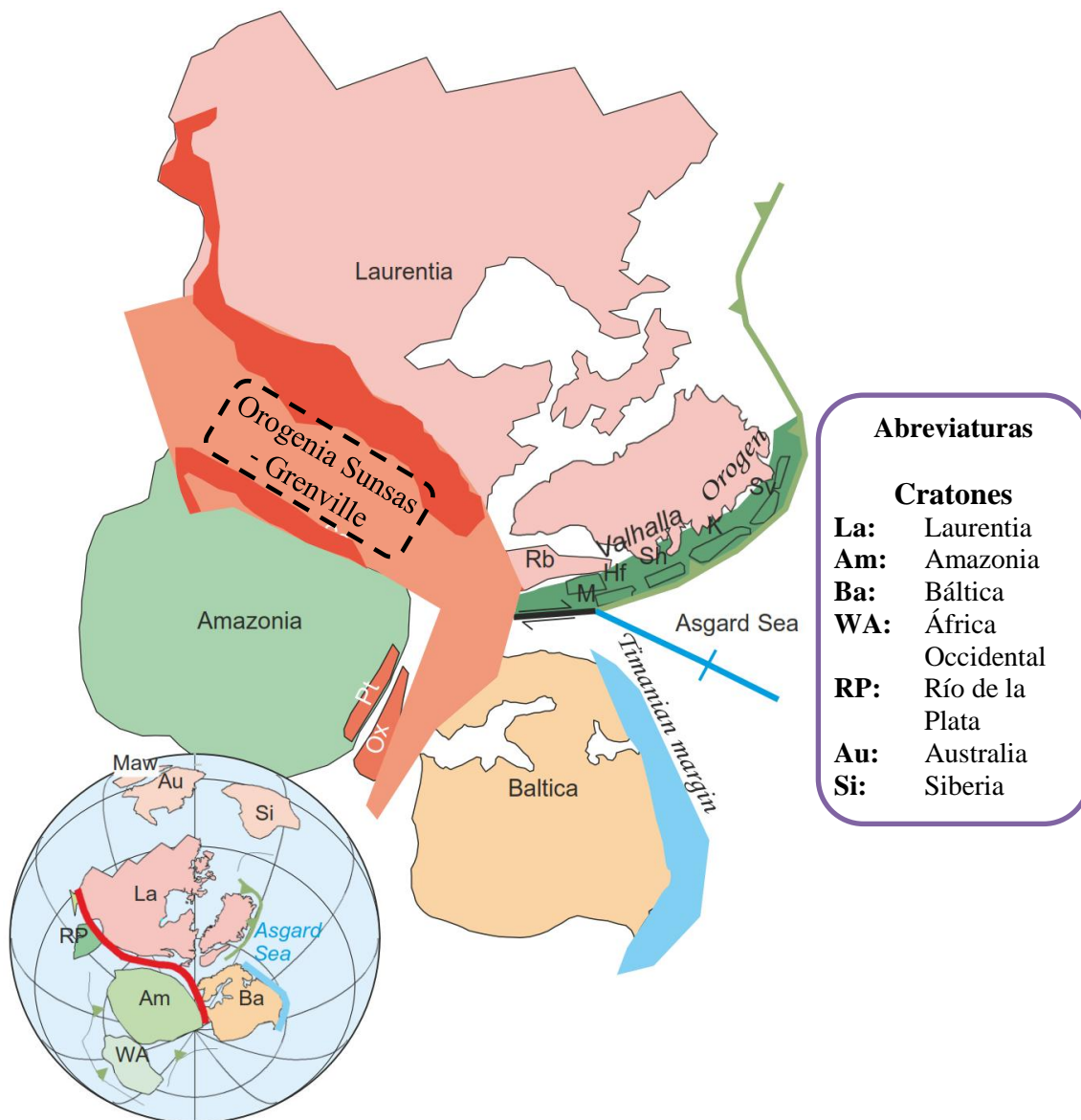


Figura 4.13.- Reconstrucción paleogeográfica de Rodinia hace 990 Ma. Tomado de Cawood & Pisarevsky (2017).

#### 4.2.1.4. Edad Famatiniana

La orogenia Famatiniana es un episodio orogénico el cual tuvo lugar con el inicio con la subducción a lo largo del margen proto-Pacífico en el Cámbrico (Pankhurst & Rapela, 1998). El arco magmático Famatiniano, comprende una historia de subducción entre 500 y 400 Ma, los intrusivos relacionados al arco magmático Famatiniano se encuentran emplazados en el Macizo Arequipa, y son denominados en conjunto como el Batolito de San Nicolás, en el sur del Perú.



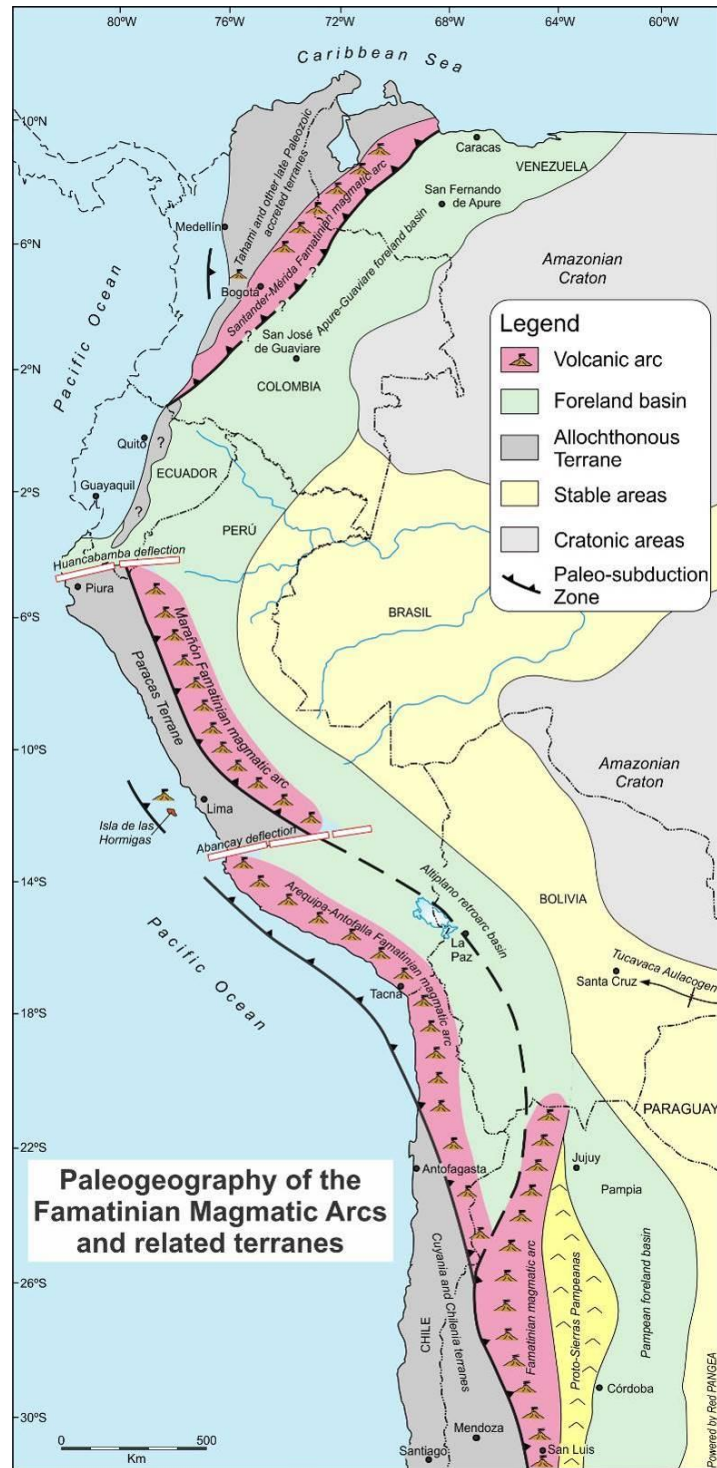


Figura 4.14.- Paleogeografía del arco magmático Famatiniano, Paleozoico temprano. Tomado de Ramos (2018).

#### 4.2.1.5. Edades del Cratón de Amazonia

El Cratón Amazónico comprende un conjunto de provincias geocronológicas con edades mayores a los 900 Ma (Figura 4.10).

Tales edades están presentes en el espectro de edades del Grupo Yura (Figuras 4.6 – 4.8), esto indicaría que el cratón de Amazonia fue una de las estructuras que apor

sedimentos al Grupo Yura. Sin embargo, estudios anterior de zirrones detríticos (U-Pb) indican que el cratón de Amazonia apporto a unidades paleozoicas del sur del Perú, que actualmente afloran en la Cordillera Oriental en el sur del Perú y norte de Bolivia (Reinmann et al., 2010; Balhburg et al., 2011; Boekhout et al., 2013; 2018); por esta razón y la distancia del cratón hasta a la cuenca Arequipa, y la configuración paleogeografica del cratón, la teoría más viable es que zirrones de esta edad (> 1200 Ma) serían parte del reciclaje sedimentario. Y los picos menores de ~1.9 Ga representan la edad del protolito del macizo Arequipa, y no al cratón Amazónico.

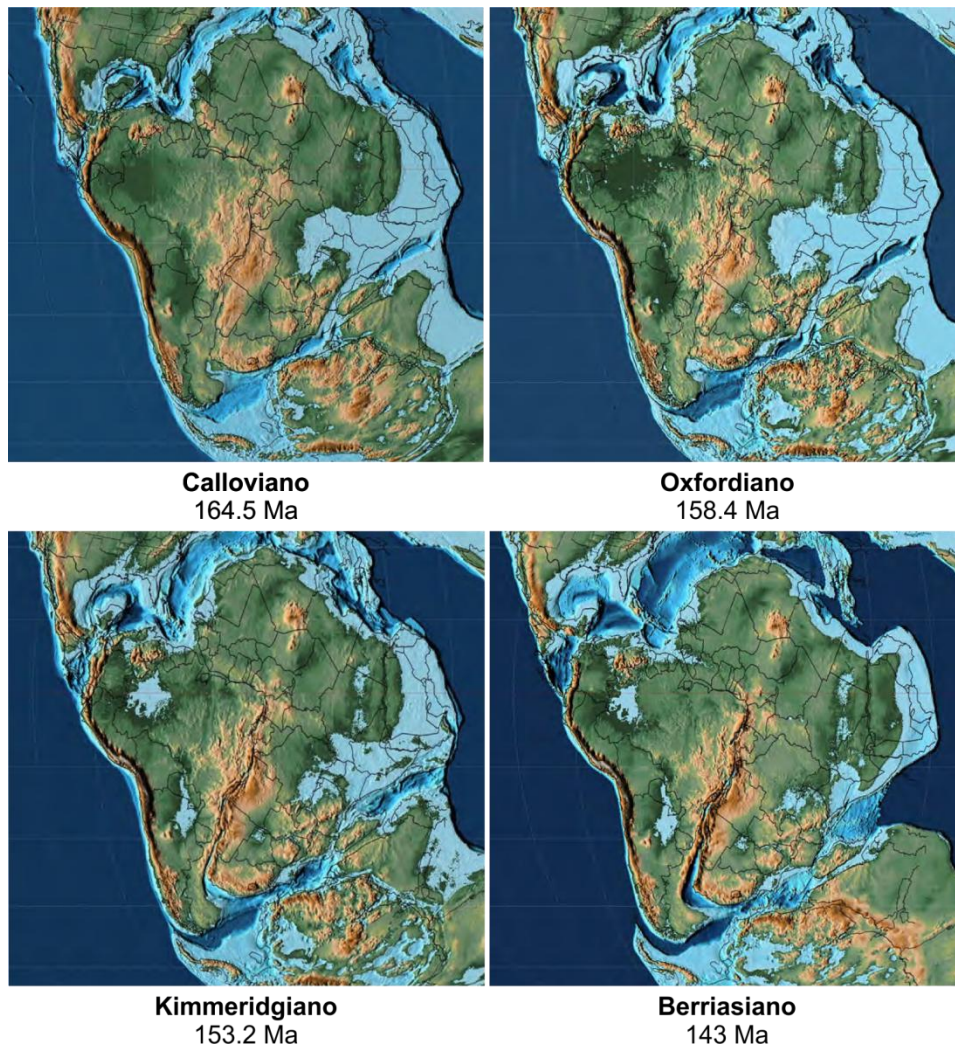


Figura 4.15.- Reconstrucción paleogeográfica del Jurásico medio – Cretácico inferior. Tomado de Scotese (2014).

#### 4.2.2. Orogenia Pampeana

La orogenia Pampeana tuvo lugar en el Neoproterozoico hasta el Cámbrico tardío, es considerado como uno de los principales ciclos orogénicos al suroeste de Gondwana; esta orogenia es coetánea con el último evento del ciclo Brasiliano-Pan Africano de las costas del sur de Brasil (Pankhurst & Rapela, 1998).



## Evidencias de la Orogenia Pampeana en el Perú:

La disponibilidad de estudios en geocronología ha permitido estudiar la edad y tiempo de actividad de arcos magmáticos fósiles.

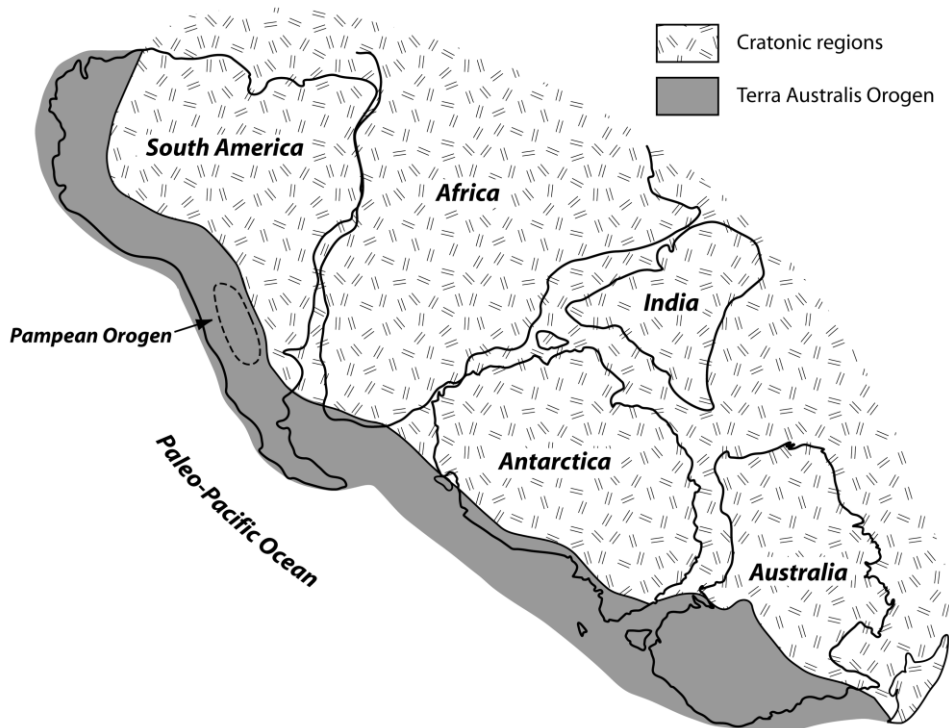


Figura 4.16.- Reconstrucción esquemática de Gondwana, enfatizando la localización de la Orogenia Terra Australis y la Orogenia Pampeana. Tomado de Schwartz et al. (2008)

Chew et al. (2008) propusieron la existencia de un arco Pampeano que se encontraba en el centro y norte del Perú, basándose en la datación U-Pb de rocas metamórficas del Complejo Marañón, y sedimentarias que poseen edades entre 500 y 700 Ma en la Cordillera Oriental, del mismo modo en la Cordillera Real (Ecuador).

Del mismo modo estudios posteriores también han determinado la presencia de edades pampeanas en rocas desde el Paleozoico hasta el Mesozoico (Cretácico inferior). Ver Tabla 4.2.

Dataciones en rocas sedimentarias paleozoicas estudiadas por Reinmann et al. (2010) y Bahlburg et al. (2011), obtuvieron resultados que presentan picos en edades pampeanas (0.5-0.7 Ga). Por lo tanto Bahlburg et al. (2011), en conformidad con Chew et al. (2008), proponen la continuidad de la Orogenia Pampeana discontinua en el sur del Perú y norte de Bolivia.

Estudios de geocronología realizados por Reinmann et al. (2015) en rutilo U-Pb en la Formación Coroico y Cancañiri (Ordovícico en Bolivia), obtuvieron edades de ~500 Ma; adicionalmente análisis químicos en rutilo y termometría de Zr en rutilo, indican que los rutilos provenían de rocas metamórficas félsicas sometidas a metamorfismo a

temperaturas entre 590 y 640 °C, lo cual avala la presencia del Orogenia Pampeano en el norte de Bolivia, y su origen como parte un arco magmático.

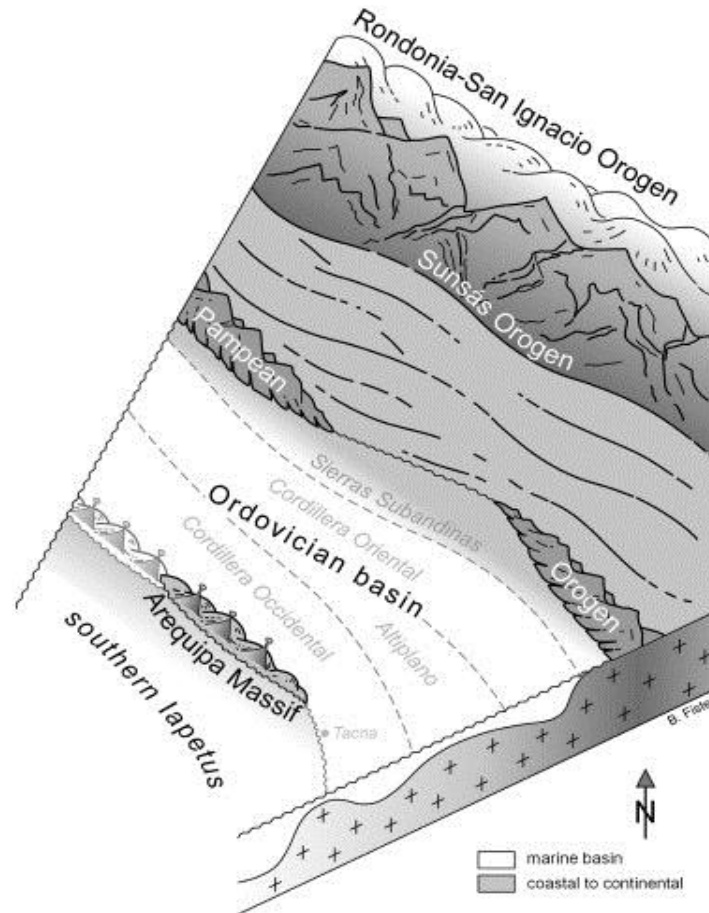


Figura 4.17.- Reconstrucción esquemática paleogeográfica del sur del Perú y norte de Bolivia durante el Ordovícico. Tomado de Bahlburg et al. (2011).

En el Paleozoico superior: en el Grupo Ambo (Carbonífero) también se encuentran picos pampeanos en los estudios de (Perez & Horton, 2014); en rocas del pérmico Boekhout et al., (2018) también indican la presencia de picos en edades pampeanas. Muestras del presente estudio de la Formación Cachíos y Formación Labra (jurásico) y Formación Hualhuani (cretácico inferior), muestran picos de edades Pampeanas (figuras 4.7 – 4.9, 4.19), al igual que otros afloramientos del Grupo Yura en el sur del Perú.

Algunas unidades del cretácico inferior, también presentan picos de edades pampeanas tales como el Grupo Goyllarisquizga (Chew et al., 2008; Horton et al., 2018) en el norte del Perú; y en el sur del Perú las unidades suprayacentes a la Formación Hualhuani, es decir, la Formación Muni (Perez & Horton, 2014) y la Formación Huancané (Sundell et al., 2018).

Tales picos en edades pampeanas presentes en formaciones paleozoicas y mesozoicas (Tabla 4.2) no provendrían de fuentes recicladas sino de un orógeno granítico félsico

(rico en zircones) que se encontraba presente en la parte oriental del Perú, y ciertamente en Bolivia (Wotzlaw et al., 2011) y Ecuador (Chew et al., 2018).

Estudios anteriores denominaron en el norte peruano el Geoanticlinal del Marañón (Megard, 1978) al límite oriental de la cuenca del Grupo Goyllarisquizga, y en el sur del Perú el límite oriental de la cuenca Arequipa era el Alto Cuzco-Puno (Carlotto et al., 2008). La compilación de edades U-Pb con la que se cuenta actualmente indica que este alto estructural en el norte del Perú posiblemente era la continuación de la Orogenia Pampeana que actualmente aflora en Sierras Pampeanas de Argentina.

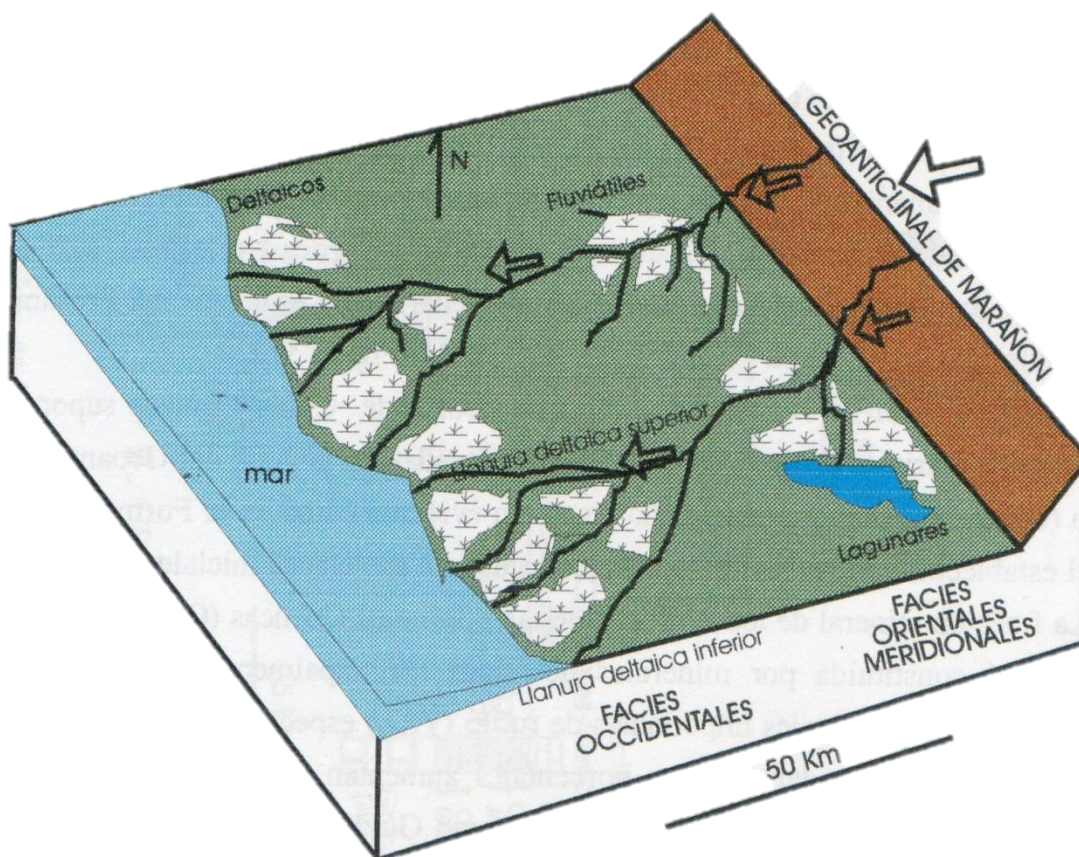


Figura 4.18.- Esquema paleogeográfico de la cuenca Goyllarisquizga, Cretácico inferior, norte del Perú. Tomado de Carrascal (2018).

Las rocas del Cenozoico también presentan abundancia de zircones de edades pampeanas (Perez & Horton, 2014; Sundell et al., 2018), por lo que se deduce que estas rocas estuvieron expuestas hasta aproximadamente el Oligoceno y actualmente se encontrarían debajo de la Cordillera Oriental y la Faja Subandina (Chew et al., 2008).

#### 4.2.3. Marco Geodinámico de la cuenca Arequipa

El inicio del relleno de la cuenca Arequipa se manifiesta con las andesitas basálticas de la Formación Chocolate, el cual es continuo y simultaneado desde el sur peruano hasta el norte de Chile. A esta unidad le sucedió un ambiente de plataforma carbonatada (Formación Socosani), y finalmente una secuencia principalmente detrítica (Grupo Yura), el cual representa la somerización de la cuenca.

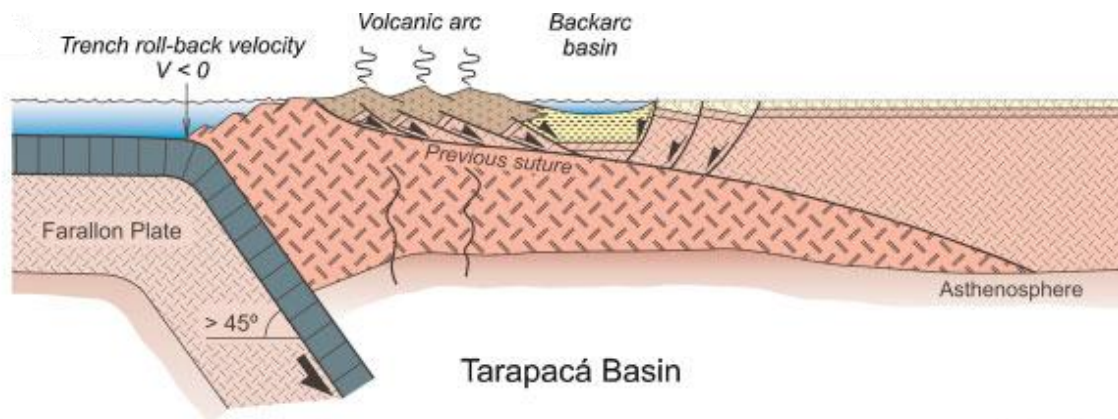


Figura 4.19.- Reconstrucción paleogeográfica de la Cuenca Tarapacá en el norte de Chile, en el Jurásico inferior. Tomado de Ramos (2010b).

Posterior al emplazamiento de las rocas volcánicas y volcanoclásticas del Grupo Chocolate en la cuenca Arequipa, la actividad de los arcos magmáticos Chocolate y Rio Grande no fue continua en el lado occidental de la cuenca Arequipa (margen andino). En la zona de Arequipa el vulcanismo es constante, como se manifiesta en las tobas presentes dentro de la Formación Socosani (Boekhout et al., 2013).

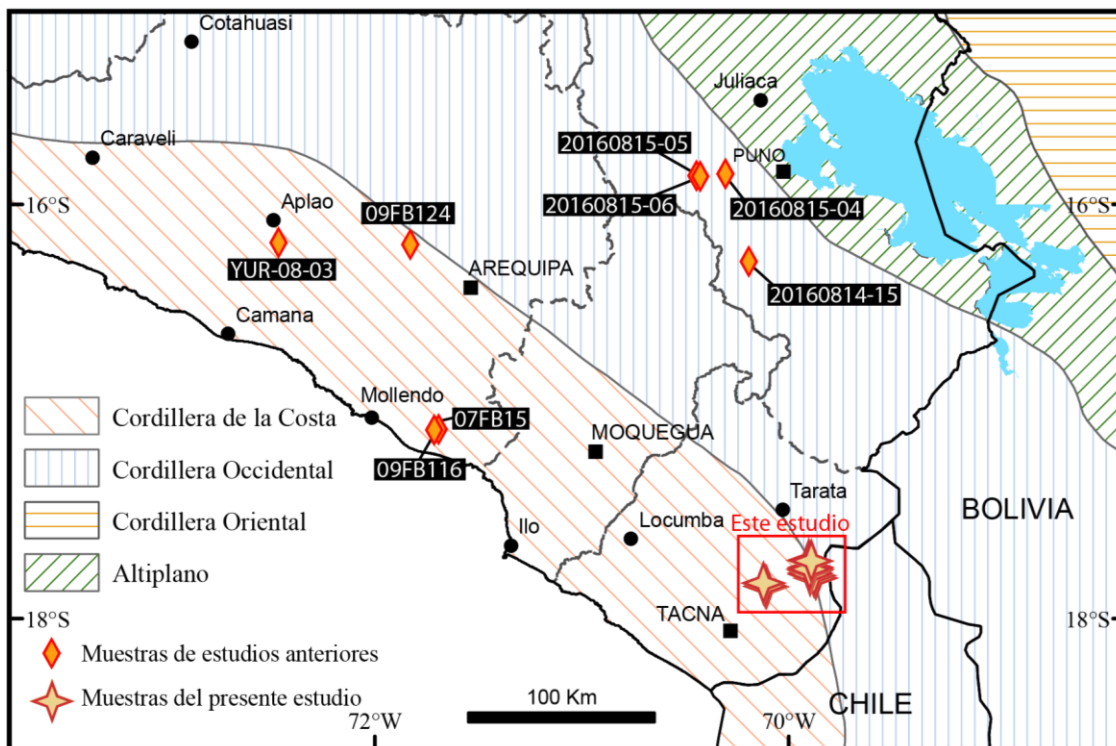


Figura 4.20.- Localización de las muestras estudiadas por U-Pb del Grupo Yura.

Las areniscas del Grupo Yura presentan un alto grado de madurez lo cual lo evidencian altos índices ZTR en Arequipa (Alván et al., 2015), Ayacucho (Coaquira et al., 2016) y en Tacna (zona de estudio; Trinidad et al., 2016); análisis químicos con alto contenido de SiO<sub>2</sub>, mayores al 90% (Iquiapaza et al., 2016), y análisis QFL también corroboran el alto contenido en cuarzo (Alván et al., 2018). Estas características indican un abundante reciclaje sedimentario lo cual es consecuencia de esfuerzos distensivos (tipo rift) que

Tabla 4.1.- Recopilación de dataciones U-Pb en zircón detrítico del Grupo Yura.

<b>Muestra</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>Unidad</b>	<b>Litología</b>	<b>Edad</b>	<b>Referencia</b>
<b>20160814-15</b>	-16.27508	-70.19324	Fm. Hualhuani	Cuarzoarenita	Cretácico inferior	Sundell et al., (2018)
<b>20160815-06</b>	-15.86207	-70.44615	Fm. Hualhuani	Cuarzoarenita	Cretácico inferior	Sundell et al., (2018)
<b>20160815-04</b>	-15.85268	-70.30539	Fm. Labra	Cuarzoarenita	Jurásico medio	Sundell et al., (2018)
<b>09FB124</b>	-16.183967	-72.466567	Fm. Labra	Cuarzoarenita	Jurásico medio	Boekhout et al., (2013)
<b>YUR-08-03</b>	8207608	197550	Fm. Labra?	Cuarzoarenita	Jurásico medio	Decou et al., (2013)
<b>20160815-05</b>	-15.86480	-70.42625	Fm. Puente	Cuarzoarenita	Jurásico inferior	Sundell et al., (2018)
<b>07FB15</b>	-17.083	-71.714	Fm. Puente	Arenisca	Jurásico inferior	Boekhout et al., (2012)
<b>09FB116</b>	-17.079	-71.691	Fm. Puente	Arenisca	Jurásico inferior	Boekhout et al., (2012)

Tabla 4.2.- Recopilación de dataciones U-Pb con picos en edades pampeanas.

<b>Muestra</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>Unidad</b>	<b>Litología</b>	<b>Edad</b>	<b>Referencia</b>
<b>DC 5-6-21</b>	9326460	781776	Gpo. Goyllarisquizga	Arenisca	Cretácico inferior	Chew et al., (2008)
<b>20160813-08</b>	-16.05183	-69.77223	Fm. Huancané	Arenisca	Cretácico inferior	Sundell et al., (2018)
<b>NPPR12-25</b>	-14.37551	-70.54854	Fm. Muni	Arenisca	Cretácico inferior	Perez & Horton (2014)
<b>NPDZP003</b>	-14.89772	-70.53311	Fm. Muni	Arenisca	Cretácico inferior	Perez & Horton (2014)
<b>NPDZP006</b>	-13.85975	-70.51526	Gpo. Mitu	Arenisca	Triásico	Perez & Horton (2014)
<b>MR61</b>	-13.27	-71,92	Gpo. Mitu	Arenisca	Triásico	Spikings et al., (2016)
<b>MR111</b>	-13.59	-71.69	Fm. Oqoruro	Arenisca	Pérmico	Boekhout et al., (2018)
<b>NPDZP004</b>	-14.35608	-70.55628	Gpo. Ambo	Arenisca	Carbonífero	Perez & Horton (2014)
<b>San 12</b>	-14.14366	-69.28065	Fm. Sandia	Arenisca	Ordovícico	Reimann et al., (2010)
<b>San 13</b>	-14.25353	-69.40898	Fm. Sandia	Arenisca	Ordovícico	Reimann et al., (2010)
<b>Coro 18</b>	-16.26904	-67.82120	Fm. Amutara	Arenisca	Ordovícico	Reimann et al., (2010)
<b>Am 20</b>	-16.32674	-67.97069	Fm. Amutara	Arenisca	Ordovícico	Reimann et al., (2010)



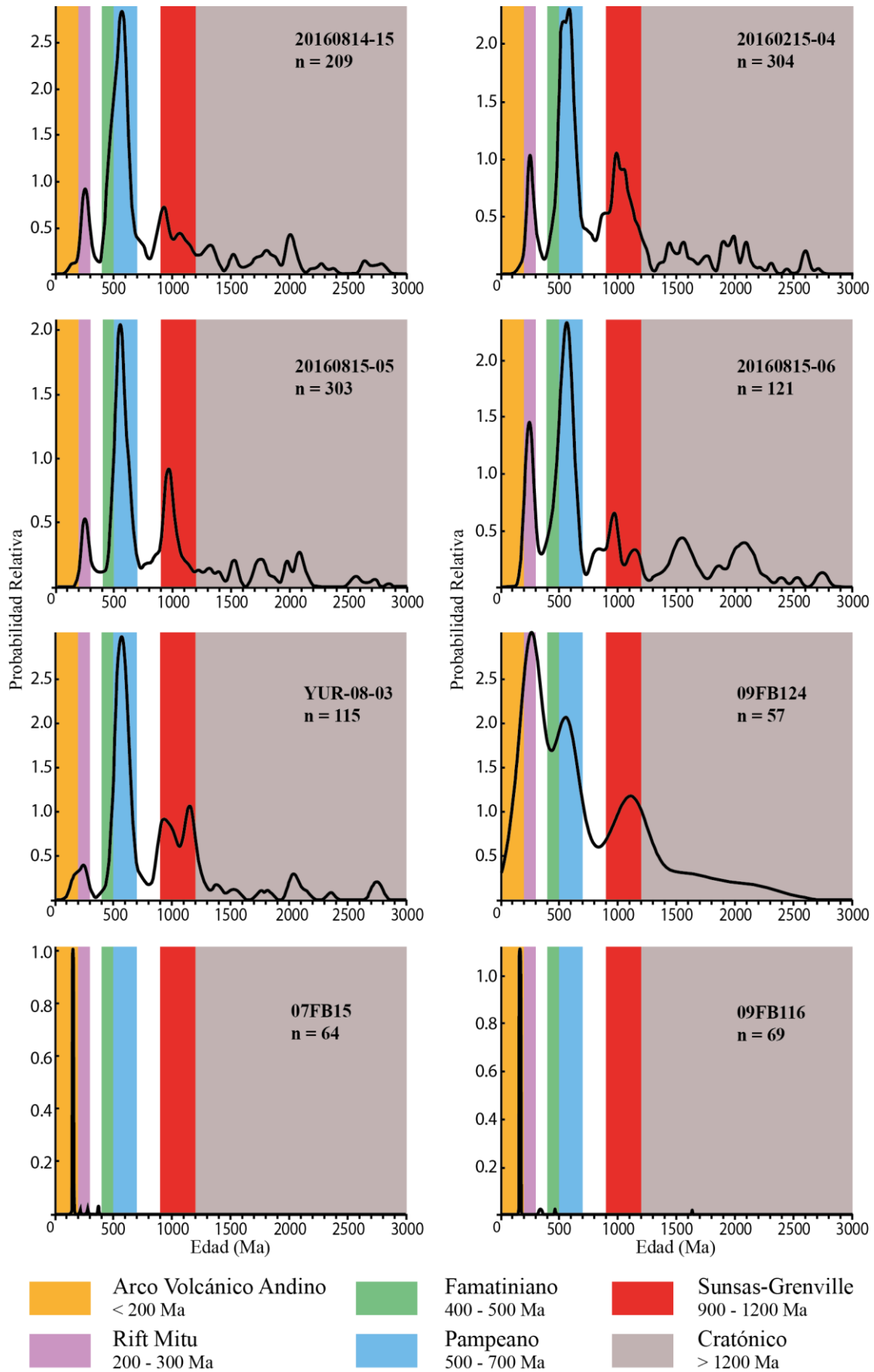


Figura 4.21.- KDE de muestras del Grupo Yura de estudios anteriores.  
Referencias en la Tabla 4.1



predominaron en la cuenca, del mismo modo el clima cálido y húmedo propio del Jurásico (Levin, 2013) fue un agente importante para la madurez de las areniscas.

Por otro lado en el departamento de Arequipa, existe evidencia de volcanismo tanto en el registro estratigráfico, como en la edad de los zircones, en las muestras de la Formación Puente (07FB15, 09FB116) y Formación Labra (09FB124), presentado estos edades andinas (Figura 4.18; Tabla 4.1; Boekhout et al., 2012; 2013). Sin embargo en las edades de zircones en el departamento de Puno (Sundell et al., 2018) y Tacna (este estudio) los zircones de edad andina están ausentes.

Lo anterior expuesto es explicado por una discontinuidad espacial en la actividad del arco magmático en el sur del Perú en el Jurásico. Las dataciones radiométricas indican la presencia de magmatismo espacialmente continuo desde Arequipa hasta Ilo (Batolito de Ilo<sup>4</sup>) emplazados desde el Jurásico inferior (Torres et al., 2017) hasta el Jurásico Medio a Superior (173 Ma – 152 Ma; Boekhout et al., 2013); de otro modo desde el sur de Ilo, hasta Tacna, y el norte de Chile, no hubo presencia de magmatismo, sino hasta finales del Cretácico Inferior. La ausencia del magmatismo probablemente ocurrió por variaciones en el ángulo de subducción (p.ej., flat-slab subducción).

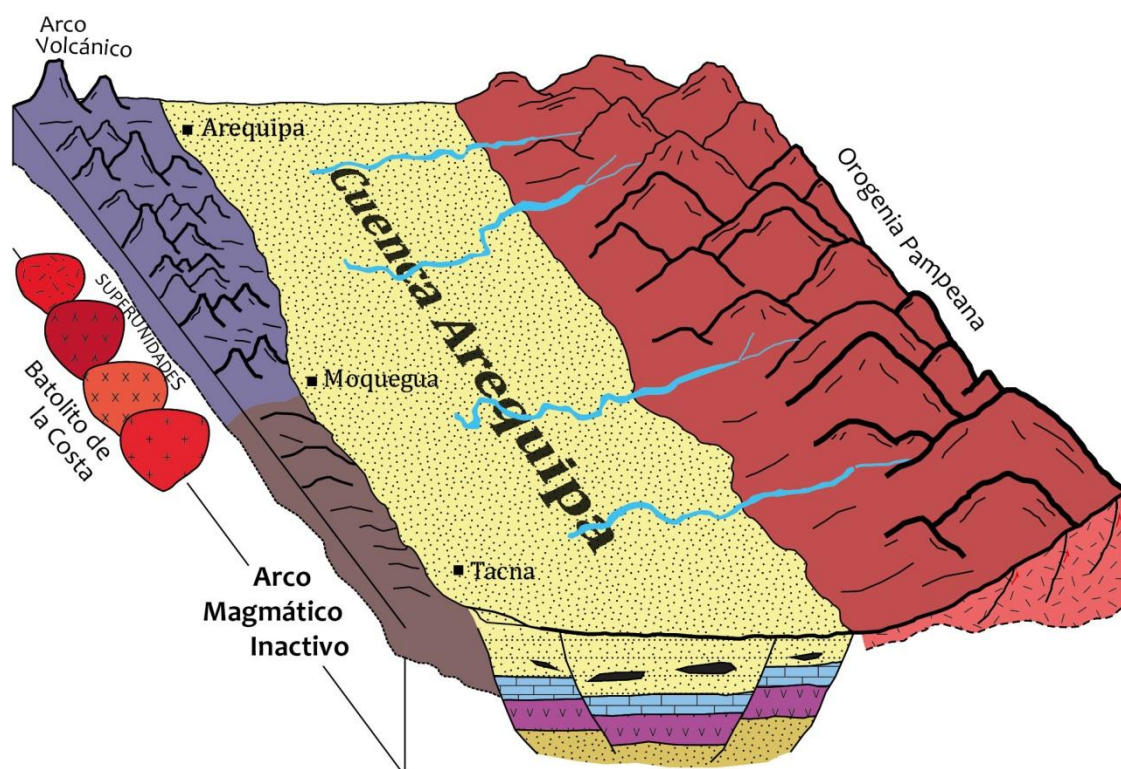


Figura 4.22.- Reconstrucción paleogeográfica esquemática de la cuenca Arequipa (Jurásico medio – superior).

<sup>4</sup> El batolito de Ilo (Super Unidad Ilo y Super Unidad Punta de Coles), en realidad es parte del Batolito de la Costa, al haberse descubierto su continuidad temporal (Jurásico Inferior – Terciario Inferior), gracias a dataciones U-Pb realizadas recientemente (Torres et al., 2017).

## CONCLUSIONES

- Los espectros de edades indican que la geodinámica de la cuenca Arequipa (Tacna) en el sur del Perú se desarrollaba en un ambiente extensional, este régimen tectónico es interpretado gracias a la existencia de edades mucho más antiguas a la edad de depositación del Grupo Yura (Calloviano – Cretacio inferior) las que señalan el reciclaje de unidades sedimentarias paleozoicas que poseen zircons con edades del Cratón Amazónico y más antiguas. Adicionalmente a lo expuesto, la ausencia de edades menores a los 200 Ma, es decir andinas, nos señalan un arco volcánico inactivo y/o inexistente, a diferencia de la Cuenca Arequipa en la zona de Arequipa.
- La forma de los zircons estudiados por luz polarizada indican que la mayor parte de estos son redondeados, es decir de grandes distancias de transporte, lo cual es contrastado con la tectónica distensiva de la cuenca Arequipa, la que formó estructuras tipo rift y ocasionó un abundante reciclaje sedimentario.
- La fotografías de Catodoluminiscencia revelan que la mayoría de los zircons no poseen núcleos xenocrísticos (heredados), indicando así que estos provienen de una fuente de rocas ígneas, por otro lado una menor cantidad de zircons núcleos heredados que apuntan a una fuente de rocas metamórficas.
- Los resultados del análisis geocronológico, indican que las edades predominantes se encuentran entre los 500 y 700 Ma que corresponden a la Orogenia Pampeana el cual sería el principal aportante oriental de la cuenca.

Las edades que siguen en abundancia son las edades grenvilianas (0.9 – 1.0 Ga) y las edades relacionadas al Rift Mitu (200 – 300 Ma), las primeras pertenecen al Macizo de Arequipa y/o también al reciclaje sedimentario de unidades paleozoicas de la Cordillera Oriental, y las últimas se deben a la presencia del vulcanismo emplazada a causa del desarrollo Rift Mitu en el Triásico.

- Las edades entre 500 – 700 Ma son las más abundantes en los zircons del Grupo Yura, sin embargo las potenciales fuentes de rocas de estas edad afloran únicamente en Argentina (Sierras Pampeanas), por lo que se propone la continuidad de esta cadena montañosa (Orogenia Pampeana) paralela al margen occidental de Gondwana, y en el Perú la Orogenia Pampeana ocupaba la posición de la actual Cordillera Oriental y Faja Subandina.

La compilación de estudios en geocronología U-Pb de zircons detríticos de rocas del paleozoico hasta el mesozoico confirma que la Orogenia Pampeana estaba presente desde el Paleozoico hasta el Cenozoico.

## RECOMENDACIONES

- Aplicar el método de Geocronología U-Pb de zircones detríticos, en la localidad tipo, es decir, al Grupo Yura de Arequipa, así como en otros afloramientos de todas las localidades, además enfocar el estudio a definir un límite preciso entre todas las formaciones que conforman el Grupo Yura.
- Realizar dataciones termocronológicas por los métodos U-Th/He y/o de trazas de fisión (FT), en las posibles rocas fuentes; sin embargo esta técnica debe aplicarse en algún mineral diferente al apatito ya que se ha comprobado su ínfima abundancia, por ello estas dataciones deberían realizarse en zircón o titanita. De esta manera sería posible elaborar un mapa paleogeográfico muy preciso (paleoaltitudes) del Jurásico en la Cuenca Arequipa del sur del Perú.
- Realizar un estudio tipológico según el diagrama de Pupin, con un alto contingente de zircones en el Grupo Yura de Tacna, y del Batolito de Ilo y del Complejo Plutónico Mal Paso, para establecer si han estado presentes como rocas fuentes o aun no afloraban.
- Realizar análisis químicos de elementos traza en zircón (REE), y estudiar los siguientes sistemas isotópicos:  $^{176}\text{Lu} - ^{176}\text{Hf}$ ,  $\text{Sm} - \text{Nd}$  y  $\delta^{18}\text{O}$ , los cuales pueden ayudar a definir una procedencia mucho más precisa, inclusive la identificación de la facies metamórfica de la cual provienen los sedimentos, y la evolución de la corteza continental.
- Actualizar los mapas geológicos de los cuadrángulos de Pachía (36-x) y Palca (36-v), en base a estudios de la presente tesis y a los mencionados que se realizaron anteriormente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, H., Mamani, M., Alván, A., Oviedo, M. & Rodríguez, J. (2010). Análisis estructural y geoquímica en la solución de problemas Cartográficos de rocas volcánicas del jurásico—ejemplo de la Formación Junerata en el cerro Junerata. Palca-Tacna. *XV Congreso Peruano de Geología, Resúmenes Extendido: 27 de septiembre al 1 de octubre*, pp. 746-749.
- Acosta, H., Mamani, M., Alván, A., Oviedo, M. & Rodríguez, J. (2011). Geología de los cuadrángulos de Pachía (36-v) y Palca (36-x), escala 1:50 000. *INGEMMET, Boletín Serie A: Carta Geológica Nacional No. 139*, 100 p.
- Ahrens, L.H., Cherry, R.D., & Erlank, A.J. (1967). Observations on the Th-U relationship in zircons from granitic rocks and from kimberlites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31(12), pp. 2379-2387.
- Alván A., Jacay, J., Caracciolo, L., Sánchez, E. & Trinidad, I. (2018). Sedimentary facies analysis of the Mesozoic clastic rocks in Southern Peru (Tacna, 18°S): Towards a paleoenvironmental Redefinition and stratigraphic Reorganization. *Journal of South American Earth Sciences*, 84, pp. 399-421.
- Alván, A., Acosta, H., Gutiérrez, D., Arévalo, J., Sanchez, E. & Tejada, L. (2010). División y Comparación Biozonal del Jurásico inferior en la Cuenca Arequipa, sur de Perú: resultados iniciales. *XV Congreso Peruano de Geología, Resúmenes Extendidos: 27 de septiembre al 1 de octubre*, Lima: Sociedad Geológica del Perú, pp. 196-199.
- Alván, A., von Eynatten, H., Dunkl, I. & Gerdes, A. (2015). Zircon U-Pb geochronology and heavy mineral composition of the Camaná Formation, southern Peru: Constraints on sediment provenance and uplift of the Coastal and Western cordilleras. *Journal of South American Earth Sciences*, 61, pp. 14-32.
- Bahlburg, H., Vervoort, J.D., Du Frane, S.A., Bock, B. & Augustsson, C. (2009). Timing of accretion and crustal recycling at accretionary orogens: insights learned from the western margin of South America. *Earth-Sciences Reviews*, 97, pp. 227-253.
- Bahlburg, H., Vervoort, J.D., DuFrane, S.A., Carlotto, V., Reimann, C. & Cárdenas, J. (2011). The U–Pb and Hf isotope evidence of detrital zircons of the Ordovician Ollantaytambo Formation, southern Peru, and the Ordovician provenance and paleogeography of southern Peru and northern Bolivia. *Journal of South American Earth Sciences*, 32, pp. 196-209.
- Barth, S., Oberli, F. & Meier, M. (1989). U—Th—Pb systematics of morphologically characterized zircon and allanite; a high-resolution isotopic study of the Alpine Rensen Pluton (northern Italy). *Earth and Planetary Science Letters*, 95(3-4), pp. 235-254.
- Baruah, J., Kotoky, P. & Sarma, J.N. (1995). Zircons in Jhanji river sediments, Assam. *Bulletin of Pure and Applied Sciences*, 14(1-2), pp. 35-40.
- Bateman, H. (1910). Solution of a system of differential equations occurring in the theory of radioactive transformations. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 15, pp. 423-427.
- Bellido, E. & Guevara, C. (1963). Geología de los Cuadrángulos de Punta de Bombón y Cledesí, *Comisión Carta Geológica Nacional, Perú, Boletín*, n. 5, 92 p.
- Bellido, E. & Narváez, S. (1960). Geología del Cuadrángulo de Ático, *Comisión Carta Geológica Nacional, Perú, Boletín*, n. 2, 59 p.

- Benavides, V. (1962). Estratigrafía pre-Terciaria de la Región de Arequipa. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, II Congreso Nacional de Geología: 15 al 19 de diciembre*, Tomo 38, pp. 5-63.
- Benedetto, J. (2019). El Sistema Triásico y el inicio de la Ruptura de Pangea. En: *El Continente de Gondwana a través del Tiempo: Una introducción a la Geología Histórica 3ª edición*. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina, pp. 317-345.
- Benisek, A. & Finger, F. (1993). Factors controlling the development of prism faces in granite zircons: a microprobe study. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 114(4), pp. 441-451.
- Bingen, B., Austrheim, H. & Whitehouse, M. (2001). Ilmenite as a source for zirconium during high-grade metamorphism? Textural evidence from the Caledonides of Western Norway and implications for zircon geochronology. *Journal of Petrology*, 42(2), pp. 355-375.
- Black, L.P., Kinny, P.D. & Sheraton, J.W. (1991). The difficulties of dating mafic dykes: an Antarctic example. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 109(2), pp. 183-194.
- Boekhout, F., Reitsma, M.J., Spikings, R., Rodriguez, R., Ulianov, A., Gerdes, A. & Schaltegger, U. (2018). New age constraints on the palaeoenvironmental evolution of the late Paleozoic back-arc basin along the western Gondwana margin of southern Peru. *Journal of South American Earth Sciences*, 82, pp. 165-180.
- Boekhout, F., Sempere, T., Spikings, R. & Schaltegger, U. (2013). Late Paleozoic to Jurassic chronostratigraphy of coastal southern Peru: Temporal evolution of sedimentation along an active margin. *Journal of South American Earth Sciences*, 47, pp. 179-200.
- Boekhout, F., Spikings, R., Sempere, T., Chiaradia, M., Ulianov, A. & Schaltegger, U. (2012). Mesozoic arc magmatism along the southern Peruvian margin during Gondwana breakup and dispersal. *Lithos*, 146-147, pp. 48-64.
- Boucot, A.J., Isaacson, P.E. & Laubacher, G., (1980). An early Devonian, Eastern Americas realm faunule from the coast of southern Peru. *Journal of Paleontology*, 54, pp. 359-365.
- Bowring, S.A., Schoene, B., Crowley, J., Ramezani, J. & Condon, D. (2006). High-Precision U-Pb Zircon Geochronology and the Stratigraphic Record: Progress and Promise. En : Olszewski, T.D. (ed.), *Geochronology: Emerging Opportunities. The Paleontological Society Special Publication*, 12, pp. 23-43.
- Carlotto, V., Rodríguez, R., Acosta, H., Cárdenas, J. & Jaillard, E. (2009). Alto Estructural Totos-Paras (Ayacucho): Límite Paleogeográfico en la Evolución Mesozoica de las Cuencas Pucará (Triásico superior-Liásico) y Arequipa (Jurásico-Cretácico). *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, Volumen Especial No. 7: Víctor Benavides Cáceres, pp. 1-46.
- Carrascal, R. (2018). El carbón en el Perú. *VIII Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Geológica [CONAINGEO]*. Del 03 al 08 de septiembre del 2018. Pasco, Perú.
- Carter, A. & Bristow, C.S. (2000). Detrital zircon geochronology: enhancing the quality of sedimentary source information through improved methodology and combined U-Pb and fission-track techniques. *Basin Research*, 12, pp. 47-57.
- Casquet, C., Fanning, C.M., Galindo, C., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. & Torres, P. (2010). The Arequipa Massif of Peru: New SHRIMP and isotope constraints on a

- Paleoproterozoic inlier in the Grenvillian orogen. *Journal of South American Earth Sciences*, 29, pp. 128–279.
- Cawood, P. & Pisarevsky, S. (2017). Laurentia-Baltica-Azonania relations during Rodinia assembly. *Precambrian Research*, 292, pp. 386-397.
- Cawood, P.A. (2005). Terra Australis Orogen: Rodinia breakup and development of the Pacific and Iapetus margins of Gondwana during the Neoproterozoic and Paleozoic. *Earth-Science Reviews*, 69, pp. 249-279.
- Cawood, P.A., Hawkesworth, C.J. & Dhuime, B. (2012). Detrital zircon record and tectonic setting. *Geology*, 40(10), pp. 875-878.
- Chang, Z., Vervoort, J., McClelland, W. & Knaack, C. (2006). U-Pb dating of zircon by LA-ICP-MS. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 7(5), pp. 1-14.
- Cherniak, D. & Watson, E. (2001). Pb diffusion in zircon. *Chemical Geology*, 172(1-2), pp. 5-24.
- Chew, D., Magna, T., Kirkland, C., Mišković, A., Cardona, A., Spikings, R. & Schaltegger, U. (2008). Detrital zircon fingerprint of the Proto-Andes: Evidence for a Neoproterozoic active margin?. *Precambrian Research*, 167, pp. 186-200.
- Claoué-Long, J.C., King, R.W. & Kerrich, R. (1990). Archaean hydrothermal zircon in the Abitibi greenstone belt: constraints on the timing of gold mineralization. *Earth and Planetary Science Letters*, 98(1), pp. 109-128.
- Coaquira, F., Trinidad, I., Valdivia, W., Andia, J. & Alván, A. (2016). Minerales pesados del Grupo Yura (Jurásico-Cretáceo) en Cangallo y Huancasancos, departamento de Ayacucho: Evaluación de facies sedimentarias. *XVIII Congreso Peruano de Geología, 16 al 19 de octubre*, Lima: Sociedad Geológica del Perú, pp. 1-5.
- Corfu, F., Hanchar, J.M., Hoskin, P.W.O. & Kinny, P. (2003) Atlas of zircon textures. En: Hanchar, J. & Hoskin, P., (eds.). *Zircon: Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53, pp. 468-500.
- Cottle, J.M., Searle, M.P., Horstwood, M.S.A. & Waters, D.J. (2009). Timing of midcrustal metamorphism, melting, and deformation in the Mount Everest Region of Southern Tibet revealed by U–Th–Pb geochronology. *Journal of Geology*, 117(6), pp. 643-664.
- Dalmayrac, B., Lancelot, J. & Leyreloup, A. (1980). La chaîne hercynienne d’Amérique du sud, structure et evolution d’un orogene intracratonique. *Geologische Rundschau*, 69(1), pp. 1-21.
- Decou, A., von Eynatten, H., Dunkl, I., Frei, D. & Wörner, G. (2013). Late Eocene to Early Miocene Andean uplift inferred from detrital zircon fission track and U–Pb dating of Cenozoic forearc sediments (15–18°S). *Journal of South American Earth Sciences*, 45, pp. 6-23.
- Deer, W.A., Howie, R.A. & Zussman, J. (1997). *Rock-forming Minerals, Volumen 1A Orthosilicates* (2° edición). London: The Geological Society.
- Degeling, H., Eggins, S. & Ellis, D.J. (2001). Zr budgets for metamorphic reactions, and the formation of zircon from garnet breakdown. *Mineralogical Magazine*, 65(6), pp. 749-758.
- Dietz, V. (1973). Experiments on the influence of transport on shape and roundness of heavy minerals. *Contributions to Sedimentology*, 1, pp. 103–125.
- Dryden, A.L. & Dryden, Clarissa, (1746). Comparative rates of weathering of some common heavy minerals. *Journal of Sedimentary Petrology*, 16(3), pp. 91-96.
- Faure, G. & Mensing, T.M. (2005). Geochronometry. En: *Isotopes Principles and Applications* (3° edición). Hoboken, New Jersey: Jhon Wiley & Sons, Inc., pp. 55-71.



- Fedo, C., Sircombe, K. & Rainbird, R. (2003) Detrital Zircon Analysis of the Sedimentary Record. En: Hanchar, J., & Hoskin, P., (eds.). *Zircon: Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53, pp. 277-303.
- Gärtner, A., Linnemann, U., Sagawe, A., Hofmann M., Ullrich, B. & Kleber, A. (2013). Morphology of zircon crystal grains in sediments – characteristics, classifications, definitions. *Journal of Central European Geology*, 59, pp. 65-73.
- Gehrels, G. (2012). Detrital zircon U-Pb geochronology: current methods and new opportunities. En: Busby, C. & Azor, A., (eds.). *Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances*. Chichester, United Kingdom: Wiley-Blackwell, pp. 47-62.
- Gehrels, G. (2014). Detrital Zircon U-Pb Geochronology Applied to Tectonics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 42, pp. 127-149.
- Gehrels, G., Rusmore, M., Woodsworth G., Crawford, M., Andronicos, C., Hollister, L., ... & Girardi, J. (2009). U-Th-Pb geochronology of the Coast Mountains batholith in north-coastal British Columbia: Constraints on age and tectonic evolution. *Geological Society of America Bulletin*, 121(9-10), pp. 1341-1361.
- Gehrels, G. & Vervoort, J. (2012). Short Course: U-Pb Geochronology and Hf Isotope Geochemistry Applied to Detrital Minerals. Recuperado de: <https://slideplayer.com/slide/14149386/>
- Gorz, H. (1974). Microprobe studies of inclusions and compilation of minor and trace elements in zircons from the literature. *Chemie der Erde*, 33, pp. 326-357.
- Harley, S. & Kelly, N. (2007). Zircon: Tiny but timely. *Elements*, 3(1), pp. 13-18.
- Hawkesworth, C.J., Dhuime, B., Pietranki, A., Cawood, P., Kemp, A. & Storey, C. (2010). The generation and evolution of the continental crust. *Journal of the Geological Society, London*, 167, pp. 229-248.
- Hiess, J., Condon, D., McLean, N. & Noble, S. (2012).  $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$  Systematics in Terrestrial Uranium-Bearing Minerals. *Science*, 335(6076), pp. 1610-1614.
- Hillebrandt, A. (2006). Ammoniten aus dem Pliensbachium (Carixium und Domerium) von Südamerika. *Revue de Paléobiologie, Genève*, 25, pp. 1-403.
- Hillebrandt, A.v. & Westermann, G.E.G. (1985). Aalenian (Jurassic) ammonite faunas and zones of the southern Andes. *Zitteliana*, 12, pp. 3-55.
- Hillebrandt, A.v. (1970). Zur Biostratigraphie und Ammoniten-Fauna des südamerikanischen Jura (insbes. Chile). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 136(2), pp. 166-211.
- Horton, B. (2018). Sedimentary record of andean mountain building. *Earth-Sciences Reviews*, 178, pp. 279-309.
- Hoskin, P. & Schaltegger, U. (2003). The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis. En: Hanchar, J., & Hoskin, P., (eds.). *Zircon: Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53, pp. 27-62.
- Hoskin, P.W.O. & Black, L.P. (2000). Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *Journal of Metamorphic Geology*, 18, pp. 423-429.
- Hower, J.C., Ruppert, L.F. & Eble, C.F. (1999). Lanthanide, yttrium, and zirconium anomalies in the Fire Clay coal bed, Eastern Kentucky. *International Journal of Coal Geology*, 39(1-3), pp. 141-153.
- Ibanez-Mejia, M., Pullen, A., Arenstein, J., Gehrels, G., Valley, J., Ducea, M.N., ... & Ruiz, J. (2015). Unraveling cristal growth and reworking processes in complex zircons from orogenic lower-crust: The Proterozoic Putumayo Orogen of Amazonia. *Precambrian Research*, 267, pp. 285-310.
- Iquiapaza E., Alván, A., Sanchez, E. & Mamani, M. (2016). Petrología Y Litogeoquímica sedimentaria del Grupo Yura, en el departamento de Tacna

- (Cuenca Arequipa). *XVIII Congreso Peruano de Geología, 16 al 19 de octubre*, Lima: Sociedad Geológica del Perú, pp. 1-4.
- Ireland, T.R. & Williams, I.S. (2003). Considerations in zircon geochronology by SIMS. En: Hanchar, J., & Hoskin, P., (eds.). *Zircon: Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53, pp. 215-241.
- Jackson, S.E., Pearson, N.J., Griffin, W.L. & Belousova, E.A. (2004). The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 211, pp. 47-69.
- Jaffey, A.H., Flynn, K.F., Glendenin, L.E., & Bentley, W.C. (1971). Precision Measurement of Half-Lives and Specific Activities of  $^{235}\text{U}$  and  $^{238}\text{U}$ . *Physical Review C*, 4(5), pp. 1889-1906.
- Jenks, W.F. (1948). Geología de la Hoja de Arequipa al 200,000. *Boletín del Instituto Geológico del Perú*, Boletín, n. 9, 240 p.
- Krogh, T. (1982a). Improved accuracy of U-Pb zircon ages by the creation of more concordant systems using an air abrasion technique. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46(4), pp. 637-649.
- Krogh, T. (1982b). Improved accuracy of U-Pb zircon dating by selection of more concordant fractions using a high gradient magnetic separation technique. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46(4), pp. 631-635.
- Kröner, A. (2012). The role of geochronology in understanding continental evolution. En: Kusky, T.M., Zhai, M.-G. & Xiao, W. (eds.). *The Evolving Continents Understanding Processes of Continental Growth*. London: The Geological Society, Special Publication 338, pp. 179-196.
- Lee, J., Williams, I. & Ellis, D. (1997). Pb, U and Th diffusion in natural zircon. *Nature*, 390, pp. 152-162.
- Levin, H. (2013). Life of the Mesozoic. En: *The Earth Through Time (10<sup>o</sup> edición)*. Hoboken, United States of America: John Wiley & Sons, Inc., pp. 417-466.
- Liatí, A. & Gebauer, D. (1999). Constraining the prograde and retrograde P-T-t path of Eocene HP rocks by SHRIMP dating of different zircon domains: inferred rates of heating, burial, cooling and exhumation for central Rhodope, northern Greece. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 135(4), pp. 340-354.
- Liatí, A. & Gebauer, D. (1999). Constraining the prograde and retrograde P-T-t path of Eocene HP rocks by SHRIMP dating of different zircon domains: inferred rates of heating, burial, cooling and exhumation for central Rhodope, northern Greece. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 135(4), pp. 340-354.
- Loewy, S., Conelly, J. & Dalziel, I. (2004). An orphaned basement block: The Arequipa-Antofalla Basement of the central Andean margin of South America. *Geological Society of America Bulletin*, 116, pp. 171-187.
- Mager, D. (1981). Vergleichende morphologische Untersuchungen an Zirkonen des altkristallinen Augengneises von Sand in Taufers (Südtirol) und einiger benachbarter Gesteine. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*, 9, pp. 385-397.
- Mamani, M., Navarro, P., Carlotto, V., Acosta, H., Rodríguez, J., Jaimes, F., ... Cereceda, C. (2010). Arcos Magmáticos Meso-Cenozoicos Del Perú. *XV Congreso Peruano de Geología, Resúmenes Extendidos: 27 de septiembre al 1 de octubre*, pp. 563-570.
- Mattinson, J.M. (1973). Anomalous isotopic composition of lead in young zircons. *Carnegie Institution of Washington – Year Book*, 72, pp. 613-616.
- Mégard, F. (1978). Etude géologique des Andes du Pérou central. *Travaux et Documents de l'ORSTOM*, París, 86, 310 pp.

- Monge, R. & Cervantes, J. (2000) – *Memoria explicativa de la geología del cuadrángulo de Pachia y Palca*, escala: 1:50,000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 12 p., 8 mapas.
- Morton, A.C. & Hallsworth, C.R. (1999). Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 124, pp. 3-29.
- Morton, A.C. (1979). Surface textures of heavy mineral grains from the Paleocene of the central North Sea. *Scottish Journal of Geology*, 15, pp. 293-300.
- Murakami, T., Chakoumakos, B.C., Ewing, R.C., Lumpkin, G.R. & Weber, W. (1991). Alpha-decay event damage in zircon. *American Mineralogist*, 76, pp. 1510-1532.
- Nelson, D.R. (2001). An assessment of the determination of depositional ages for Precambrian clastic sedimentary rocks by U-Pb dating of detrital zircon. *Sedimentary Geology*, 141-142(1), pp. 37-60.
- Newell, N. (1942). Lower Paleozoic pelecypods: Mytilacea. *University of Kansas Publications*, 10 (2), pp. 1-115.
- Pan, Y. (1997). Zircon- and monazite-forming metamorphic reactions at Manitouwadge, Ontario. *The Canadian Mineralogist*, 35(1), pp. 105-118.
- Pankhurst, R. & Rapela, C. (1998). The proto-Andean margin of Gondwana: an introduction. En: Pankhurst, R. & Rapela, C. (eds.). *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society, London, Special Publications, No. 142, pp.
- Perez, N. D. & Horton, B. K. (2014). Oligocene-Miocene deformational and depositional history of the Andean hinterland basin in the northern Altiplano plateau, southern Peru. *Tectonics*, 33, pp. 1819-1847. <https://doi.org/10.1002/2014TC003647>
- Pettijohn, F.J. (1941). Persistence of Heavy Minerals and Geologic Age. *The Journal of Geology*, 49(6), pp. 610-625.
- Pino, A. (2003). *Estratigrafía y Paleogeografía del intervalo Paleozoico Superior-Cretáceo inferior en el extremo Sur del Perú” (Área Mal Paso-Palca)*. Tesis de Grado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna.
- Pino, A., Jacay, J., Sempere, T. & Ianuzzi, R. (2002). Nuevos aportes geológicos en el estudio de la evolución geodinámica de la Cordillera de los Andes en el Sur del Perú. *XI Congreso Peruano de Geología, Trabajos científicos: 25 al 28 de septiembre*, Lima: Sociedad Geológica del Perú, pp. 1-14.
- Pino, A., Sempere, T., Jacay, J. & Fornari, M. (2004). Estratigrafía, Paleogeografía y Paleotectónica del Intervalo Paleozoico Superior - Cretáceo Inferior en el área de Mal Paso - Palca (Tacna). En: Jacay, J. & Sempere, T., (eds.). *Nuevas contribuciones del IRD y sus contrapartes al conocimiento geológico del sur del Perú*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial, 5, pp. 15-44.
- Poldervaart, A. (1955). Zircon in rocks 1. Sedimentary rocks. *American Journal of Science*, 253(8), pp. 433-461.
- Pupin, J. (1980). Zircon and granite petrology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 73(3), pp. 207-220.
- Ramos, V. (2008). The Basement of the Central Andes: The Arequipa and Related Terranes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 36, pp. 289–324.
- Ramos V. (2010a). The Grenville-age basement of the Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 29, pp. 79-21.
- Ramos, V. (2010b). The tectonic regime along the Andes: Present-day and Mesozoic regimes. *Geological Journal*, 45, pp. 2-25.
- Ramos, V. (2018). The Famatinian orogen along the protomargin of Western Gondwana: Evidence for a nearly continuous Ordovician magmatic arc between Venezuela and Argentina. En: Folguera, A., Contreras Reyes E., Heredia, N.,

- Encinas, A., Iannelli, S., Oliveros, V., ... & Arriagada, C. (eds.). *The Evolution of the Chilean-Argentinean Andes*. Switzerland: Springer Earth Systems Sciences, pp. 154-183.
- Reimann, C., Spiske, M., Bahlburg, H., Lopez, S. & Carlotto, V. (2010). Geodynamic evolution of the early Paleozoic Western Gondwana margin 14°–17°S reflected by the detritus of the Devonian and Ordovician basins of southern Peru and northern Bolivia. *Gondwana Research*, 18(2-3), pp. 370-384.
- Reimann, C.R., Bahlburg, H., Carlotto, V., Boekhout, F., Berndt, J. & Lopez, S. (2015). Multi-method provenance model for early Paleozoic sedimentary basins of southern Peru and northern Bolivia (13°–18°S). *Journal of South American Earth Sciences*, 64, pp. 94-115.
- Roberts, M.P. & Finger, F. (1997). Do U-Pb zircon ages from granulites reflect peak metamorphic conditions?. *Geology*, 25(4), pp. 319-322.
- Roberts, N. & Spencer, C. (2015). The zircon archive of continent formation through time. En: Roberts, N., Van Kranendonk, M., Parman, S., Shirey, S. & Clift, P., (eds.). *Continent Formation Through Time*. Geological Society, London, Special Publications, No. 389, pp. 197-225.
- Roger, F., Malavieille, M., Lelouop, P.H., Calassou, S. & Xu, Z. (2004). Timing of granite emplacement and cooling in the Songpan-Garzê Fold Belt (eastern Tibetan Plateau) with tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 22(5), pp. 465-481.
- Rubatto, D., Gebauer, D. & Compagnoni, R. (1999). Dating of eclogite-facies zircons: the age of Alpine metamorphism in the Sesia-Lanzo Zone (Western Alps). *Earth and Planetary Science Letters*, 167(3-4), pp. 141-158.
- Rubin, J.N., Henry, C.D. & Price, J.G. (1989). Hydrothermal zircons and zircon overgrowths, Sierra Blanca Peaks, Texas. *American Mineralogist*, 74(7-8), pp. 865-869.
- Salinas, E. (1982). *Evolución paleogeográfica del sur del Perú a la luz de los métodos de análisis sedimentológicos de las series del departamento de Tacna*. Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa-Perú.
- Saxena, S.K. (1966). Evolution of zircons in sedimentary and metamorphic rocks. *Sedimentology*, 6(1), pp. 1-33.
- Saylor, J.E. & Sundell, K.E. (2016). Quantifying comparison of large detrital geochronology data sets. *Geosphere*, 12(1), pp. 203-220.
- Schärer, U. (1984). The effect of initial <sup>230</sup>Th disequilibrium on young U-Pb ages: The Makalu case, Himalaya. *Earth and Planetary Science Letters*, 67(2), pp. 191-204.
- Schoene, B. (2014). U-Th-Pb Geochronology. En: Holland, H.D. & Turekian, K.K. (eds.), *Treatise on Geochemistry (2° edición)*. Oxford: Elsevier, 4, pp. 341-378.
- Schwartz, J., Gromet, P. & Miró, R. (2008). Timing and Duration of the Calc-Alkaline Arc of the Pampean Orogeny: Implications for the Late Neoproterozoic to Cambrian Evolution of Western Gondwana. *The Journal of Geology*, 116, pp. 39-61.
- Scotese, C.R. (2014). *Atlas of Late Cretaceous Paleogeographic Maps*, PALEOMAP Atlas for ArcGIS, Volume 2, the Cretaceous, Maps 16–22, Mollweide Projection. PALEOMAP Project, Evanston, IL.
- Scotese, C.R. (2014). *Atlas of Late Jurassic Paleogeographic Maps*, PALEOMAP Atlas for ArcGIS, Volume 2, the Jurassic, Maps 32–42, Mollweide Projection. PALEOMAP Project, Evanston, IL.

- Sempere, T., Carlier, G., Soler, P., Fornari, M., Carlotto, V., Jacay, J., ... & Jiménez, N. (2002). Late Permian-Middle Jurassic lithospheric thinning in Peru and Bolivia, and its bearing on Andean-age tectonics. *Tectonophysics*, 345, pp. 153-181.
- Silver, L. (1963). The relation between radioactivity and discordance in zircons. *National Academy of Sciences—National Research Council Publication*, 1075, pp. 34-52.
- Sindowski, F.K. (1949). Results and Problems of Heavy Mineral Analysis in Germany: A Review of Sedimentary-petrological Papers, 1936-1948, *Journal of Sedimentary Petrology*, 19(1), pp. 3-25.
- Sircombe, K. & Stern, R. (2002). An investigation of artificial biasing in detrital zircon U-Pb geochronology due to magnetic separation in sample preparation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66(13), pp. 2379-2397.
- Smithson, F. (1937). Outgrowths on zircon in the middle Jurassic of Yorkshire. *Geological Magazine*, 74(6), pp. 281-283
- Spencer, J., Kirkland, C. & Taylor, J.M. (2016) Strategies towards statistically robust interpretations of *in situ* zircon geochronology. *Geoscience Frontiers*, 7, pp. 581-589.
- Spikings, R., Reitsma, M.J., Boekhout, F, Mišković, A., Ulianov, A., Chiaradia, M., Gerdes, A. & Schaltegger, U. (2016). Characterisation of Triassic rifting in Peru and implications for the early disassembly of western Pangaea. *Gondwana Research*, 35, pp. 124-143.
- Steiger, R.H. & Jäger, E. (1977). Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 36(3), pp. 359-362.
- Sundell, K. E., Saylor, J. E., Lapen, T. J., Styron, R. H., Villarreal, D. P., Usnayo, P., & Cárdenas, J. (2018). Peruvian Altiplano stratigraphy highlights along-strike variability in foreland basin evolution of the Cenozoic central Andes. *Tectonics*, 37. <https://doi.org/10.1029/>.
- Tera, F. & Wasserburg, G. (1972). U-Th-Pb systematics in lunar highland samples from the Luna 20 and Apollo 16 missions. *Earth and Planetary Science Letters*, 17(1), pp. 36-51.
- Thomas, W. (2011). Detrital-zircon geochronology and sedimentary provenance. *Lithosphere*, 3(4), pp. 304-308.
- Thoulet, M.J. (1913). Notes de lithologie sous-marine. *Annales de L'Institut Océanographique*. Tomo V, Fasc. IX, pp. 1-14.
- Tichomirowa, M. (2001). *Die Gneise des Erzgebirges – hochmetamorphe Äquivalente von neoproterozoisch – frühpaläozoischen Grauwacken und Granitoiden der Cadomiden*. Tesis Doctoral, Universidad Bergakademie Freiberg, Alemania.
- Tichomirowa, M., Berger, H.-J., Koch, E.A., Belyatski, B.V., Götze, J., Kempe, U., ... Schaltegger, U. (2001). Zircon ages of high-grade gneisses in the Eastern Erzgebirge (Central European Variscides) constraints on origin of the rocks and Precambrian to Ordovician magmatic events in the Variscan foldbelt. *Lithos*, 56(4), pp. 303-332.
- Tomaschek, F., Kennedy, A.K., Villa, I.M., Lagos, M. & Ballhuus, C. (2003). Zircons from Syros, Cyclades, Greece-Recrystallization and Mobilization of Zircon During High-Pressure Metamorphism. *Journal of Petrology*, 44(11), pp. 1977-2002.
- Torres, D., Santos, A., Ccallo, W., Soberon, D., Weimin, G., Junan, L., Yong, Z. & Ming, X. (2017) - Geología de los cuadrángulos de Atico y Cháparra hojas 33o y

- 32o (Actualización de la Carta Geológica Nacional), INGEMMET. Boletín N° 149, Serie A: Carta Geológica Nacional, 183 pp.
- Trinidad, I., Alván, A., Sanchez, E. & Benites, A. (2016). Proveniencia sedimentaria de las rocas detríticas del Grupo Yura (Jurásico-Cretáceo) en Tacna, basado en análisis de minerales pesados. *XVIII Congreso Peruano de Geología, 16 al 19 de octubre*, Lima: Sociedad Geológica del Perú, pp. 1-5.
- Vavra, G. (1990). On the kinematics of zircon growth and its petrogenetic significance: a cathodoluminescence study. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 106(1), pp. 90-99.
- Vavra, G., Gebauer, D., Schmid, R. & Compston, W. (1996). Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): an ion microprobe (SHRIMP) study. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 122(4), pp. 337-358.
- Vermeesch, P. (2004). How many grains are needed for a provenance study?. *Earth and Planetary Science Letters*, 224, pp. 441-451.
- Vermeesch, P. (2012). On the visualisation of detrital age distributions. *Chemical Geology*, 312–313, pp. 190-194.
- Vicente, J-C. (1981). Elementos de la Estratigrafía Mesozoica Sur-Peruana. En: Volkheimer, W. & Musacchio, E. (eds.). *Cuencas Sedimentarias de Jurásico y Cretácico de América del Sur*. Buenos Aires, Argentina: Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico, v. 1, pp. 319-351.
- Vicente, J-C. (2006). Dynamic Paleogeography of the Jurassic Andean Basin : Pattern of Regression and General Considerations on Main Features. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 61(3), pp. 408-437.
- Vicente, J-C., Beaudoin, B., Chavez, A. & Leon, I. (1982). La Cuenca de Arequipa (Sur Perú) durante el Jurásico-Cretácico inferior. *V Congreso Latinoamericano de Geología*. En: Servicio Geológico Nacional, 17-22 octubre de 1982, Buenos Aires, Argentina, tomo I, pp. 121-153.
- Watson, E.B., Cherniak, D.J., Hanchar, J.M., Harrison, T.M. & Wark, D.A. (1997). The incorporation of Pb into zircon. *Chemical Geology*, 141(1-2), pp. 19-31.
- Wentworth, C.K. (1922). Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*, 30(5), pp. 377-392.
- Wetherill, G. (1956). Discordant uranium-lead ages, I. *Transactions, American Geophysical Union*, 37(3), pp. 320-326.
- Whitehouse, M.J. & Platt, J.P. (2003). Dating high-grade metamorphism—constraints from rare-earth elements in zircon and garnet. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 145(1), pp. 61-74.
- Wilson, J. & García, W. (1962). Geología de los Cuadrángulos de Pachía y Palca, *Comisión Carta Geológica Nacional*, Perú, Boletín, n. 4, 82 p.
- Zajzon, N., Szabó, Z., Weiszburg, T.G. & Jeffries, T.E. (2011). Multiple provenance of detrital zircons from the Permian–Triassic boundary in the Bükk Mts., Hungary. *International Journal of Earth Sciences*, 100(1), pp. 125-138.



## APÉNDICES

Tabla A.1.- Ubicación y descripción de las muestras estudiadas. ....	117
Figura A.1.- Zircones de la muestra GR41A-15-167. ....	119
Figura A.2.- Zircones de la muestra GR41A-15-187. ....	119
Figura A.3.- Zircones de la muestra GR41A-15-201. ....	120
Figura A.4.- Zircones de la muestra GR41A-15-202. ....	120
Figura A.5.- Zircones de la muestra GR41A-15-206. ....	121
Figura A.6.- Zircones de la muestra GR41A-15-207. ....	121
Figura A.7.- Zircones de la muestra GR41A-15-274. ....	122
Figura A.8.- Zircones de la muestra GR41A-16-032. ....	122
Figura A.9.- Zircones de la muestra GR41A-16-084. ....	123
Figura B.1.- Fotomicrografías de zircones bajo el estereoscopio (1).. ....	124
Figura B.2.- Fotomicrografías de zircones bajo el estereoscopio (2).. ....	125
Figura C.1.- Imágenes de Catodoluminiscencia de zircones de la Formación Labra. .	126
Tabla B.1.- Resultados de geocronología U-Pb .....	127

**Tabla A.1.-**

Ubicación y descripción de las muestras estudiadas.

<b>N°</b>	<b>Muestra</b>	<b>E</b>	<b>N</b>	<b>Localidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Litología</b>	<b>Descripción</b>
1	<b>GR41A-15-093</b>	404145	8035624	Cerro Chachacumane	Formación Cachíos	Arenisca	Roca de textura granular de grano fino a medio, gris oscura, masiva, con plagioclasas, cuarzo, etc.
2	<b>GR41A-15-095</b>	404704	8033522	Copapuquio	Formación Labra	Arenisca cuarzosa	Roca de textura granular de grano fino, blanco grisáceo, masiva y con cuarzos.
3	<b>GR41A-15-101</b>	405564	8035511	Cerro Chachacumane	Formación Hualhuani	Arenisca	Roca de textura granular, de grano medio a grueso, de color blanco grisáceo, con abundante cuarzo.
4	<b>GR41A-15-167</b>	407759	8030923	La Portada	Formación Labra	Arenisca cuarzosa	Roca de grano medio, de grano sub-redondeados con abundantes granos de cuarzo, de color blanquecina.
5	<b>GR41A-15-187</b>	406620	8032238	Noreste del cerro Pelado	Formación Cachíos	Arenisca cuarzosa	Roca de grano medio, de grano sub redondeados muy cuarzosa, de color gris blanquecino.
6	<b>GR41A-15-201</b>	405228	8035531	Cerro Chachacumane	Formación Hualhuani	Arenisca cuarzosa	Roca de grano fino a medio, de grano sub redondeados muy cuarzosa, de color blanquecina.
7	<b>GR41A-15-202</b>	405124	8035317	Cerro Chachacumane	Formación Hualhuani	Arenisca cuarzosa	Roca de grano fino a medio, de color gris oscura.

<b>N°</b>	<b>Muestra</b>	<b>E</b>	<b>N</b>	<b>Localidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Litología</b>	<b>Descripción</b>
8	<b>GR41A-15-206</b>	404519	8035703	Cerro Chachacumane	Formación Labra	Arenisca cuarzosa	Roca de grano medio, de grano sub redondeados muy cuarzosa, de color gris blanquecino.
9	<b>GR41A-15-207</b>	405280	8040156	Ataspaca	Formación Hualhuani	Arenisca cuarzosa	Roca de grano grueso a medio, grano sub anguloso, de color gris clara, de composición cuarzosa.
10	<b>GR41A-15-274</b>	381047	8028324	Cerro Challatita	Formación Labra	Arenisca	Roca de grano fino, con granos de cuarzo y algunos óxidos.
11	<b>GR41A-16-032</b>	404164	8040442	Quebrada Ataspaca	Formación Labra	Arenisca cuarzosa	Roca de textura granular de grano medio, color gris blanquecino, presenta granos abundantes cuarzo, además patinas de óxidos.
12	<b>GR41A-16-084</b>	382163	8026398	Quebrada Tocuco	Formación Hualhuani	Arenisca cuarzosa	Roca de textura granular, grano medio, subredondeado, contiene abundantes granos de cuarzo color gris blanquecino.

**Proyección: UTM, Datum: WGS84.**

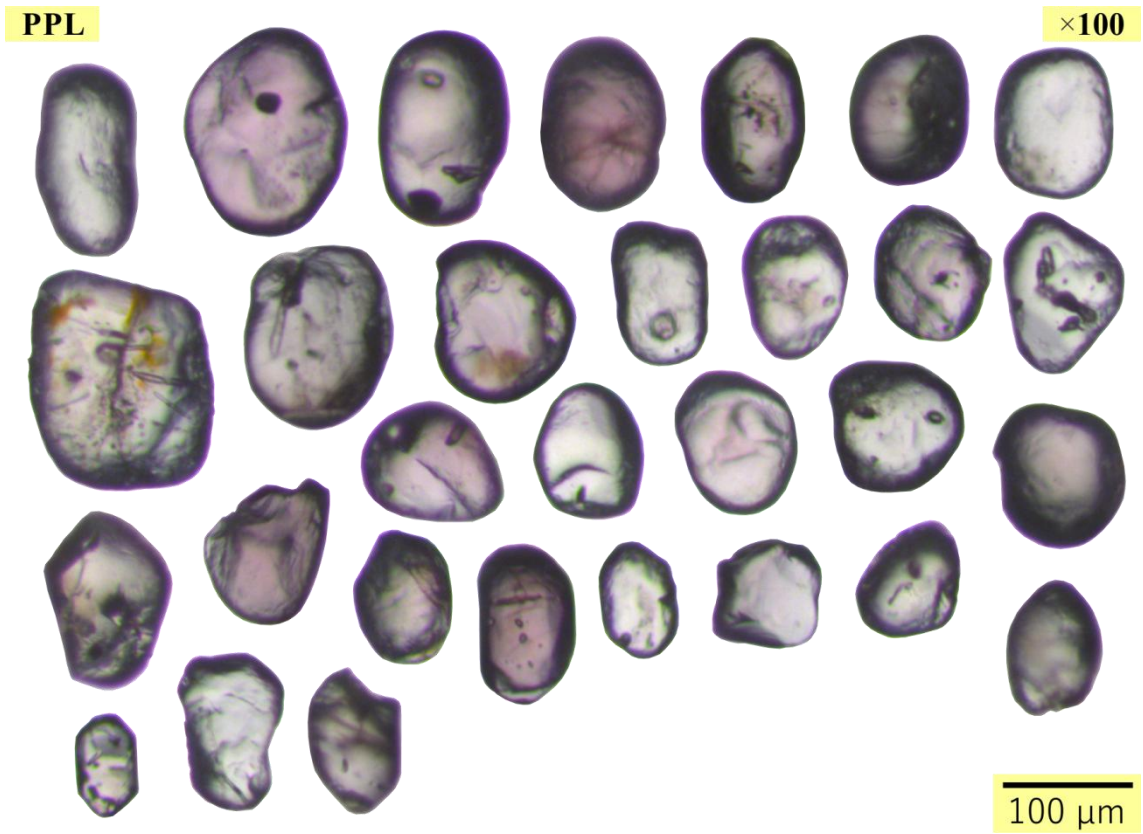


Figura A.1.- Zirrones de la muestra GR41A-15-167.

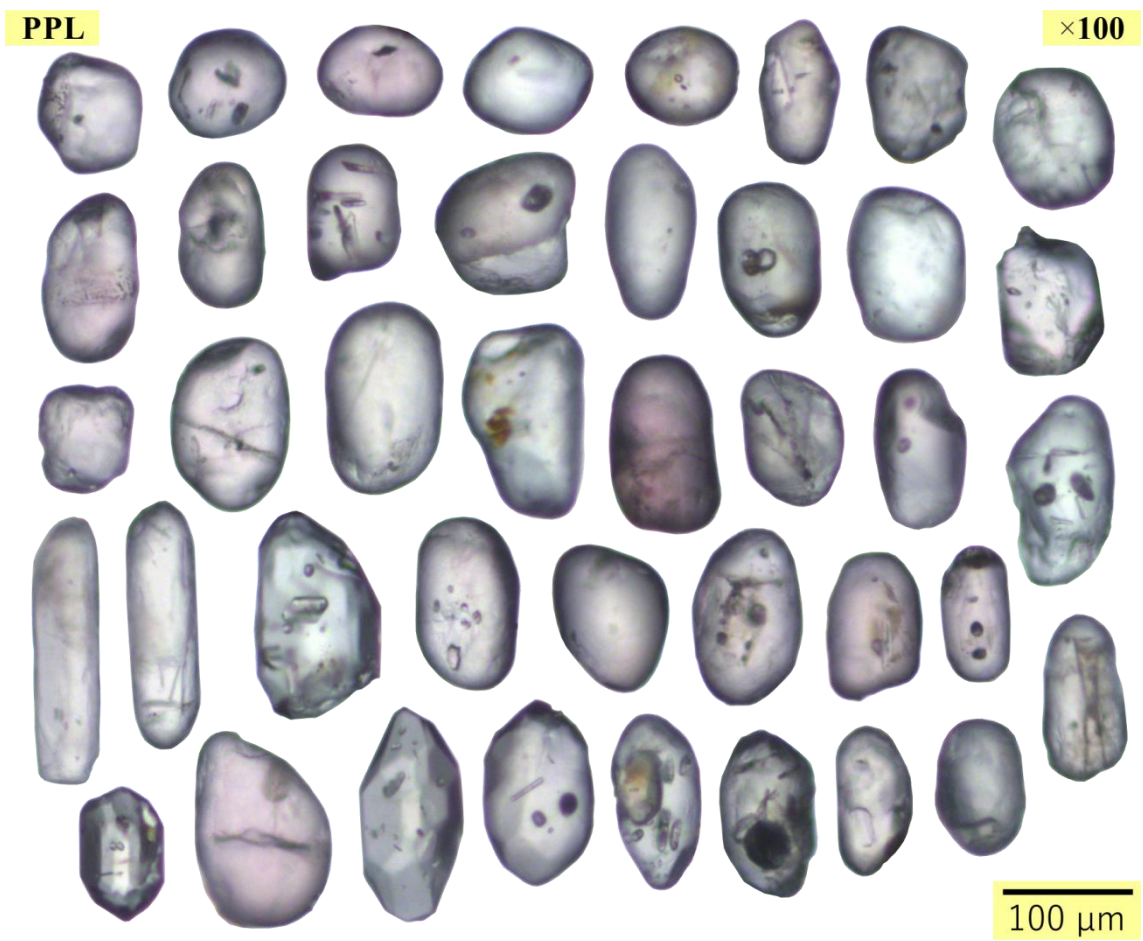


Figura A.2.- Zirrones de la muestra GR41A-15-187.

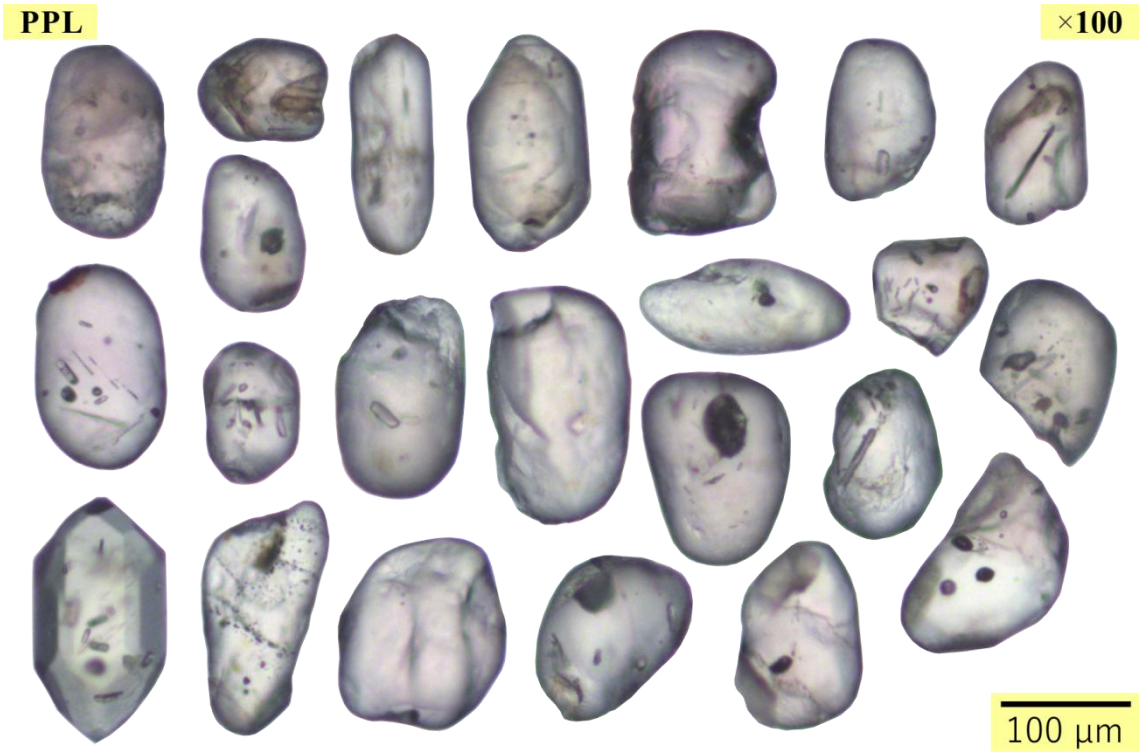


Figura A.3.- Zircones de la muestra GR41A-15-201.

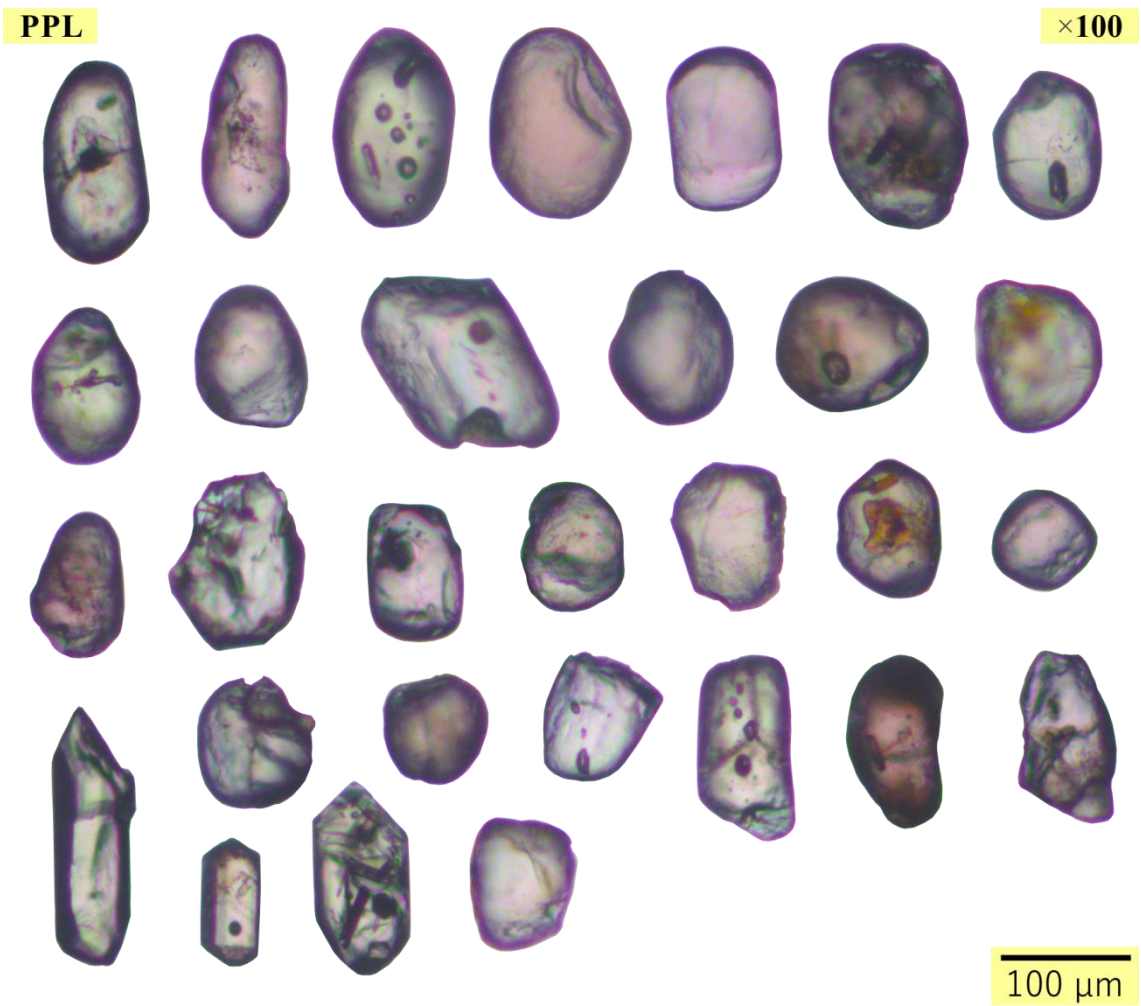


Figura A.4.- Zircones de la muestra GR41A-15-202.



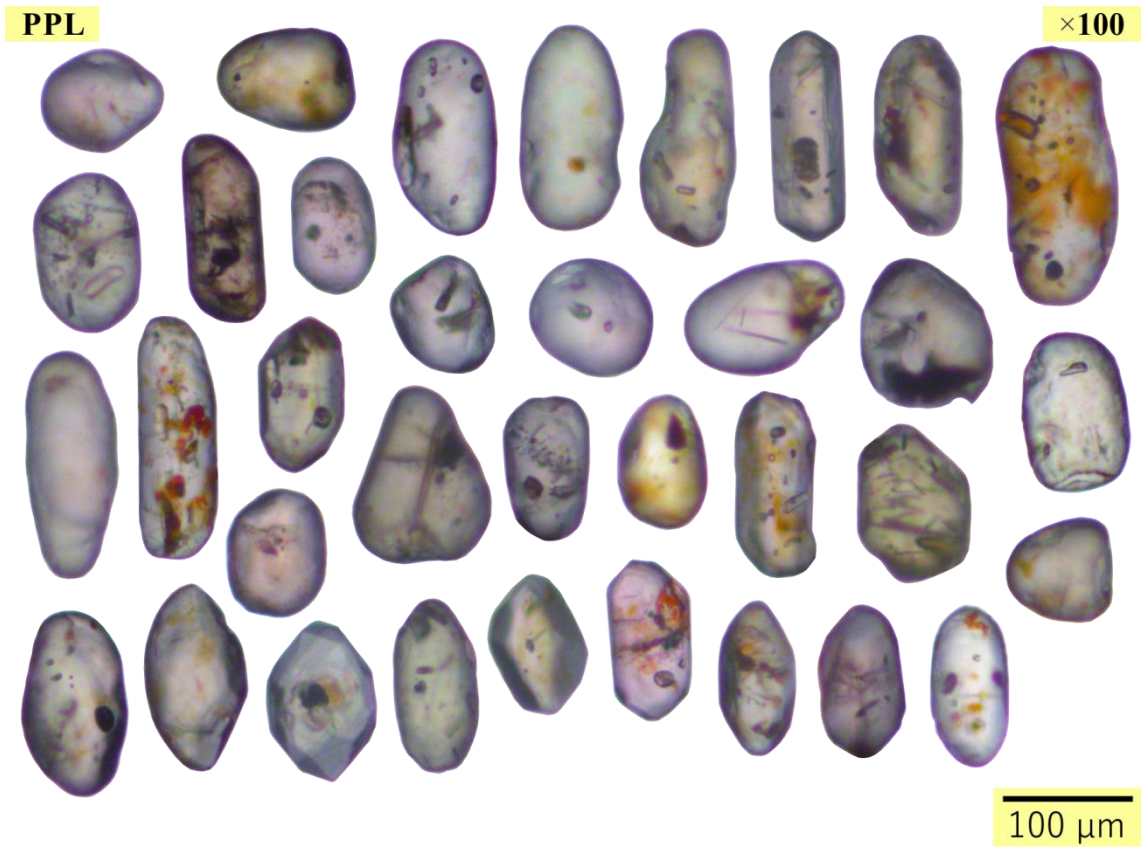


Figura A.5.- Zirrones de la muestra GR41A-15-206.

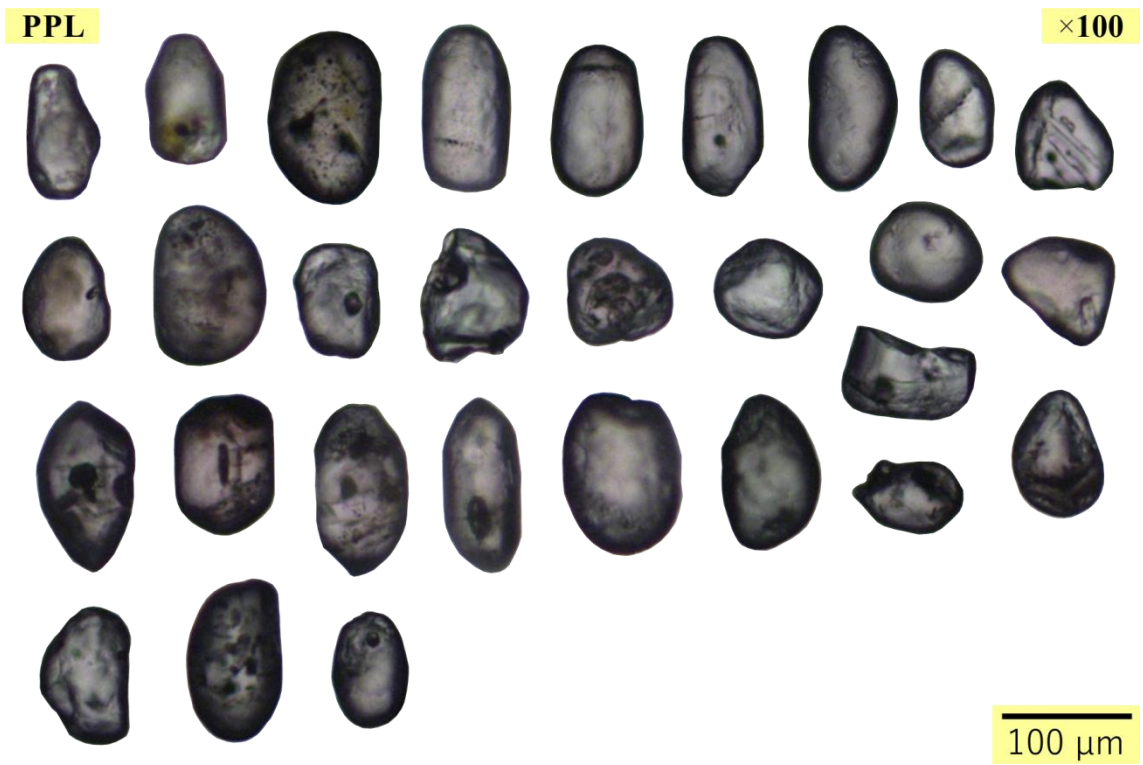


Figura A.6.- Zirrones de la muestra GR41A-15-207.



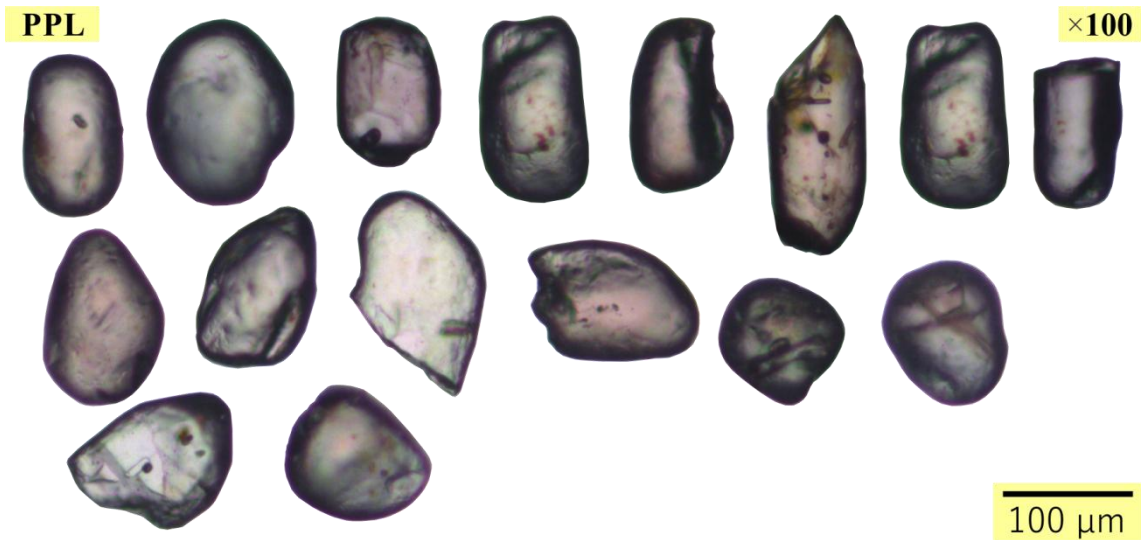


Figura A.7.- Zircones de la muestra GR41A-15-274.

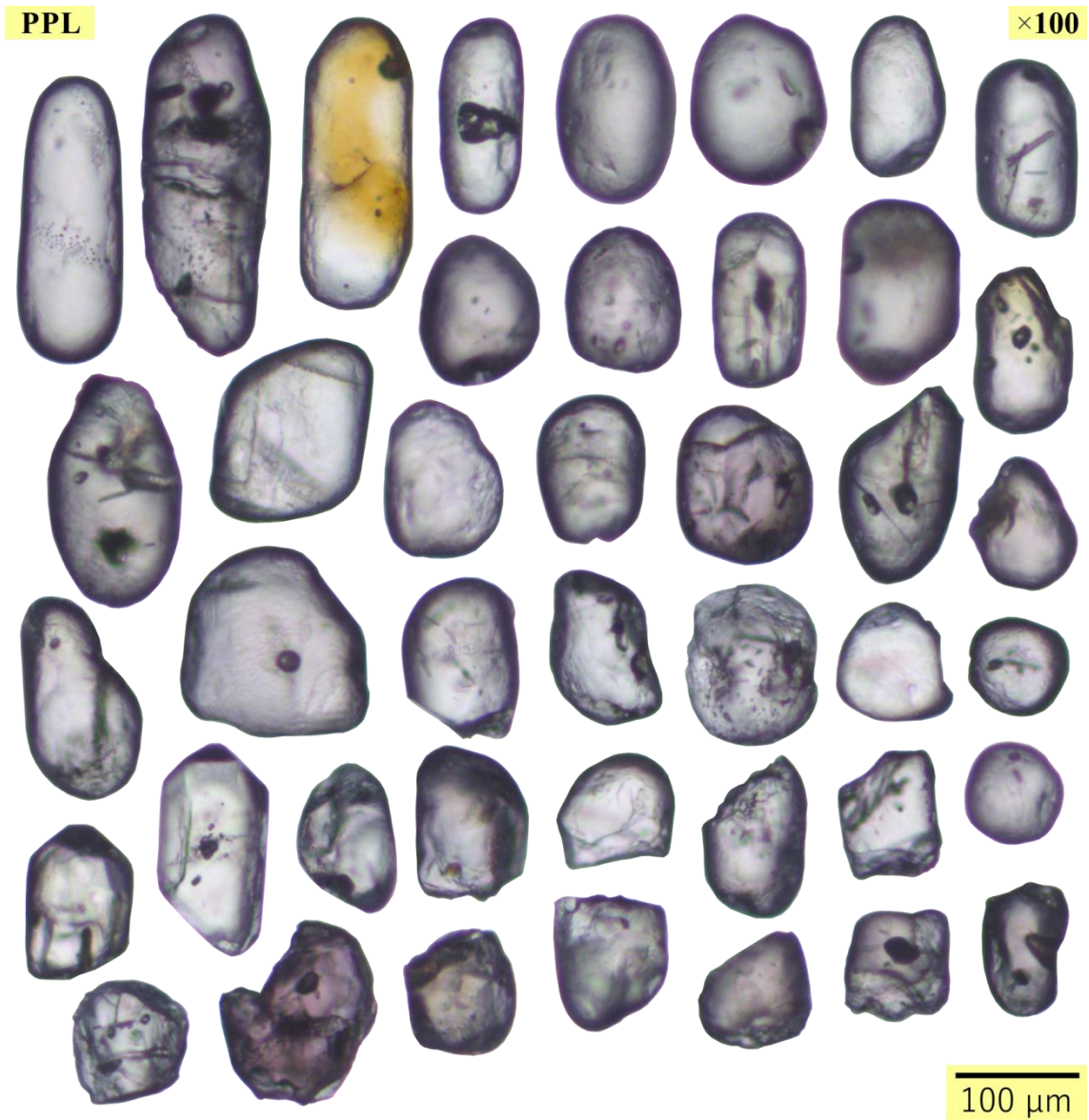


Figura A.8.- Zircones de la muestra GR41A-16-032.

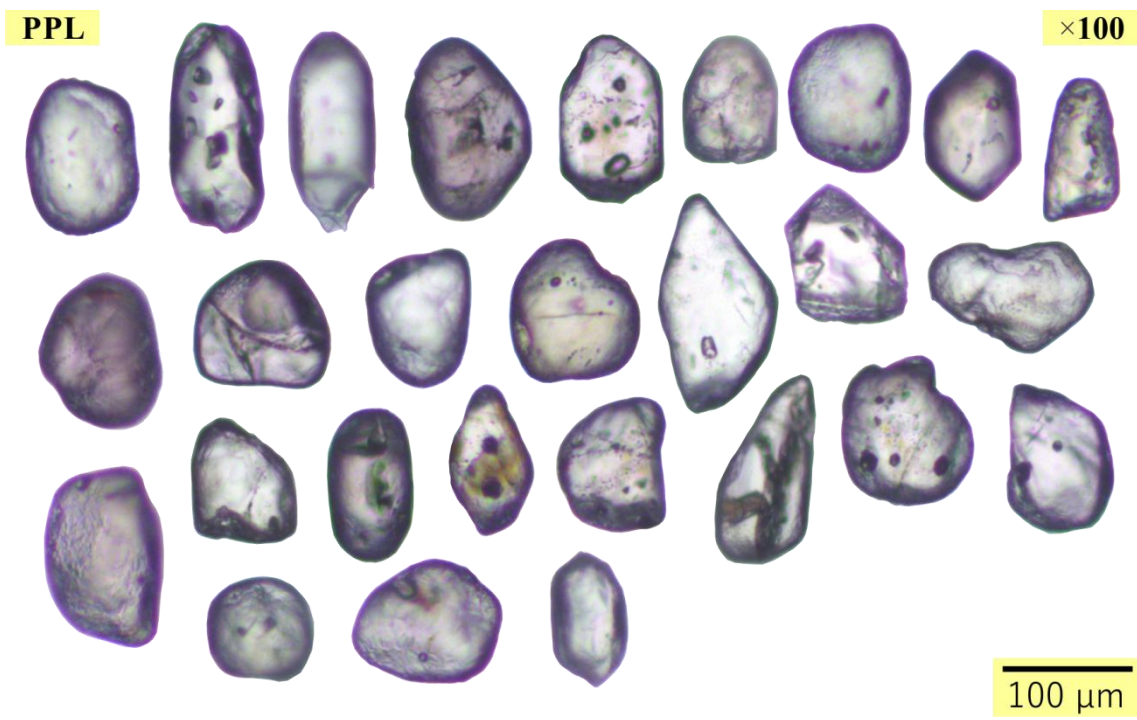


Figura A.9.- Zirrones de la muestra GR41A-16-084.

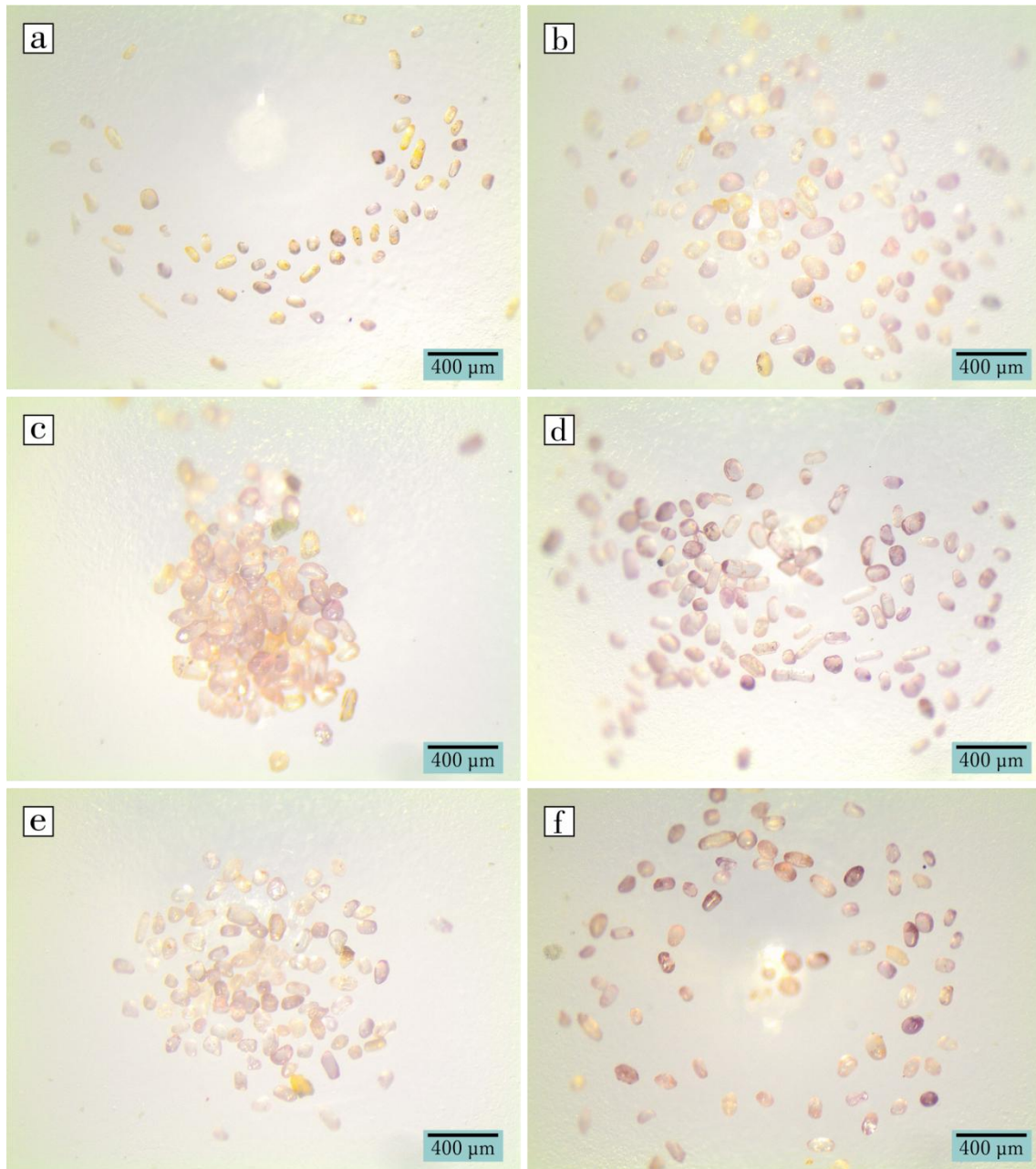


Figura B.1.- Fotomicrografías de zircones bajo el estereoscopio (1). **a:** GR41A-15-93, **b:** GR41A-15-95, **c:** GR41A-15-101, **d:** GR41A-15-167, **e:** GR41A-15-187, **f:** GR41A-15-201.



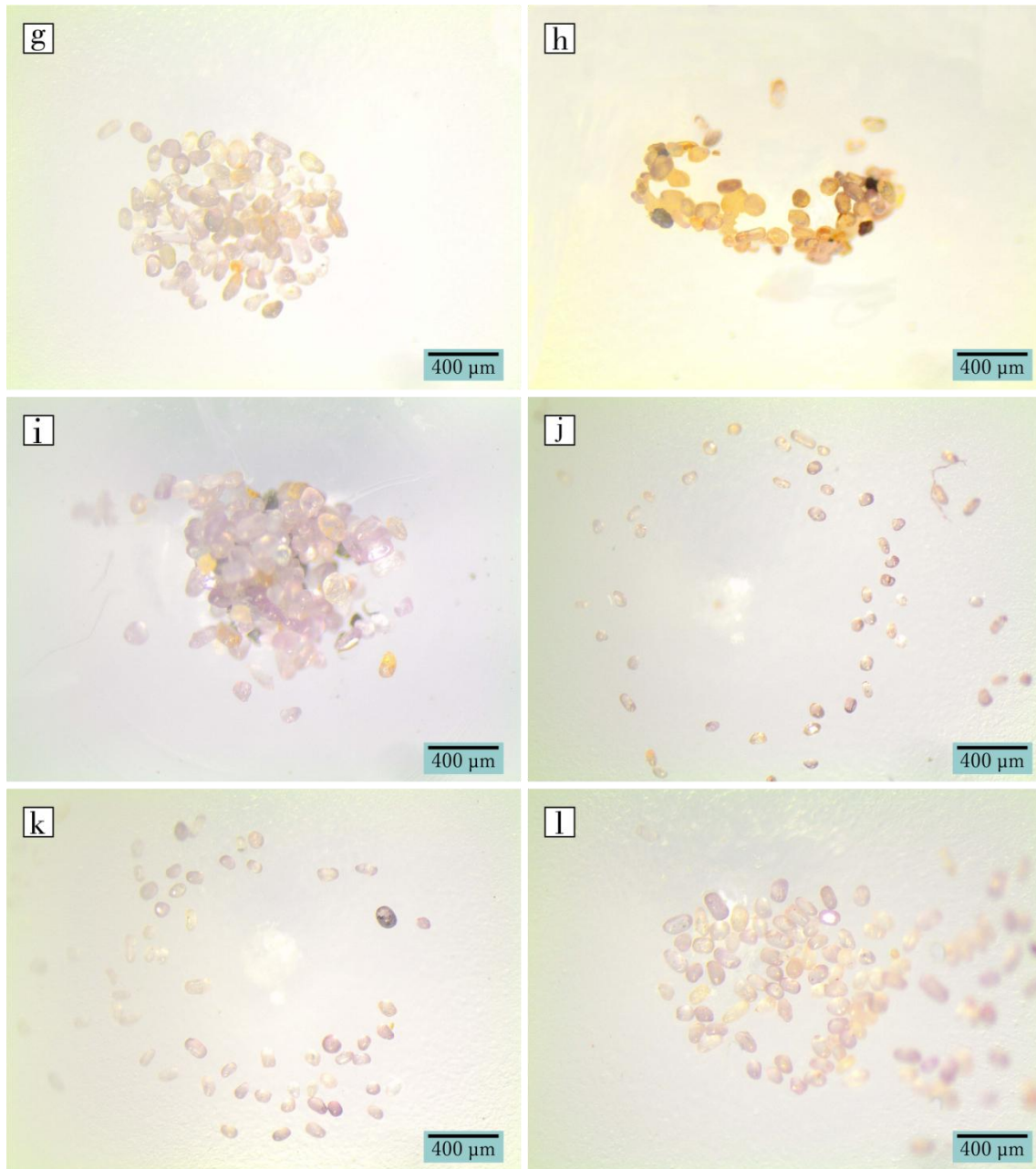


Figura B.2.- Fotomicrografías de zirrones bajo el estereoscopio (2). **g**: GR41A-15-202, **h**: GR41A-15-206, **i**: GR41A-15-207, **j**: GR41A-15-274, **k**: GR41A-16-032, **l**: GR41A-16-084.



Figura C.1.- Imágenes de Catodoluminiscencia de zircones de la Formación Labra.

Tabla B.1.- Resultados de geocronología U-Pb

Muestra	Razones						Edades						Edad CPb <sup>c</sup>		
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$		rho	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$			
	2 $\sigma$	2 $\sigma$	2 $\sigma$	2 $\sigma$		(Ma)	2 $\sigma$	(Ma)	2 $\sigma$	(Ma)	2 $\sigma$	(Ma)	2 $\sigma$		
GR41A-15-93_55	0.176	0.0	0.0257	0.0	0.47	0.0496	0.0	165	3	164	3	178	31	163.6	2.6
GR41A-15-93_42	0.283	0.0	0.0392	0.0	0.65	0.0522	0.0	253	5	248	5	290	29	247.6	5.1
GR41A-15-93_73	0.439	0.0	0.0438	0.0	0.30	0.0726	0.0	370	9	276	5	990	50	269.2	4.5
GR41A-15-93_48	0.310	0.0	0.0435	0.0	0.61	0.0516	0.0	274	5	275	5	267	30	274.8	4.6
GR41A-15-93_68	0.321	0.0	0.0471	0.0	0.18	0.0499	0.0	283	8	297	5	184	57	297.4	5.0
GR41A-15-93_79	0.568	0.0	0.0731	0.0	0.59	0.0567	0.0	457	7	455	7	477	24	454.3	7.3
GR41A-15-93_11	0.649	0.0	0.0752	0.0	0.50	0.0626	0.0	508	11	467	13	684	47	464.0	12.7
GR41A-15-93_51	0.599	0.0	0.0760	0.0	0.17	0.0574	0.0	477	9	472	8	501	34	471.6	7.9
GR41A-15-93_84	0.598	0.0	0.0761	0.0	0.48	0.0570	0.0	476	8	473	7	489	28	472.4	7.3
GR41A-15-93_78	0.608	0.0	0.0766	0.0	0.78	0.0576	0.0	482	7	476	7	516	18	475.0	7.3
GR41A-15-93_56	0.654	0.0	0.0800	0.0	0.76	0.0590	0.0	511	8	496	9	568	22	494.7	9.1
GR41A-15-93_80	0.887	0.0	0.0825	0.0	0.51	0.0788	0.0	645	15	511	10	1169	42	497.8	9.5
GR41A-15-93_31	0.671	0.0	0.0838	0.0	0.50	0.0585	0.0	521	9	519	9	546	31	518.4	9.1
GR41A-15-93_4	0.697	0.0	0.0871	0.0	0.63	0.0583	0.0	537	8	538	8	539	24	538.4	8.5
GR41A-15-93_54	0.744	0.0	0.0894	0.0	0.67	0.0600	0.0	565	9	552	9	602	24	551.3	9.6
GR41A-15-93_36	0.725	0.0	0.0902	0.0	0.74	0.0583	0.0	554	9	557	10	547	27	557.1	9.6
GR41A-15-93_44	0.732	0.0	0.0903	0.0	0.59	0.0590	0.0	558	9	557	9	565	24	557.2	9.0
GR41A-15-93_10	0.735	0.0	0.0907	0.0	0.47	0.0586	0.0	559	9	560	9	549	28	559.8	9.0
GR41A-15-93_16	0.758	0.0	0.0919	0.0	0.66	0.0597	0.0	573	8	567	9	591	22	566.0	8.4
GR41A-15-93_35	0.750	0.0	0.0924	0.0	0.45	0.0586	0.0	568	9	570	9	557	32	570.3	9.0
GR41A-15-93_69	0.757	0.0	0.0939	0.0	0.58	0.0588	0.0	572	9	579	9	553	28	578.9	9.0
GR41A-15-93_34	0.780	0.0	0.0951	0.0	0.65	0.0593	0.0	585	9	586	9	576	25	586.1	9.6
GR41A-15-93_72	0.825	0.0	0.0972	0.0	0.65	0.0616	0.0	611	8	598	9	662	19	596.6	9.0
GR41A-15-93_53	0.801	0.0	0.0970	0.0	0.74	0.0591	0.0	597	12	597	13	571	33	597.3	12.6
GR41A-15-93_43	0.796	0.0	0.0977	0.0	0.68	0.0592	0.0	595	10	601	10	572	26	601.2	10.2
GR41A-15-93_28	0.844	0.0	0.0982	0.0	0.77	0.0622	0.0	622	11	604	11	678	26	602.6	10.8
GR41A-15-93_39	0.827	0.0	0.0995	0.0	0.73	0.0603	0.0	612	9	611	10	610	21	611.5	9.6
GR41A-15-93_23	0.866	0.0	0.1009	0.0	0.89	0.0624	0.0	633	20	619	19	688	42	618.0	19.7
GR41A-15-93_52	0.849	0.0	0.1012	0.0	0.62	0.0605	0.0	624	9	622	9	620	21	621.7	9.0
GR41A-15-93_49	0.818	0.0	0.1016	0.0	0.55	0.0591	0.0	607	11	624	11	568	34	625.1	12.0
GR41A-15-93_8	0.854	0.0	0.1019	0.0	0.68	0.0611	0.0	627	9	626	10	643	20	625.3	10.2
GR41A-15-93_30	0.866	0.0	0.1022	0.0	0.51	0.0611	0.0	633	11	627	10	638	31	627.0	10.2
GR41A-15-93_24	0.848	0.0	0.1024	0.0	0.58	0.0601	0.0	624	9	629	10	612	25	628.9	9.6
GR41A-15-93_21	0.873	0.0	0.1027	0.0	0.56	0.0611	0.0	637	9	630	9	642	24	629.9	9.6
GR41A-15-93_1	0.948	0.0	0.1036	0.0	0.07	0.0666	0.0	677	21	635	12	775	86	631.0	12.6
GR41A-15-93_57	0.870	0.0	0.1033	0.0	0.80	0.0609	0.0	635	10	634	11	633	23	633.5	10.8
GR41A-15-93_40	0.884	0.0	0.1047	0.0	0.81	0.0612	0.0	643	10	642	11	651	21	642.0	11.3
GR41A-15-93_66	0.877	0.0	0.1047	0.0	0.79	0.0608	0.0	640	11	642	11	629	27	642.3	10.8
GR41A-15-93_23	0.866	0.0	0.1009	0.0	0.89	0.0624	0.0	633	20	619	19	688	42	618.0	19.7
GR41A-15-93_52	0.849	0.0	0.1012	0.0	0.62	0.0605	0.0	624	9	622	9	620	21	621.7	9.0
GR41A-15-93_49	0.818	0.0	0.1016	0.0	0.55	0.0591	0.0	607	11	624	11	568	34	625.1	12.0
GR41A-15-93_8	0.854	0.0	0.1019	0.0	0.68	0.0611	0.0	627	9	626	10	643	20	625.3	10.2
GR41A-15-93_30	0.866	0.0	0.1022	0.0	0.51	0.0611	0.0	633	11	627	10	638	31	627.0	10.2
GR41A-15-93_24	0.848	0.0	0.1024	0.0	0.58	0.0601	0.0	624	9	629	10	612	25	628.9	9.6
GR41A-15-93_21	0.873	0.0	0.1027	0.0	0.56	0.0611	0.0	637	9	630	9	642	24	629.9	9.6
GR41A-15-93_1	0.948	0.0	0.1036	0.0	0.07	0.0666	0.0	677	21	635	12	775	86	631.0	12.6
GR41A-15-93_57	0.870	0.0	0.1033	0.0	0.80	0.0609	0.0	635	10	634	11	633	23	633.5	10.8
GR41A-15-93_40	0.884	0.0	0.1047	0.0	0.81	0.0612	0.0	643	10	642	11	651	21	642.0	11.3
GR41A-15-93_66	0.877	0.0	0.1047	0.0	0.79	0.0608	0.0	640	11	642	11	629	27	642.3	10.8
GR41A-15-93_71	0.919	0.0	0.1071	0.0	0.63	0.0620	0.0	662	9	656	9	675	19	655.2	9.5
GR41A-15-93_29	0.982	0.0	0.1101	0.0	0.61	0.0642	0.0	695	9	673	10	746	21	671.3	10.7
GR41A-15-93_64	0.948	0.0	0.1107	0.0	0.66	0.0625	0.0	677	10	677	10	686	24	676.7	10.7
GR41A-15-93_67	0.999	0.0	0.1162	0.0	0.40	0.0619	0.0	703	10	709	10	678	30	709.9	10.7
GR41A-15-93_47	1.100	0.0	0.1202	0.0	0.43	0.0658	0.0	754	13	732	18	802	49	730.0	18.9
GR41A-15-93_13	1.404	0.0	0.1242	0.0	0.72	0.0814	0.0	891	15	755	17	1232	31	739.5	16.8
GR41A-15-93_45	1.071	0.0	0.1230	0.0	0.66	0.0633	0.0	739	13	748	14	726	39	748.7	14.8
GR41A-15-93_6	1.132	0.0	0.1279	0.0	0.62	0.0643	0.0	769	13	776	14	751	35	776.3	14.7
GR41A-15-93_81	1.232	0.0	0.1317	0.0	0.93	0.0676	0.0	815	16	798	18	854	19	796.0	18.1
GR41A-15-93_3	1.210	0.0	0.1335	0.0	0.28	0.0663	0.0	805	13	808	14	812	34	807.4	14.7



Muestra	Razones							Edades					Edad CPb <sup>c</sup>		
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$		rho	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$			
	2σ	2σ	2σ	2σ		2σ	2σ	(Ma)	2σ	(Ma)	2σ	(Ma)	2σ		
GR41A-15-93_82	1.660	0.0	0.1597	0.0	0.69	0.0754	0.0	993	15	955	17	1079	34	950.2	17.3
GR41A-15-93_58	1.616	0.0	0.1633	0.0	0.68	0.0713	0.0	977	12	975	14	965	19	975.3	14.4
GR41A-15-93_60	1.705	0.0	0.1695	0.0	0.75	0.0728	0.0	1011	12	1009	16	1008	19	1009.4	17.2
GR41A-15-93_37	1.775	0.0	0.1737	0.0	0.76	0.0739	0.0	1036	13	1033	17	1037	21	1032.5	17.2
GR41A-15-93_83	2.050	0.1	0.1765	0.0	0.61	0.0843	0.0	1132	19	1048	24	1298	41	1035.4	25.0
GR41A-15-93_33	1.811	0.0	0.1746	0.0	0.64	0.0750	0.0	1049	12	1037	15	1067	19	1036.1	16.0
GR41A-15-93_76	1.974	0.1	0.1796	0.0	0.63	0.0799	0.0	1107	20	1065	19	1187	43	1058.9	20.0
GR41A-15-93_70	1.872	0.0	0.1801	0.0	0.42	0.0749	0.0	1071	14	1068	16	1069	29	1067.8	17.2
GR41A-15-93_86	1.942	0.0	0.1811	0.0	0.83	0.0773	0.0	1096	15	1073	19	1127	23	1070.3	20.5
GR41A-15-93_12	1.932	0.0	0.1842	0.0	0.76	0.0760	0.0	1092	13	1090	17	1092	20	1089.7	17.7
GR41A-15-93_17	2.093	0.1	0.1928	0.0	0.65	0.0783	0.0	1147	16	1137	26	1150	34	1135.7	27.3
GR41A-15-93_61	2.117	0.1	0.1963	0.0	0.77	0.0783	0.0	1155	15	1155	20	1153	22	1155.5	20.4
GR41A-15-93_2	2.238	0.0	0.1997	0.0	0.65	0.0808	0.0	1193	14	1174	18	1215	20	1171.3	18.7
GR41A-15-93_27	2.312	0.0	0.2074	0.0	0.75	0.0804	0.0	1216	15	1215	19	1206	23	1215.6	19.8
GR41A-15-93_38	2.339	0.0	0.2087	0.0	0.64	0.0816	0.0	1224	13	1222	18	1237	18	1221.0	19.2
GR41A-15-93_25	3.124	0.1	0.2482	0.0	0.60	0.0908	0.0	1439	18	1429	23	1439	24	1428.1	25.6
GR41A-15-93_15	3.586	0.1	0.2603	0.0	0.85	0.0994	0.0	1547	17	1491	24	1616	16	1480.8	26.4
GR41A-15-93_62	3.657	0.1	0.2642	0.0	0.66	0.0999	0.0	1562	16	1512	22	1620	17	1501.9	23.7
GR41A-15-93_14	3.481	0.1	0.2630	0.0	0.73	0.0951	0.0	1523	15	1505	22	1528	16	1503.0	23.8
GR41A-15-93_77	14.126	0.3	0.3920	0.0	0.35	0.2740	0.0	2758	20	2132	95	3261	93	1794.3	102.9
GR41A-15-93_20	5.720	0.1	0.3300	0.0	0.94	0.1250	0.0	1934	19	1838	30	2029	18	1812.2	33.4
GR41A-15-93_41	5.507	0.1	0.3392	0.0	0.70	0.1174	0.0	1902	16	1883	26	1916	17	1877.9	29.5
GR41A-15-93_26	5.565	0.1	0.3433	0.0	0.72	0.1169	0.0	1911	17	1903	28	1911	17	1901.7	32.3
GR41A-15-93_32	5.856	0.1	0.3527	0.0	0.74	0.1192	0.0	1955	17	1948	25	1942	16	1948.0	29.6
GR41A-15-93_63	6.147	0.1	0.3594	0.0	0.91	0.1237	0.0	1997	18	1979	32	2011	17	1974.5	35.5
GR41A-15-93_9	6.641	0.1	0.3640	0.0	0.80	0.1314	0.0	2065	19	2001	30	2117	18	1982.5	35.3
GR41A-15-93_7	6.302	0.1	0.3621	0.0	0.66	0.1266	0.0	2019	18	1992	29	2051	17	1982.8	33.8
GR41A-15-93_46	9.560	0.2	0.4362	0.0	0.78	0.1590	0.0	2393	17	2334	32	2446	13	2306.5	38.4
GR41A-15-93_50	10.432	0.2	0.4620	0.0	0.94	0.1635	0.0	2474	21	2448	39	2491	15	2436.2	49.8
GR41A-15-93_18	13.196	0.3	0.5090	0.0	0.77	0.1861	0.0	2694	19	2653	36	2710	15	2632.3	50.1
GR41A-15-93_59	16.308	0.3	0.5634	0.0	0.84	0.2082	0.0	2895	19	2881	40	2894	15	2875.4	58.9
GR41A-15-95_62	0.169	0.0	0.0240	0.0	0.48	0.0509	0.0	158.3	3.2	152.7	2.3	230	43	152.3	2.3
GR41A-15-95_122	0.168	0.0	0.0248	0.0	0.26	0.0490	0.0	157.3	2.7	158.1	2.1	141	37	158.1	2.1
GR41A-15-95_121	0.179	0.0	0.0251	0.0	0.44	0.0519	0.0	167.0	3.0	159.6	2.3	280	33	159.1	2.3
GR41A-15-95_65	0.281	0.0	0.0402	0.0	0.30	0.0510	0.0	251.5	3.8	253.8	3.5	234	34	253.9	3.5
GR41A-15-95_54	0.309	0.0	0.0423	0.0	0.55	0.0530	0.0	273.1	7.4	267.0	4.0	318	56	266.6	4.1
GR41A-15-95_68	0.418	0.0	0.0561	0.0	0.51	0.0542	0.0	355.0	5.4	351.7	5.0	377	31	351.4	5.1
GR41A-15-95_117	0.575	0.0	0.0740	0.0	0.53	0.0565	0.0	461.4	4.8	459.9	5.7	470	19	459.8	5.8
GR41A-15-95_96	0.586	0.0	0.0752	0.0	0.57	0.0565	0.0	468.5	5.2	467.7	5.7	472	21	467.6	5.7
GR41A-15-95_103	0.588	0.0	0.0753	0.0	0.58	0.0566	0.0	469.8	5.7	468.0	6.6	476	25	467.9	6.7
GR41A-15-95_58	0.590	0.0	0.0755	0.0	0.49	0.0569	0.0	471.1	6.5	469.1	6.5	482	27	468.9	6.7
GR41A-15-95_34	0.637	0.0	0.0789	0.0	0.95	0.0585	0.0	500.4	9.7	489.5	11	549	18	488.6	11.5
GR41A-15-95_6	0.656	0.0	0.0804	0.0	0.33	0.0593	0.0	512.3	6.2	498.8	6.7	579	27	497.5	6.7
GR41A-15-95_93	0.664	0.0	0.0825	0.0	0.69	0.0585	0.0	517.1	5.3	510.8	6.5	549	19	510.2	6.7
GR41A-15-95_25	0.711	0.0	0.0843	0.0	0.48	0.0612	0.0	545.1	6.8	521.9	7.0	642	28	519.8	7.2
GR41A-15-95_7	0.664	0.0	0.0842	0.0	0.59	0.0574	0.0	517.1	7.6	521.3	7.6	507	33	521.6	7.9
GR41A-15-95_47	0.679	0.0	0.0849	0.0	0.85	0.0580	0.0	525.9	7.1	525.4	7.4	531	24	525.3	7.9
GR41A-15-95_43	0.740	0.0	0.0870	0.0	0.77	0.0619	0.0	562.2	8.1	537.5	9.5	670	25	535.1	9.6
GR41A-15-95_83	0.712	0.0	0.0881	0.0	0.62	0.0586	0.0	546.1	5.9	544.1	6.7	549	20	544.0	6.6
GR41A-15-95_12	0.707	0.0	0.0882	0.0	0.65	0.0585	0.0	542.8	6.5	545.0	7.4	546	23	544.9	7.8
GR41A-15-95_13	0.770	0.0	0.0890	0.0	0.48	0.0635	0.0	579.6	8.7	549.6	9.2	718	38	546.3	9.6
GR41A-15-95_104	0.710	0.0	0.0888	0.0	0.43	0.0581	0.0	544.7	6.5	548.1	6.9	534	26	548.4	7.2
GR41A-15-95_49	0.727	0.0	0.0891	0.0	0.57	0.0594	0.0	554.8	5.8	550.2	7.1	579	20	549.6	7.2
GR41A-15-95_110	0.710	0.0	0.0889	0.0	0.14	0.0579	0.0	544.7	8.2	549.3	7.3	517	38	549.7	7.3
GR41A-15-95_38	0.726	0.0	0.0891	0.0	0.80	0.0591	0.0	554.2	6.7	550.2	8.0	569	23	549.8	7.8
GR41A-15-95_97	0.740	0.0	0.0892	0.0	0.70	0.0600	0.0	562.6	6.0	551.1	6.9	601	19	550.1	7.2
GR41A-15-95_23	0.723	0.0	0.0892	0.0	0.60	0.0590	0.0	552.5	5.7	550.7	7.0	566	20	550.4	7.2
GR41A-15-95_8	0.745	0.0	0.0902	0.0	0.55	0.0601	0.0	565.6	5.5	556.5	6.9	608	21	555.5	7.2
GR41A-15-95_82	0.724	0.0	0.0901	0.0	0.52	0.0580	0.0	552.8	7.7	556.3	7.8	526	29	556.8	7.8
GR41A-15-95_108	0.745	0.0	0.0906	0.0	0.67	0.0596	0.0	565.5	8.2	559.2	8.8	586	29	558.6	9.0
GR41A-15-95_72	0.735	0.0	0.0907	0.0	0.59	0.0588	0.0	559.8	5.8	559.8	6.9	560	21	559.7	7.2
GR41A-15-95_107	0.731	0.0	0.0909	0.0	0.35	0.0584	0.0	556.9	6.3	560.9	6.6	548	26	561.2	6.6

Muestra	Razones							Edades					Edad CPb <sup>c</sup>		
	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		rho	<sup>207</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb			
	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		<sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		
(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)			
GR41A-15-95_39	0.744	0.0	0.0914	0.0	0.82	0.0594	0.0	565.0	7.0	563.9	8.8	580	23	563.6	9.0
GR41A-15-95_69	0.758	0.0	0.0915	0.0	0.72	0.0600	0.0	572.9	5.8	564.5	7.3	602	17	563.8	7.2
GR41A-15-95_124	0.743	0.0	0.0917	0.0	0.59	0.0588	0.0	564.3	6.6	565.6	7.4	565	25	565.6	7.8
GR41A-15-95_74	0.754	0.0	0.0921	0.0	0.71	0.0594	0.0	570.6	6.2	567.9	7.6	584	21	567.6	7.8
GR41A-15-95_105	0.769	0.0	0.0929	0.0	0.56	0.0601	0.0	579.1	5.8	572.5	7.7	606	19	571.9	7.8
GR41A-15-95_21	0.793	0.0	0.0934	0.0	0.62	0.0615	0.0	592.9	6.5	575.4	7.8	655	22	573.8	7.8
GR41A-15-95_3	0.769	0.0	0.0933	0.0	0.65	0.0603	0.0	579.0	6.0	574.8	7.8	616	21	574.1	7.8
GR41A-15-95_134	0.766	0.0	0.0934	0.0	0.36	0.0595	0.0	577.4	6.6	575.4	7.4	584	23	575.2	7.8
GR41A-15-95_52	0.755	0.0	0.0934	0.0	0.23	0.0586	0.0	571.2	8.3	575.4	7.8	560	37	575.9	7.8
GR41A-15-95_37	0.776	0.0	0.0939	0.0	0.43	0.0596	0.0	583.5	5.9	578.8	7.4	590	24	578.6	7.8
GR41A-15-95_76	0.772	0.0	0.0942	0.0	0.22	0.0594	0.0	580.8	6.4	580.6	7.3	589	28	580.6	7.2
GR41A-15-95_30	0.777	0.0	0.0947	0.0	0.82	0.0594	0.0	584.0	7.2	583.4	8.3	579	25	583.4	8.4
GR41A-15-95_106	0.774	0.0	0.0949	0.0	0.63	0.0593	0.0	581.9	6.5	584.7	7.0	577	21	584.8	7.2
GR41A-15-95_66	0.784	0.0	0.0953	0.0	0.55	0.0598	0.0	587.9	6.4	586.9	7.5	598	23	586.7	7.8
GR41A-15-95_20	0.809	0.0	0.0956	0.0	0.77	0.0613	0.0	602.1	5.7	588.6	7.5	649	16	587.4	7.8
GR41A-15-95_4	0.783	0.0	0.0957	0.0	0.49	0.0596	0.0	587.3	6.3	589.1	7.6	588	23	589.2	7.8
GR41A-15-95_14	0.790	0.0	0.0959	0.0	0.64	0.0598	0.0	591.2	6.4	590.3	7.5	596	21	590.1	7.8
GR41A-15-95_18	0.786	0.0	0.0968	0.0	0.74	0.0593	0.0	589.0	12.0	595.4	8.6	569	45	595.8	9.0
GR41A-15-95_128	0.790	0.0	0.0971	0.0	0.08	0.0591	0.0	591.4	7.6	597.4	7.2	568	34	597.9	7.2
GR41A-15-95_59	0.805	0.0	0.0976	0.0	0.49	0.0598	0.0	599.4	6.3	600.6	7.9	599	22	600.6	7.8
GR41A-15-95_22	0.817	0.0	0.0977	0.0	0.42	0.0606	0.0	606.5	6.9	601.1	7.7	623	27	600.7	7.8
GR41A-15-95_118	0.825	0.0	0.0979	0.0	0.69	0.0614	0.0	610.7	7.9	602.0	9.8	653	31	601.0	10.2
GR41A-15-95_2	0.804	0.0	0.0976	0.0	0.22	0.0593	0.0	598.9	7.3	600.6	7.9	577	32	601.0	8.4
GR41A-15-95_113	0.811	0.0	0.0978	0.0	0.75	0.0601	0.0	603.1	6.7	601.4	8.4	610	24	601.3	8.4
GR41A-15-95_42	0.824	0.0	0.0988	0.0	0.29	0.0602	0.0	610.3	6.9	607.4	7.6	609	25	607.3	7.8
GR41A-15-95_24	0.821	0.0	0.0999	0.0	0.70	0.0600	0.0	608.6	6.7	613.7	8.3	602	22	613.9	8.4
GR41A-15-95_99	0.834	0.0	0.1000	0.0	0.31	0.0605	0.0	615.6	7.8	614.6	7.7	616	31	614.5	7.8
GR41A-15-95_81	0.831	0.0	0.1001	0.0	0.44	0.0601	0.0	614.0	6.5	615.2	7.7	615	22	615.4	7.8
GR41A-15-95_11	0.853	0.0	0.1004	0.0	0.53	0.0616	0.0	626.3	6.1	616.5	7.8	661	20	615.6	7.8
GR41A-15-95_29	0.835	0.0	0.1003	0.0	0.82	0.0607	0.0	616.2	8.0	616.0	9.6	628	19	615.7	9.6
GR41A-15-95_15	0.838	0.0	0.1011	0.0	0.47	0.0600	0.0	617.8	8.6	621.1	8.4	603	32	621.5	8.4
GR41A-15-95_115	0.846	0.0	0.1019	0.0	0.48	0.0605	0.0	622.7	7.1	625.6	7.6	619	24	625.7	7.8
GR41A-15-95_114	0.858	0.0	0.1024	0.0	0.39	0.0609	0.0	629.1	7.4	628.4	7.7	635	27	628.3	7.8
GR41A-15-95_44	0.933	0.0	0.1032	0.0	0.77	0.0654	0.0	669.0	8.5	633.0	9.8	788	20	629.6	10.1
GR41A-15-95_77	0.870	0.0	0.1030	0.0	0.60	0.0612	0.0	635.6	6.7	631.9	7.9	646	21	631.6	8.4
GR41A-15-95_55	0.877	0.0	0.1038	0.0	0.79	0.0611	0.0	639.5	7.4	636.4	8.8	643	25	636.2	9.0
GR41A-15-95_85	0.873	0.0	0.1040	0.0	0.51	0.0611	0.0	637.2	6.4	637.6	8.1	641	22	637.5	8.4
GR41A-15-95_40	0.875	0.0	0.1041	0.0	0.52	0.0613	0.0	638.5	6.6	638.7	8.1	649	21	638.4	8.4
GR41A-15-95_46	0.883	0.0	0.1050	0.0	0.61	0.0612	0.0	642.7	6.9	643.8	8.2	645	23	643.8	8.4
GR41A-15-95_28	0.925	0.0	0.1064	0.0	0.52	0.0630	0.0	664.9	6.5	651.7	8.2	708	20	650.4	8.3
GR41A-15-95_60	0.911	0.0	0.1072	0.0	0.49	0.0616	0.0	657.7	6.8	656.2	8.4	659	23	656.1	8.3
GR41A-15-95_9	0.907	0.0	0.1082	0.0	0.45	0.0616	0.0	655.6	7.0	662.5	8.6	658	25	662.5	8.9
GR41A-15-95_120	0.954	0.0	0.1086	0.0	0.54	0.0640	0.0	680.4	7.5	664.5	8.8	740	23	662.7	8.9
GR41A-15-95_87	0.930	0.0	0.1085	0.0	0.54	0.0622	0.0	667.6	11.0	663.9	9.1	684	39	663.6	9.5
GR41A-15-95_53	0.962	0.0	0.1096	0.0	0.44	0.0639	0.0	684.1	13.0	670.4	10	735	46	668.8	10.1
GR41A-15-95_109	1.021	0.0	0.1127	0.0	0.89	0.0656	0.0	714.5	13.0	688.4	10	789	31	685.8	10.7
GR41A-15-95_119	1.104	0.0	0.1250	0.0	0.30	0.0641	0.0	755.1	9.0	759.2	9.7	741	31	759.6	10.0
GR41A-15-95_27	1.278	0.0	0.1385	0.0	0.63	0.0673	0.0	835.8	9.1	836.4	11	844	24	836.1	11.7
GR41A-15-95_130	1.376	0.0	0.1395	0.0	0.81	0.0717	0.0	878.6	12.0	841.9	13	977	22	837.4	14.0
GR41A-15-95_132	1.327	0.0	0.1403	0.0	0.91	0.0687	0.0	857.4	7.8	846.3	11	890	18	844.9	11.7
GR41A-15-95_101	1.448	0.0	0.1433	0.0	0.53	0.0732	0.0	909.2	9.6	863.5	11	1021	24	858.1	11.6
GR41A-15-95_16	1.427	0.0	0.1436	0.0	0.56	0.0731	0.0	900.3	9.8	865.0	15	1014	26	859.7	15.7
GR41A-15-95_95	1.436	0.0	0.1503	0.0	0.50	0.0690	0.0	903.9	10.0	902.7	12	899	26	902.9	12.2
GR41A-15-95_136	1.473	0.0	0.1514	0.0	0.78	0.0701	0.0	919.3	9.5	908.7	13	933	22	908.0	12.8
GR41A-15-95_45	1.476	0.0	0.1528	0.0	0.40	0.0700	0.0	920.7	9.5	916.8	12	932	22	916.3	12.2
GR41A-15-95_41	1.596	0.0	0.1573	0.0	0.82	0.0736	0.0	968.5	10.0	941.7	14	1030	18	938.3	14.4
GR41A-15-95_78	1.689	0.0	0.1645	0.0	0.76	0.0742	0.0	1004.4	8.7	982.0	12	1047	16	979.3	12.7
GR41A-15-95_111	1.746	0.0	0.1676	0.0	0.71	0.0756	0.0	1025.6	8.1	998.8	12	1083	15	995.2	12.0
GR41A-15-95_1	1.739	0.0	0.1686	0.0	0.71	0.0749	0.0	1023.1	7.9	1004.2	12	1066	16	1001.5	12.6
GR41A-15-95_48	1.729	0.0	0.1686	0.0	0.72	0.0742	0.0	1019.5	9.0	1004.2	13	1048	17	1002.4	13.2
GR41A-15-95_90	1.672	0.0	0.1683	0.0	0.80	0.0723	0.0	998.0	11	1002.6	13	994	26	1002.9	13.3
GR41A-15-95_17	1.715	0.0	0.1694	0.0	0.66	0.0736	0.0	1014.1	9.7	1009.0	13	1031	21	1008.2	13.8

Muestra	Razones							Edades Aparentes						Edad CPb <sup>c</sup>	
	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		rho	<sup>207</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb			
	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		<sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		
(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)			
GR41A-15-95_116	1.766	0.0	0.1725	0.0	0.60	0.0743	0.0	1032.9	8.0	1025.8	12	1049	18	1024.9	12.6
GR41A-15-95_135	1.776	0.0	0.1742	0.0	0.45	0.0735	0.0	1036.8	8.3	1035.0	13	1029	20	1035.4	13.8
GR41A-15-95_102	1.790	0.0	0.1747	0.0	0.62	0.0743	0.0	1041.8	8.2	1037.7	13	1051	19	1037.2	13.2
GR41A-15-95_50	1.866	0.0	0.1802	0.0	0.56	0.0750	0.0	1069.1	8.4	1068.2	14	1070	20	1068.2	14.3
GR41A-15-95_56	1.935	0.0	0.1826	0.0	0.92	0.0776	0.0	1093.2	12	1080.9	17	1136	18	1078.2	18.2
GR41A-15-95_26	1.912	0.0	0.1832	0.0	0.44	0.0761	0.0	1085.2	8.7	1084.6	13	1095	20	1084.0	14.3
GR41A-15-95_127	1.993	0.0	0.1881	0.0	0.79	0.0767	0.0	1113.3	14	1111.1	18	1111	26	1111.0	19.4
GR41A-15-95_36	2.311	0.0	0.1939	0.0	0.89	0.0864	0.0	1215.7	13	1142.6	19	1345	23	1131.4	20.3
GR41A-15-95_5	2.061	0.0	0.1927	0.0	0.71	0.0780	0.0	1135.9	11	1135.8	15	1148	22	1135.2	15.9
GR41A-15-95_126	2.087	0.0	0.1944	0.0	0.80	0.0779	0.0	1144.4	9.6	1145.1	14	1142	19	1145.2	15.4
GR41A-15-95_80	2.201	0.0	0.1968	0.0	0.24	0.0819	0.0	1181.5	14	1158.3	16	1239	33	1153.8	17.0
GR41A-15-95_125	2.147	0.0	0.1980	0.0	0.66	0.0785	0.0	1164.2	10	1164.7	15	1158	20	1164.9	15.9
GR41A-15-95_100	2.230	0.0	0.2008	0.0	0.50	0.0803	0.0	1190.5	9.4	1179.5	14	1203	20	1178.0	14.7
GR41A-15-95_57	2.287	0.0	0.2053	0.0	0.86	0.0812	0.0	1208.2	11	1203.7	16	1227	17	1202.4	16.4
GR41A-15-95_71	2.311	0.0	0.2072	0.0	0.44	0.0806	0.0	1215.8	11	1214.1	15	1212	23	1214.2	15.9
GR41A-15-95_63	2.375	0.0	0.2092	0.0	0.28	0.0826	0.0	1235.1	12	1224.4	15	1255	29	1222.4	16.4
GR41A-15-95_67	3.321	0.0	0.2336	0.0	0.23	0.1107	0.0	1486.0	9.6	1353.1	39	1713	71	1316.4	41.6
GR41A-15-95_35	2.751	0.0	0.2276	0.0	0.70	0.0875	0.0	1342.4	10	1322.1	15	1373	17	1318.8	16.8
GR41A-15-95_91	2.741	0.0	0.2287	0.0	0.64	0.0869	0.0	1339.5	9.7	1327.4	16	1361	17	1325.3	16.8
GR41A-15-95_79	2.658	0.1	0.2294	0.0	0.20	0.0847	0.0	1316.9	13	1331.5	17	1302	32	1333.1	18.6
GR41A-15-95_94	3.625	0.1	0.2376	0.0	0.97	0.1107	0.0	1555.1	17	1374.1	26	1812	14	1338.3	26.6
GR41A-15-95_133	3.472	0.0	0.2651	0.0	0.71	0.0954	0.0	1520.9	11	1515.8	18	1537	17	1514.1	19.9
GR41A-15-95_70	3.955	0.1	0.2875	0.0	0.64	0.1003	0.0	1625.0	11	1628.9	20	1628	19	1628.8	22.1
GR41A-15-95_64	5.466	0.1	0.3052	0.0	0.06	0.1316	0.0	1895.3	14	1716.9	33	2106	41	1665.9	35.6
GR41A-15-95_31	4.937	0.1	0.3050	0.0	0.65	0.1171	0.0	1808.6	11	1715.9	21	1911	15	1692.8	23.8
GR41A-15-95_73	4.978	0.2	0.3146	0.0	0.96	0.1139	0.0	1815.7	29	1763.1	41	1860	22	1751.1	44.7
GR41A-15-95_10	5.910	0.1	0.3345	0.0	0.52	0.1282	0.0	1962.8	11	1860.2	22	2072	17	1830.0	24.8
GR41A-15-95_19	5.243	0.1	0.3314	0.0	0.85	0.1148	0.0	1859.7	13	1845.1	23	1878	16	1841.0	26.8
GR41A-15-95_89	5.815	0.1	0.3396	0.0	0.76	0.1238	0.0	1948.6	12	1884.7	24	2013	15	1866.7	26.6
GR41A-15-95_123	5.819	0.1	0.3450	0.0	0.85	0.1224	0.0	1949.2	12	1910.6	24	1992	16	1899.0	26.7
GR41A-15-95_84	5.411	0.1	0.3423	0.0	0.60	0.1144	0.0	1886.7	11	1897.9	22	1869	17	1901.7	25.9
GR41A-15-95_112	6.775	0.1	0.3528	0.0	0.85	0.1394	0.0	2082.5	13	1948.2	24	2220	15	1904.4	27.3
GR41A-15-95_86	6.977	0.1	0.3611	0.0	0.45	0.1400	0.0	2108.5	11	1987.3	22	2224	14	1947.2	25.7
GR41A-15-95_33	6.553	0.1	0.3586	0.0	0.62	0.1329	0.0	2053.1	13	1975.5	24	2135	18	1949.7	28.1
GR41A-15-95_61	6.595	0.1	0.3753	0.0	0.71	0.1274	0.0	2058.6	12	2054.3	25	2061	18	2053.0	29.1
GR41A-15-95_131	7.335	0.1	0.3921	0.0	0.38	0.1349	0.0	2153.1	12	2132.6	25	2161	16	2127.0	29.7
GR41A-15-95_32	10.838	0.2	0.4207	0.0	0.28	0.1909	0.0	2509.3	14	2263.6	53	2709	37	2139.4	58.4
GR41A-15-95_88	8.238	0.1	0.4159	0.0	0.73	0.1435	0.0	2257.6	13	2241.7	25	2269	14	2235.7	29.8
GR41A-15-95_98	13.364	0.2	0.5143	0.0	0.82	0.1887	0.0	2705.7	13	2675.1	33	2730	15	2654.2	44.1
GR41A-15-101_58	0.289	0.0	0.0402	0.0	0.15	0.0530	0.0	258.1	9.3	254.0	8.2	310	56	253.5	8.1
GR41A-15-101_38	0.283	0.0	0.0403	0.0	0.59	0.0517	0.0	252.8	6.7	254.6	7.6	273	27	254.5	7.5
GR41A-15-101_21	0.335	0.0	0.0465	0.0	0.38	0.0529	0.0	293.7	7.8	292.7	8.7	317	35	292.5	8.7
GR41A-15-101_17	0.445	0.0	0.0597	0.0	0.43	0.0542	0.0	373.6	9.2	373.6	11	377	30	373.5	11.1
GR41A-15-101_43	0.499	0.0	0.0603	0.0	0.42	0.0600	0.0	411.3	12	377.7	11	594	46	375.0	11.0
GR41A-15-101_90	0.680	0.0	0.0732	0.0	0.80	0.0685	0.0	526.5	15	455.1	17	895	34	448.3	16.8
GR41A-15-101_82	0.565	0.0	0.0742	0.0	0.49	0.0557	0.0	455.1	11	461.5	13	440	26	461.8	13.4
GR41A-15-101_23	0.577	0.0	0.0751	0.0	0.59	0.0565	0.0	462.5	11	466.7	14	469	28	466.6	14.0
GR41A-15-101_48	0.587	0.0	0.0752	0.0	0.67	0.0569	0.0	468.7	11	467.3	14	488	25	467.0	14.0
GR41A-15-101_26	0.679	0.0	0.0763	0.0	0.29	0.0650	0.0	525.9	14	474.2	14	755	40	469.4	13.9
GR41A-15-101_71	0.702	0.0	0.0769	0.0	0.50	0.0669	0.0	539.7	15	477.7	13	821	43	471.8	13.8
GR41A-15-101_87	0.629	0.0	0.0783	0.0	0.68	0.0584	0.0	495.3	11	485.7	14	547	21	484.8	13.9
GR41A-15-101_69	0.615	0.0	0.0786	0.0	0.63	0.0565	0.0	486.9	11	488.0	14	475	27	488.3	14.6
GR41A-15-101_81	0.665	0.0	0.0847	0.0	0.41	0.0573	0.0	517.8	12	524.2	15	504	32	524.6	15.1
GR41A-15-101_19	0.683	0.0	0.0854	0.0	0.53	0.0588	0.0	528.8	12	528.2	16	552	26	527.7	16.3
GR41A-15-101_47	0.698	0.0	0.0866	0.0	0.61	0.0584	0.0	537.4	13	535.7	16	543	31	535.5	16.9
GR41A-15-101_61	0.699	0.0	0.0867	0.0	0.71	0.0588	0.0	538.0	12	536.2	15	560	23	535.8	15.7
GR41A-15-101_18	0.695	0.0	0.0878	0.0	0.66	0.0582	0.0	535.7	13	542.5	16	538	28	542.6	16.9
GR41A-15-101_75	0.806	0.0	0.0897	0.0	0.52	0.0646	0.0	600.2	15	553.9	18	753	33	550.0	17.4
GR41A-15-101_32	0.718	0.0	0.0895	0.0	0.61	0.0588	0.0	549.4	12	552.8	16	558	24	552.7	16.3
GR41A-15-101_25	0.744	0.0	0.0910	0.0	0.55	0.0601	0.0	564.6	14	561.3	17	602	36	560.5	16.8
GR41A-15-101_9	0.764	0.0	0.0912	0.0	0.57	0.0614	0.0	576.2	13	562.5	17	647	28	560.8	17.4
GR41A-15-101_40	0.724	0.0	0.0913	0.0	0.66	0.0583	0.0	552.8	12	563.1	16	538	25	563.4	16.9

Muestra	Razones							Edades Aparentes					Edad CPb <sup>c</sup>		
	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		rho	<sup>207</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb			
	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		<sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		
(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)			
GR41A-15-101_89	0.755	0.0	0.0925	0.0	0.57	0.0594	0.0	571.3	13	570.4	16	580	23	570.2	16.2
GR41A-15-101_1	0.764	0.0	0.0926	0.0	0.63	0.0600	0.0	576.2	13	571.0	17	610	29	570.4	17.4
GR41A-15-101_51	0.796	0.0	0.0939	0.0	0.46	0.0622	0.0	594.8	14	578.4	17	666	37	576.4	18.0
GR41A-15-101_74	0.759	0.0	0.0936	0.0	0.47	0.0592	0.0	573.5	12	576.7	16	572	21	576.7	16.2
GR41A-15-101_14	0.777	0.0	0.0939	0.0	0.59	0.0604	0.0	583.9	13	578.4	18	621	27	577.6	18.0
GR41A-15-101_76	0.766	0.0	0.0940	0.0	0.57	0.0593	0.0	577.4	13	579.0	17	580	26	579.0	16.8
GR41A-15-101_13	0.780	0.0	0.0952	0.0	0.36	0.0602	0.0	585.6	14	586.4	17	601	38	585.9	17.4
GR41A-15-101_67	0.778	0.0	0.0952	0.0	0.57	0.0596	0.0	584.5	13	586.4	17	591	30	586.3	18.0
GR41A-15-101_62	0.792	0.0	0.0961	0.0	0.56	0.0599	0.0	592.1	13	591.5	17	599	29	591.3	17.4
GR41A-15-101_3	1.030	0.0	0.0998	0.0	0.55	0.0744	0.0	719.1	22	613.0	18	1046	49	602.6	18.3
GR41A-15-101_85	0.804	0.0	0.0980	0.0	0.72	0.0600	0.0	599.2	13	602.8	17	600	21	602.8	17.4
GR41A-15-101_33	0.819	0.0	0.0987	0.0	0.39	0.0606	0.0	607.2	14	606.7	18	619	33	606.4	18.0
GR41A-15-101_29	0.875	0.0	0.1005	0.0	0.10	0.0637	0.0	638.3	15	617.5	18	712	42	615.0	17.9
GR41A-15-101_4	0.851	0.0	0.1004	0.0	0.50	0.0620	0.0	625.3	14	616.9	18	671	31	615.7	18.5
GR41A-15-101_7	0.842	0.0	0.1005	0.0	0.53	0.0609	0.0	620.0	14	617.5	19	636	25	617.1	19.1
GR41A-15-101_84	0.917	0.0	0.1029	0.0	0.55	0.0648	0.0	660.9	15	631.6	18	763	33	628.6	19.0
GR41A-15-101_60	0.865	0.0	0.1047	0.0	0.56	0.0614	0.0	633.1	14	641.7	18	651	26	641.5	19.1
GR41A-15-101_79	0.899	0.0	0.1061	0.0	0.69	0.0618	0.0	651.2	14	650.1	18	666	21	649.8	19.1
GR41A-15-101_56	0.942	0.0	0.1080	0.0	0.68	0.0642	0.0	674.0	18	661.4	21	747	55	659.4	20.8
GR41A-15-101_88	0.937	0.0	0.1080	0.0	0.55	0.0635	0.0	671.5	17	661.4	20	718	43	659.9	20.2
GR41A-15-101_57	0.938	0.0	0.1104	0.0	0.58	0.0622	0.0	672.0	15	674.8	19	675	28	674.7	20.2
GR41A-15-101_64	1.031	0.0	0.1177	0.0	0.75	0.0640	0.0	719.6	15	717.2	21	740	24	716.5	21.3
GR41A-15-101_16	1.180	0.1	0.1260	0.0	0.93	0.0683	0.0	791.2	24	764.8	29	876	28	761.6	30.5
GR41A-15-101_78	1.304	0.1	0.1386	0.0	0.93	0.0683	0.0	847.7	27	836.7	32	875	31	835.4	33.2
GR41A-15-101_36	1.431	0.0	0.1454	0.0	0.83	0.0716	0.0	902.0	18	875.3	26	975	21	871.9	27.2
GR41A-15-101_24	1.559	0.1	0.1465	0.0	0.29	0.0768	0.0	954.2	22	881.3	28	1105	41	872.7	28.8
GR41A-15-101_8	1.517	0.0	0.1511	0.0	0.58	0.0733	0.0	937.4	18	907.3	25	1020	21	903.0	26.0
GR41A-15-101_28	1.492	0.0	0.1519	0.0	0.83	0.0716	0.0	927.3	19	911.6	27	972	24	909.3	27.8
GR41A-15-101_6	1.548	0.0	0.1559	0.0	0.67	0.0726	0.0	949.7	18	934.2	27	998	24	931.6	27.7
GR41A-15-101_80	1.561	0.0	0.1560	0.0	0.53	0.0728	0.0	955.0	18	934.7	25	1007	23	931.9	26.5
GR41A-15-101_77	1.616	0.0	0.1620	0.0	0.50	0.0730	0.0	976.4	18	968.0	28	1012	31	966.1	29.4
GR41A-15-101_39	1.632	0.1	0.1661	0.0	0.57	0.0721	0.0	982.7	19	990.4	28	988	30	990.4	29.4
GR41A-15-101_35	1.696	0.1	0.1677	0.0	0.62	0.0733	0.0	1006.8	19	999.4	28	1020	24	998.5	29.3
GR41A-15-101_52	1.777	0.1	0.1704	0.0	0.69	0.0772	0.0	1037.1	19	1014.3	29	1125	21	1009.4	29.7
GR41A-15-101_83	1.787	0.1	0.1703	0.0	0.62	0.0766	0.0	1040.6	18	1013.8	28	1107	21	1009.6	29.2
GR41A-15-101_37	1.766	0.1	0.1716	0.0	0.69	0.0749	0.0	1033.2	18	1020.7	28	1064	21	1018.7	29.8
GR41A-15-101_44	1.924	0.1	0.1786	0.0	0.45	0.0786	0.0	1089.3	21	1059.3	32	1156	32	1054.5	33.0
GR41A-15-101_20	1.874	0.1	0.1789	0.0	0.44	0.0765	0.0	1071.9	19	1060.9	30	1106	26	1058.7	31.4
GR41A-15-101_68	1.921	0.1	0.1820	0.0	0.63	0.0770	0.0	1088.3	20	1077.7	31	1118	25	1075.6	33.1
GR41A-15-101_34	1.892	0.1	0.1858	0.0	0.48	0.0752	0.0	1078.3	20	1098.7	30	1072	26	1099.9	32.0
GR41A-15-101_54	2.008	0.1	0.1876	0.0	0.70	0.0779	0.0	1118.2	19	1108.1	31	1144	23	1106.3	32.4
GR41A-15-101_30	2.507	0.1	0.1926	0.0	0.84	0.0959	0.0	1274.2	22	1135.3	37	1540	29	1111.4	37.9
GR41A-15-101_10	2.058	0.1	0.1895	0.0	0.53	0.0786	0.0	1134.9	21	1118.6	31	1163	30	1116.4	33.5
GR41A-15-101_50	1.989	0.1	0.1895	0.0	0.70	0.0775	0.0	1111.7	19	1118.6	32	1130	25	1117.8	33.6
GR41A-15-101_15	2.193	0.1	0.1968	0.0	0.68	0.0814	0.0	1178.8	19	1158.1	32	1230	19	1154.2	33.3
GR41A-15-101_65	2.153	0.1	0.1974	0.0	0.61	0.0799	0.0	1165.9	19	1161.3	32	1194	19	1159.5	32.8
GR41A-15-101_27	2.207	0.1	0.2007	0.0	0.54	0.0802	0.0	1183.4	22	1178.9	34	1202	31	1177.6	36.2
GR41A-15-101_42	2.278	0.1	0.2065	0.0	0.72	0.0811	0.0	1205.6	19	1210.4	34	1223	19	1209.7	35.6
GR41A-15-101_55	2.355	0.1	0.2087	0.0	0.24	0.0826	0.0	1229.0	21	1221.7	33	1253	32	1219.5	35.5
GR41A-15-101_63	2.824	0.1	0.2304	0.0	0.66	0.0893	0.0	1361.8	22	1336.8	38	1410	22	1331.7	39.6
GR41A-15-101_31	2.806	0.1	0.2318	0.0	0.66	0.0886	0.0	1357.2	21	1343.9	36	1393	20	1340.3	39.0
GR41A-15-101_45	4.610	0.1	0.2534	0.0	0.55	0.1337	0.0	1751.1	23	1455.9	42	2143	26	1386.6	43.9
GR41A-15-101_70	5.645	0.2	0.3026	0.0	0.83	0.1358	0.0	1923.0	29	1704.3	72	2164	38	1644.4	79.3
GR41A-15-101_12	5.434	0.3	0.3084	0.0	0.56	0.1286	0.0	1890.3	40	1732.9	52	2065	54	1689.1	59.1
GR41A-15-101_72	4.524	0.1	0.3055	0.0	0.66	0.1090	0.0	1735.4	24	1718.6	47	1781	19	1711.4	51.9
GR41A-15-101_5	5.271	0.2	0.3162	0.0	0.74	0.1216	0.0	1864.3	24	1771.2	47	1980	17	1744.8	52.3
GR41A-15-101_22	4.802	0.1	0.3145	0.0	0.56	0.1121	0.0	1785.2	24	1762.7	45	1831	21	1754.3	51.3
GR41A-15-101_66	4.859	0.2	0.3177	0.0	0.89	0.1119	0.0	1795.2	23	1778.3	48	1830	21	1772.0	54.0
GR41A-15-101_41	5.070	0.2	0.3196	0.0	0.60	0.1163	0.0	1831.1	24	1787.7	47	1898	19	1773.7	52.7
GR41A-15-101_46	5.319	0.2	0.3354	0.0	0.70	0.1156	0.0	1872.0	24	1864.5	49	1887	19	1861.2	54.6
GR41A-15-101_73	5.712	0.2	0.3470	0.0	0.72	0.1195	0.0	1933.2	24	1920.1	49	1948	16	1916.0	54.6
GR41A-15-101_2	6.939	0.2	0.3778	0.0	0.70	0.1339	0.0	2103.7	25	2066.0	52	2149	15	2051.4	59.7

Muestra	Razones							Edades Aparentes					Edad CPb <sup>c</sup>		
	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		rho	<sup>207</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb			
	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		<sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		
(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)			
GR41A-15-101_59	7.342	0.2	0.4019	0.0	0.49	0.1342	0.0	2153.9	27	2177.8	57	2147	22	2182.5	71.8
GR41A-15-101_49	7.926	0.2	0.4144	0.0	0.65	0.1408	0.0	2222.7	25	2235.2	56	2236	19	2234.8	71.8
GR41A-15-101_86	12.757	0.4	0.4617	0.0	0.68	0.2010	0.0	2661.9	26	2446.9	60	2834	17	2326.8	73.2
GR41A-15-101_11	12.287	0.4	0.4771	0.0	0.76	0.1882	0.0	2626.6	26	2514.5	64	2728	17	2446.9	81.6
GR41A-15-167_69	0.278	0.0	0.0389	0.0	0.57	0.0531	0.0	248.7	4.9	245.9	3.5	333	39	245.3	3.5
GR41A-15-167_33	0.295	0.0	0.0416	0.0	0.65	0.0520	0.0	262.4	4.0	262.9	3.9	280	30	262.7	3.9
GR41A-15-167_70	0.318	0.0	0.0447	0.0	0.64	0.0522	0.0	280.2	3.4	281.8	3.7	293	21	281.8	3.8
GR41A-15-167_28	0.344	0.0	0.0473	0.0	0.67	0.0529	0.0	300.0	4.0	297.9	4.5	322	24	297.7	4.5
GR41A-15-167_51	0.637	0.0	0.0808	0.0	0.03	0.0577	0.0	500.5	6.2	501.0	6.3	514	29	500.7	6.7
GR41A-15-167_65	0.671	0.0	0.0831	0.0	0.51	0.0587	0.0	521.2	7.0	514.3	7.1	555	27	513.6	7.3
GR41A-15-167_29	0.650	0.0	0.0831	0.0	0.13	0.0573	0.0	508.2	8.9	514.3	7.0	491	45	514.5	7.3
GR41A-15-167_83	0.671	0.0	0.0842	0.0	0.57	0.0576	0.0	521.1	6.2	521.0	6.9	510	24	521.3	7.3
GR41A-15-167_85	0.687	0.0	0.0849	0.0	0.77	0.0585	0.0	530.3	8.0	525.0	7.6	544	27	524.9	7.9
GR41A-15-167_21	0.681	0.0	0.0851	0.0	0.62	0.0582	0.0	527.6	7.2	526.4	7.8	535	30	526.3	7.9
GR41A-15-167_31	0.683	0.0	0.0856	0.0	0.65	0.0582	0.0	528.6	5.7	529.3	7.1	535	19	529.2	7.3
GR41A-15-167_66	0.694	0.0	0.0867	0.0	0.49	0.0585	0.0	535.2	6.3	536.2	6.9	548	23	536.0	7.2
GR41A-15-167_87	0.702	0.0	0.0877	0.0	0.79	0.0582	0.0	539.6	6.3	541.6	7.1	535	28	542.0	7.3
GR41A-15-167_26	0.732	0.0	0.0890	0.0	0.77	0.0600	0.0	558.0	6.4	549.5	7.4	604	20	548.5	7.2
GR41A-15-167_59	0.740	0.0	0.0892	0.0	0.59	0.0608	0.0	562.2	5.4	550.6	6.8	630	18	549.2	7.2
GR41A-15-167_35	0.721	0.0	0.0891	0.0	0.41	0.0590	0.0	551.0	5.5	550.0	7.2	563	22	549.8	7.2
GR41A-15-167_101	0.720	0.0	0.0892	0.0	0.53	0.0589	0.0	550.5	6.4	550.5	7.2	565	26	550.6	7.2
GR41A-15-167_91	0.711	0.0	0.0894	0.0	0.45	0.0573	0.0	545.4	6.0	551.8	7.0	502	24	552.8	7.2
GR41A-15-167_54	0.732	0.0	0.0905	0.0	0.69	0.0594	0.0	557.4	6.2	558.6	8.1	582	23	558.2	7.8
GR41A-15-167_60	0.749	0.0	0.0915	0.0	0.70	0.0599	0.0	567.6	5.5	564.4	7.1	597	17	563.7	7.2
GR41A-15-167_68	0.761	0.0	0.0929	0.0	0.39	0.0597	0.0	574.8	5.7	572.4	7.0	592	20	572.0	7.2
GR41A-15-167_76	0.764	0.0	0.0929	0.0	0.70	0.0598	0.0	576.3	6.3	572.8	8.4	599	22	572.2	8.4
GR41A-15-167_98	0.741	0.0	0.0930	0.0	0.37	0.0580	0.0	562.9	7.4	573.5	7.2	524	29	574.1	7.2
GR41A-15-167_56	0.761	0.0	0.0937	0.0	0.40	0.0593	0.0	574.8	6.0	577.5	6.9	577	22	577.5	7.2
GR41A-15-167_5	0.781	0.0	0.0946	0.0	0.54	0.0604	0.0	585.9	6.0	582.7	7.3	614	20	582.0	7.8
GR41A-15-167_15	0.770	0.0	0.0945	0.0	0.48	0.0594	0.0	579.8	6.0	582.1	7.4	585	21	582.1	7.8
GR41A-15-167_10	0.764	0.0	0.0946	0.0	0.20	0.0588	0.0	576.5	7.0	582.7	7.4	559	30	583.1	7.8
GR41A-15-167_45	0.780	0.0	0.0950	0.0	0.91	0.0598	0.0	585.3	5.9	585.0	7.5	596	18	584.7	7.8
GR41A-15-167_2	0.800	0.0	0.0959	0.0	0.66	0.0610	0.0	596.8	5.6	590.1	7.2	641	18	589.1	7.2
GR41A-15-167_62	0.783	0.0	0.0960	0.0	0.52	0.0598	0.0	587.0	6.5	590.7	7.2	599	24	590.6	7.2
GR41A-15-167_53	0.776	0.0	0.0960	0.0	0.90	0.0588	0.0	583.1	7.2	590.7	9.2	563	21	591.3	9.6
GR41A-15-167_84	0.804	0.0	0.0972	0.0	0.55	0.0603	0.0	598.6	7.6	598.2	7.6	608	29	597.7	7.8
GR41A-15-167_99	0.808	0.0	0.0979	0.0	0.44	0.0600	0.0	601.2	5.7	602.3	7.6	603	20	602.0	7.8
GR41A-15-167_80	0.809	0.0	0.0980	0.0	0.62	0.0600	0.0	602.0	6.3	602.9	7.3	605	21	602.6	7.2
GR41A-15-167_19	0.830	0.0	0.0995	0.0	0.89	0.0611	0.0	613.5	8.8	611.2	9.9	643	21	610.5	10.2
GR41A-15-167_11	0.846	0.0	0.1007	0.0	0.59	0.0615	0.0	622.6	6.6	618.6	7.8	656	22	617.8	7.8
GR41A-15-167_47	0.842	0.0	0.1013	0.0	0.80	0.0606	0.0	620.4	6.6	622.0	8.2	624	20	621.9	8.4
GR41A-15-167_16	0.808	0.0	0.1013	0.0	0.82	0.0584	0.0	601.1	8.7	622.0	12	540	24	623.6	12.0
GR41A-15-167_103	0.852	0.0	0.1017	0.0	0.53	0.0609	0.0	626.1	7.8	624.4	8.4	635	30	624.1	8.4
GR41A-15-167_79	0.866	0.0	0.1032	0.0	0.70	0.0609	0.0	633.8	7.4	633.0	8.9	636	24	633.1	9.0
GR41A-15-167_57	0.871	0.0	0.1038	0.0	0.38	0.0616	0.0	636.3	7.3	636.7	8.4	659	28	636.2	8.4
GR41A-15-167_13	0.904	0.0	0.1057	0.0	0.65	0.0628	0.0	653.9	6.7	647.5	8.8	698	20	646.3	8.9
GR41A-15-167_100	0.902	0.0	0.1068	0.0	0.45	0.0607	0.0	652.3	8.1	654.4	8.0	632	28	654.7	8.4
GR41A-15-167_12	0.913	0.0	0.1073	0.0	0.57	0.0621	0.0	658.5	6.0	657.1	8.1	676	18	656.7	8.3
GR41A-15-167_71	0.963	0.0	0.1109	0.0	0.79	0.0631	0.0	684.8	7.0	678.0	9.1	712	17	677.2	9.5
GR41A-15-167_90	0.954	0.0	0.1109	0.0	0.67	0.0625	0.0	680.3	6.5	678.1	8.6	692	20	677.6	8.9
GR41A-15-167_93	0.943	0.0	0.1115	0.0	0.26	0.0614	0.0	674.1	7.8	681.7	8.0	649	28	682.1	8.3
GR41A-15-167_1	1.013	0.0	0.1146	0.0	0.95	0.0647	0.0	710.4	14	699.3	15	761	21	697.8	15.4
GR41A-15-167_8	0.989	0.0	0.1162	0.0	0.65	0.0624	0.0	698.1	7.3	708.9	8.6	694	21	709.3	8.9
GR41A-15-167_9	1.056	0.0	0.1200	0.0	0.48	0.0643	0.0	732.0	6.9	730.7	9.2	753	19	730.1	9.5
GR41A-15-167_22	1.113	0.0	0.1251	0.0	0.67	0.0649	0.0	759.7	7.9	759.7	10	770	21	759.4	10.0
GR41A-15-167_23	1.101	0.0	0.1260	0.0	0.68	0.0637	0.0	753.7	8.4	765.2	9.8	732	23	766.2	10.0
GR41A-15-167_18	1.158	0.0	0.1275	0.0	0.43	0.0663	0.0	781.2	7.8	773.5	9.4	814	23	772.3	10.0
GR41A-15-167_17	1.151	0.0	0.1279	0.0	0.48	0.0659	0.0	777.6	7.2	775.8	9.5	804	19	775.0	10.0
GR41A-15-167_6	1.243	0.0	0.1298	0.0	0.83	0.0701	0.0	820.4	7.9	786.8	10	929	16	782.5	10.5
GR41A-15-167_25	1.241	0.0	0.1311	0.0	0.82	0.0693	0.0	819.5	8.4	794.0	11	909	20	790.6	11.1
GR41A-15-167_95	1.380	0.1	0.1341	0.0	0.60	0.0771	0.0	881.0	25	813.0	43	1097	61	800.8	44.0
GR41A-15-167_86	1.472	0.1	0.1410	0.0	0.96	0.0743	0.0	929.0	30	853.0	32	1052	32	843.5	33.0

Muestras	Razones						Edades Aparentes					Edad CPb <sup>c</sup>			
	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		rho	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb			
	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		<sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ
(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)	
GR41A-15-167_61	1.409	0.0	0.1418	0.0	0.96	0.0731	0.0	892.8	20	854.6	23	1017	21	849.0	23.2
GR41A-15-167_14	1.480	0.0	0.1433	0.0	0.53	0.0780	0.0	922.4	9.6	863.3	27	1094	50	853.1	27.8
GR41A-15-167_44	1.416	0.0	0.1442	0.0	0.73	0.0720	0.0	895.6	8.0	868.3	11	985	16	864.2	11.6
GR41A-15-167_34	1.378	0.0	0.1453	0.0	0.39	0.0691	0.0	879.7	10	874.8	12	899	30	873.9	12.2
GR41A-15-167_50	1.500	0.0	0.1518	0.0	0.88	0.0723	0.0	930.3	10	911.3	15	994	18	908.3	15.0
GR41A-15-167_30	1.626	0.0	0.1572	0.0	0.77	0.0752	0.0	980.3	8.2	941.1	11	1075	16	935.9	12.1
GR41A-15-167_36	1.618	0.0	0.1613	0.0	0.57	0.0731	0.0	977.3	8.9	963.8	13	1013	20	961.7	13.3
GR41A-15-167_39	1.691	0.0	0.1682	0.0	0.61	0.0730	0.0	1005.3	8.6	1002.4	13	1014	18	1001.9	13.2
GR41A-15-167_32	1.724	0.0	0.1694	0.0	0.81	0.0744	0.0	1017.6	10	1008.8	14	1052	20	1006.9	14.4
GR41A-15-167_55	1.757	0.0	0.1709	0.0	0.75	0.0750	0.0	1029.7	8.0	1016.9	13	1071	17	1014.7	13.2
GR41A-15-167_38	1.717	0.0	0.1728	0.0	0.51	0.0726	0.0	1015.1	11	1027.5	13	1008	27	1028.6	13.8
GR41A-15-167_89	1.997	0.0	0.1888	0.0	0.52	0.0768	0.0	1114.0	9.7	1115.0	15	1115	22	1114.9	16.0
GR41A-15-167_7	2.125	0.0	0.1928	0.0	0.71	0.0808	0.0	1157.0	8.8	1136.5	14	1217	16	1132.3	14.7
GR41A-15-167_73	2.090	0.0	0.1938	0.0	0.87	0.0794	0.0	1145.7	10	1141.7	15	1179	19	1139.7	15.9
GR41A-15-167_88	2.024	0.0	0.1936	0.0	0.51	0.0762	0.0	1123.3	9.5	1141.0	14	1097	22	1142.9	14.3
GR41A-15-167_48	2.128	0.0	0.1968	0.0	0.56	0.0788	0.0	1158.0	8.7	1157.9	14	1167	17	1157.4	14.8
GR41A-15-167_42	2.183	0.0	0.1987	0.0	0.61	0.0805	0.0	1175.6	9.9	1168.4	14	1209	19	1166.2	14.7
GR41A-15-167_81	2.217	0.0	0.2039	0.0	0.62	0.0790	0.0	1186.1	9.4	1196.0	14	1175	18	1197.5	14.7
GR41A-15-167_102	2.446	0.0	0.2191	0.0	0.72	0.0814	0.0	1255.7	9.6	1277.0	16	1229	19	1279.9	17.5
GR41A-15-167_74	2.724	0.0	0.2215	0.0	0.65	0.0899	0.0	1334.9	9.3	1289.8	15	1422	15	1281.1	16.2
GR41A-15-167_75	2.672	0.0	0.2278	0.0	0.75	0.0852	0.0	1320.0	12	1323.0	19	1317	22	1323.2	19.6
GR41A-15-167_41	3.223	0.1	0.2440	0.0	0.93	0.0966	0.0	1462.7	13	1407.6	20	1560	16	1395.8	21.6
GR41A-15-167_46	3.370	0.0	0.2549	0.0	0.72	0.0963	0.0	1497.5	9.7	1463.6	17	1553	15	1456.2	18.2
GR41A-15-167_20	3.735	0.1	0.2728	0.0	0.81	0.0994	0.0	1578.8	14	1555.2	24	1611	18	1549.9	26.4
GR41A-15-167_63	4.000	0.1	0.2754	0.0	0.94	0.1060	0.0	1634.1	10	1567.9	18	1731	14	1552.1	19.7
GR41A-15-167_64	4.406	0.1	0.3001	0.0	0.62	0.1076	0.0	1713.4	11	1691.8	19	1763	15	1684.4	21.9
GR41A-15-167_94	5.510	0.1	0.3124	0.0	0.76	0.1287	0.0	1901.0	12	1752.0	22	2079	15	1710.3	24.1
GR41A-15-167_78	5.341	0.1	0.3314	0.0	0.72	0.1163	0.0	1876.0	11	1845.0	21	1899	14	1838.0	24.0
GR41A-15-167_97	5.764	0.1	0.3405	0.0	0.77	0.1234	0.0	1942.0	13	1888.0	23	2002	17	1872.5	25.6
GR41A-15-167_27	6.737	0.1	0.3561	0.0	0.84	0.1380	0.0	2077.5	13	1963.6	23	2203	13	1924.8	26.2
GR41A-15-167_77	6.115	0.1	0.3596	0.0	0.51	0.1253	0.0	1992.0	12	1980.0	25	2014	17	1972.1	28.9
GR41A-15-167_24	6.251	0.1	0.3647	0.0	0.68	0.1252	0.0	2011.6	11	2004.5	23	2030	15	2000.2	26.8
GR41A-15-167_3	6.344	0.1	0.3672	0.0	0.90	0.1259	0.0	2024.5	12	2016.4	24	2042	14	2012.4	27.9
GR41A-15-167_92	7.450	0.1	0.3775	0.0	0.22	0.1438	0.0	2166.0	12	2063.0	31	2270	23	2026.6	36.2
GR41A-15-167_58	6.590	0.1	0.3732	0.0	0.89	0.1294	0.0	2058.1	11	2044.2	23	2089	13	2036.7	26.2
GR41A-15-167_96	7.575	0.1	0.4006	0.0	0.84	0.1376	0.0	2181.0	12	2171.0	24	2196	14	2166.8	28.6
GR41A-15-167_82	7.840	0.1	0.4124	0.0	0.72	0.1378	0.0	2212.0	12	2225.0	24	2199	15	2231.3	29.5
GR41A-15-167_67	10.631	0.2	0.4545	0.0	0.85	0.1715	0.0	2491.4	18	2415.1	29	2570	19	2371.6	35.8
GR41A-15-167_37	12.260	0.2	0.4661	0.0	0.90	0.1910	0.0	2624.5	12	2466.5	34	2750	14	2379.1	41.3
GR41A-15-167_105	11.700	0.2	0.4833	0.0	0.83	0.1742	0.0	2579.0	14	2541.0	30	2599	17	2523.7	39.2
GR41A-15-167_52	21.936	0.3	0.6343	0.0	0.88	0.2520	0.0	3180.9	13	3166.4	35	3198	14	3141.7	63.0
GR41A-15-187_55	0.255	0.0	0.0379	0.0	0.61	0.0504	0.0	230.7	4.3	240.0	3.7	210	28	240.2	3.8
GR41A-15-187_118	0.261	0.0	0.0385	0.0	0.59	0.0508	0.0	235.9	4.4	243.4	3.7	232	27	243.5	3.8
GR41A-15-187_45	0.275	0.0	0.0397	0.0	0.44	0.0519	0.0	246.7	4.5	250.7	3.8	283	30	250.5	3.8
GR41A-15-187_101	0.290	0.0	0.0408	0.0	0.52	0.0537	0.0	258.4	6.5	258.0	4.7	346	44	257.2	4.7
GR41A-15-187_30	0.286	0.0	0.0409	0.0	0.75	0.0523	0.0	255.6	4.5	258.6	4.0	298	21	258.3	4.0
GR41A-15-187_71	0.313	0.0	0.0432	0.0	0.36	0.0542	0.0	276.7	7.1	272.5	6.7	381	56	271.7	6.8
GR41A-15-187_72	0.296	0.0	0.0433	0.0	0.47	0.0515	0.0	263.6	4.9	273.4	4.1	260	30	273.5	4.1
GR41A-15-187_104	0.313	0.0	0.0450	0.0	0.80	0.0518	0.0	276.6	5.1	283.9	4.8	275	26	283.9	4.9
GR41A-15-187_115	0.325	0.0	0.0474	0.0	0.31	0.0517	0.0	286.1	6.3	298.3	5.0	263	42	298.5	5.1
GR41A-15-187_127	0.404	0.0	0.0548	0.0	0.50	0.0545	0.0	344.2	6.4	343.7	5.5	394	28	343.2	5.5
GR41A-15-187_125	0.420	0.0	0.0570	0.0	0.37	0.0555	0.0	355.9	8.2	357.1	6.2	423	51	356.3	6.2
GR41A-15-187_111	0.422	0.0	0.0579	0.0	0.64	0.0543	0.0	357.5	6.4	362.9	5.6	381	30	362.7	5.7
GR41A-15-187_113	0.470	0.0	0.0639	0.0	0.58	0.0552	0.0	391.3	8.1	399.3	7.7	412	43	399.0	8.0
GR41A-15-187_89	0.544	0.0	0.0718	0.0	0.66	0.0570	0.0	441.2	7.1	447.0	7.2	493	23	446.4	7.3
GR41A-15-187_81	0.587	0.0	0.0740	0.0	0.63	0.0592	0.0	468.9	9.3	459.9	7.3	587	36	458.3	7.3
GR41A-15-187_103	0.586	0.0	0.0743	0.0	0.57	0.0587	0.0	468.3	7.7	462.3	7.3	555	24	460.9	7.3
GR41A-15-187_96	0.563	0.0	0.0746	0.0	0.80	0.0564	0.0	453.6	7.9	464.0	8.4	474	26	464.0	8.5
GR41A-15-187_70	0.587	0.0	0.0753	0.0	0.65	0.0577	0.0	468.9	8.2	468.1	8.1	515	30	467.4	8.5
GR41A-15-187_80	0.602	0.0	0.0762	0.0	0.69	0.0590	0.0	478.6	8.4	473.4	7.8	564	27	472.0	7.9
GR41A-15-187_87	0.591	0.0	0.0761	0.0	0.62	0.0576	0.0	471.4	9.9	472.8	10	517	36	472.2	10.3
GR41A-15-187_79	0.687	0.0	0.0779	0.0	0.75	0.0665	0.0	530.8	9.6	483.4	11	817	31	477.7	10.8



Muestra	Razones							Edades Aparentes					Edad CPb <sup>c</sup>		
	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		rho	<sup>207</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb			
	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		<sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		
(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)			
GR41A-15-187_86	0.594	0.0	0.0776	0.0	0.64	0.0575	0.0	473.2	8.2	481.6	8.1	513	27	481.2	8.5
GR41A-15-187_74	0.599	0.0	0.0778	0.0	0.12	0.0578	0.0	476.8	8.2	482.8	7.4	518	35	482.2	7.3
GR41A-15-187_27	0.665	0.0	0.0789	0.0	0.60	0.0627	0.0	517.6	9.5	489.8	9.6	697	32	486.4	9.7
GR41A-15-187_124	0.599	0.0	0.0788	0.0	0.47	0.0568	0.0	476.8	7.8	489.2	7.3	484	28	489.3	7.3
GR41A-15-187_75	0.614	0.0	0.0789	0.0	0.42	0.0573	0.0	485.8	10	489.8	9.1	502	46	489.6	9.1
GR41A-15-187_95	0.649	0.0	0.0839	0.0	0.55	0.0577	0.0	507.7	7.6	519.5	7.9	516	24	519.5	8.5
GR41A-15-187_24	0.655	0.0	0.0853	0.0	0.62	0.0576	0.0	511.8	7.5	527.6	7.7	518	21	527.8	7.9
GR41A-15-187_16	0.673	0.0	0.0854	0.0	0.74	0.0585	0.0	522.8	9.2	528.2	8.4	549	29	527.9	8.5
GR41A-15-187_69	0.689	0.0	0.0858	0.0	0.84	0.0601	0.0	532.0	11	530.5	10	610	36	529.2	10.3
GR41A-15-187_31	0.691	0.0	0.0878	0.0	0.46	0.0587	0.0	533.7	8.0	542.7	7.8	553	23	542.5	7.8
GR41A-15-187_110	0.703	0.0	0.0884	0.0	0.69	0.0594	0.0	540.5	8.5	546.2	9.0	579	24	545.5	9.0
GR41A-15-187_73	0.690	0.0	0.0887	0.0	0.65	0.0583	0.0	532.5	8.7	547.9	8.6	541	25	548.0	9.1
GR41A-15-187_60	0.728	0.0	0.0907	0.0	0.58	0.0603	0.0	555.7	8.9	559.4	9.3	612	26	558.4	9.6
GR41A-15-187_109	0.718	0.0	0.0907	0.0	0.54	0.0585	0.0	549.5	8.1	559.4	8.4	552	22	559.6	8.4
GR41A-15-187_112	0.711	0.0	0.0913	0.0	0.74	0.0581	0.0	545.6	10	563.5	12	531	24	564.0	12.6
GR41A-15-187_82	0.741	0.0	0.0924	0.0	0.45	0.0600	0.0	562.9	8.7	569.8	9.0	607	28	569.2	9.0
GR41A-15-187_21	0.747	0.0	0.0945	0.0	0.57	0.0592	0.0	566.2	8.5	581.9	8.4	573	22	582.1	8.4
GR41A-15-187_50	0.777	0.0	0.0949	0.0	0.22	0.0609	0.0	583.7	11	584.2	9.2	630	38	583.2	9.6
GR41A-15-187_100	0.785	0.0	0.0956	0.0	0.23	0.0610	0.0	588.6	16	588.8	12	622	68	587.8	12.0
GR41A-15-187_11	0.767	0.0	0.0957	0.0	0.63	0.0598	0.0	578.3	8.2	589.4	8.7	593	22	589.3	9.0
GR41A-15-187_15	0.804	0.0	0.0977	0.0	0.69	0.0618	0.0	599.3	8.7	600.9	8.6	664	20	599.6	9.0
GR41A-15-187_26	0.817	0.0	0.0981	0.0	0.37	0.0620	0.0	606.3	12	603.2	9.6	669	41	601.7	10.2
GR41A-15-187_40	0.773	0.0	0.0983	0.0	0.49	0.0592	0.0	581.5	12	604.3	10	561	44	604.9	10.8
GR41A-15-187_132	0.785	0.0	0.0985	0.0	0.68	0.0599	0.0	588.6	8.8	605.5	9.0	604	21	605.6	9.0
GR41A-15-187_54	0.787	0.0	0.0987	0.0	0.48	0.0596	0.0	589.7	8.5	606.6	9.1	591	24	607.0	9.0
GR41A-15-187_47	0.823	0.0	0.1000	0.0	0.34	0.0617	0.0	610.0	10	614.6	8.9	666	32	613.6	9.0
GR41A-15-187_108	0.805	0.0	0.1000	0.0	0.83	0.0601	0.0	599.9	9.5	614.6	10	611	24	614.8	10.8
GR41A-15-187_105	0.839	0.0	0.1016	0.0	0.43	0.0612	0.0	618.4	9.8	623.8	9.8	652	28	623.3	10.2
GR41A-15-187_32	0.835	0.0	0.1020	0.0	0.82	0.0614	0.0	616.3	12	626.1	12	656	29	625.5	11.9
GR41A-15-187_122	0.831	0.0	0.1022	0.0	0.87	0.0611	0.0	614.2	14	627.2	15	642	25	626.9	15.5
GR41A-15-187_102	0.841	0.0	0.1026	0.0	0.74	0.0614	0.0	619.4	10	629.5	10	655	27	629.0	10.8
GR41A-15-187_123	0.833	0.0	0.1025	0.0	0.72	0.0601	0.0	615.2	9.6	628.9	10	607	21	629.4	10.2
GR41A-15-187_66	0.846	0.0	0.1037	0.0	0.54	0.0608	0.0	622.6	8.5	635.8	9.1	633	22	635.9	9.6
GR41A-15-187_97	0.832	0.0	0.1039	0.0	0.52	0.0603	0.0	614.7	9.5	637.5	10	619	26	638.0	10.8
GR41A-15-187_25	0.834	0.0	0.1040	0.0	0.59	0.0602	0.0	615.8	9.2	638.1	9.3	608	25	638.6	9.6
GR41A-15-187_116	0.870	0.0	0.1047	0.0	0.53	0.0619	0.0	635.6	9.9	642.1	11	670	31	641.5	11.3
GR41A-15-187_44	0.885	0.0	0.1085	0.0	0.34	0.0609	0.0	643.8	10	664.3	10	630	35	664.9	10.1
GR41A-15-187_56	0.895	0.0	0.1087	0.0	0.73	0.0614	0.0	648.9	9.2	665.4	10	654	19	665.7	10.1
GR41A-15-187_93	1.018	0.0	0.1105	0.0	0.86	0.0689	0.0	713.0	16	675.6	15	895	30	670.1	15.9
GR41A-15-187_57	0.895	0.0	0.1095	0.0	0.66	0.0613	0.0	648.9	9.4	669.9	10	646	21	670.4	10.1
GR41A-15-187_85	0.935	0.0	0.1126	0.0	0.64	0.0619	0.0	670.0	11	688.1	11	668	28	688.5	11.3
GR41A-15-187_119	0.982	0.0	0.1159	0.0	0.53	0.0629	0.0	694.7	12	706.7	12	703	33	706.8	12.5
GR41A-15-187_8	0.976	0.0	0.1162	0.0	0.62	0.0628	0.0	691.7	9.5	708.4	9.9	698	20	708.6	10.1
GR41A-15-187_121	1.058	0.0	0.1200	0.0	0.78	0.0658	0.0	732.9	11	730.4	15	797	25	728.6	14.7
GR41A-15-187_83	1.004	0.0	0.1201	0.0	0.02	0.0630	0.0	705.8	12	731.0	11	699	34	731.5	11.8
GR41A-15-187_14	1.108	0.0	0.1256	0.0	0.66	0.0662	0.0	757.4	11	762.9	12	811	22	761.6	12.4
GR41A-15-187_61	1.116	0.0	0.1286	0.0	0.70	0.0647	0.0	761.0	10	779.7	11	766	19	780.1	11.2
GR41A-15-187_91	1.138	0.0	0.1311	0.0	0.61	0.0658	0.0	771.5	12	794.2	12	799	24	794.0	12.9
GR41A-15-187_41	1.156	0.0	0.1322	0.0	0.38	0.0655	0.0	780.0	11	800.3	11	790	25	800.6	11.2
GR41A-15-187_62	1.245	0.0	0.1365	0.0	0.62	0.0683	0.0	821.2	12	824.7	13	875	25	823.0	12.9
GR41A-15-187_120	1.258	0.0	0.1420	0.0	0.62	0.0662	0.0	826.8	12	855.7	14	814	25	857.1	14.6
GR41A-15-187_18	2.004	0.2	0.1496	0.0	0.80	0.1037	0.0	1116.9	56	898.6	39	1594	90	862.3	39.7
GR41A-15-187_128	1.375	0.0	0.1464	0.0	0.74	0.0704	0.0	878.4	12	881.0	14	937	20	879.0	13.9
GR41A-15-187_5	1.503	0.0	0.1559	0.0	0.72	0.0714	0.0	931.4	12	934.1	15	967	19	932.8	15.6
GR41A-15-187_43	1.492	0.0	0.1567	0.0	0.85	0.0716	0.0	927.2	12	938.4	13	978	15	937.0	14.4
GR41A-15-187_4	1.450	0.0	0.1576	0.0	0.30	0.0689	0.0	910.0	12	943.3	13	893	27	945.1	13.9
GR41A-15-187_52	1.491	0.0	0.1588	0.0	0.58	0.0706	0.0	926.8	12	949.9	15	943	25	950.0	15.0
GR41A-15-187_9	1.575	0.0	0.1610	0.0	0.74	0.0732	0.0	960.3	12	962.3	14	1017	18	960.1	14.4
GR41A-15-187_28	1.576	0.0	0.1651	0.0	0.67	0.0718	0.0	960.7	12	985.1	15	983	22	985.3	15.0
GR41A-15-187_117	1.650	0.0	0.1682	0.0	0.40	0.0733	0.0	989.5	15	1002.4	19	1024	27	1001.5	19.6
GR41A-15-187_77	1.668	0.0	0.1702	0.0	0.65	0.0734	0.0	996.3	12	1013.1	14	1025	22	1012.6	14.9
GR41A-15-187_126	1.680	0.0	0.1715	0.0	0.65	0.0731	0.0	1001	13	1020.1	14	1019	21	1020.2	14.4

Muestra	Razones							Edades Aparentes					Edad CPb <sup>c</sup>		
	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		rho	<sup>207</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb			
	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		<sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		
(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)			
GR41A-15-187_33	1.675	0.0	0.1733	0.0	0.66	0.0720	0.0	999.2	12	1030.3	15	986	18	1032.2	15.5
GR41A-15-187_2	1.765	0.0	0.1743	0.0	0.66	0.0754	0.0	1032.6	12	1035.7	15	1081	20	1033.8	16.0
GR41A-15-187_39	1.742	0.0	0.1747	0.0	0.78	0.0745	0.0	1024.2	12	1037.8	15	1054	19	1037.1	15.5
GR41A-15-187_94	1.761	0.0	0.1755	0.0	0.65	0.0749	0.0	1031.2	12	1042.1	15	1070	21	1041.1	16.0
GR41A-15-187_76	1.689	0.0	0.1778	0.0	0.60	0.0716	0.0	1004.3	16	1055.0	18	968	33	1058.5	19.0
GR41A-15-187_36	1.851	0.0	0.1826	0.0	0.75	0.0762	0.0	1063.8	13	1081.1	15	1098	18	1080.3	16.0
GR41A-15-187_78	1.795	0.0	0.1826	0.0	0.55	0.0733	0.0	1043.7	14	1081.1	19	1024	28	1083.8	19.5
GR41A-15-187_35	1.879	0.0	0.1855	0.0	0.71	0.0760	0.0	1073.6	15	1097.1	15	1096	21	1097.1	16.0
GR41A-15-187_19	2.101	0.0	0.1886	0.0	0.81	0.0829	0.0	1149.1	14	1114.1	17	1264	18	1106.2	18.1
GR41A-15-187_130	1.904	0.0	0.1888	0.0	0.59	0.0756	0.0	1082.6	14	1115.1	16	1082	23	1116.6	17.1
GR41A-15-187_65	1.976	0.0	0.1906	0.0	0.69	0.0767	0.0	1107.5	13	1124.6	17	1113	19	1125.2	17.7
GR41A-15-187_17	1.938	0.0	0.1907	0.0	0.90	0.0760	0.0	1094.5	17	1125.2	19	1093	22	1126.6	20.5
GR41A-15-187_12	2.081	0.0	0.1928	0.0	0.78	0.0801	0.0	1142.5	14	1136.3	17	1198	20	1133.0	17.6
GR41A-15-187_106	2.287	0.1	0.1973	0.0	0.47	0.0853	0.0	1208.3	20	1161.0	18	1313	38	1152.1	18.7
GR41A-15-187_58	2.080	0.0	0.1971	0.0	0.84	0.0786	0.0	1142.2	13	1159.5	16	1161	15	1159.4	16.5
GR41A-15-187_133	2.140	0.0	0.1983	0.0	0.58	0.0812	0.0	1161.8	13	1166.3	16	1226	18	1163.1	17.0
GR41A-15-187_37	2.171	0.1	0.1987	0.0	0.89	0.0820	0.0	1171.9	22	1168.4	25	1243	28	1164.2	26.0
GR41A-15-187_92	2.105	0.0	0.2003	0.0	0.70	0.0785	0.0	1150.3	15	1176.8	19	1165	24	1177.7	20.4
GR41A-15-187_42	2.107	0.0	0.2004	0.0	0.47	0.0789	0.0	1151.0	13	1177.3	16	1168	17	1177.7	17.0
GR41A-15-187_34	2.146	0.0	0.2056	0.0	0.84	0.0781	0.0	1163.6	15	1205.1	20	1152	21	1208.1	21.0
GR41A-15-187_68	2.197	0.0	0.2065	0.0	0.72	0.0788	0.0	1180.0	13	1210.3	18	1169	20	1212.7	19.3
GR41A-15-187_49	2.256	0.0	0.2093	0.0	0.52	0.0804	0.0	1198.6	13	1224.9	16	1207	18	1225.9	17.0
GR41A-15-187_88	2.540	0.1	0.2217	0.0	0.71	0.0861	0.0	1283.5	15	1290.7	18	1338	22	1287.5	19.6
GR41A-15-187_84	3.095	0.1	0.2329	0.0	0.53	0.0989	0.0	1431.5	15	1349.7	23	1604	24	1330.8	23.2
GR41A-15-187_20	2.923	0.1	0.2339	0.0	0.66	0.0937	0.0	1388.0	14	1354.8	20	1500	17	1344.2	21.6
GR41A-15-187_38	3.425	0.1	0.2658	0.0	0.61	0.0965	0.0	1510.1	15	1519.6	20	1558	16	1516.3	21.6
GR41A-15-187_99	3.885	0.1	0.2765	0.0	0.69	0.1049	0.0	1610.5	16	1573.6	23	1712	18	1560.2	25.7
GR41A-15-187_29	4.148	0.1	0.2952	0.0	0.97	0.1048	0.0	1663.7	16	1667.6	26	1712	15	1663.0	29.6
GR41A-15-187_6	4.423	0.1	0.2979	0.0	0.68	0.1112	0.0	1716.7	15	1680.8	23	1819	16	1665.5	25.6
GR41A-15-187_90	4.906	0.1	0.3089	0.0	0.78	0.1185	0.0	1803.2	16	1735.4	24	1933	15	1711.4	27.1
GR41A-15-187_98	4.511	0.1	0.3117	0.0	0.75	0.1080	0.0	1733.1	15	1749.3	25	1765	17	1747.4	28.0
GR41A-15-187_131	4.758	0.1	0.3219	0.0	0.75	0.1100	0.0	1777.6	18	1799.0	27	1798	18	1799.0	30.2
GR41A-15-187_114	4.815	0.1	0.3257	0.0	0.87	0.1096	0.0	1787.6	17	1817.6	32	1791	17	1820.7	36.8
GR41A-15-187_67	5.699	0.1	0.3365	0.0	0.47	0.1246	0.0	1931.2	19	1869.6	33	2017	25	1848.1	37.5
GR41A-15-187_51	5.414	0.1	0.3438	0.0	0.81	0.1176	0.0	1887.0	16	1904.9	28	1919	15	1902.8	30.6
GR41A-15-187_22	6.439	0.1	0.3657	0.0	0.61	0.1317	0.0	2037.7	16	2009.0	25	2120	15	1990.6	29.3
GR41A-15-187_1	6.601	0.1	0.3814	0.0	0.70	0.1288	0.0	2059.5	17	2082.8	28	2081	16	2083.0	33.5
GR41A-15-187_64	7.152	0.2	0.4037	0.0	0.64	0.1322	0.0	2130.5	17	2185.9	30	2127	20	2197.3	36.7
GR41A-15-187_48	8.823	0.2	0.4465	0.0	0.96	0.1479	0.0	2319.9	23	2379.5	40	2322	16	2393.8	50.8
GR41A-15-187_13	11.644	0.2	0.4815	0.0	0.83	0.1810	0.0	2576.2	17	2534.0	34	2662	13	2493.1	43.4
GR41A-15-187_7	11.663	0.2	0.4858	0.0	0.93	0.1793	0.0	2577.8	17	2552.6	35	2647	15	2522.3	46.1
GR41A-15-187_107	12.281	0.2	0.4966	0.0	0.56	0.1844	0.0	2626.1	17	2599.1	33	2693	15	2566.9	43.1
GR41A-15-187_59	19.024	0.5	0.5627	0.0	0.92	0.2533	0.0	3043.0	22	2877.9	46	3205	13	2702.8	59.9
GR41A-15-201_41	0.263	0.0	0.0379	0.0	0.60	0.0509	0.0	236.7	6.0	240.0	5.0	236	36	240.1	5.1
GR41A-15-201_15	0.268	0.0	0.0385	0.0	0.48	0.0509	0.0	241.2	5.4	243.3	5.5	232	38	243.3	5.5
GR41A-15-201_22	0.286	0.0	0.0398	0.0	0.76	0.0523	0.0	255.6	5.9	251.4	5.5	300	30	251.1	5.6
GR41A-15-201_89	0.298	0.0	0.0405	0.0	0.58	0.0539	0.0	264.7	6.2	255.7	5.6	366	40	254.9	5.7
GR41A-15-201_39	0.299	0.0	0.0420	0.0	0.10	0.0525	0.0	265.7	9.0	265.0	6.2	292	66	264.7	6.2
GR41A-15-201_80	0.336	0.0	0.0474	0.0	0.43	0.0519	0.0	294.2	7.1	298.4	6.1	278	33	298.6	6.2
GR41A-15-201_101	0.451	0.0	0.0592	0.0	0.62	0.0557	0.0	378.0	8.5	371.0	7.2	436	33	370.2	8.0
GR41A-15-201_64	0.463	0.0	0.0618	0.0	0.49	0.0546	0.0	386.1	8.6	386.4	8.5	387	43	386.3	8.6
GR41A-15-201_8	0.502	0.0	0.0669	0.0	0.80	0.0553	0.0	413.3	8.1	417.2	8.9	422	28	417.1	9.2
GR41A-15-201_107	0.574	0.0	0.0729	0.0	0.74	0.0579	0.0	460.6	10	453.6	10	522	29	452.6	10.3
GR41A-15-201_24	0.614	0.0	0.0735	0.0	0.53	0.0604	0.0	485.9	15	457.1	12	567	50	454.8	12.2
GR41A-15-201_3	0.568	0.0	0.0742	0.0	0.26	0.0564	0.0	456.8	9.5	461.2	9.2	463	30	461.2	9.1
GR41A-15-201_87	0.615	0.0	0.0761	0.0	0.66	0.0614	0.0	486.5	18	472.9	19	623	59	470.2	18.8
GR41A-15-201_108	0.601	0.0	0.0769	0.0	0.57	0.0571	0.0	477.9	9.6	477.6	9.8	501	30	477.4	9.7
GR41A-15-201_57	0.617	0.0	0.0773	0.0	0.58	0.0579	0.0	487.7	9.3	479.9	11	524	36	479.2	10.9
GR41A-15-201_58	0.620	0.0	0.0779	0.0	0.88	0.0588	0.0	490.1	17	483.5	21	556	45	482.3	21.2
GR41A-15-201_16	0.621	0.0	0.0798	0.0	0.62	0.0570	0.0	490.7	10	495.1	12	489	33	495.2	12.1
GR41A-15-201_102	0.644	0.0	0.0802	0.0	0.61	0.0582	0.0	504.6	9.3	497.4	9.8	534	26	496.8	9.7
GR41A-15-201_100	0.641	0.0	0.0810	0.0	0.21	0.0574	0.0	502.8	9.7	502.1	11	497	31	502.0	10.9

Muestra	Razones							Edades Aparentes					Edad CPb <sup>c</sup>		
	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		rho	<sup>207</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb			
	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		<sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		
(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)			
GR41A-15-201_7	0.658	0.0	0.0816	0.0	0.88	0.0590	0.0	513.5	10	505.6	13	566	25	504.6	12.7
GR41A-15-201_6	0.686	0.0	0.0830	0.0	0.58	0.0610	0.0	530.6	11	513.7	11	636	33	511.6	11.5
GR41A-15-201_38	0.650	0.0	0.0830	0.0	0.61	0.0575	0.0	508.8	9.4	513.7	11	510	25	513.8	10.9
GR41A-15-201_96	0.660	0.0	0.0831	0.0	0.78	0.0579	0.0	514.7	8.8	514.9	10	524	25	514.7	10.3
GR41A-15-201_112	0.664	0.0	0.0833	0.0	0.80	0.0581	0.0	517.1	9.8	516.1	12	530	29	515.8	12.1
GR41A-15-201_75	0.642	0.0	0.0833	0.0	0.71	0.0567	0.0	503.4	9.5	516.1	11	479	28	516.6	10.9
GR41A-15-201_20	0.646	0.0	0.0833	0.0	0.70	0.0567	0.0	505.8	10	516.1	12	478	28	516.6	11.5
GR41A-15-201_54	0.659	0.0	0.0834	0.0	0.71	0.0576	0.0	514.1	11	516.6	12	514	35	516.7	12.1
GR41A-15-201_43	0.673	0.0	0.0837	0.0	0.84	0.0587	0.0	522.4	9.6	518.4	11	553	22	517.8	11.5
GR41A-15-201_35	0.682	0.0	0.0839	0.0	0.33	0.0598	0.0	528.2	11	519.5	11	579	35	518.2	10.9
GR41A-15-201_49	0.677	0.0	0.0842	0.0	0.15	0.0584	0.0	524.7	11	521.3	11	540	37	520.9	11.5
GR41A-15-201_66	0.674	0.0	0.0854	0.0	0.61	0.0578	0.0	523.0	11	528.2	11	517	34	528.4	11.5
GR41A-15-201_27	0.691	0.0	0.0858	0.0	0.34	0.0590	0.0	533.5	11	530.6	11	563	33	529.9	11.5
GR41A-15-201_56	0.687	0.0	0.0859	0.0	0.66	0.0585	0.0	531.1	10	531.1	11	549	26	530.9	10.9
GR41A-15-201_4	0.680	0.0	0.0859	0.0	0.72	0.0580	0.0	526.5	9.3	531.1	10	526	26	531.2	10.9
GR41A-15-201_65	0.685	0.0	0.0859	0.0	0.52	0.0580	0.0	530.0	9.5	531.1	11	529	33	531.2	11.5
GR41A-15-201_72	0.699	0.0	0.0870	0.0	0.65	0.0588	0.0	538.1	8.9	537.5	11	559	25	537.1	10.9
GR41A-15-201_10	0.709	0.0	0.0877	0.0	0.77	0.0594	0.0	543.9	9.7	542.1	12	580	25	541.4	11.4
GR41A-15-201_30	0.706	0.0	0.0881	0.0	0.52	0.0591	0.0	542.2	11	544.4	12	566	30	544.0	12.1
GR41A-15-201_18	0.703	0.0	0.0882	0.0	0.58	0.0582	0.0	540.4	9.9	545.0	11	535	28	545.2	11.5
GR41A-15-201_9	0.701	0.0	0.0885	0.0	0.76	0.0583	0.0	539.3	10	546.8	11	537	27	546.9	11.5
GR41A-15-201_32	0.722	0.0	0.0896	0.0	0.81	0.0593	0.0	551.9	11	553.1	12	579	24	552.7	12.0
GR41A-15-201_46	0.731	0.0	0.0902	0.0	0.62	0.0590	0.0	557.0	12	556.6	12	561	40	556.4	12.1
GR41A-15-201_23	0.737	0.0	0.0909	0.0	0.81	0.0594	0.0	560.4	9.4	560.6	11	582	21	560.3	11.4
GR41A-15-201_13	0.736	0.0	0.0911	0.0	0.20	0.0596	0.0	559.9	13	561.8	11	580	42	561.3	11.4
GR41A-15-201_50	0.740	0.0	0.0911	0.0	0.16	0.0595	0.0	562.1	11	561.8	12	580	35	561.3	12.0
GR41A-15-201_34	0.725	0.0	0.0911	0.0	0.53	0.0587	0.0	553.6	13	561.8	12	545	46	561.9	12.1
GR41A-15-201_95	0.750	0.0	0.0915	0.0	0.67	0.0600	0.0	568.3	10	564.7	12	606	27	563.9	12.0
GR41A-15-201_81	0.782	0.0	0.0930	0.0	0.90	0.0607	0.0	586.7	15	573.3	15	626	30	572.2	15.0
GR41A-15-201_12	0.776	0.0	0.0943	0.0	0.63	0.0608	0.0	583.4	12	580.8	12	631	30	579.8	12.6
GR41A-15-201_62	0.781	0.0	0.0951	0.0	0.73	0.0604	0.0	586.1	11	585.4	12	616	28	584.7	12.0
GR41A-15-201_26	0.780	0.0	0.0964	0.0	0.83	0.0592	0.0	585.6	11	593.4	13	571	27	593.8	13.2
GR41A-15-201_113	0.799	0.0	0.0966	0.0	0.69	0.0604	0.0	596.0	11	594.6	12	614	25	594.1	13.2
GR41A-15-201_25	0.809	0.0	0.0976	0.0	0.78	0.0610	0.0	602.0	11	600.3	12	645	23	599.5	12.6
GR41A-15-201_42	0.816	0.0	0.0983	0.0	0.84	0.0610	0.0	605.8	11	604.3	13	637	21	603.6	13.2
GR41A-15-201_110	0.808	0.0	0.0984	0.0	0.41	0.0606	0.0	601.5	12	604.9	13	618	36	604.5	13.2
GR41A-15-201_48	0.821	0.0	0.0993	0.0	0.12	0.0606	0.0	608.5	17	610.6	14	609	55	610.3	13.8
GR41A-15-201_88	0.834	0.0	0.0997	0.0	0.70	0.0613	0.0	616.0	11	612.9	13	651	31	612.1	13.2
GR41A-15-201_19	0.826	0.0	0.1003	0.0	0.62	0.0601	0.0	611.2	10	616.3	12	605	27	616.5	12.6
GR41A-15-201_51	0.841	0.0	0.1014	0.0	0.19	0.0608	0.0	619.8	13	622.6	13	628	35	622.4	13.2
GR41A-15-201_98	0.860	0.0	0.1015	0.0	0.36	0.0615	0.0	629.9	10	623.2	12	656	25	622.5	12.5
GR41A-15-201_70	0.857	0.0	0.1024	0.0	0.81	0.0607	0.0	628.3	12	628.3	14	625	28	628.3	13.7
GR41A-15-201_105	0.941	0.0	0.1059	0.0	0.80	0.0643	0.0	673.3	13	648.8	14	751	29	646.5	14.9
GR41A-15-201_71	0.938	0.0	0.1092	0.0	0.81	0.0625	0.0	671.8	15	668.1	16	687	28	667.6	16.1
GR41A-15-201_82	0.958	0.0	0.1121	0.0	0.76	0.0627	0.0	682.4	12	685.1	14	697	22	684.8	14.2
GR41A-15-201_67	0.997	0.0	0.1156	0.0	0.16	0.0633	0.0	702.3	17	704.9	18	708	51	704.6	17.8
GR41A-15-201_53	1.173	0.0	0.1300	0.0	0.70	0.0664	0.0	788.1	13	787.8	17	817	23	786.9	17.6
GR41A-15-201_5	1.194	0.0	0.1316	0.0	0.84	0.0664	0.0	798.0	14	796.7	17	819	22	796.1	17.6
GR41A-15-201_77	1.314	0.0	0.1369	0.0	0.80	0.0699	0.0	851.7	15	827.2	17	923	22	824.1	16.9
GR41A-15-201_61	1.361	0.0	0.1402	0.0	0.84	0.0705	0.0	872.3	13	846.0	17	945	20	842.9	17.5
GR41A-15-201_2	1.586	0.1	0.1475	0.0	0.84	0.0782	0.0	964.9	22	886.7	27	1157	34	876.8	27.0
GR41A-15-201_93	1.597	0.0	0.1556	0.0	0.37	0.0748	0.0	969.1	18	932.1	20	1057	41	927.0	20.8
GR41A-15-201_74	1.565	0.0	0.1561	0.0	0.69	0.0736	0.0	956.5	13	935.3	17	1033	18	931.7	17.9
GR41A-15-201_91	1.614	0.0	0.1568	0.0	0.81	0.0754	0.0	975.5	17	939.1	24	1079	22	933.7	24.2
GR41A-15-201_94	1.594	0.0	0.1586	0.0	0.85	0.0734	0.0	968.0	14	948.9	18	1023	17	946.0	19.0
GR41A-15-201_104	1.584	0.0	0.1606	0.0	0.06	0.0723	0.0	963.8	17	960.3	20	991	29	959.0	21.3
GR41A-15-201_85	1.620	0.1	0.1611	0.0	0.31	0.0741	0.0	978.1	20	963.0	20	1040	36	959.8	20.7
GR41A-15-201_59	1.640	0.0	0.1657	0.0	0.81	0.0719	0.0	985.6	15	988.4	19	983	21	988.6	19.6
GR41A-15-201_31	1.736	0.0	0.1670	0.0	0.87	0.0767	0.0	1021.8	15	995.5	20	1111	20	990.5	20.0
GR41A-15-201_90	1.846	0.0	0.1721	0.0	0.93	0.0787	0.0	1062.0	15	1023.4	21	1165	19	1017.1	21.7
GR41A-15-201_68	1.746	0.1	0.1716	0.0	0.63	0.0737	0.0	1025.8	19	1020.7	22	1027	39	1020.2	22.4
GR41A-15-201_44	1.758	0.0	0.1731	0.0	0.70	0.0739	0.0	1030.0	14	1029.3	20	1040	22	1028.9	21.2

Muestra	Razones							Edades Aparentes					Edad CPb <sup>c</sup>		
	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		rho	<sup>207</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb			
	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		<sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		
(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)			
GR41A-15-201_17	1.898	0.1	0.1748	0.0	0.97	0.0798	0.0	1080.4	30	1038.4	31	1187	37	1031.4	33.0
GR41A-15-201_78	1.794	0.1	0.1740	0.0	0.15	0.0759	0.0	1043.1	22	1034.2	20	1080	54	1031.6	21.3
GR41A-15-201_36	1.805	0.0	0.1759	0.0	0.64	0.0747	0.0	1047.4	17	1044.3	21	1066	28	1043.6	22.3
GR41A-15-201_52	1.787	0.0	0.1766	0.0	0.30	0.0740	0.0	1040.7	16	1048.6	21	1039	26	1048.9	22.4
GR41A-15-201_1	1.825	0.1	0.1784	0.0	0.40	0.0758	0.0	1054.3	20	1058.2	25	1085	30	1056.8	25.7
GR41A-15-201_84	1.792	0.0	0.1786	0.0	0.83	0.0736	0.0	1042.4	16	1059.3	22	1031	21	1060.6	22.9
GR41A-15-201_76	1.929	0.0	0.1803	0.0	0.73	0.0776	0.0	1091.2	15	1068.4	21	1136	20	1065.2	22.2
GR41A-15-201_33	1.807	0.0	0.1815	0.0	0.65	0.0732	0.0	1048.1	16	1075.3	22	1022	23	1077.8	22.3
GR41A-15-201_109	2.060	0.0	0.1842	0.0	0.69	0.0821	0.0	1135.6	15	1089.7	21	1247	20	1081.7	21.5
GR41A-15-201_11	2.076	0.1	0.1903	0.0	0.89	0.0802	0.0	1141.0	17	1123.0	23	1206	22	1119.0	24.4
GR41A-15-201_111	2.553	0.1	0.2125	0.0	0.87	0.0877	0.0	1287.2	18	1241.9	26	1377	21	1233.7	27.4
GR41A-15-201_37	2.580	0.1	0.2231	0.0	0.38	0.0847	0.0	1294.9	18	1298.2	27	1307	21	1297.6	28.6
GR41A-15-201_97	3.557	0.1	0.2659	0.0	0.72	0.0976	0.0	1540.0	18	1520.2	31	1576	24	1515.0	33.7
GR41A-15-201_29	3.650	0.1	0.2735	0.0	0.50	0.0974	0.0	1560.5	18	1558.3	28	1574	23	1556.8	30.9
GR41A-15-201_14	4.367	0.1	0.2987	0.0	0.80	0.1082	0.0	1706.2	18	1685.0	32	1769	16	1675.9	35.0
GR41A-15-201_73	4.511	0.1	0.3059	0.0	0.81	0.1079	0.0	1732.9	18	1720.3	32	1763	19	1715.3	35.6
GR41A-15-201_92	6.785	0.3	0.3230	0.0	0.95	0.1541	0.0	2083.8	36	1804.5	54	2391	18	1716.0	57.0
GR41A-15-201_45	5.256	0.1	0.3119	0.0	0.87	0.1219	0.0	1861.7	20	1750.1	36	1983	17	1721.0	37.7
GR41A-15-201_63	4.966	0.1	0.3105	0.0	0.67	0.1160	0.0	1813.5	19	1743.4	34	1894	18	1725.1	37.4
GR41A-15-201_21	4.588	0.1	0.3170	0.0	0.76	0.1055	0.0	1747.1	19	1775.0	33	1722	19	1781.0	38.0
GR41A-15-201_99	5.808	0.1	0.3361	0.0	0.82	0.1260	0.0	1947.6	20	1867.9	37	2042	18	1843.2	42.1
GR41A-15-201_69	5.430	0.1	0.3339	0.0	0.85	0.1183	0.0	1889.6	19	1857.1	35	1930	17	1847.2	39.7
GR41A-15-201_79	6.166	0.2	0.3418	0.0	0.77	0.1320	0.0	1999.6	20	1895.2	38	2124	16	1861.1	42.4
GR41A-15-201_40	6.224	0.2	0.3523	0.0	0.84	0.1288	0.0	2007.8	24	1945.6	46	2081	20	1924.8	51.9
GR41A-15-201_83	6.931	0.2	0.3783	0.0	0.86	0.1340	0.0	2102.6	20	2068.2	38	2151	14	2053.7	44.0
GR41A-15-201_47	9.176	0.2	0.4188	0.0	0.87	0.1603	0.0	2355.7	21	2254.9	41	2458	14	2208.1	48.4
GR41A-15-201_55	9.360	0.2	0.4356	0.0	0.78	0.1563	0.0	2373.9	22	2330.7	42	2414	24	2310.0	51.9
GR41A-15-201_60	10.725	0.3	0.4554	0.0	0.91	0.1712	0.0	2499.6	21	2419.1	43	2569	14	2377.4	53.1
GR41A-15-201_103	11.248	0.3	0.4675	0.0	0.49	0.1749	0.0	2543.9	20	2472.5	45	2604	17	2433.3	52.5
GR41A-15-201_106	12.738	0.3	0.4948	0.0	0.73	0.1905	0.0	2660.5	21	2591.4	47	2745	18	2537.6	61.3
GR41A-15-201_28	16.997	0.4	0.5641	0.0	0.81	0.2212	0.0	2934.7	21	2883.5	47	2989	14	2829.3	71.4
GR41A-15-202_46	0.302	0.0	0.0415	0.0	0.22	0.0535	0.0	268	11	262	11	337	51	261.6	11.2
GR41A-15-202_36	0.290	0.0	0.0416	0.0	0.54	0.0519	0.0	259	10	263	11	274	37	262.7	11.2
GR41A-15-202_13	0.297	0.0	0.0417	0.0	0.42	0.0520	0.0	264	10	263	11	282	38	263.3	11.2
GR41A-15-202_28	0.337	0.0	0.0469	0.0	0.67	0.0521	0.0	295	12	295	13	286	30	295.3	12.4
GR41A-15-202_42	0.573	0.0	0.0729	0.0	0.66	0.0579	0.0	460	17	454	19	522	29	452.7	19.5
GR41A-15-202_44	0.572	0.0	0.0733	0.0	0.57	0.0574	0.0	460	16	456	19	508	29	455.3	18.9
GR41A-15-202_38	0.583	0.0	0.0746	0.0	0.65	0.0572	0.0	467	16	464	19	500	26	463.2	19.5
GR41A-15-202_60	0.677	0.0	0.0821	0.0	0.69	0.0606	0.0	525	20	509	22	618	42	506.9	22.3
GR41A-15-202_4	0.676	0.0	0.0837	0.0	0.65	0.0588	0.0	524	18	518	21	555	28	517.5	21.7
GR41A-15-202_27	0.686	0.0	0.0847	0.0	0.66	0.0589	0.0	530	18	524	21	559	27	523.5	21.7
GR41A-15-202_3	0.672	0.0	0.0850	0.0	0.62	0.0579	0.0	522	17	526	21	522	26	525.8	21.8
GR41A-15-202_59	0.681	0.0	0.0861	0.0	0.59	0.0577	0.0	527	18	532	22	512	33	532.6	22.3
GR41A-15-202_1	0.690	0.0	0.0865	0.0	0.71	0.0586	0.0	533	18	535	22	553	23	534.3	22.3
GR41A-15-202_64	0.671	0.0	0.0869	0.0	0.59	0.0569	0.0	522	18	537	22	488	32	538.2	22.4
GR41A-15-202_43	0.699	0.0	0.0874	0.0	0.56	0.0584	0.0	538	18	540	22	543	30	540.0	22.9
GR41A-15-202_29	0.725	0.0	0.0882	0.0	0.69	0.0597	0.0	554	18	545	22	589	24	544.1	22.9
GR41A-15-202_16	0.789	0.0	0.0889	0.0	0.49	0.0648	0.0	590	20	549	23	763	37	544.6	23.3
GR41A-15-202_54	0.767	0.0	0.0894	0.0	0.38	0.0626	0.0	578	22	552	23	684	57	549.4	23.4
GR41A-15-202_49	0.722	0.0	0.0897	0.0	0.40	0.0589	0.0	552	19	554	23	564	37	553.5	22.9
GR41A-15-202_31	0.747	0.0	0.0901	0.0	0.84	0.0603	0.0	567	19	556	23	616	22	554.8	23.4
GR41A-15-202_19	0.741	0.0	0.0901	0.0	0.72	0.0598	0.0	563	19	556	23	592	26	555.1	23.5
GR41A-15-202_50	0.715	0.0	0.0902	0.0	0.51	0.0578	0.0	548	19	557	24	516	45	557.5	24.1
GR41A-15-202_55	0.735	0.0	0.0906	0.0	0.83	0.0592	0.0	559	19	559	23	578	23	558.8	23.5
GR41A-15-202_58	0.775	0.0	0.0915	0.0	0.25	0.0625	0.0	583	23	565	23	664	61	562.1	23.4
GR41A-15-202_6	0.776	0.0	0.0918	0.0	0.59	0.0616	0.0	583	19	566	23	659	22	564.4	23.4
GR41A-15-202_51	0.770	0.0	0.0941	0.0	0.68	0.0596	0.0	580	19	580	24	586	25	579.6	24.6
GR41A-15-202_48	0.771	0.0	0.0942	0.0	0.53	0.0595	0.0	580	19	580	23	580	28	580.2	24.0
GR41A-15-202_56	0.790	0.0	0.0949	0.0	0.80	0.0611	0.0	591	19	585	24	641	23	583.5	24.6
GR41A-15-202_47	0.810	0.0	0.0972	0.0	0.76	0.0614	0.0	602	20	598	26	649	31	597.0	26.3
GR41A-15-202_25	0.874	0.0	0.0978	0.0	0.61	0.0655	0.0	638	21	601	24	787	27	597.4	25.0
GR41A-15-202_65	0.820	0.0	0.0982	0.0	0.44	0.0608	0.0	608	21	604	24	626	41	603.0	25.1

Muestra	Razones							Edades Aparentes					Edad CPb <sup>c</sup>		
	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		rho	<sup>207</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb			
	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		<sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		
(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)			
GR41A-15-202_66	0.790	0.0	0.0980	0.0	0.69	0.0592	0.0	591	19	602	24	572	24	603.1	25.2
GR41A-15-202_45	0.796	0.0	0.0981	0.0	0.64	0.0594	0.0	595	20	603	24	582	28	603.5	25.2
GR41A-15-202_32	0.861	0.0	0.1023	0.0	0.72	0.0615	0.0	631	20	628	25	658	24	627.3	26.3
GR41A-15-202_39	1.346	0.1	0.1110	0.0	0.96	0.0876	0.0	866	46	679	37	1352	62	658.3	37.5
GR41A-15-202_23	1.012	0.0	0.1171	0.0	0.70	0.0632	0.0	710	22	714	28	711	24	714.0	29.6
GR41A-15-202_33	1.104	0.0	0.1249	0.0	0.56	0.0648	0.0	755	22	758	30	772	26	758.2	31.2
GR41A-15-202_61	1.182	0.1	0.1268	0.0	0.73	0.0681	0.0	792	24	770	31	870	27	766.6	32.2
GR41A-15-202_7	1.424	0.1	0.1463	0.0	0.61	0.0715	0.0	899	25	880	35	973	31	877.0	35.9
GR41A-15-202_18	1.580	0.1	0.1558	0.0	0.82	0.0740	0.0	962	27	933	37	1044	18	929.2	38.6
GR41A-15-202_15	1.822	0.1	0.1598	0.0	0.57	0.0825	0.0	1053	29	956	40	1246	30	943.1	41.6
GR41A-15-202_14	1.711	0.1	0.1668	0.0	0.53	0.0750	0.0	1013	28	994	41	1063	30	991.1	43.0
GR41A-15-202_17	1.715	0.1	0.1680	0.0	0.76	0.0748	0.0	1014	26	1001	39	1062	21	998.7	40.7
GR41A-15-202_35	1.683	0.1	0.1679	0.0	0.62	0.0731	0.0	1002	27	1001	39	1017	22	1000.2	40.8
GR41A-15-202_30	1.726	0.1	0.1710	0.0	0.64	0.0744	0.0	1018	27	1018	39	1048	25	1016.1	41.8
GR41A-15-202_52	1.779	0.1	0.1735	0.0	0.76	0.0747	0.0	1038	27	1031	41	1068	22	1030.0	42.4
GR41A-15-202_34	1.776	0.1	0.1765	0.0	0.81	0.0730	0.0	1037	28	1048	43	1017	26	1049.3	43.6
GR41A-15-202_24	1.888	0.1	0.1826	0.0	0.72	0.0753	0.0	1077	28	1081	42	1077	23	1081.3	44.5
GR41A-15-202_63	1.904	0.1	0.1842	0.0	0.61	0.0751	0.0	1083	28	1090	41	1066	26	1090.5	45.1
GR41A-15-202_20	1.978	0.1	0.1877	0.0	0.71	0.0778	0.0	1108	28	1109	43	1140	22	1107.1	44.9
GR41A-15-202_9	2.189	0.1	0.1990	0.0	0.73	0.0797	0.0	1178	30	1170	48	1190	28	1168.8	49.8
GR41A-15-202_8	2.244	0.1	0.2004	0.0	0.74	0.0820	0.0	1195	31	1177	46	1248	27	1173.5	49.1
GR41A-15-202_41	2.271	0.1	0.2042	0.0	0.77	0.0812	0.0	1203	30	1198	48	1226	22	1196.4	50.2
GR41A-15-202_5	2.656	0.1	0.2245	0.0	0.65	0.0859	0.0	1316	31	1306	50	1335	21	1303.6	53.7
GR41A-15-202_37	4.112	0.2	0.2799	0.0	0.98	0.1074	0.0	1657	48	1591	77	1752	20	1574.5	81.8
GR41A-15-202_21	5.202	0.3	0.3011	0.0	0.96	0.1269	0.0	1853	47	1697	81	2053	21	1653.1	90.7
GR41A-15-202_10	5.990	0.3	0.3342	0.0	0.70	0.1311	0.0	1974	38	1859	70	2113	19	1822.5	74.9
GR41A-15-202_2	5.798	0.3	0.3352	0.0	0.70	0.1262	0.0	1946	36	1863	6	2044	20	1837.7	75.4
GR41A-15-202_62	9.846	0.5	0.4300	0.0	0.65	0.1716	0.0	2420	39	2306	100	2561	40	2238.8	117.6
GR41A-15-202_57	19.060	0.9	0.6086	0.0	0.89	0.2334	0.0	3045	44	3064	110	3076	17	3057.1	179.4
GR41A-15-206_63	0.268	0.0	0.0370	0.0	0.68	0.0524	0.0	240.8	6.3	234.4	7.1	302	25	234.0	6.9
GR41A-15-206_74	0.269	0.0	0.0375	0.0	0.35	0.0520	0.0	242.1	8.8	237.4	7.1	278	63	237.0	6.9
GR41A-15-206_4	0.283	0.0	0.0386	0.0	0.40	0.0527	0.0	252.9	7.0	244.5	7.4	307	36	244.0	7.5
GR41A-15-206_45	0.276	0.0	0.0389	0.0	0.33	0.0513	0.0	247.3	7.2	246.2	7.3	245	39	246.2	7.5
GR41A-15-206_58	0.279	0.0	0.0391	0.0	0.73	0.0515	0.0	250.0	6.5	247.4	7.3	263	24	247.3	7.5
GR41A-15-206_92	0.281	0.0	0.0394	0.0	0.56	0.0516	0.0	251.7	6.4	249.2	7.2	266	23	249.0	7.5
GR41A-15-206_90	0.314	0.0	0.0439	0.0	0.62	0.0517	0.0	277.3	7.0	276.9	8.1	281	26	276.9	8.1
GR41A-15-206_28	0.366	0.0	0.0469	0.0	0.46	0.0562	0.0	316.9	8.1	295.7	9.4	455	32	294.2	9.3
GR41A-15-206_35	0.477	0.0	0.0610	0.0	0.65	0.0566	0.0	395.7	9.9	381.8	11	475	26	380.7	11.6
GR41A-15-206_13	0.747	0.0	0.0794	0.0	0.68	0.0677	0.0	566.4	16	492.5	17	862	40	486.2	16.8
GR41A-15-206_31	0.653	0.0	0.0813	0.0	0.55	0.0581	0.0	510.1	12	503.9	15	533	31	503.4	15.1
GR41A-15-206_39	0.671	0.0	0.0822	0.0	0.71	0.0595	0.0	521.1	13	509.5	16	577	34	508.3	16.3
GR41A-15-206_77	0.659	0.0	0.0822	0.0	0.75	0.0581	0.0	514.2	12	509.0	15	531	24	508.6	15.7
GR41A-15-206_3	0.660	0.0	0.0836	0.0	0.49	0.0578	0.0	514.7	12	517.5	16	530	30	517.4	15.7
GR41A-15-206_61	0.666	0.0	0.0840	0.0	0.66	0.0572	0.0	518.2	13	519.7	15	501	28	520.1	15.7
GR41A-15-206_54	0.679	0.0	0.0849	0.0	0.73	0.0583	0.0	526.3	12	525.4	15	542	23	525.1	15.7
GR41A-15-206_10	0.781	0.0	0.0870	0.0	0.47	0.0665	0.0	586.1	14	537.8	19	798	43	532.5	19.1
GR41A-15-206_60	0.692	0.0	0.0862	0.0	0.65	0.0584	0.0	533.8	12	532.7	16	546	26	532.5	15.7
GR41A-15-206_16	0.784	0.0	0.0884	0.0	0.58	0.0655	0.0	587.7	15	546.3	17	783	41	541.7	17.3
GR41A-15-206_17	0.726	0.0	0.0899	0.0	0.42	0.0580	0.0	554.1	13	554.7	16	530	33	555.2	16.9
GR41A-15-206_57	0.722	0.0	0.0902	0.0	0.85	0.0591	0.0	551.9	16	557.0	21	567	32	556.8	21.1
GR41A-15-206_14	0.747	0.0	0.0916	0.0	0.65	0.0588	0.0	566.4	13	564.9	17	558	27	565.0	17.4
GR41A-15-206_76	0.775	0.0	0.0920	0.0	0.76	0.0608	0.0	582.8	13	567.1	16	631	21	565.9	16.8
GR41A-15-206_69	0.756	0.0	0.0932	0.0	0.46	0.0588	0.0	571.9	14	574.4	17	565	30	574.7	16.8
GR41A-15-206_53	0.763	0.0	0.0934	0.0	0.53	0.0589	0.0	575.7	14	575.5	17	562	34	575.7	17.4
GR41A-15-206_56	0.781	0.0	0.0944	0.0	0.60	0.0597	0.0	586.1	13	581.7	17	590	23	581.5	17.4
GR41A-15-206_5	0.776	0.0	0.0944	0.0	0.52	0.0589	0.0	583.4	15	581.7	19	568	34	582.1	19.2
GR41A-15-206_65	0.771	0.0	0.0946	0.0	0.53	0.0592	0.0	580.1	13	582.8	17	576	29	583.0	17.4
GR41A-15-206_37	0.800	0.0	0.0953	0.0	0.44	0.0608	0.0	596.9	14	586.7	17	606	35	585.9	17.4
GR41A-15-206_72	0.782	0.0	0.0957	0.0	0.45	0.0594	0.0	586.6	13	589.0	17	580	29	589.1	17.4
GR41A-15-206_40	0.845	0.0	0.0962	0.0	0.63	0.0633	0.0	621.8	14	592.3	18	714	29	589.8	17.9
GR41A-15-206_27	0.799	0.0	0.0961	0.0	0.72	0.0603	0.0	596.3	14	591.2	18	625	34	590.7	18.6
GR41A-15-206_34	0.835	0.0	0.0967	0.0	0.81	0.0628	0.0	616.5	14	595.1	19	703	26	593.0	19.1

Muestra	Razones						Edades Aparentes						Edad CPb <sup>c</sup>		
	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		rho	<sup>207</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb			
	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		<sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		
(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)			
GR41A-15-206_47	0.890	0.0	0.0984	0.0	0.81	0.0656	0.0	646.6	16	605.2	21	800	26	601.2	20.8
GR41A-15-206_87	0.825	0.0	0.0982	0.0	0.40	0.0608	0.0	610.7	14	604.1	17	631	32	603.5	17.4
GR41A-15-206_1	0.852	0.0	0.0985	0.0	0.61	0.0629	0.0	626.0	15	605.8	19	697	34	603.7	19.1
GR41A-15-206_41	0.828	0.0	0.0984	0.0	0.81	0.0606	0.0	612.3	14	605.2	18	628	27	604.8	18.6
GR41A-15-206_36	0.921	0.0	0.1003	0.0	0.33	0.0665	0.0	662.8	15	616.4	18	810	40	611.9	18.4
GR41A-15-206_50	0.849	0.0	0.1004	0.0	0.82	0.0611	0.0	623.9	14	616.9	19	640	24	616.4	19.1
GR41A-15-206_82	0.837	0.0	0.1008	0.0	0.64	0.0608	0.0	617.6	13	619.2	18	636	21	618.9	17.9
GR41A-15-206_20	0.879	0.0	0.1017	0.0	0.57	0.0633	0.0	640.5	17	624.2	19	718	37	622.2	19.1
GR41A-15-206_86	0.843	0.0	0.1014	0.0	0.68	0.0609	0.0	620.7	13	622.5	18	634	22	622.2	18.5
GR41A-15-206_67	0.855	0.0	0.1015	0.0	0.37	0.0611	0.0	627.5	14	623.1	17	639	30	622.6	17.9
GR41A-15-206_55	0.867	0.0	0.1025	0.0	0.54	0.0609	0.0	633.8	15	629.2	19	631	36	629.1	19.1
GR41A-15-206_80	0.888	0.0	0.1029	0.0	0.77	0.0628	0.0	645.1	15	631.4	19	701	26	629.9	19.7
GR41A-15-206_84	0.858	0.0	0.1034	0.0	0.62	0.0602	0.0	629.1	14	634.2	18	617	27	634.7	19.1
GR41A-15-206_59	0.881	0.0	0.1040	0.0	0.60	0.0618	0.0	641.5	15	637.5	19	661	34	636.9	19.7
GR41A-15-206_21	0.882	0.0	0.1040	0.0	0.67	0.0612	0.0	642.0	14	638.1	18	646	25	638.0	19.1
GR41A-15-206_19	0.919	0.0	0.1067	0.0	0.50	0.0625	0.0	661.8	16	653.6	21	699	36	652.8	21.4
GR41A-15-206_7	0.992	0.0	0.1129	0.0	0.73	0.0637	0.0	699.9	15	689.6	20	734	22	688.6	20.7
GR41A-15-206_89	0.966	0.0	0.1140	0.0	0.71	0.0617	0.0	686.2	14	696.2	20	662	22	696.9	20.8
GR41A-15-206_46	1.101	0.0	0.1185	0.0	0.36	0.0677	0.0	753.7	16	722.0	21	860	34	718.4	21.2
GR41A-15-206_88	1.316	0.0	0.1216	0.0	0.24	0.0785	0.0	852.6	17	739.6	23	1153	32	726.9	23.2
GR41A-15-206_78	1.081	0.0	0.1219	0.0	0.56	0.0644	0.0	744.0	15	741.7	21	755	23	741.4	21.2
GR41A-15-206_73	1.112	0.0	0.1233	0.0	0.44	0.0654	0.0	759.2	16	749.4	21	788	30	748.4	21.8
GR41A-15-206_81	1.231	0.0	0.1314	0.0	0.50	0.0682	0.0	814.8	17	795.7	23	872	30	793.3	23.4
GR41A-15-206_32	1.760	0.1	0.1403	0.0	0.59	0.0952	0.0	1030.8	21	846.5	47	1477	83	818.9	47.1
GR41A-15-206_42	1.282	0.0	0.1383	0.0	0.70	0.0672	0.0	837.9	17	835.1	24	841	25	834.9	25.1
GR41A-15-206_6	1.414	0.0	0.1496	0.0	0.71	0.0690	0.0	894.7	18	898.4	26	898	24	898.4	27.3
GR41A-15-206_15	1.647	0.0	0.1580	0.0	0.50	0.0760	0.0	988.3	18	945.8	29	1091	26	939.9	29.3
GR41A-15-206_9	1.842	0.1	0.1679	0.0	0.77	0.0802	0.0	1060.5	20	1000.7	29	1198	22	991.9	30.8
GR41A-15-206_85	1.673	0.0	0.1668	0.0	0.53	0.0728	0.0	998.5	18	994.4	27	1010	22	993.8	28.8
GR41A-15-206_64	1.827	0.1	0.1684	0.0	0.61	0.0791	0.0	1055.0	19	1003.3	30	1171	27	995.8	30.8
GR41A-15-206_49	1.682	0.1	0.1674	0.0	0.74	0.0724	0.0	1001.7	20	998.0	29	992	27	998.1	30.5
GR41A-15-206_48	1.787	0.1	0.1741	0.0	0.64	0.0742	0.0	1040.6	19	1034.7	29	1050	21	1034.1	30.4
GR41A-15-206_83	1.789	0.1	0.1753	0.0	0.74	0.0744	0.0	1041.6	18	1041.5	29	1051	19	1041.0	30.9
GR41A-15-206_44	1.829	0.1	0.1761	0.0	0.64	0.0748	0.0	1056.1	20	1045.7	31	1058	26	1044.9	32.6
GR41A-15-206_11	1.866	0.1	0.1786	0.0	0.59	0.0758	0.0	1069.0	18	1059.2	29	1088	22	1057.8	30.8
GR41A-15-206_66	2.144	0.1	0.1965	0.0	0.72	0.0795	0.0	1163.2	19	1156.4	32	1182	20	1154.9	34.0
GR41A-15-206_91	2.968	0.1	0.2111	0.0	0.32	0.1017	0.0	1399.5	25	1234.9	38	1648	30	1206.6	38.6
GR41A-15-206_71	2.402	0.1	0.2130	0.0	0.21	0.0822	0.0	1243.2	19	1245.0	35	1247	23	1244.7	37.2
GR41A-15-206_23	3.824	0.1	0.2503	0.0	0.19	0.1097	0.0	1597.9	25	1439.9	40	1789	26	1409.0	42.4
GR41A-15-206_8	3.415	0.1	0.2531	0.0	0.38	0.0977	0.0	1507.9	24	1454.6	45	1575	31	1444.2	48.5
GR41A-15-206_26	3.472	0.1	0.2595	0.0	0.66	0.0964	0.0	1521.0	23	1487.3	41	1558	22	1481.6	44.7
GR41A-15-206_2	3.358	0.1	0.2598	0.0	0.69	0.0936	0.0	1494.7	22	1488.8	41	1502	21	1487.8	44.3
GR41A-15-206_38	3.786	0.1	0.2657	0.0	0.75	0.1036	0.0	1589.8	23	1518.9	43	1693	21	1503.4	46.0
GR41A-15-206_68	3.701	0.1	0.2725	0.0	0.66	0.0987	0.0	1571.5	22	1553.7	41	1604	18	1549.6	45.2
GR41A-15-206_75	4.424	0.1	0.2964	0.0	0.75	0.1088	0.0	1716.8	23	1673.6	44	1778	17	1662.2	49.1
GR41A-15-206_51	5.232	0.2	0.3055	0.0	0.54	0.1243	0.0	1857.9	23	1718.4	45	2017	19	1681.7	49.3
GR41A-15-206_24	6.193	0.2	0.3141	0.0	0.31	0.1454	0.0	2003.5	25	1761.1	61	2260	43	1686.7	63.3
GR41A-15-206_52	7.820	0.3	0.3360	0.0	0.62	0.1692	0.0	2210.5	28	1867.6	53	2547	25	1752.5	56.2
GR41A-15-206_79	5.556	0.2	0.3322	0.0	0.71	0.1211	0.0	1909.3	24	1849.2	48	1971	17	1832.5	54.2
GR41A-15-206_29	7.573	0.2	0.3589	0.0	0.68	0.1536	0.0	2181.6	26	1976.9	54	2384	21	1905.2	57.7
GR41A-15-206_33	6.136	0.2	0.3560	0.0	0.66	0.1253	0.0	1995.4	25	1963.3	55	2032	23	1952.6	65.3
GR41A-15-206_43	9.846	0.3	0.4417	0.0	0.65	0.1619	0.0	2420.5	26	2358.3	60	2474	17	2328.5	76.6
GR41A-15-207_119	0.362	0.0	0.0404	0.0	0.47	0.0656	0.0	313.6	11	255.1	7.9	773	56	250.6	8.0
GR41A-15-207_53	0.305	0.0	0.0409	0.0	0.56	0.0534	0.0	270.6	7.2	258.7	8.8	351	33	258.0	8.7
GR41A-15-207_110	0.293	0.0	0.0411	0.0	0.64	0.0520	0.0	260.6	7.2	259.8	7.6	289	29	259.7	7.5
GR41A-15-207_13	0.296	0.0	0.0422	0.0	0.56	0.0511	0.0	263.2	7.5	266.3	8.3	243	40	266.5	8.7
GR41A-15-207_57	0.323	0.0	0.0430	0.0	0.46	0.0543	0.0	284.0	7.8	271.6	8.2	384	29	270.8	8.1
GR41A-15-207_38	0.310	0.0	0.0430	0.0	0.53	0.0515	0.0	274.4	7.6	271.6	8.3	258	37	271.7	8.7
GR41A-15-207_24	0.389	0.0	0.0504	0.0	0.28	0.0559	0.0	333.3	11	316.9	10	439	52	315.7	10.5
GR41A-15-207_33	0.561	0.0	0.0695	0.0	0.51	0.0588	0.0	452.4	12	433.0	14	554	38	431.3	14.0
GR41A-15-207_97	0.582	0.0	0.0739	0.0	0.42	0.0572	0.0	466.0	12	459.4	14	496	39	458.8	14.0
GR41A-15-207_96	0.639	0.0	0.0787	0.0	0.48	0.0590	0.0	501.5	14	488.5	15	558	38	487.3	15.1



Muestra	Razones							Edades Aparentes					Edad CPb <sup>c</sup>		
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$		rho	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$			
	2σ	2σ	2σ	2σ		(Ma)	2σ	(Ma)	2σ	(Ma)	2σ	(Ma)	2σ		
GR41A-15-207_15	0.628	0.0	0.0793	0.0	0.58	0.0577	0.0	495.0	12	492.0	15	525	30	491.5	15.2
GR41A-15-207_39	0.691	0.0	0.0800	0.0	0.29	0.0623	0.0	533.5	13	495.9	15	679	38	492.8	15.1
GR41A-15-207_87	0.639	0.0	0.0803	0.0	0.67	0.0575	0.0	501.5	12	497.7	15	509	25	497.4	15.1
GR41A-15-207_14	0.651	0.0	0.0809	0.0	0.67	0.0586	0.0	509.2	12	501.6	15	547	25	500.9	15.1
GR41A-15-207_88	0.664	0.0	0.0812	0.0	0.65	0.0597	0.0	517.3	14	503.3	15	586	35	501.9	15.1
GR41A-15-207_34	0.660	0.0	0.0822	0.0	0.66	0.0582	0.0	514.4	12	509.0	16	537	26	508.6	15.7
GR41A-15-207_25	0.668	0.0	0.0833	0.0	0.58	0.0580	0.0	519.7	12	515.8	15	526	28	515.7	15.7
GR41A-15-207_74	0.672	0.0	0.0836	0.0	0.52	0.0585	0.0	522.0	12	517.6	16	552	29	517.0	16.3
GR41A-15-207_58	0.673	0.0	0.0841	0.0	0.68	0.0578	0.0	522.6	11	520.4	14	523	21	520.4	15.1
GR41A-15-207_18	0.724	0.0	0.0847	0.0	0.54	0.0622	0.0	552.8	13	524.4	15	686	34	521.6	15.6
GR41A-15-207_8	0.692	0.0	0.0849	0.0	0.54	0.0597	0.0	534.1	13	525.5	16	596	31	524.4	15.7
GR41A-15-207_67	0.687	0.0	0.0850	0.0	0.63	0.0585	0.0	531.2	12	526.1	15	545	25	525.7	15.7
GR41A-15-207_48	0.696	0.0	0.0856	0.0	0.65	0.0585	0.0	536.4	13	529.5	16	548	28	529.1	16.3
GR41A-15-207_23	0.688	0.0	0.0859	0.0	0.57	0.0583	0.0	531.8	12	531.2	15	536	27	531.0	15.7
GR41A-15-207_9	0.734	0.0	0.0868	0.0	0.62	0.0619	0.0	559.0	13	536.8	16	671	24	534.4	16.2
GR41A-15-207_116	0.702	0.0	0.0870	0.0	0.69	0.0586	0.0	539.8	12	538.0	16	549	24	537.7	16.3
GR41A-15-207_50	0.714	0.0	0.0874	0.0	0.76	0.0593	0.0	547.2	14	540.2	17	575	27	539.5	17.5
GR41A-15-207_36	0.698	0.0	0.0873	0.0	0.65	0.0576	0.0	537.5	13	539.7	15	511	26	540.1	15.7
GR41A-15-207_91	0.719	0.0	0.0887	0.0	0.58	0.0589	0.0	550.0	13	548.1	16	561	25	547.9	16.3
GR41A-15-207_82	0.712	0.0	0.0888	0.0	0.74	0.0584	0.0	546.1	12	548.7	16	542	25	548.8	16.3
GR41A-15-207_79	0.723	0.0	0.0891	0.0	0.46	0.0586	0.0	552.3	14	550.4	16	550	36	550.3	16.3
GR41A-15-207_108	0.731	0.0	0.0894	0.0	0.57	0.0593	0.0	557.3	13	552.1	16	577	33	551.6	16.3
GR41A-15-207_56	0.719	0.0	0.0893	0.0	0.64	0.0582	0.0	550.0	13	551.5	16	538	28	551.7	16.9
GR41A-15-207_114	0.745	0.0	0.0901	0.0	0.49	0.0599	0.0	565.1	14	556.0	17	600	30	555.2	16.8
GR41A-15-207_84	0.734	0.0	0.0902	0.0	0.63	0.0587	0.0	559.0	12	556.6	17	557	26	556.6	16.9
GR41A-15-207_83	0.765	0.0	0.0916	0.0	0.42	0.0601	0.0	576.7	14	565.1	17	603	37	564.3	17.4
GR41A-15-207_60	0.776	0.0	0.0920	0.0	0.70	0.0607	0.0	583.3	14	567.3	17	626	29	566.2	17.4
GR41A-15-207_41	0.769	0.0	0.0921	0.0	0.68	0.0599	0.0	578.9	14	567.9	17	599	31	567.3	18.0
GR41A-15-207_21	0.766	0.0	0.0923	0.0	0.56	0.0601	0.0	577.3	13	569.0	17	609	28	568.3	16.8
GR41A-15-207_2	0.748	0.0	0.0930	0.0	0.71	0.0587	0.0	567.3	14	573.5	17	555	29	573.9	17.4
GR41A-15-207_6	0.743	0.0	0.0930	0.0	0.25	0.0586	0.0	564.0	14	573.5	17	552	45	573.9	16.9
GR41A-15-207_51	0.757	0.0	0.0937	0.0	0.44	0.0588	0.0	572.3	13	577.5	17	552	31	577.8	17.4
GR41A-15-207_71	0.819	0.0	0.0945	0.0	0.65	0.0627	0.0	607.6	17	581.9	18	695	39	579.7	18.5
GR41A-15-207_66	0.773	0.0	0.0941	0.0	0.68	0.0594	0.0	581.7	13	579.7	17	581	22	579.7	17.4
GR41A-15-207_62	0.774	0.0	0.0942	0.0	0.85	0.0594	0.0	582.2	16	580.3	19	581	28	580.2	19.8
GR41A-15-207_100	0.818	0.0	0.0972	0.0	0.61	0.0605	0.0	607.0	14	598.2	18	622	29	597.7	19.2
GR41A-15-207_68	0.830	0.0	0.0994	0.0	0.58	0.0607	0.0	613.4	13	611.1	18	625	25	610.8	17.9
GR41A-15-207_43	0.838	0.0	0.0997	0.0	0.76	0.0601	0.0	618.2	15	612.8	18	604	25	612.9	19.1
GR41A-15-207_111	0.852	0.0	0.1011	0.0	0.57	0.0610	0.0	625.5	14	620.6	18	639	28	620.3	19.1
GR41A-15-207_70	0.880	0.0	0.1025	0.0	0.65	0.0621	0.0	641.1	13	629.0	18	675	24	627.9	18.5
GR41A-15-207_85	0.920	0.0	0.1068	0.0	0.41	0.0623	0.0	662.5	15	654.1	20	681	34	653.4	20.2
GR41A-15-207_63	0.896	0.0	0.1071	0.0	0.56	0.0601	0.0	649.8	14	655.7	20	601	28	656.8	20.3
GR41A-15-207_37	0.918	0.0	0.1079	0.0	0.69	0.0609	0.0	661.5	16	660.7	20	629	34	661.3	21.4
GR41A-15-207_64	1.014	0.0	0.1120	0.0	0.64	0.0654	0.0	710.8	15	684.5	20	786	23	682.1	20.7
GR41A-15-207_40	1.022	0.0	0.1138	0.0	0.78	0.0653	0.0	714.7	17	694.5	21	781	28	692.3	21.9
GR41A-15-207_73	1.063	0.0	0.1201	0.0	0.62	0.0647	0.0	735.1	15	731.4	21	766	22	730.5	21.2
GR41A-15-207_35	1.197	0.0	0.1325	0.0	0.55	0.0655	0.0	799.3	16	801.9	23	791	27	802.2	23.5
GR41A-15-207_3	1.237	0.0	0.1351	0.0	0.87	0.0673	0.0	817.7	20	817.1	27	842	24	816.2	27.5
GR41A-15-207_1	1.202	0.0	0.1351	0.0	0.77	0.0646	0.0	801.5	17	817.1	25	755	29	818.7	25.8
GR41A-15-207_76	1.359	0.0	0.1398	0.0	0.67	0.0698	0.0	871.2	19	843.6	25	919	28	841.0	25.6
GR41A-15-207_55	1.329	0.0	0.1409	0.0	0.74	0.0686	0.0	858.4	17	850.0	24	885	22	848.9	25.1
GR41A-15-207_30	1.544	0.0	0.1470	0.0	0.76	0.0753	0.0	948.0	19	883.9	25	1079	24	876.9	26.0
GR41A-15-207_26	1.487	0.1	0.1489	0.0	0.96	0.0717	0.0	925.3	29	894.6	37	978	26	891.7	38.2
GR41A-15-207_69	1.716	0.1	0.1554	0.0	0.36	0.0788	0.0	1014.4	21	930.9	30	1156	42	921.5	31.0
GR41A-15-207_92	1.723	0.1	0.1564	0.0	0.47	0.0797	0.0	1017.2	19	936.8	30	1186	37	926.6	30.9
GR41A-15-207_102	1.649	0.1	0.1573	0.0	0.67	0.0758	0.0	989.1	19	941.6	27	1093	23	935.7	28.2
GR41A-15-207_75	1.732	0.1	0.1592	0.0	0.77	0.0790	0.0	1020.4	20	952.2	28	1169	24	943.2	28.6
GR41A-15-207_46	1.651	0.1	0.1628	0.0	0.52	0.0725	0.0	989.8	19	972.3	28	997	26	971.2	29.4
GR41A-15-207_10	1.781	0.1	0.1645	0.0	0.57	0.0782	0.0	1038.7	19	981.8	29	1148	27	974.7	30.3
GR41A-15-207_81	1.687	0.1	0.1639	0.0	0.58	0.0748	0.0	1003.6	19	978.7	28	1059	29	975.2	29.3
GR41A-15-207_59	1.705	0.1	0.1651	0.0	0.60	0.0744	0.0	1010.4	19	985.0	28	1052	26	982.2	29.9
GR41A-15-207_5	1.632	0.1	0.1664	0.0	0.74	0.0718	0.0	982.5	19	992.4	29	985	23	992.9	29.9

Muestra	Razones							Edades Aparentes					Edad CPb <sup>c</sup>		
	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		rho	<sup>207</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb			
	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		<sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		
(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)			
GR41A-15-207_42	1.679	0.1	0.1677	0.0	0.66	0.0719	0.0	1000.7	19	999.3	28	984	22	999.9	29.3
GR41A-15-207_29	1.913	0.1	0.1706	0.0	0.55	0.0814	0.0	1085.7	19	1015.6	29	1228	25	1005.8	30.2
GR41A-15-207_103	1.703	0.1	0.1702	0.0	0.53	0.0719	0.0	1009.7	19	1013.5	30	994	26	1014.7	31.6
GR41A-15-207_112	1.776	0.1	0.1710	0.0	0.67	0.0755	0.0	1036.6	19	1017.7	30	1080	27	1014.9	30.9
GR41A-15-207_86	1.821	0.1	0.1722	0.0	0.60	0.0766	0.0	1052.9	21	1024.0	29	1106	30	1020.2	30.9
GR41A-15-207_19	1.776	0.1	0.1722	0.0	0.41	0.0739	0.0	1036.6	20	1024.5	30	1049	34	1023.9	31.6
GR41A-15-207_54	1.878	0.1	0.1732	0.0	0.79	0.0782	0.0	1073.3	20	1029.7	31	1148	27	1024.3	32.5
GR41A-15-207_72	1.939	0.1	0.1744	0.0	0.70	0.0801	0.0	1094.7	21	1036.6	30	1196	27	1029.1	31.9
GR41A-15-207_95	1.854	0.1	0.1741	0.0	0.63	0.0771	0.0	1064.9	18	1034.5	29	1120	21	1030.5	30.8
GR41A-15-207_65	1.823	0.1	0.1757	0.0	0.68	0.0747	0.0	1053.6	19	1043.4	30	1057	25	1042.7	32.1
GR41A-15-207_107	1.871	0.1	0.1770	0.0	0.71	0.0768	0.0	1071.0	20	1050.7	30	1118	21	1047.7	31.4
GR41A-15-207_11	1.806	0.1	0.1766	0.0	0.65	0.0742	0.0	1047.7	18	1048.6	29	1045	21	1048.6	30.9
GR41A-15-207_101	1.864	0.1	0.1806	0.0	0.68	0.0747	0.0	1068.3	21	1070.5	31	1062	29	1071.0	32.6
GR41A-15-207_93	2.028	0.1	0.1820	0.0	0.65	0.0805	0.0	1124.9	19	1077.8	30	1206	22	1071.5	31.2
GR41A-15-207_106	1.979	0.1	0.1836	0.0	0.67	0.0775	0.0	1108.4	19	1086.6	32	1134	22	1084.4	33.0
GR41A-15-207_17	2.019	0.1	0.1896	0.0	0.68	0.0774	0.0	1122.0	19	1119.3	32	1128	22	1118.8	33.6
GR41A-15-207_49	2.181	0.1	0.1952	0.0	0.72	0.0806	0.0	1174.9	19	1149.2	33	1213	21	1146.0	34.0
GR41A-15-207_28	2.101	0.1	0.1952	0.0	0.74	0.0778	0.0	1149.2	20	1149.2	31	1143	22	1149.7	34.1
GR41A-15-207_4	2.178	0.1	0.2011	0.0	0.76	0.0794	0.0	1173.9	21	1181.1	34	1181	22	1181.0	36.2
GR41A-15-207_12	3.246	0.1	0.2138	0.0	0.86	0.1100	0.0	1468.2	25	1248.8	38	1799	20	1209.3	39.3
GR41A-15-207_32	2.436	0.1	0.2194	0.0	0.65	0.0801	0.0	1253.4	21	1278.7	35	1198	25	1283.5	38.4
GR41A-15-207_27	3.933	0.1	0.2363	0.0	0.15	0.1227	0.0	1620.6	23	1367.3	49	1977	53	1312.7	51.2
GR41A-15-207_89	4.831	0.5	0.2662	0.0	0.77	0.1372	0.0	1790.3	84	1521.7	69	2155	98	1449.0	69.6
GR41A-15-207_44	4.487	0.1	0.2691	0.0	0.23	0.1380	0.0	1728.6	24	1536.3	71	1996	83	1462.8	76.3
GR41A-15-207_16	3.349	0.1	0.2573	0.0	0.72	0.0945	0.0	1492.6	22	1475.9	40	1516	18	1472.5	43.7
GR41A-15-207_115	4.325	0.1	0.2729	0.0	0.38	0.1155	0.0	1698.1	24	1555.6	53	1878	37	1522.3	54.1
GR41A-15-207_90	4.306	0.2	0.2853	0.0	0.95	0.1087	0.0	1694.5	35	1618.2	51	1776	29	1601.8	54.5
GR41A-15-207_105	4.955	0.2	0.2952	0.0	0.82	0.1214	0.0	1811.7	24	1667.3	45	1978	17	1631.7	49.4
GR41A-15-207_99	8.325	0.3	0.3226	0.0	0.57	0.1859	0.0	2267.0	28	1802.2	62	2699	33	1649.5	60.1
GR41A-15-207_104	4.449	0.1	0.3021	0.0	0.72	0.1073	0.0	1721.5	24	1701.9	45	1753	19	1696.1	50.9
GR41A-15-207_78	5.289	0.2	0.3292	0.0	0.61	0.1158	0.0	1867.1	30	1834.7	57	1889	32	1827.1	65.5
GR41A-15-207_7	6.005	0.2	0.3579	0.0	0.78	0.1215	0.0	1976.6	24	1972.0	51	1977	16	1971.1	60.1
GR41A-15-207_22	6.444	0.2	0.3645	0.0	0.74	0.1279	0.0	2038.3	24	2003.7	52	2070	18	1993.1	59.8
GR41A-15-207_113	6.521	0.2	0.3703	0.0	0.72	0.1281	0.0	2048.7	25	2030.6	55	2072	20	2023.8	65.4
GR41A-15-207_47	6.883	0.2	0.3789	0.0	0.72	0.1314	0.0	2096.5	26	2070.9	55	2116	21	2063.0	65.5
GR41A-15-207_98	9.547	0.3	0.4113	0.0	0.39	0.1682	0.0	2392.1	26	2220.9	58	2536	25	2147.9	68.8
GR41A-15-207_20	14.196	0.4	0.4819	0.0	0.32	0.2175	0.0	2762.9	28	2535.6	85	2940	42	2385.9	100.0
GR41A-15-207_77	13.366	0.4	0.4905	0.0	0.59	0.1963	0.0	2705.8	26	2572.9	65	2796	19	2495.9	81.9
GR41A-15-274_1	0.913	0.0	0.1070	0.0	0.72	0.0620	0.0	658.4	8.4	655.2	10	671	18	654.9	10.7
GR41A-15-274_2	0.861	0.0	0.1022	0.0	0.54	0.0612	0.0	630.4	7.6	627.2	9.2	643	19	626.9	9.6
GR41A-15-274_3	0.781	0.0	0.0892	0.0	0.51	0.0636	0.0	585.9	8.9	551.0	8.5	722	33	547.7	8.4
GR41A-15-274_4	0.795	0.0	0.0973	0.0	0.23	0.0592	0.0	594.1	9.2	598.6	9.2	568	36	599.0	9.6
GR41A-15-274_5	1.141	0.0	0.1269	0.0	0.45	0.0650	0.0	772.8	8.7	769.9	11	774	20	769.7	11.8
GR41A-15-274_6	1.716	0.0	0.1681	0.0	0.93	0.0742	0.0	1014.7	15	1001.7	19	1045	18	999.8	20.1
GR41A-15-274_7	0.936	0.0	0.1093	0.0	0.75	0.0621	0.0	670.6	8.0	668.6	10	674	22	668.5	10.7
GR41A-15-274_8	1.647	0.0	0.1622	0.0	0.89	0.0734	0.0	988.4	14	968.8	19	1024	19	966.5	20.1
GR41A-15-274_9	0.905	0.0	0.0918	0.0	0.69	0.0718	0.0	654.3	10	566.3	10	980	27	557.7	10.1
GR41A-15-274_10	0.782	0.0	0.0949	0.0	0.89	0.0596	0.0	586.4	8.7	584.4	9.4	586	22	584.4	9.6
GR41A-15-274_11	0.843	0.0	0.1003	0.0	0.52	0.0610	0.0	620.9	7.2	616.0	8.9	636	20	615.6	9.0
GR41A-15-274_12	0.725	0.0	0.0903	0.0	0.36	0.0581	0.0	553.5	8.3	557.3	8.5	530	32	557.7	8.5
GR41A-15-274_14	1.687	0.0	0.1637	0.0	0.91	0.0748	0.0	1003.4	10	977.3	15	1063	16	973.8	14.9
GR41A-15-274_15	6.209	0.1	0.3609	0.0	0.73	0.1245	0.0	2005.7	14	1986.4	26	2020	14	1981.0	30.0
GR41A-15-274_16	3.502	0.1	0.2576	0.0	0.87	0.0979	0.0	1527.7	14	1477.7	23	1583	18	1468.7	24.8
GR41A-15-274_17	1.177	0.0	0.1293	0.0	0.43	0.0659	0.0	790.0	9.8	784.1	12	804	26	783.6	12.3
GR41A-15-274_19	0.723	0.0	0.0894	0.0	0.36	0.0585	0.0	552.4	7.8	552.2	8.4	548	27	552.2	8.4
GR41A-15-274_20	5.462	0.1	0.3286	0.0	0.74	0.1202	0.0	1894.6	13	1831.8	25	1959	14	1814.9	28.2
GR41A-15-274_21	1.754	0.0	0.1687	0.0	0.61	0.0753	0.0	1028.6	9.8	1004.9	14	1075	16	1001.9	14.9
GR41A-15-274_22	1.830	0.0	0.1761	0.0	0.63	0.0748	0.0	1056.3	11	1045.5	16	1066	19	1044.7	16.0
GR41A-15-274_23	2.652	0.0	0.2205	0.0	0.69	0.0867	0.0	1315.2	12	1284.5	19	1355	19	1280.1	20.2
GR41A-15-274_24	0.809	0.0	0.0966	0.0	0.52	0.0601	0.0	601.7	7.2	594.6	8.6	607	19	594.3	9.0
GR41A-15-274_25	10.425	0.2	0.4669	0.0	0.64	0.1610	0.0	2473.3	14	2470.0	32	2467	14	2471.1	41.9
GR41A-15-274_26	0.844	0.0	0.1003	0.0	0.41	0.0610	0.0	621.5	7.9	616.0	9.0	638	24	615.5	9.0

Muestra	Razones							Edades Aparentes					Edad CPb <sup>c</sup>		
	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		rho	<sup>207</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb			
	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		<sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		
(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)			
GR41A-15-274_27	2.720	0.0	0.2300	0.0	0.64	0.0858	0.0	1334.0	12	1334.5	19	1333	17	1334.5	20.7
GR41A-15-274_28	2.713	0.1	0.2233	0.0	0.63	0.0881	0.0	1331.9	14	1299.2	20	1382	24	1293.6	21.8
GR41A-15-274_29	0.179	0.0	0.0255	0.0	0.61	0.0507	0.0	166.9	3.0	162.6	2.6	226	29	162.3	2.6
GR41A-15-274_30	5.953	0.1	0.3442	0.0	0.71	0.1249	0.0	1969.0	13	1906.8	25	2028	13	1889.2	28.7
GR41A-15-274_31	0.670	0.0	0.0829	0.0	0.20	0.0582	0.0	520.7	6.9	513.4	7.5	539	25	513.1	7.9
GR41A-15-274_32	1.174	0.0	0.1160	0.0	0.25	0.0730	0.0	788.7	10	707.5	13	1010	33	699.2	13.5
GR41A-15-274_33	1.818	0.0	0.1787	0.0	0.40	0.0737	0.0	1052.1	11	1059.7	16	1033	23	1060.9	16.6
GR41A-15-274_34	0.830	0.0	0.0995	0.0	0.54	0.0603	0.0	613.5	8.0	611.5	9.2	611	23	611.5	9.6
GR41A-15-274_35	6.806	0.1	0.3804	0.0	0.64	0.1286	0.0	2086.5	13	2078.0	27	2079	15	2077.8	33.0
GR41A-15-274_36	2.324	0.0	0.2084	0.0	0.53	0.0804	0.0	1219.6	11	1220.4	17	1208	17	1221.1	18.1
GR41A-15-274_37	0.866	0.0	0.1043	0.0	0.76	0.0599	0.0	633.6	8.6	639.6	9.7	602	24	640.4	10.2
GR41A-15-274_38	1.880	0.0	0.1815	0.0	0.58	0.0749	0.0	1074.1	11	1075.4	15	1066	18	1075.8	16.0
GR41A-15-274_39	2.068	0.0	0.1910	0.0	0.81	0.0784	0.0	1138.2	13	1127.0	17	1158	20	1125.6	17.6
GR41A-15-274_40	1.823	0.0	0.1776	0.0	0.71	0.0743	0.0	1053.8	11	1053.9	16	1047	18	1054.1	16.6
GR41A-15-274_41	2.384	0.0	0.2041	0.0	0.77	0.0841	0.0	1237.9	12	1197.3	18	1294	17	1191.7	18.6
GR41A-15-274_42	0.857	0.0	0.1027	0.0	0.42	0.0604	0.0	628.3	7.7	630.0	9.2	616	21	630.3	9.6
GR41A-15-274_43	1.870	0.0	0.1825	0.0	0.75	0.0736	0.0	1070.7	18	1080.6	21	1037	35	1082.9	21.8
GR41A-15-274_44	0.728	0.0	0.0888	0.0	0.35	0.0592	0.0	555.2	6.8	548.2	8.3	572	19	547.7	8.4
GR41A-15-274_45	0.883	0.0	0.1044	0.0	0.48	0.0609	0.0	642.5	7.8	640.1	9.8	639	23	640.3	10.2
GR41A-15-274_46	1.662	0.0	0.1668	0.0	0.47	0.0719	0.0	994.3	10	994.3	14	984	20	994.8	15.0
GR41A-15-274_47	0.788	0.0	0.0944	0.0	0.77	0.0601	0.0	590.3	8.8	581.6	9.1	605	28	581.1	9.0
GR41A-15-274_48	6.255	0.1	0.3449	0.0	0.71	0.1307	0.0	2012.2	13	1910.0	25	2107	13	1880.4	28.5
GR41A-15-274_49	1.571	0.0	0.1566	0.0	0.52	0.0725	0.0	958.8	12	937.8	14	1000	29	935.5	14.5
GR41A-15-274_50	11.320	0.2	0.4636	0.0	0.49	0.1763	0.0	2549.9	16	2455.2	34	2617	16	2407.7	41.8
GR41A-15-274_51	7.528	0.1	0.3778	0.0	0.48	0.1438	0.0	2176.3	13	2065.9	28	2273	14	2028.1	32.2
GR41A-15-274_53	0.742	0.0	0.0905	0.0	0.51	0.0592	0.0	563.7	7.1	558.4	8.5	573	20	558.1	8.4
GR41A-15-274_54	0.273	0.0	0.0387	0.0	0.38	0.0508	0.0	244.8	3.6	244.6	3.7	232	25	244.7	3.8
GR41A-15-274_55	0.728	0.0	0.0898	0.0	0.76	0.0586	0.0	555.2	7.0	554.4	8.5	555	20	554.5	8.4
GR41A-15-274_56	0.771	0.0	0.0913	0.0	0.15	0.0609	0.0	580.4	10	563.5	8.6	626	37	562.2	9.0
GR41A-15-274_57	0.911	0.0	0.1061	0.0	0.49	0.0619	0.0	657.4	8.8	650.2	10	672	26	649.8	10.7
GR41A-15-274_58	0.877	0.0	0.1041	0.0	0.36	0.0609	0.0	639.3	10	638.5	9.9	636	35	638.5	10.2
GR41A-15-274_59	12.909	0.2	0.4471	0.0	0.48	0.2101	0.0	2673.0	15	2382.5	49	2899	31	2225.7	56.9
GR41A-15-274_60	13.063	0.2	0.4618	0.0	0.84	0.2037	0.0	2684.2	15	2447.6	33	2856	13	2320.0	40.2
GR41A-15-274_61	4.788	0.1	0.2926	0.0	0.82	0.1183	0.0	1782.8	14	1654.3	25	1930	17	1623.4	27.0
GR41A-15-274_62	5.051	0.1	0.3126	0.0	0.70	0.1165	0.0	1827.9	13	1753.6	24	1904	14	1735.4	26.1
GR41A-15-274_63	0.749	0.0	0.0915	0.0	0.51	0.0592	0.0	567.6	7.4	564.6	8.3	570	24	564.5	8.4
GR41A-15-274_64	0.861	0.0	0.1008	0.0	0.56	0.0617	0.0	630.4	9.4	618.8	10	660	29	617.9	10.8
GR41A-15-274_65	5.176	0.1	0.3284	0.0	0.64	0.1136	0.0	1848.7	13	1830.4	25	1857	15	1826.9	27.9
GR41A-15-274_66	1.115	0.0	0.1254	0.0	0.66	0.0654	0.0	760.7	11	761.3	12	786	29	760.6	12.4
GR41A-15-274_67	1.457	0.0	0.1509	0.0	0.66	0.0715	0.0	912.9	11	906.2	14	969	21	903.9	15.1
GR41A-15-274_68	1.616	0.0	0.1569	0.0	0.14	0.0758	0.0	976.6	13	939.7	16	1087	29	933.8	16.7
GR41A-15-274_70	1.738	0.0	0.1724	0.0	0.58	0.0749	0.0	1022.7	11	1025.3	15	1064	20	1023.5	16.1
GR41A-15-274_72	1.639	0.0	0.1604	0.0	0.71	0.0748	0.0	985.2	18	959.0	18	1057	29	954.8	19.0
GR41A-15-274_73	1.468	0.0	0.1544	0.0	0.55	0.0703	0.0	917.5	10	925.6	14	937	20	925.2	14.5
GR41A-15-274_74	0.989	0.0	0.1138	0.0	0.67	0.0643	0.0	698.4	9.1	695.0	11	748	21	693.6	11.3
GR41A-15-274_75	0.495	0.0	0.0656	0.0	0.48	0.0554	0.0	408.1	6.7	409.5	6.4	426	28	409.3	6.7
GR41A-15-274_76	0.844	0.0	0.1021	0.0	0.31	0.0606	0.0	621.4	8.8	626.8	10	622	31	626.9	10.8
GR41A-15-274_77	0.883	0.0	0.1040	0.0	0.13	0.0633	0.0	642.4	11	637.8	12	708	38	636.0	12.5
GR41A-15-274_78	1.922	0.0	0.1811	0.0	0.24	0.0788	0.0	1088.7	13	1073.0	16	1162	26	1068.5	17.1
GR41A-15-274_79	4.375	0.1	0.2849	0.0	0.85	0.1136	0.0	1707.6	16	1616.1	28	1857	18	1590.6	30.4
GR41A-15-274_80	0.821	0.0	0.0973	0.0	0.31	0.0619	0.0	608.7	7.4	598.8	9.0	671	23	597.4	9.0
GR41A-15-274_81	0.714	0.0	0.0854	0.0	0.40	0.0623	0.0	547.4	11	528.5	9.4	677	45	525.8	9.6
GR41A-15-274_82	0.661	0.0	0.0840	0.0	0.37	0.0581	0.0	515.3	7.5	520.2	8.4	532	30	520.0	8.5
GR41A-15-274_83	6.400	0.1	0.3602	0.0	0.86	0.1321	0.0	2032.2	17	1983.3	34	2125	16	1960.3	39.4
GR41A-15-274_84	4.493	0.1	0.2918	0.0	0.80	0.1133	0.0	1729.6	13	1650.3	24	1853	14	1628.3	26.1
GR41A-15-274_85	0.504	0.0	0.0671	0.0	0.57	0.0556	0.0	414.3	6.9	418.6	6.8	438	30	418.3	6.7
GR41A-15-274_86	0.847	0.0	0.1025	0.0	0.32	0.0612	0.0	622.9	9.8	629.0	10	647	32	628.7	10.2
GR41A-15-274_87	6.243	0.1	0.3564	0.0	0.29	0.1299	0.0	2010.5	15	1965.1	30	2088	18	1944.5	35.2
GR41A-15-274_88	7.512	0.1	0.3734	0.0	0.73	0.1496	0.0	2174.5	18	2045.2	29	2339	18	1991.0	33.0
GR41A-15-274_89	2.304	0.0	0.2057	0.0	0.58	0.0825	0.0	1213.6	12	1205.6	18	1258	20	1202.6	19.2
GR41A-15-274_90	1.743	0.0	0.1730	0.0	0.67	0.0748	0.0	1024.7	11	1028.4	16	1062	22	1026.9	17.2
GR41A-15-274_91	5.533	0.1	0.3274	0.0	0.72	0.1253	0.0	1905.7	15	1825.6	28	2031	18	1797.5	31.8

Muestra	Razones							Edades Aparentes						Edad CPb <sup>c</sup>	
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$		rho	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$			
	2σ	2σ	2σ	2σ		2σ	2σ	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)		
GR41A-15-274_92	0.800	0.0	0.0971	0.0	0.64	0.0609	0.0	596.8	7.5	597.2	9.3	635	19	596.4	9.6
GR41A-15-274_93	1.699	0.0	0.1665	0.0	0.64	0.0750	0.0	1008.2	11	992.7	15	1070	19	989.6	16.1
GR41A-15-274_94	1.730	0.0	0.1725	0.0	0.68	0.0739	0.0	1019.9	11	1025.8	15	1040	18	1025.2	16.1
GR41A-15-274_95	0.809	0.0	0.0991	0.0	0.34	0.0606	0.0	602.0	8.5	609.3	9.9	625	28	609.0	10.2
GR41A-15-274_96	0.964	0.0	0.1144	0.0	0.50	0.0624	0.0	685.2	10	698.2	11	686	28	698.5	11.3
GR41A-15-274_97	0.936	0.0	0.1106	0.0	0.52	0.0628	0.0	670.8	7.8	676.0	10	701	18	675.3	10.7
GR41A-15-274_98	0.753	0.0	0.0930	0.0	0.50	0.0601	0.0	570.0	7.8	573.5	9.1	605	24	572.9	9.6
GR41A-15-274_99	5.442	0.1	0.3406	0.0	0.76	0.1185	0.0	1891.6	14	1889.4	26	1932	16	1883.2	30.0
GR41A-15-274_101	1.685	0.0	0.1670	0.0	0.51	0.0744	0.0	1003.0	11	995.3	15	1051	21	992.9	15.5
GR41A-15-274_102	0.706	0.0	0.0869	0.0	0.47	0.0600	0.0	542.5	7.9	536.9	8.5	601	25	535.7	8.4
GR41A-15-274_103	0.316	0.0	0.0398	0.0	0.42	0.0584	0.0	278.7	7.4	251.7	4.8	568	49	249.5	4.8
GR41A-15-274_104	5.831	0.1	0.3525	0.0	0.64	0.1222	0.0	1951.1	14	1946.4	26	1989	14	1940.0	30.0
GR41A-15-274_105	0.907	0.0	0.1077	0.0	0.52	0.0622	0.0	655.3	8.9	659.6	9.8	681	24	659.1	10.1
GR41A-16-032_1	10.568	0.2	0.4405	0.0	0.72	0.1742	0.0	2485.9	20	2352.8	35	2599	12	2288.2	42.9
GR41A-16-032_2	0.853	0.0	0.1010	0.0	0.23	0.0611	0.0	626.4	11	620.3	11	637	26	619.8	10.8
GR41A-16-032_3	2.008	0.0	0.1898	0.0	0.32	0.0763	0.0	1118.1	15	1120.4	18	1111	24	1121.2	19.4
GR41A-16-032_4	0.681	0.0	0.0850	0.0	0.43	0.0577	0.0	527.3	9.9	526.1	9.3	519	28	526.3	9.7
GR41A-16-032_5	0.744	0.0	0.0913	0.0	0.24	0.0591	0.0	564.9	10	563.1	9.6	571	28	562.9	9.6
GR41A-16-032_6	2.681	0.1	0.1921	0.0	0.93	0.1019	0.0	1323.2	26	1132.7	29	1656	24	1101.0	30.4
GR41A-16-032_7	0.722	0.0	0.0868	0.0	0.64	0.0599	0.0	551.6	9.3	536.8	9.1	602	17	535.7	9.0
GR41A-16-032_8	1.728	0.0	0.1699	0.0	0.64	0.0735	0.0	1019.1	14	1011.5	16	1027	16	1010.8	17.2
GR41A-16-032_10	0.750	0.0	0.0914	0.0	0.54	0.0590	0.0	568.2	9.8	563.6	9.4	567	20	563.6	9.6
GR41A-16-032_11	0.804	0.0	0.0975	0.0	0.71	0.0598	0.0	599.1	10	599.8	10	594	16	599.9	10.2
GR41A-16-032_12	0.796	0.0	0.0945	0.0	0.91	0.0611	0.0	594.8	9.9	582.0	10	642	15	580.8	10.2
GR41A-16-032_13	0.499	0.0	0.0655	0.0	0.03	0.0549	0.0	411.1	9.4	408.9	7.3	407	45	408.9	7.4
GR41A-16-032_14	1.684	0.0	0.1667	0.0	0.49	0.0730	0.0	1002.4	14	993.7	16	1014	18	992.9	17.3
GR41A-16-032_15	0.723	0.0	0.0884	0.0	0.61	0.0593	0.0	552.2	9.5	546.3	9.2	577	19	545.7	9.6
GR41A-16-032_16	1.019	0.0	0.1169	0.0	0.46	0.0634	0.0	713.4	14	712.6	12	725	34	712.3	12.4
GR41A-16-032_17	7.282	0.2	0.3914	0.0	0.65	0.1345	0.0	2146.6	19	2129.5	32	2156	15	2124.3	40.0
GR41A-16-032_18	1.752	0.0	0.1723	0.0	0.67	0.0739	0.0	1027.8	14	1025.0	16	1037	15	1024.4	17.2
GR41A-16-032_19	18.778	0.4	0.5962	0.0	0.67	0.2271	0.0	3030.5	20	3014.5	42	3031	11	3003.9	71.3
GR41A-16-032_20	1.011	0.0	0.1082	0.0	0.40	0.0679	0.0	709.5	13	662.2	11	865	30	657.3	11.8
GR41A-16-032_21	0.873	0.0	0.1037	0.0	0.35	0.0610	0.0	637.2	11	636.3	11	636	18	636.3	11.3
GR41A-16-032_24	1.639	0.0	0.1650	0.0	0.76	0.0716	0.0	985.4	14	984.3	16	973	17	984.7	17.3
GR41A-16-032_25	1.490	0.0	0.1542	0.0	0.40	0.0697	0.0	926.5	15	924.5	15	917	29	924.6	16.2
GR41A-16-032_26	12.632	0.3	0.4750	0.0	0.93	0.1923	0.0	2652.6	24	2505.3	43	2763	12	2423.2	48.0
GR41A-16-032_27	0.831	0.0	0.0992	0.0	0.65	0.0609	0.0	614.4	10	609.8	10	634	16	609.3	10.8
GR41A-16-032_28	2.255	0.1	0.2029	0.0	0.80	0.0807	0.0	1198.2	16	1190.7	20	1215	17	1189.3	20.9
GR41A-16-032_29	0.905	0.0	0.1054	0.0	0.46	0.0624	0.0	654.5	11	646.2	11	686	21	645.4	11.3
GR41A-16-032_30	5.928	0.1	0.3556	0.0	0.71	0.1204	0.0	1965.3	19	1961.5	31	1964	16	1961.4	36.2
GR41A-16-032_31	0.658	0.0	0.0824	0.0	0.40	0.0576	0.0	513.5	8.8	510.4	8.7	516	20	510.3	9.1
GR41A-16-032_32	0.767	0.0	0.0930	0.0	0.29	0.0597	0.0	578.1	11	573.1	10	589	31	572.7	10.2
GR41A-16-032_33	0.850	0.0	0.1027	0.0	0.40	0.0599	0.0	624.8	11	630.2	10	599	24	630.9	10.8
GR41A-16-032_34	0.751	0.0	0.0921	0.0	0.36	0.0592	0.0	568.8	11	568.1	9.9	574	31	568.0	10.2
GR41A-16-032_35	0.767	0.0	0.0932	0.0	0.33	0.0598	0.0	578.1	9.7	574.2	9.6	601	21	573.8	9.6
GR41A-16-032_36	3.109	0.1	0.2461	0.0	0.71	0.0915	0.0	1434.9	17	1418.5	22	1457	14	1415.6	24.4
GR41A-16-032_37	1.510	0.0	0.1526	0.0	0.58	0.0714	0.0	934.6	14	915.5	15	971	20	913.5	16.2
GR41A-16-032_38	2.139	0.1	0.1964	0.0	0.40	0.0787	0.0	1161.5	16	1156.1	19	1166	21	1155.7	20.4
GR41A-16-032_39	0.771	0.0	0.0927	0.0	0.48	0.0601	0.0	580.2	9.8	571.4	9.8	605	20	570.8	10.2
GR41A-16-032_40	1.770	0.0	0.1725	0.0	0.53	0.0742	0.0	1034.5	15	1026.0	19	1046	19	1025.1	19.5
GR41A-16-032_41	1.786	0.0	0.1743	0.0	0.56	0.0737	0.0	1040.3	14	1035.9	17	1031	17	1036.0	18.3
GR41A-16-032_42	0.816	0.0	0.0982	0.0	0.51	0.0601	0.0	606.0	11	603.7	11	603	25	603.6	10.8
GR41A-16-032_43	0.782	0.0	0.0948	0.0	0.61	0.0601	0.0	586.7	10	583.7	10	607	17	583.2	10.2
GR41A-16-032_44	0.704	0.0	0.0853	0.0	0.85	0.0598	0.0	540.9	9.2	527.8	9.2	596	16	526.6	9.6
GR41A-16-032_45	0.837	0.0	0.0998	0.0	0.11	0.0609	0.0	617.5	10	613.1	10	635	18	612.6	10.2
GR41A-16-032_46	11.363	0.3	0.4438	0.0	0.72	0.1858	0.0	2553.4	20	2367.6	34	2705	11	2274.3	40.6
GR41A-16-032_47	0.859	0.0	0.1025	0.0	0.50	0.0609	0.0	629.5	11	629.1	11	633	22	629.0	10.8
GR41A-16-032_48	0.780	0.0	0.0917	0.0	0.92	0.0618	0.0	585.6	9.7	565.8	9.5	667	15	563.9	9.6
GR41A-16-032_50	0.791	0.0	0.0974	0.0	0.15	0.0591	0.0	591.6	11	599.2	12	569	29	599.8	12.0
GR41A-16-032_51	0.839	0.0	0.1006	0.0	0.51	0.0602	0.0	618.6	11	618.1	11	609	23	618.2	10.8
GR41A-16-032_52	5.483	0.1	0.3107	0.0	0.65	0.1271	0.0	1897.9	19	1744.0	28	2057	13	1704.1	30.5
GR41A-16-032_53	0.729	0.0	0.0882	0.0	0.77	0.0602	0.0	556.0	9.2	544.6	9.3	608	15	543.5	9.6

Muestra	Razones							Edades Aparentes					Edad CPb <sup>c</sup>		
	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		rho	<sup>207</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb			
	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		<sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		
(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)		(Ma)					
GR41A-16-032_54	0.827	0.0	0.0945	0.0	0.09	0.0640	0.0	611.8	12	582.0	11	734	30	578.8	10.8
GR41A-16-032_55	4.962	0.1	0.3135	0.0	0.72	0.1144	0.0	1812.9	18	1757.9	27	1870	11	1744.3	30.4
GR41A-16-032_56	7.377	0.2	0.3819	0.0	0.76	0.1405	0.0	2158.1	19	2085.2	31	2233	11	2058.1	36.2
GR41A-16-032_58	0.660	0.0	0.0834	0.0	0.37	0.0573	0.0	514.6	9.2	516.6	9.0	499	26	516.8	9.1
GR41A-16-032_59	1.276	0.0	0.1328	0.0	0.68	0.0700	0.0	834.9	13	804.1	14	926	19	800.2	14.0
GR41A-16-032_60	2.634	0.1	0.2240	0.0	0.75	0.0852	0.0	1310.3	16	1303.1	21	1320	16	1301.9	22.4
GR41A-16-032_61	4.326	0.1	0.2901	0.0	0.73	0.1080	0.0	1698.3	17	1641.9	26	1765	12	1629.0	28.4
GR41A-16-032_62	1.124	0.0	0.1252	0.0	0.55	0.0651	0.0	764.9	12	760.4	13	775	17	759.9	13.5
GR41A-16-032_63	0.842	0.0	0.1006	0.0	0.80	0.0607	0.0	620.2	10	618.1	10	627	18	617.9	10.8
GR41A-16-032_64	2.357	0.1	0.2068	0.0	0.75	0.0828	0.0	1229.7	16	1211.9	20	1267	16	1208.9	21.4
GR41A-16-032_65	0.732	0.0	0.0897	0.0	0.56	0.0589	0.0	557.9	9.2	553.6	9.2	565	18	553.4	9.6
GR41A-16-032_66	2.257	0.0	0.1991	0.0	0.69	0.0817	0.0	1199.1	15	1170.2	19	1238	14	1166.6	19.8
GR41A-16-032_67	11.640	0.3	0.4676	0.0	0.72	0.1793	0.0	2575.9	20	2472.9	34	2646	12	2421.0	43.2
GR41A-16-032_68	0.287	0.0	0.0403	0.0	0.48	0.0514	0.0	256.3	5.0	254.6	4.2	255	21	254.6	4.2
GR41A-16-032_70	0.275	0.0	0.0386	0.0	0.19	0.0513	0.0	246.4	6.2	244.0	4.2	253	49	243.9	4.3
GR41A-16-032_71	0.284	0.0	0.0387	0.0	0.09	0.0529	0.0	253.9	6.7	244.9	4.2	311	51	244.4	4.3
GR41A-16-032_72	6.109	0.1	0.3558	0.0	0.66	0.1238	0.0	1991.5	18	1962.0	29	2012	12	1954.5	33.2
GR41A-16-032_73	0.279	0.0	0.0379	0.0	0.54	0.0527	0.0	250.0	5.5	239.9	4.8	308	31	239.4	4.8
GR41A-16-032_74	14.469	0.3	0.5066	0.0	0.74	0.2056	0.0	2781.0	19	2642.2	36	2873	11	2555.5	47.2
GR41A-16-032_75	2.325	0.1	0.2080	0.0	0.51	0.0803	0.0	1219.9	15	1218.1	19	1207	16	1218.9	20.3
GR41A-16-032_76	1.519	0.1	0.1538	0.0	0.94	0.0704	0.0	938.2	21	922.1	24	936	20	921.5	24.9
GR41A-16-032_77	0.669	0.0	0.0836	0.0	0.41	0.0576	0.0	519.9	9.2	517.8	8.5	513	24	517.9	8.5
GR41A-16-032_79	2.734	0.1	0.2263	0.0	0.68	0.0877	0.0	1337.8	16	1314.9	20	1375	14	1310.8	21.8
GR41A-16-032_80	1.290	0.0	0.1346	0.0	0.35	0.0695	0.0	841.4	13	814.3	13	907	27	811.3	13.4
GR41A-16-032_81	1.305	0.0	0.1377	0.0	0.59	0.0683	0.0	847.9	13	831.4	14	877	21	829.9	14.6
GR41A-16-032_83	0.728	0.0	0.0890	0.0	0.58	0.0585	0.0	555.6	9.0	549.5	9.0	547	17	549.6	9.0
GR41A-16-032_84	6.432	0.1	0.3634	0.0	0.71	0.1272	0.0	2036.6	18	1998.4	30	2058	11	1988.8	34.3
GR41A-16-032_85	2.227	0.1	0.1992	0.0	0.52	0.0804	0.0	1189.6	15	1170.8	20	1205	20	1168.8	20.9
GR41A-16-032_86	1.893	0.0	0.1715	0.0	0.29	0.0796	0.0	1078.7	13	1020.2	16	1185	16	1012.7	17.1
GR41A-16-032_87	10.269	0.2	0.4269	0.0	0.69	0.1729	0.0	2459.3	19	2291.6	33	2585	12	2218.7	38.8
GR41A-16-032_88	1.381	0.0	0.1450	0.0	0.79	0.0687	0.0	881.0	13	873.1	14	889	18	872.5	14.5
GR41A-16-032_89	1.437	0.0	0.1426	0.0	0.71	0.0723	0.0	904.5	13	859.4	15	995	16	854.9	15.7
GR41A-16-032_90	9.789	0.3	0.4282	0.0	0.93	0.1652	0.0	2415.2	27	2297.7	38	2507	19	2246.3	45.9
GR41A-16-032_92	0.891	0.0	0.1058	0.0	0.70	0.0606	0.0	646.8	12	648.3	11	623	31	648.7	11.3
GR41A-16-032_93	0.861	0.0	0.1021	0.0	0.89	0.0608	0.0	630.9	10	626.7	11	633	18	626.6	10.8
GR41A-16-032_94	0.940	0.0	0.1079	0.0	0.47	0.0622	0.0	672.8	12	660.7	13	686	37	660.3	13.7
GR41A-16-032_95	1.607	0.0	0.1579	0.0	0.65	0.0733	0.0	973.1	13	944.9	15	1022	14	941.9	15.0
GR41A-16-032_96	0.779	0.0	0.0946	0.0	0.92	0.0595	0.0	585.0	9.6	582.8	9.7	586	15	582.8	10.2
GR41A-16-032_97	4.689	0.1	0.3046	0.0	0.76	0.1107	0.0	1765.3	17	1713.9	26	1810	12	1703.0	28.9
GR41A-16-032_98	4.669	0.1	0.3096	0.0	0.55	0.1087	0.0	1761.6	18	1738.8	26	1777	14	1734.2	29.0
GR41A-16-032_99	6.118	0.1	0.2866	0.0	0.21	0.1580	0.0	1992.9	19	1624.4	57	2402	63	1518.9	57.6
GR41A-16-032_100	0.891	0.0	0.1045	0.0	0.55	0.0614	0.0	646.8	10	640.9	10	653	16	640.6	10.7
GR41A-16-032_101	0.495	0.0	0.0662	0.0	0.38	0.0543	0.0	408.5	7.7	413.0	6.9	388	24	413.3	6.7
GR41A-16-084_1	0.747	0.0	0.0907	0.0	0.67	0.0592	0.0	566.5	10	559.9	9.0	575	29	559.6	9.0
GR41A-16-084_2	1.798	0.0	0.1732	0.0	0.58	0.0743	0.0	1044.6	15	1029.8	16	1048	31	1028.9	17.2
GR41A-16-084_5	0.793	0.0	0.0920	0.0	0.56	0.0616	0.0	592.8	10	567.3	9.7	659	31	565.6	9.6
GR41A-16-084_6	0.835	0.0	0.0964	0.0	0.85	0.0619	0.0	616.3	11	593.1	9.8	669	28	591.5	10.2
GR41A-16-084_7	0.886	0.0	0.1037	0.0	0.48	0.0610	0.0	644.0	11	635.8	10	642	33	635.7	10.2
GR41A-16-084_8	5.146	0.1	0.3236	0.0	0.46	0.1139	0.0	1843.7	19	1807.2	27	1861	24	1800.3	29.6
GR41A-16-084_9	1.709	0.0	0.1690	0.0	0.49	0.0730	0.0	1011.8	15	1006.8	16	1013	28	1006.5	16.7
GR41A-16-084_10	12.538	0.3	0.5054	0.0	0.57	0.1789	0.0	2645.6	21	2636.7	36	2643	21	2634.6	49.1
GR41A-16-084_11	1.647	0.0	0.1644	0.0	0.66	0.0723	0.0	988.5	14	981.0	15	992	27	980.5	16.1
GR41A-16-084_12	1.783	0.0	0.1724	0.0	0.19	0.0748	0.0	1039.3	15	1025.5	16	1062	30	1023.9	16.7
GR41A-16-084_13	0.893	0.0	0.1063	0.0	0.28	0.0608	0.0	648.2	11	651.1	11	635	33	651.5	10.8
GR41A-16-084_14	1.126	0.0	0.1241	0.0	0.84	0.0653	0.0	765.8	12	753.9	12	788	27	753.0	12.4
GR41A-16-084_15	0.815	0.0	0.0966	0.0	0.72	0.0608	0.0	605.4	11	594.2	9.7	631	29	593.5	9.6
GR41A-16-084_16	2.178	0.1	0.1981	0.0	0.42	0.0792	0.0	1174.2	16	1165.0	17	1176	27	1164.4	18.2
GR41A-16-084_17	2.495	0.1	0.2298	0.0	0.45	0.0787	0.0	1270.5	17	1333.7	21	1162	29	1344.4	22.1
GR41A-16-084_18	0.816	0.0	0.0983	0.0	0.37	0.0598	0.0	606.0	11	604.5	9.8	595	34	604.7	10.2
GR41A-16-084_19	1.025	0.0	0.1050	0.0	0.93	0.0704	0.0	716.6	20	643.7	18	938	38	636.6	18.3
GR41A-16-084_20	0.851	0.0	0.1018	0.0	0.80	0.0604	0.0	625.5	11	625.0	10	614	32	625.2	10.2
GR41A-16-084_21	1.744	0.0	0.1672	0.0	0.67	0.0757	0.0	1024.9	14	996.6	15	1086	25	992.8	16.1

Muestra	Razones							Edades Aparentes					Edad CPb <sup>c</sup>		
	<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		rho	<sup>207</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb		<sup>206</sup> Pb			
	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		<sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>235</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ	<sup>238</sup> U	2σ		
(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)			
GR41A-16-084_22	5.722	0.1	0.3357	0.0	0.71	0.1233	0.0	1934.7	19	1866.1	27	2004	23	1846.9	31.5
GR41A-16-084_23	1.993	0.0	0.1899	0.0	0.72	0.0759	0.0	1113.1	16	1120.9	18	1091	27	1122.3	19.4
GR41A-16-084_24	6.005	0.1	0.3634	0.0	0.69	0.1197	0.0	1976.6	20	1998.4	31	1951	24	2005.5	35.9
GR41A-16-084_25	1.620	0.0	0.1616	0.0	0.46	0.0726	0.0	978.0	14	965.4	15	1004	27	963.9	15.6
GR41A-16-084_26	6.513	0.2	0.3748	0.0	0.91	0.1259	0.0	2047.7	20	2051.9	30	2041	22	2053.6	35.8
GR41A-16-084_27	1.887	0.1	0.1810	0.0	0.79	0.0749	0.0	1076.4	18	1072.3	18	1073	29	1072.6	18.9
GR41A-16-084_28	0.805	0.0	0.0955	0.0	0.59	0.0608	0.0	599.4	10	587.9	9.4	632	29	587.1	9.6
GR41A-16-084_29	11.151	0.3	0.4696	0.0	0.75	0.1706	0.0	2535.8	21	2481.8	38	2562	23	2457.8	48.3
GR41A-16-084_30	0.974	0.0	0.1099	0.0	0.52	0.0644	0.0	690.3	11	672.0	11	751	30	670.1	11.3
GR41A-16-084_31	4.970	0.1	0.3069	0.0	0.66	0.1176	0.0	1814.3	19	1725.3	26	1919	24	1702.2	28.3
GR41A-16-084_32	1.640	0.0	0.1590	0.0	0.87	0.0749	0.0	985.9	16	951.4	17	1063	27	946.8	17.3
GR41A-16-084_33	1.739	0.0	0.1607	0.0	0.83	0.0780	0.0	1023.1	16	960.5	16	1144	26	952.9	16.1
GR41A-16-084_34	3.967	0.1	0.2724	0.0	0.67	0.1051	0.0	1627.5	18	1553.0	23	1716	23	1537.5	25.2
GR41A-16-084_35	0.712	0.0	0.0883	0.0	0.35	0.0578	0.0	545.8	11	545.5	9.2	522	37	545.9	9.7
GR41A-16-084_37	1.468	0.0	0.1314	0.0	0.60	0.0816	0.0	917.2	15	796.1	15	1232	32	781.2	15.0
GR41A-16-084_38	0.335	0.0	0.0450	0.0	0.55	0.0538	0.0	293.7	6.0	283.9	4.8	366	31	283.3	4.8
GR41A-16-084_39	0.280	0.0	0.0392	0.0	0.59	0.0516	0.0	250.4	5.3	247.9	4.1	272	33	247.7	4.1
GR41A-16-084_40	0.818	0.0	0.0981	0.0	0.53	0.0604	0.0	607.1	10	603.4	9.4	617	28	603.1	9.6
GR41A-16-084_41	0.654	0.0	0.0813	0.0	0.37	0.0579	0.0	511.1	9.3	503.9	8.1	525	31	503.6	8.5
GR41A-16-084_42	0.724	0.0	0.0890	0.0	0.31	0.0584	0.0	552.8	10	549.5	9.0	550	34	549.6	9.1
GR41A-16-084_43	0.684	0.0	0.0819	0.0	0.61	0.0603	0.0	528.9	9.9	507.4	8.4	610	34	505.7	8.5
GR41A-16-084_44	1.929	0.0	0.1835	0.0	0.75	0.0757	0.0	1091.4	16	1086.1	18	1085	28	1086.1	18.9
GR41A-16-084_45	4.404	0.1	0.2950	0.0	0.77	0.1072	0.0	1713.1	19	1666.6	25	1752	23	1657.5	28.0
GR41A-16-084_46	6.298	0.1	0.3425	0.0	0.48	0.1336	0.0	2018.2	19	1898.9	32	2131	23	1861.7	35.1
GR41A-16-084_47	0.702	0.0	0.0864	0.0	0.57	0.0585	0.0	540.0	9.4	534.0	8.6	548	28	533.7	8.5
GR41A-16-084_49	0.944	0.0	0.1074	0.0	0.41	0.0632	0.0	675.1	13	657.9	10	718	39	656.6	10.7
GR41A-16-084_50	0.805	0.0	0.0976	0.0	0.76	0.0596	0.0	599.4	11	600.5	9.6	586	34	600.8	9.6
GR41A-16-084_51	0.676	0.0	0.0756	0.0	0.74	0.0655	0.0	524.2	15	469.7	13	783	40	464.5	12.7
GR41A-16-084_52	0.713	0.0	0.0866	0.0	0.51	0.0594	0.0	546.4	12	535.1	9.1	582	47	534.3	9.1
GR41A-16-084_53	0.838	0.0	0.0946	0.0	0.80	0.0637	0.0	617.9	12	582.8	11	732	31	579.9	11.4
GR41A-16-084_54	0.754	0.0	0.0912	0.0	0.87	0.0599	0.0	570.4	10	562.7	9.8	599	29	562.1	10.2
GR41A-16-084_55	4.472	0.1	0.2901	0.0	0.89	0.1113	0.0	1725.8	21	1641.9	26	1821	23	1622.9	28.9
GR41A-16-084_56	4.218	0.1	0.2761	0.0	0.92	0.1107	0.0	1677.6	19	1571.6	26	1810	23	1547.8	27.8
GR41A-16-084_57	5.966	0.1	0.3517	0.0	0.57	0.1231	0.0	1970.9	19	1942.5	27	2001	22	1933.8	31.2
GR41A-16-084_58	0.661	0.0	0.0813	0.0	0.86	0.0587	0.0	515.3	10	503.9	9.5	557	27	503.1	9.7
GR41A-16-084_60	0.827	0.0	0.0987	0.0	0.49	0.0604	0.0	612.0	10	606.8	10	617	31	606.5	10.2
GR41A-16-084_61	0.844	0.0	0.1007	0.0	0.71	0.0607	0.0	621.2	12	618.7	10	635	37	618.5	10.8
GR41A-16-084_62	5.371	0.1	0.3318	0.0	0.91	0.1161	0.0	1880.2	22	1846.9	30	1899	25	1840.3	34.5
GR41A-16-084_63	1.143	0.0	0.1252	0.0	0.59	0.0661	0.0	774.1	12	760.5	12	809	27	759.2	12.4
GR41A-16-084_64	6.435	0.1	0.3677	0.0	0.81	0.1267	0.0	2037.0	20	2018.5	29	2052	22	2013.0	33.4
GR41A-16-084_65	3.808	0.1	0.2784	0.0	0.34	0.0988	0.0	1594.5	18	1583.4	24	1602	25	1581.7	26.0
GR41A-16-084_66	0.803	0.0	0.0897	0.0	0.38	0.0648	0.0	598.3	10	553.6	9.3	764	32	549.5	9.6
GR41A-16-084_67	0.855	0.0	0.1016	0.0	0.51	0.0609	0.0	627.6	11	623.9	10	635	30	623.6	10.2
GR41A-16-084_68	0.749	0.0	0.0915	0.0	0.68	0.0593	0.0	567.6	9.7	564.5	9.0	576	28	564.2	9.0
GR41A-16-084_69	4.667	0.1	0.3107	0.0	0.50	0.1085	0.0	1761.4	20	1744.0	26	1773	26	1740.5	28.6
GR41A-16-084_70	11.395	0.3	0.4360	0.0	0.90	0.1886	0.0	2556.0	21	2332.7	33	2730	20	2225.5	39.0
GR41A-16-084_71	1.826	0.0	0.1749	0.0	0.85	0.0755	0.0	1054.9	16	1039.3	18	1080	27	1037.4	18.3
GR41A-16-084_72	1.501	0.0	0.1421	0.0	0.49	0.0758	0.0	930.7	20	856.8	17	1091	48	848.6	16.8
GR41A-16-084_73	1.820	0.1	0.1728	0.0	0.95	0.0771	0.0	1052.8	24	1027.7	25	1128	28	1023.5	26.9
GR41A-16-084_74	1.740	0.0	0.1722	0.0	0.83	0.0737	0.0	1023.5	15	1024.0	17	1034	26	1023.7	17.8
GR41A-16-084_75	1.683	0.0	0.1664	0.0	0.82	0.0735	0.0	1002.0	16	992.3	16	1029	28	990.8	17.3
GR41A-16-084_76	1.851	0.0	0.1772	0.0	0.91	0.0758	0.0	1063.8	15	1051.9	17	1090	25	1050.2	17.7
GR41A-16-084_77	1.427	0.0	0.1488	0.0	0.65	0.0699	0.0	900.3	14	894.0	14	926	28	892.9	14.5
GR41A-16-084_78	6.326	0.1	0.3598	0.0	0.75	0.1272	0.0	2022.1	19	1981.1	28	2059	22	1968.8	33.3
GR41A-16-084_79	5.714	0.1	0.3378	0.0	0.93	0.1228	0.0	1933.5	19	1876.1	28	1996	22	1859.2	32.1
GR41A-16-084_80	0.290	0.0	0.0409	0.0	0.75	0.0514	0.0	258.4	5.8	258.3	4.5	258	33	258.3	4.6
GR41A-16-084_82	0.671	0.0	0.0827	0.0	0.73	0.0585	0.0	521.3	9.7	512.1	9.2	547	29	511.5	9.1
GR41A-16-084_83	1.309	0.0	0.1417	0.0	0.40	0.0672	0.0	849.8	13	854.1	13	844	29	854.4	13.4
GR41A-16-084_84	5.704	0.1	0.3380	0.0	0.92	0.1214	0.0	1932.0	20	1877.0	29	1978	24	1863.1	33.2
GR41A-16-084_85	5.867	0.1	0.3480	0.0	0.54	0.1225	0.0	1956.4	19	1924.9	28	1992	23	1915.0	32.2
GR41A-16-084_86	0.906	0.0	0.1075	0.0	0.77	0.0614	0.0	655.1	12	658.3	11	658	30	658.4	11.9
GR41A-16-084_87	4.556	0.1	0.3075	0.0	0.64	0.1076	0.0	1741.2	18	1728.4	25	1759	24	1724.9	28.0



Muestra	Razones							Edades Aparentes						Edad CPb <sup>c</sup>	
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$		rho	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	
	2 $\sigma$	2 $\sigma$	2 $\sigma$	2 $\sigma$		2 $\sigma$	2 $\sigma$	(Ma)	2 $\sigma$	(Ma)	2 $\sigma$	(Ma)	2 $\sigma$	(Ma)	2 $\sigma$
GR41A-16-084_88	0.923	0.0	0.1059	0.0	0.62	0.0636	0.0	663.8	12	648.8	11	728	30	647.1	11.3
GR41A-16-084_89	0.813	0.0	0.0984	0.0	0.90	0.0599	0.0	603.9	13	605.1	12	597	36	605.2	12.6
GR41A-16-084_90	6.393	0.2	0.3602	0.0	0.72	0.1297	0.0	2031.4	20	1982.9	30	2094	22	1965.3	33.7
GR41A-16-084_91	0.629	0.0	0.0798	0.0	0.21	0.0573	0.0	495.4	9.4	494.9	8.1	504	34	494.8	8.5
GR41A-16-084_92	2.826	0.1	0.2274	0.0	0.82	0.0904	0.0	1362.5	18	1320.9	22	1436	27	1313.2	22.9
GR41A-16-084_94	0.793	0.0	0.0958	0.0	0.26	0.0604	0.0	593.1	11	589.9	9.6	612	37	589.3	9.6
GR41A-16-084_95	0.622	0.0	0.0786	0.0	0.29	0.0576	0.0	491.2	9.5	488.1	8.3	508	36	487.7	8.5
GR41A-16-084_96	0.305	0.0	0.0418	0.0	0.50	0.0529	0.0	270.1	5.8	264.0	4.6	327	34	263.6	4.7
GR41A-16-084_97	0.733	0.0	0.0904	0.0	0.58	0.0589	0.0	558.4	11	557.6	9.3	563	34	557.5	9.6
GR41A-16-084_98	0.811	0.0	0.0979	0.0	0.53	0.0601	0.0	602.8	10	602.3	9.7	606	29	602.2	10.2
GR41A-16-084_99	2.268	0.1	0.2033	0.0	0.47	0.0812	0.0	1202.5	16	1193.2	19	1226	26	1191.4	20.4
GR41A-16-084_100	2.611	0.1	0.2356	0.0	0.67	0.0803	0.0	1303.7	17	1363.6	21	1206	27	1374.1	22.6
GR41A-16-084_102	0.885	0.0	0.1049	0.0	0.47	0.0611	0.0	643.8	12	643.2	11	641	34	643.3	11.4
GR41A-16-084_104	5.963	0.2	0.3298	0.0	0.83	0.1309	0.0	1970.4	20	1837.6	31	2109	23	1799.4	34.9
GR41A-16-084_105	0.383	0.0	0.0518	0.0	0.56	0.0533	0.0	329.1	7.6	325.5	6.1	341	41	325.4	6.2
GR41A-16-084_106	0.833	0.0	0.0961	0.0	0.71	0.0628	0.0	615.1	13	591.5	10	696	35	589.3	10.2
GR41A-16-084_107	0.305	0.0	0.0425	0.0	0.34	0.0519	0.0	270.6	6.3	268.0	4.6	276	40	267.9	4.6
GR41A-16-084_108	1.714	0.0	0.1694	0.0	0.83	0.0734	0.0	1013.8	15	1008.7	16	1025	29	1008.0	16.7
GR41A-16-084_109	1.159	0.0	0.1284	0.0	0.43	0.0652	0.0	781.5	13	778.9	13	779	31	778.8	13.5
GR41A-16-084_111	0.742	0.0	0.0904	0.0	0.56	0.0592	0.0	563.4	9.9	558.2	9.1	572	30	557.9	9.0
GR41A-16-084_112	1.017	0.0	0.1133	0.0	0.83	0.0648	0.0	712.6	16	691.7	15	772	33	689.9	15.4
GR41A-16-084_113	0.646	0.0	0.0823	0.0	0.37	0.0571	0.0	506.0	10	509.8	8.5	498	34	510.0	8.5
GR41A-16-084_114	5.857	0.1	0.3515	0.0	0.40	0.1214	0.0	1954.9	19	1941.9	28	1978	24	1936.7	32.9
GR41A-16-084_115	1.704	0.0	0.1685	0.0	0.84	0.0738	0.0	1009.9	16	1004.0	17	1036	28	1002.6	17.3
GR41A-16-084_116	6.652	0.2	0.3806	0.0	0.54	0.1281	0.0	2066.2	20	2079.0	29	2072	23	2080.2	35.3
GR41A-16-084_117	1.611	0.0	0.1596	0.0	0.89	0.0736	0.0	974.4	15	954.6	16	1028	27	951.6	16.7
GR41A-16-084_118	6.776	0.2	0.3338	0.0	0.47	0.1518	0.0	2082.6	20	1856.7	59	2320	54	1777.0	63.7
GR41A-16-084_119	1.160	0.0	0.1236	0.0	0.68	0.0687	0.0	782.0	13	751.4	13	888	27	747.6	12.9
GR41A-16-084_120	0.860	0.0	0.1036	0.0	0.48	0.0613	0.0	630.4	12	635.4	11	651	35	635.1	12.0
GR41A-16-084_121	4.003	0.1	0.2862	0.0	0.53	0.1022	0.0	1634.7	18	1622.5	25	1663	24	1618.4	27.0