



**INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN  
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C.**

**POSGRADO EN GEOCIENCIAS APLICADAS**

**“Tratamiento de circón por el método de abrasión  
química para disminuir la discordancia en la datación *in-  
situ* por el método de U-Pb”**

Tesis que presenta

**Claudia Alejandra Pinedo Cossío**

Para obtener el grado de

**Maestra en Geociencias Aplicadas**

**Director de la Tesis:  
Dr. Aaron Martin**

**San Luis Potosí, S.L.P. Mayo de 2023**



## Constancia de aprobación de la tesis

La tesis “**Tratamiento de circón por el método de abrasión química para disminuir la discordancia en la datación in-situ por el método de U-Pb**” presentada para obtener el Grado de Maestra en Geociencias Aplicadas fue elaborada por **Claudia Alejandra Pinedo Cossío** y aprobada el 24 de mayo de 2023 por las y los suscritos, designados por el Colegio de Profesoras/es de la División de Geociencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

---

**Dr. Aaron Martin**

Director/Codirectores de la tesis

---

**Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas**

Miembro del Comité Tutorial

---

**Dr. Sanjeet Kumar Verma**

Miembro del Comité Tutorial



## **Créditos Institucionales**

Esta tesis fue elaborada en los laboratorios de Hidrogeoquímica y Petrofísica de la División de Geociencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., bajo la dirección del Dr. Aaron Martin.

La autora agradece a : M.en C. Ana Iris Peña Maldonado y al Laboratorio Nacional de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología (LINAN), IPICYT, por facilitar el uso de sus instalaciones. A la Dra. Nadia Valentina Martinez Villegas por sus aportaciones a este trabajo y su apoyo al facilitar el uso de los equipos y materiales del laboratorio de Hidrogeoquímica. Al laboratorio Arizona Laser Chron Center de la Universidad de Arizona por realizar los análisis de datación por U-Pb a las muestras de circón de este proyecto.

Durante la realización del trabajo la autora recibió una beca académica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (1007332) y del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C.

Página en Blanco que se va a utilizar para colocar la copia del acta de examen.

## **Dedicatoria**

A mi madre, quien siempre me dio lo mejor hasta el último momento.

Tu ejemplo, tu honor y amoroso corazón se quedarán por siempre como guía en el sendero de mi vida.

Te extraño y te amo con todo mi corazón.

## Agradecimientos

Quiero agradecer al IPICYT que me ayudo a desarrollar mis estudios de maestría, en especial a los profesores de la división de Geociencias Aplicadas por todo el conocimiento que me otorgaron en este trayecto.

Agradezco de manera especial a mi asesor, el Dr. Aaron Martin por sus enseñanzas, paciencia y dedicación para elaborar este trabajo, aprendí mucho de usted. Es una excelente persona, sobre todo gracias por su empatía durante los momentos difíciles, siempre estaré agradecida por haber contado con usted.

A la Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas por sus retroalimentaciones, consejos y por facilitarme el uso del laboratorio de Hidrogeoquímica donde desarrolle este trabajo.

Al Dr. Sanjeet Kumar Verma por ser miembro del comité tutorial de este proyecto y por haberme transmitido de su conocimiento durante mi estancia en el instituto.

A mi abuelo Tomás Cossío † y tío Miguel Cossío † por haberme heredado el amor por la geología, los extraño siempre y sé que algún día nos volveremos a ver para hablar de yacimientos y minas. Fueron unas personas muy importantes para mí y jamás olvidaré a mis mineros favoritos.

A mi padre Armando Pinedo por todos tus cuidados desde pequeña, tu apoyo, amor y por enseñarme a nunca darme por vencida.

A mis tíos Tomás, Sergio, Claudia, Rita y Paula por todo su apoyo ante cualquier situación. Los quiero y los respeto.

A Claudia Castillo por ser una persona extraordinaria con la que siempre puedo contar, gracias por ser como una hermana para mí te quiero mucho.

A mis primos Mariana, Héctor, Paulina, Lorena, Isabel, Carolina, Tomás, Paula, Andrea, Ximena, Michel, Miguel y Emiliano por todos los momentos de diversión que hemos tenido y por ser unos hermanos para mí.

A mi novio por ser una persona incondicional para mí, por tu apoyo, amor y sobre todo paciencia, eres un extraordinario investigador y persona, te admiro y respeto. Por ayudarme a crecer, gracias.

A mis compañeros y amigos de maestría: Karla, Ana, Diego, Daniel y Josué gracias por su amistad, las noches de turista y las discusiones de ciencia, siempre ocuparan un lugar especial en mi vida.

A Javo por tu amistad incondicional, por siempre estar para mí. Eres una excelente persona y médico.

Al laboratorio de Geocronología de la Universidad de Arizona por su ayuda con el análisis de las muestras.

A los estudiantes de las Universidades de Maryland y Alabama por facilitar muestras para este trabajo.

# Contenido

<i>Constancia de aprobación de la tesis</i> .....	<i>I</i>
<i>Créditos Institucionales</i> .....	<i>II</i>
<i>Dedicatoria</i> .....	<i>IV</i>
<i>Agradecimientos</i> .....	<i>V</i>
<i>Contenido</i> .....	<i>VII</i>
<i>Lista de tablas</i> .....	<i>IX</i>
<i>Lista de figuras</i> .....	<i>X</i>
<i>Glosario</i> .....	<i>XII</i>
<i>Resumen</i> .....	<i>XIV</i>
<i>Abstract</i> .....	<i>XVI</i>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Antecedentes</b> .....	<b>1</b>
<b>Hipótesis</b> .....	<b>3</b>
<b>Objetivo</b> .....	<b>3</b>
<b>Justificación</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Zona de estudio</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Formación Northwest Branch (Muestra NWB)</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2 Formación Pottsville (Muestra PVSH)</b> .....	<b>5</b>
<b>2.3 Complejo Braintree (Muestra R)</b> .....	<b>6</b>
<b>2.4 Complejo Duluth (Muestra F)</b> .....	<b>7</b>
<b>2.5 Macizo de Bohemia (Muestra P)</b> .....	<b>8</b>
<b>3. Generalidades</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1 Circón</b> .....	<b>9</b>
<b>3.2 Circón detrítico</b> .....	<b>10</b>
<b>3.3 Ácido fluorhídrico (HF)</b> .....	<b>10</b>
<b>3.4 Ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>)</b> .....	<b>10</b>
<b>3.5 Ácido clorhídrico (HCl)</b> .....	<b>11</b>
<b>3.6 Decaimiento de U-Pb</b> .....	<b>12</b>

3.7 Microscopio electrónico de barrido (MEB).....	12
<b>4. Metodología.....</b>	<b>14</b>
4.1 Material utilizado para la preparación de las muestras y el desarrollo de los experimentos.....	15
4.2 Preparación y desarrollo de los experimentos.....	15
4.3 Preparación de las muestras para ser observadas en el microscopio electrónico de barrido.....	19
4.4 Preparación de las muestras para su análisis por LA-ICPMS.....	21
4.5 Análisis por LA-ICPMS .....	22
4.6 Prueba- t.....	23
<b>5. Resultados.....</b>	<b>24</b>
5.1 Imágenes de la muestra NWB tomadas por el microscopio petrográfico Nikon SMZ 1000.....	24
NWB .....	26
5.2 Fotografías de la muestra MWB tomadas por el microscopio electrónico de barrido (MEB) .....	26
5.3 Análisis por LA-ICPMS de todas las muestras .....	29
5.3.1 Resultados de LA-ICPMS para la muestra NWB tratada a 0h .....	29
5.3.2 Resultados de LA-ICPMS para la muestra NWB tratada a 12 horas .....	32
5.3.3 Resultados de LA-ICPMS para la muestra NWB tratada a 24 horas .....	36
5.3.4 Resultados de LA-ICPMS para la muestra PVSH tratada a 0h.....	42
5.3.5 Resultados de LA-ICPMS para la muestra PVSH tratada a 12 horas.....	45
5.3.6 Resultados de LA-ICPMS para la muestra PVSH tratada a 24 horas.....	48
5.3.7 Resultados por LA-ICPMS de la muestra R tratada a 0h.....	52
5.3.8 Resultados por LA-ICPMS para la muestra R tratada a 12 horas .....	54
5.3.9 Resultados por LA-ICPMS para la muestra R tratada a 24 horas .....	56
5.3.10 Resultados por LA-ICPMS de la muestra F tratada a 0h .....	59
5.3.11 Resultados por LA-ICPMS de la muestra F tratada a 12 horas .....	61
5.3.12 Resultados por LA-ICPMS de la muestra F tratada a 24 horas .....	63
5.3.13 Resultados por LA-ICPMS de la muestra P tratada a 0h.....	67
5.3.14 Resultados por LA-ICPMS de la muestra P tratada a 12 horas.....	69
5.3.15 Resultados por LA-ICPMS de la muestra P tratada a 24 horas.....	71
5.4 Resultado de prueba-t .....	75
<b>6. Interpretaciones y Discusión .....</b>	<b>76</b>
<b>7. Conclusiones.....</b>	<b>81</b>
<b>8.- Limitaciones y recomendaciones.....</b>	<b>83</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>85</b>

## Lista de tablas

Tabla 3.1 Propiedades físicas del ácido fluorhídrico (Fernández Hernández, 2013).....	10
Tabla 3.2 Propiedades físicas del ácido nítrico (EPA., 1997).....	11
Tabla 3.3 Propiedades físicas del ácido clorhídrico (EPA., 1997).....	11
Tabla 4.1 Cantidad de granos por muestra. ....	16
Tabla 5.1 Cantidad de granos antes y después de los experimentos para la muestra NWB. 26	
Tabla 5.2 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra NWB tratada a 0h.....	29
Tabla 5.3 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra NWB tratada a 12 h.....	32
Tabla 5.4 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra NWB tratada a 24 h.....	36
Tabla 5.5 Contiene los valores numéricos del diagrama de cajas y bigotes. ....	41
Tabla 5.6 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra PVSH tratada a 0h.....	42
Tabla 5.7 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra PVSH tratada a 12 h.....	45
Tabla 5.8 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra PVSH tratada a 24 horas. ....	48
Tabla 5.9 Contiene los valores numéricos del diagrama de cajas y bigotes. ....	51
Tabla 5.10 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra R tratada a 0 h. ....	52
Tabla 5.11 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra R tratada a 12 horas.....	54
Tabla 5.12 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra R tratada a 24 horas.....	56
Tabla 5.13 Contiene los valores numéricos del diagrama de cajas y bigotes. ....	58
Tabla 5.14 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra F tratada a 0h.....	59
Tabla 5.15 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra F tratada a 12 horas. ....	61
Tabla 5.16 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra F tratada a 24 horas. ....	63
Tabla 5.17 Contiene los valores numéricos del diagrama de cajas y bigotes. ....	66
Tabla 5.18 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra P tratada a 0h.....	67
Tabla 5.19 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra P tratada a 12 horas. ....	69
Tabla 5.20 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra P tratada a 24 horas. ....	71
Tabla 5.21 Contiene los valores numéricos del diagrama de cajas y bigotes. ....	74
Tabla 5.22 Resultados de la prueba-t por muestra. ....	75
Tabla 6.1 Promedio, desviación estándar y error de la desviación estándar del porcentaje de concordancia para cada grupo de experimentos.....	77

## Lista de figuras

Figura 2.1 Ubicación de la muestra NWB. ....	4
Figura 2.2 Ubicación de la muestra PVSH. ....	5
Figura 2.3 Ubicación de la muestra R. ....	6
Figura 2.4 Ubicación de la muestra F. ....	7
Figura 2.5 Ubicación de la muestra P. ....	8
Figura 3.1 Propiedades físicas y químicas del circón (Deer et al.,2013). ....	9
Figura 3.2 Serie de decaimiento natural para $U^{238}/Pb^{206}$ y $U^{235}/Pb^{207}$ donde se muestran los isótopos hijos (Reiners et al., 2018). ....	12
Figura 3.3 Microscopio electrónico de barrido E-SEM Quanta™ 250 FEG que se encuentra ubicado en LINAN. ....	13
Figura 4.1 Diagrama ilustrativo de la preparación y desarrollo de los experimentos en el laboratorio. ....	14
Figura 4.2 Material utilizado en el laboratorio. ....	15
Figura 4.3 . Diagrama que indica cómo se dividieron las muestras de acuerdo al tiempo en el que fueron tratadas por abrasión química. ....	17
Figura 4.4 Representación de los granos analizados para la muestra NWB montada en el pin considerando el tiempo de tratamiento en los ácidos fuertes. ....	20
Figura 4.5 Materiales que se utilizaron para la preparación de la muestra NWB para después observarla en el MEB. I) Microscopio Nikon SMZ 1000 II) Guantes de nitrilo III) Cinta de carbono doble cara IV) Pin de metal V) Pinzas VI) MEB VII) Muestra NWB no tratada y tratada a 12h,24h y 48h en ácidos fuertes. ....	21
Figura 4.6 Diagrama que muestra el orden en el que se empaquetaron las muestras para ser enviadas al laboratorio de Geocronología de la Universidad de Arizona para su análisis por LA-ICPMS. ....	22
Figura 5.1 Fotografías tomadas por el microscopio petrográfico Nikon SMZ 1000 para la muestra NWB tratada a 0 h (A-B), 12 h (C - D), 24 h (E -F), 48 h (G – H). Magnificación a 2X y 6X en las columnas de izquierda a derecha respectivamente. ....	25
Figura 5.2 Fotografías tomadas por el MEB para la muestra NWB tratada a 0 h (A-C), 12 h (D - F), 24 h (G -I), 48 h (J – L). Magnificación a 500X, 2500X y 10000X en las columnas de izquierda a derecha respectivamente. ....	27
Figura 5.3 Gráfico de concordia para muestra NWB tratada a 0h. ....	31
Figura 5.4 Gráfica de concordia para muestras NWB tratada a 12 h. ....	35
Figura 5.5 Gráfica de concordia para muestra NWB tratada a 24h. ....	39
Figura 5.6 Diagrama de cajas y bigotes para la muestra NWB. ....	40
Figura 5.7 Gráfica de concordia para muestra PVSH tratada a 0 h. ....	44
Figura 5.8 Gráfica de concordia para muestra PVSH tratada a 12 horas. ....	47
Figura 5.9 Gráfica de Concordia para la muestra PVSH tratada a 24 horas. ....	49
Figura 5.10 Diagrama de cajas y bigotes para la muestra PVSH. ....	50
Figura 5.11 Gráfica de Concordia muestra R no tratada. ....	53
Figura 5.12 Gráfica de concordia muestra R tratada a 12 h. ....	55
Figura 5.13 Gráfica de Concordia para muestra R tratada a 24h. ....	56
Figura 5.14 Diagrama de cajas y bigotes para la muestra R. ....	57
Figura 5.15 Gráfica de Concordia para muestra F tratada a 0h. ....	60

Figura 5.16 Gráfica de Concordia para muestra F tratada a 12 horas.....	62
Figura 5.17 Gráfica de Concordia para muestra F tratada a 24 horas.....	64
Figura 5.18 Diagrama de cajas y bigotes para la muestra F.....	65
Figura 5.19 Gráfica de Concordia para muestra P tratada a 0h.....	68
Figura 5.20 Gráfica de Concordia para muestra P tratada a 12 horas.....	70
Figura 5.21Figura 5.21Gráfica de Concordia para muestra P tratada a 24 horas. ....	72
Figura 5.22 Diagrama de cajas y bigotes para la muestra P.....	73
Figura 6.1 Gráfica del promedio, desviación estándar y análisis ANOVA del porcentaje de concordancia. ....	77

## Glosario

### **Abrasión química de Circón:**

Es un método que elimina el impacto de la pérdida de Pb en granos de circón para luego poder analizar el circón residual.(Mattinson, 2005)(Widmann et al., 2019).

### **Agua desionizada:**

Se llama así porque se le han eliminado cationes como Na, Ca, Mg y K, entre otros, y aniones como cloruro, sulfato, carbonatos y nitratos, entre otros, mediante un intercambio iónico. Tiene una conductividad de 0.1 a 1.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Laura Valencia, 2008).

### **Arenisca:**

Roca que se encuentra formada principalmente de cristales de cuarzo y feldespato con diversos grados de meteorización, es la segunda roca sedimentaria más abundante y sus clastos son del tamaño arena (Tucker, 2003) (Tarbuck et al., 2005).

### **Concordancia U-Pb:**

Es un termino utilizado para indicar que los resultados de los análisis por U-Pb se encuentran sobre la curva de concordia (Luz et al., 2018).

### **Cuarcita:**

Roca que proviene del metamorfismo de arenisca rica en cuarzo (Torres et al., 2004).

### **Diagrama de concordia:**

El diagrama de concordia brinda información sobre la dispersión de los datos y la exactitud de los mismos respecto a los dos sistemas independientes  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  y  $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$  (Wetherill, 1956).

### **Discordancia U-Pb:**

Una discordancia es cuando los resultados de los análisis por U-Pb se encuentran fuera de la curva de concordia (Luz et al., 2018).

### **Geocronología:**

Es una herramienta esencial para las ciencias de la Tierra que permite establecer el momento de eventos geológicos que van desde la edad de la Tierra, hasta límites estratigráficos, evolución tectónica etc. (Reiners et al., 2018).

**LA-ICPMS:**

Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry es una metodología que consiste en poner un haz de láser en la superficie de un mineral para después transportar aerosoles resultantes hacia un espectrómetro de masas de acoplamiento inductivo a plasma (Schoene, 2013).

**Prueba-t:**

Es una herramienta utilizada para comparar las medias de dos grupos y determinar si existe una diferencia significativa entre ellas (Walpole et al., 2016).

**Sistema U-Pb:**

El sistema por U-Pb se obtiene por el decaimiento de isótopos padres de U a isótopos estables de Pb. Ningún isótopo padre se desintegra directamente a Pb, sino que tiene una secuencia de decaimiento alfa y beta que a su vez crean isótopos secundarios, y siempre conducen al isótopo estable de Pb (Reiners et al., 2018).

## Resumen

El circón ( $ZrSiO_4$ ) es un mineral que se puede encontrar en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Es comúnmente utilizado en geocronología para fechamiento por U-Pb, así como para complementar investigaciones geoquímicas que pueden implicar la datación de la evolución de la corteza, correlaciones estratigráficas o edad máxima de deposición.

Aunque la datación por U-Pb es un método muy eficaz, se ha demostrado que el U y Th presentes en la estructura del circón provocan daños estructurales al cristal por decaimiento natural. En las zonas donde hay una concentración mayor de U y Th se expulsa una mayor cantidad de Pb provocando daños a la estructura cristalina, además dicha pérdida de Pb es una de las causas que disminuye la exactitud y precisión en la datación provocando discordancias.

Este trabajo tiene como objetivo emplear el método de abrasión química en diferentes experimentos a presión ambiental utilizando HF y  $HNO_3$  calentados sobre una parrilla en viales de marca Savillex a distintas horas de exposición, con la finalidad de remover zonas del circón donde existe pérdida de Pb, lo cual ocasiona discordancia en la datación de los granos. El desarrollo de estos experimentos son un complemento a estudios realizados anteriormente, por lo que a diferencia de estos se utilizaron granos de circón con diferentes orígenes al igual que granos estándares.

Para el desarrollo de los experimentos se realizó la separación de los granos, posteriormente se recoció dentro de una mufla a  $900^\circ C \pm 2^\circ C$ , luego los granos se colocaron dentro de viales sobre una parrilla a  $180^\circ C$  conteniendo soluciones de HF 17mL y  $HNO_3$  0.5mL hasta su evaporación a 12h y 24h, después de este proceso se colocó una solución de 5mL de agua desionizada + 5mL de HCl dentro del vial para enjuagar los granos procediendo a evaporarse nuevamente sobre la parrilla.

Una vez concluidos los experimentos, las muestras se analizaron por LA-ICPMS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry).

Para analizar los resultados del espectrómetro de masas se realizaron gráficos de concordancia, de cajas y bigotes, así como prueba-t y análisis ANOVA. Con la finalidad de representar gráfica y estadísticamente la pérdida de Pb se elaboraron los gráficos de cajas y bigotes, en los que se observa que las muestras NWB y PVSH tienen una pérdida mayor de Pb común a mayor tiempo de tratamiento mientras que en las demás esta condición no se cumple. Por otro lado, los gráficos de concordancia muestran que a mayor tiempo de exposición en los ácidos los datos son más concordantes.

Se complementó este trabajo con una prueba de medias (prueba-t) y análisis ANOVA a fin de ser usada como una métrica para validar estadísticamente la hipótesis presentada en este trabajo, donde se obtuvo que para la prueba-t la mayoría de los experimentos no alcanzan el 90% de confianza excepto para 2 (F\_24h y P\_12h) mientras que el análisis ANOVA muestra que no hay diferencias entre las medias de los experimentos a excepción del experimento P.

La pérdida de Pb común representada por los gráficos de cajas y bigotes no tiene una relación significativa con los análisis de medias del porcentaje de concordancia entre los experimentos a diferentes horas. Los análisis de t de student y ANOVA no permitieron rechazar la hipótesis nula en lo general. Por su parte los gráficos de concordancia demuestran ser mas concordantes a mayor tiempo de exposición, pero sin ser suficientemente robustos para rechazar la hipótesis nula.

Finalmente, el método de abrasión química para la eliminación de discordancia por la pérdida de plomo no mostró una clara mejoría para este propósito bajo las condiciones en las que se elaboró cada experimento.

**Palabras clave:** circón, datación por U-Pb, abrasión química, LA-ICPMS, discordancia, gráfica de concordancia.

## **Abstract**

Zircon ( $\text{ZrSiO}_4$ ) is a mineral that can be found in igneous, metamorphic, and sedimentary rocks. It is commonly used in geochronology for U-Pb dating, as well as to complement geochemical investigations that may involve dating crustal evolution, stratigraphic correlations, or maximum deposition age.

Although U-Pb dating is a very effective method, it has been shown that the U and Th present in the zircon structure cause structural damage to the crystal by natural decay. In areas where there is a higher concentration of U and Th, a greater amount of Pb is expelled, causing damage to the crystalline structure. In addition, said loss of Pb is one of the causes that decreases the accuracy and precision in dating, causing discordance.

This work aims to use the chemical abrasion method in different experiments at ambient pressure using HF and  $\text{HNO}_3$  heated in Savillex brand vials on a hotplate for different times, in order to remove areas of the zircon where there is a loss of Pb, which causes discordance in the dating of the grains. The development of these experiments is a complement to studies carried out previously, so unlike these, zircon grains with different origins were used as well as standard grains.

In the experiments, the grains were separated, then they were annealed in a muffle furnace at  $900^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ , then the grains were placed in vials on a hotplate at  $180^\circ\text{C}$  containing 17mL HF and 0.5mL  $\text{HNO}_3$  solutions until evaporation at 12 and 24h. After this process a solution of 5mL deionized water + 5mL HCl was placed inside the vial to rinse the grains, proceeding to evaporation again on the hotplate. Once the experiments were completed, the samples were analyzed by LA-ICPMS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry).

To analyze the results from the mass spectrometer, concordia and box and whisker plots were made, as well as t-test and ANOVA analyses. In order to graphically and statistically represent the loss of Pb, box and whisker graphs were made, in which it

is observed that the NWB and PVSH samples have greater loss of common Pb at longer treatment times whereas in the others, longer treatment did not cause greater loss of common Pb. On the other hand, the concordia graphs show that the longer the acid exposure time, the more concordant the data.

This work was complemented with a t-test and ANOVA analysis in order to be used as a metric to statistically validate the hypothesis presented in this work. For the t-test most of the experiments did not reach 90% confidence except for 2 (F\_24h and P\_12h), whereas the ANOVA analysis shows that there are no differences between the means of the experiments except for experiment P.

The loss of common Pb represented by the box and whisker plots does not have a significant relationship with the analysis of means of the percentage of concordance between the experiments at different times. The Student's t-test and ANOVA did not allow us to reject the null hypothesis in general. The concordia graphs prove to be more concordant with a longer exposure time, but without being robust enough to reject the null hypothesis.

Finally, the chemical abrasion method for the removal of discordance due to lead loss did not result in clear improvement under the conditions in which each experiment was carried out.

**Keywords:** zircon, U-Pb dating, chemical abrasion, LA-ICPMS, discordance, concordia plot.

# 1. Introducción

## Antecedentes

Hace aproximadamente 110 años Arthur Holmes (Holmes & Lawson, 1927) realizó el primer trabajo de Geocronología, el cual es sorprendentemente preciso aunque fue hecho antes de que los isótopos fueran descubiertos. Estos y otros autores (Barrell, 1917; Boltwood, 1905) con la base de la datación isotópica por U-Pb, que es una de las más importantes ha permitido saber que el elemento Pb tiene 4 isótopos estables naturales,  $Pb^{204}$ ,  $Pb^{206}$ ,  $Pb^{207}$  y  $Pb^{208}$  de los cuales los tres últimos cuentan con un componente radiogénico que se forma a partir del decaimiento de  $U^{238}$ ,  $U^{235}$  y  $Th^{232}$  respectivamente (Schoene, 2013).

El circón se ha convertido en el mineral ideal para realizar datación por U-Pb; gracias a su capacidad de retener elementos traza importantes, aunque una de sus desventajas es que las edades obtenidas muestran discordancia causada por la pérdida de Pb.

Tilton en 1956 realizó experimentos con la primera técnica de lavado de muestras con ácido para interpretar las discordancias en la edad de Pb, donde se molieron las muestras a 40 micras y fueron lavadas por 15 minutos en ácido clorhídrico 6 M frío. Las muestras tratadas con los experimentos fueron comparadas con las muestras originales, sin tratamiento, y se eliminó el 2% de impurezas presentes en la muestra por lo que se pensó que el dejar las muestras más tiempo en ácido clorhídrico podría ayudar a eliminar discordancias de edad (Tilton, 1956).

Tiempo después Mattinson continuo con la técnica de disolución por pasos para una variedad de muestras de circón donde se esperaba poder extraer completamente todo el U y Pb que causarían discontinuidades en las edades por lo que se trataron las muestras 1 semana a 80°C en HF 8 M dando como resultado la eliminación del 30% de dominios muy alterados (zonas dañadas por la pérdida de Pb). Se demostró que para circón ígneo y metamórfico los análisis de concordia obtienen resultados

muy concordantes, caso contrario al circón sedimentario que mostro en su mayoría análisis más discordantes (Mattinson, 1994).

Siguiendo con su investigación Mattinson en 2005 publicó otro trabajo donde muestra que la abrasión química es capaz de remover los dominios de circón dañados por la pérdida de Pb, para esta técnica los granos se pusieron dentro de una mufla a una temperatura de 800-1100°C por 48h para su recocimiento y cierre del sistema del mineral, posteriormente utilizó métodos químicos que remueven zonas con concentraciones de U y Th altas. Este trabajo demostró ser eficaz eliminando discordancias en las edades por U-Pb y utilizó el espectrómetro de masas ID-TIMS (Isotope Dilution - Thermal Ionization Mass Spectrometry) para comprobarlo (Mattinson, 2005).

En el 2014 se realizó un trabajo donde se hace una comparación de los resultados obtenidos por LA-ICPMS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) e ID-TIMS donde se trataron por abrasión química con HF 6 muestras de circón ígneo y después fueron fechadas por dichos espectrómetros. Los resultados arrojaron mejores resultados para las muestras analizadas por LA-ICPMS ya que muestran tener una dispersión menor al 50% respecto al gráfico de concordia. Dicho lo anterior se recomienda usar este espectrómetro ya que resulta tener resultados muy precisos (Von Quadt et al., 2014).

En los estudios previos se ha utilizado principalmente una metodología (ID -TIMS) en la que es necesaria la disolución completa del grano de circón para su análisis. Sin embargo, investigaciones en donde se tomen muestras *in situ* sin diluir el grano son escasos y limitados en cuanto al origen de las muestras de circón.

## Hipótesis

La abrasión química a presión ambiental en una parrilla va a disminuir la discordancia en la edad de los granos de circón respecto a muestras sin tratamiento.

## Objetivo

- Desarrollar un tratamiento de abrasión química a presión ambiental llevado a cabo sobre una parrilla haciendo variaciones en el tiempo y temperatura de exposición a los ácidos para posteriormente analizar los resultados obtenidos por el espectrómetro de masas LA-ICPMS.

## Justificación

Este estudio pretende tratar granos de circón mediante abrasión química, para eliminar discordancias en las edades y posteriormente hacer un análisis *in-situ* por el método de LA-ICPMS; para el cual se requiere que el grano de circón permanezca sin disolver (entero).

El método descrito anteriormente, es complemento de investigaciones anteriores, ya que estas utilizan la metodología de ID - TIMS; en la que se utiliza otro tipo de espectrómetro de masas, en el que es necesario que la muestra de circón esté disuelta para llevar a cabo su análisis. Adicionalmente, fueron utilizadas muestras de circón de diferentes orígenes.

Actualmente existen pocos trabajos empleando la metodología de abrasión química que conserva entero el grano de circón, para su posterior análisis *in situ* (LA-ICPMS).

## 2. Zona de estudio

Es importante mencionar que para este estudio no se realizó trabajo de campo para recolectar las muestras de circón, ya que la pandemia por COVID-19 no lo permitió. Ante esta situación se optó por trabajar con muestras ya recopiladas por estudiantes de las universidades de Alabama y Maryland, al igual que con muestras estándar.

### 2.1 Formación Northwest Branch (Muestra NWB)

La primera muestra se compone de circón proveniente de arenisca meta sedimentaria localizada en la formación Northwest Branch ubicada en el estado de Maryland, EUA. Dicha formación se compone principalmente de cuarcita de la edad del proterozoico tardío y del cámbrico temprano (Martin et al., 2015).

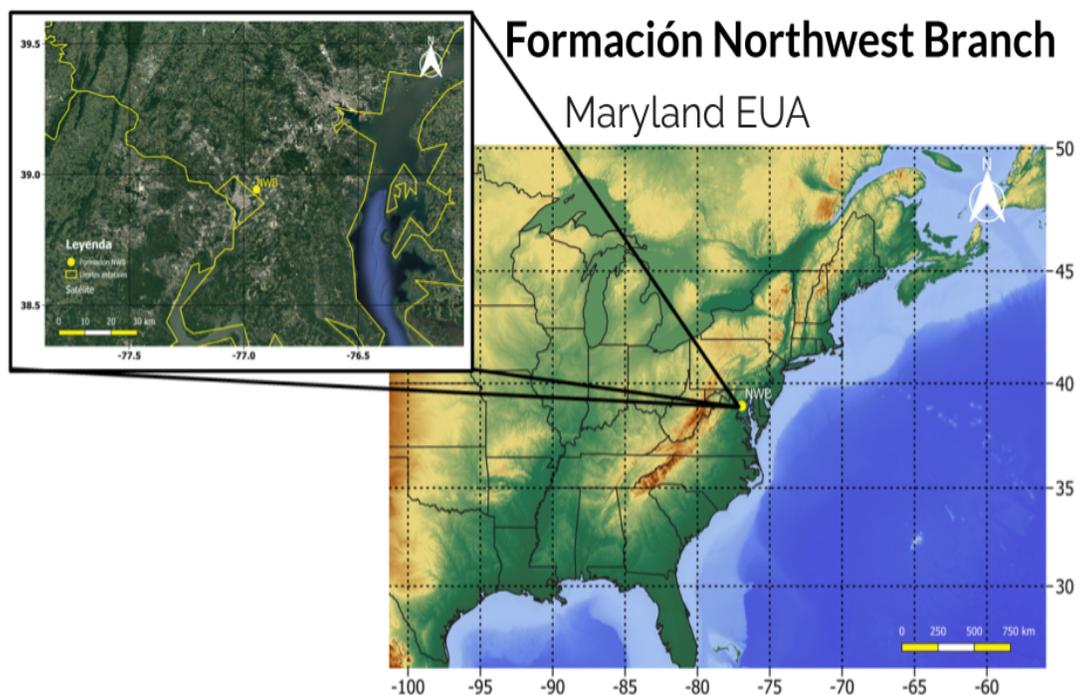


Figura 2.1 Ubicación de la muestra NWB.

## 2.2 Formación Pottsville (Muestra PVSH)

Esta muestra contiene granos de circón provenientes de la formación Pottsville, la cual consiste de un conglomerado de color gris y arenisca de grano fino a grueso del Pensilvánico – Misisípico (Szabo et al., 1988). La zona de estudio se encuentra ubicada en Alabama EUA.

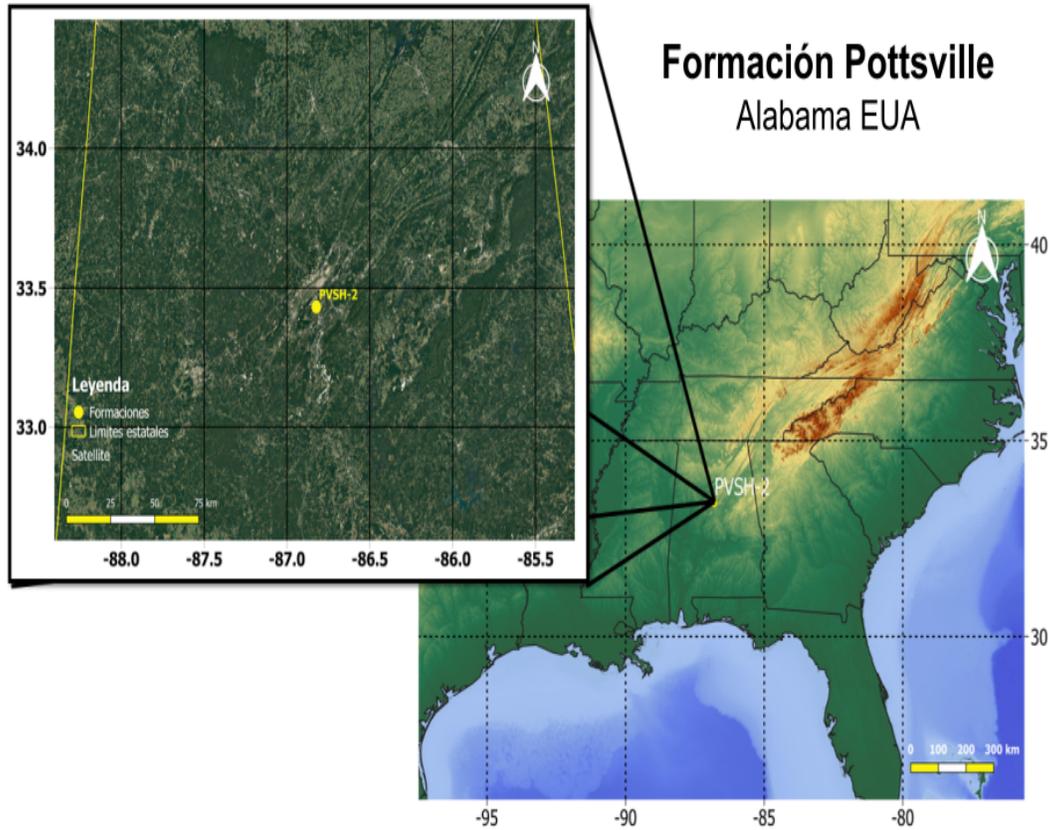


Figura 2.2 Ubicación de la muestra PVSH.

### 2.3 Complejo Braintree (Muestra R)

Se encuentra localizada en Vermont EUA dentro del complejo Braintree. Estos granos de circón son provenientes de monzodiorita de grano grueso que se encontró en el interior de un dique diorítico con 60 m de espesor, la monzodiorita consiste de fenocristales de hornblenda café (25%), biotita (5%), plagioclasas(60%) y cuarzo (10%)(Black et al., 2004).

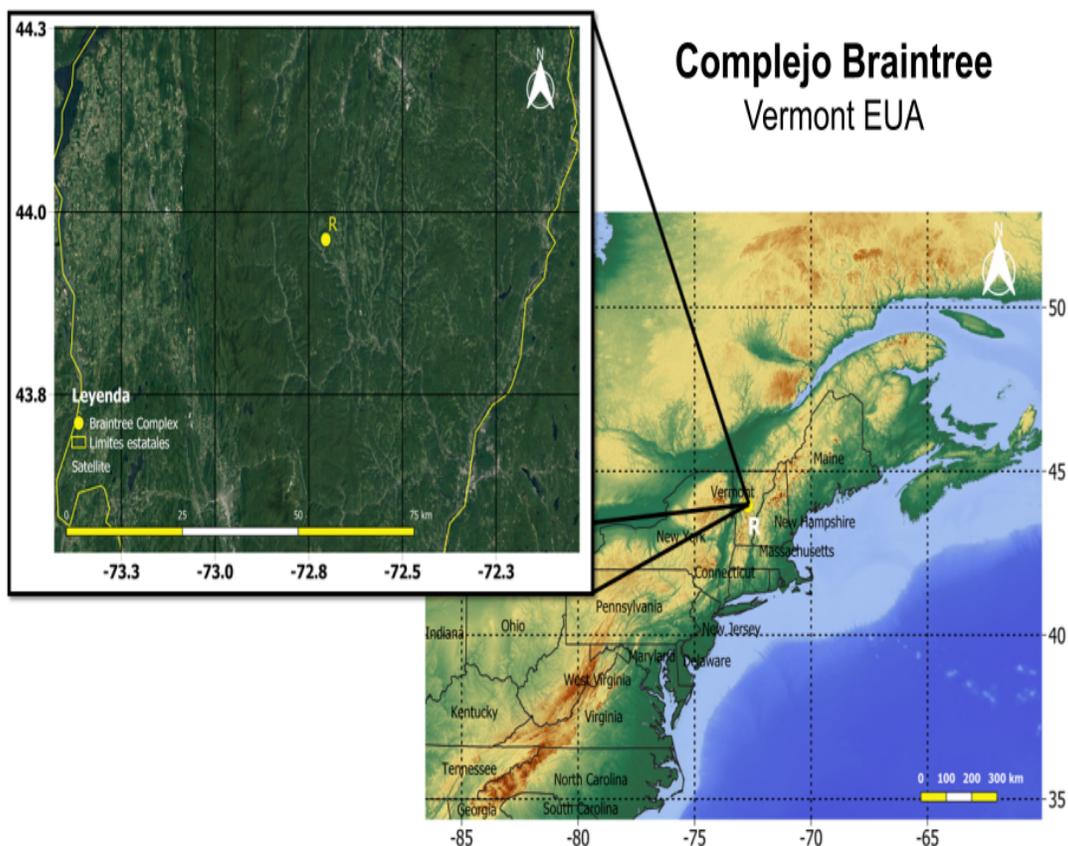


Figura 2.3 Ubicación de la muestra R.

## 2.4 Complejo Duluth (Muestra F)

El Complejo Duluth cubre más de 500 km<sup>2</sup> del noreste de Minnesota. Se construyó a partir de diferentes tipos de rocas máficas, incluyendo gabro, troctolita y ferrodiorita para su mejor estudio dichas rocas máficas se dividieron en series de anortositas y troctolitas. El reconocimiento de dichas series ha demostrado que la mayoría de las rocas máficas se formaron en 2 diferentes tiempos que incluyen múltiples eventos intrusivos (Paces & Miller, 1993).

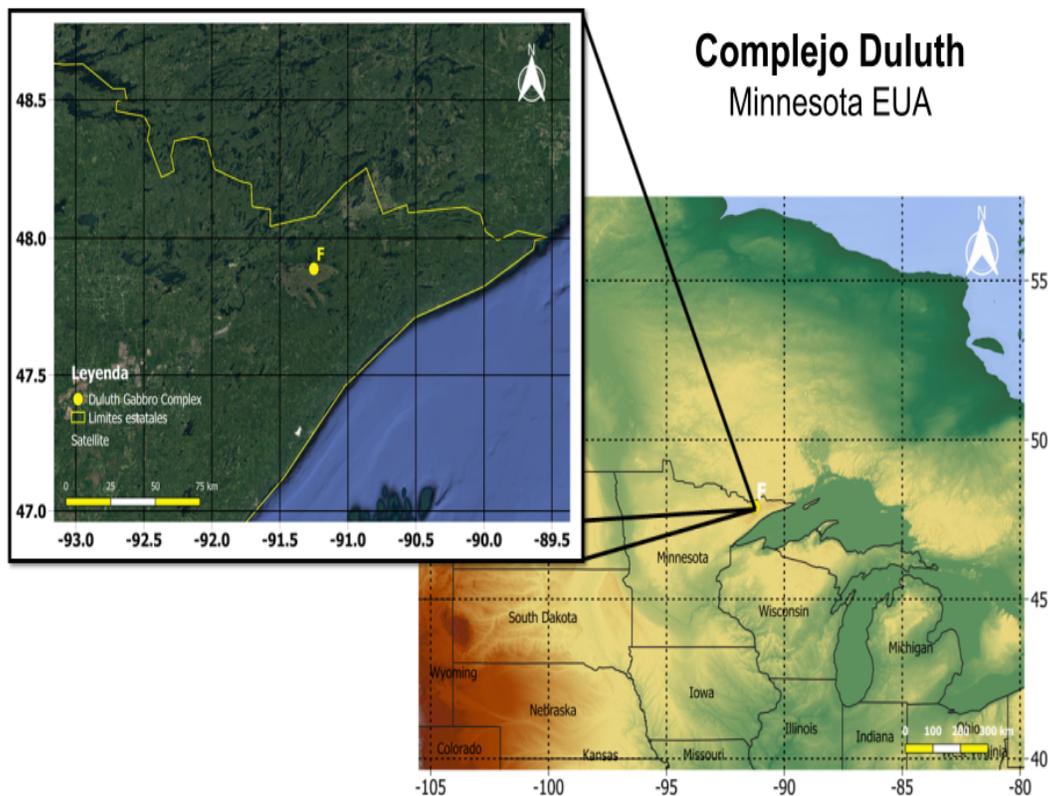


Figura 2.4 Ubicación de la muestra F.

## 2.5 Macizo de Bohemia (Muestra P)

Los granos de circón estudiados son provenientes de una granulita potásica, localizada en el Macizo de Bohemia dentro de la República Checa. La granulita tiene capas foliadas de hasta 2m de espesor, dicha foliación se formó a partir de la descompresión isotérmica hace 340 Ma. El contenido de circón en esta roca es de hasta 0.6% principalmente en dominios con abundante biotita (Sláma et al., 2008).

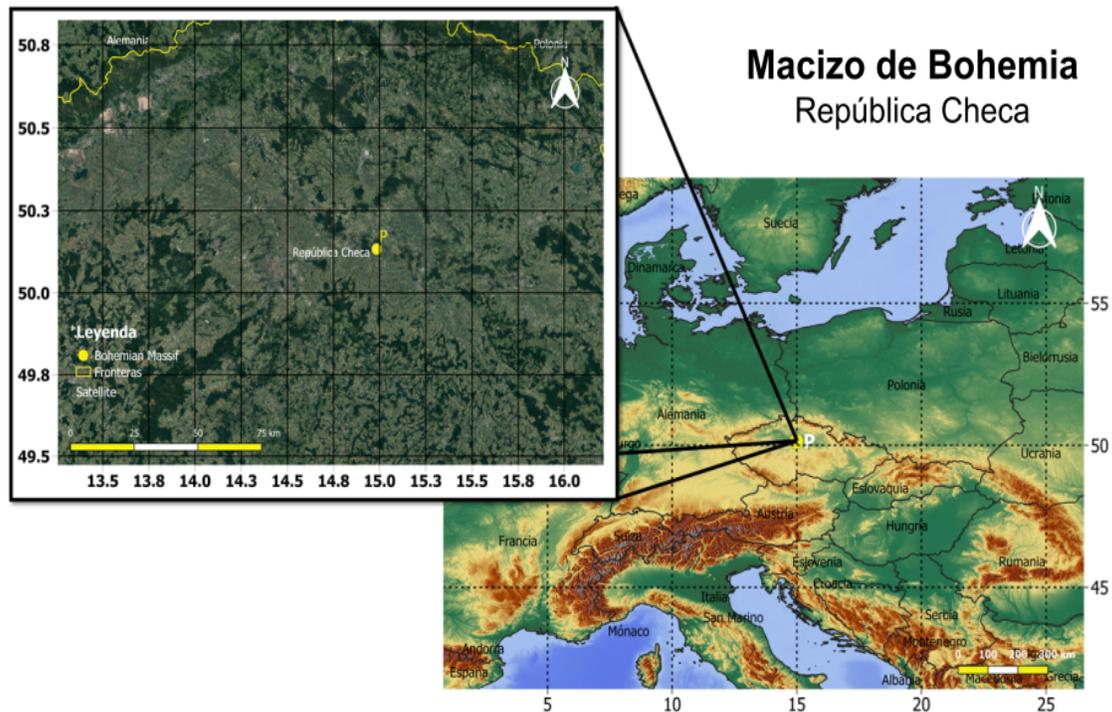


Figura 2.5 Ubicación de la muestra P.

### 3. Generalidades

Este capítulo da a conocer propiedades específicas del circón y de los ácidos que se utilizaron para el tratamiento de las muestras ya que con esta información podemos tener una idea general de cómo estas propiedades ayudan a la disolución parcial de circón en ácidos fuertes.

#### 3.1 Circón

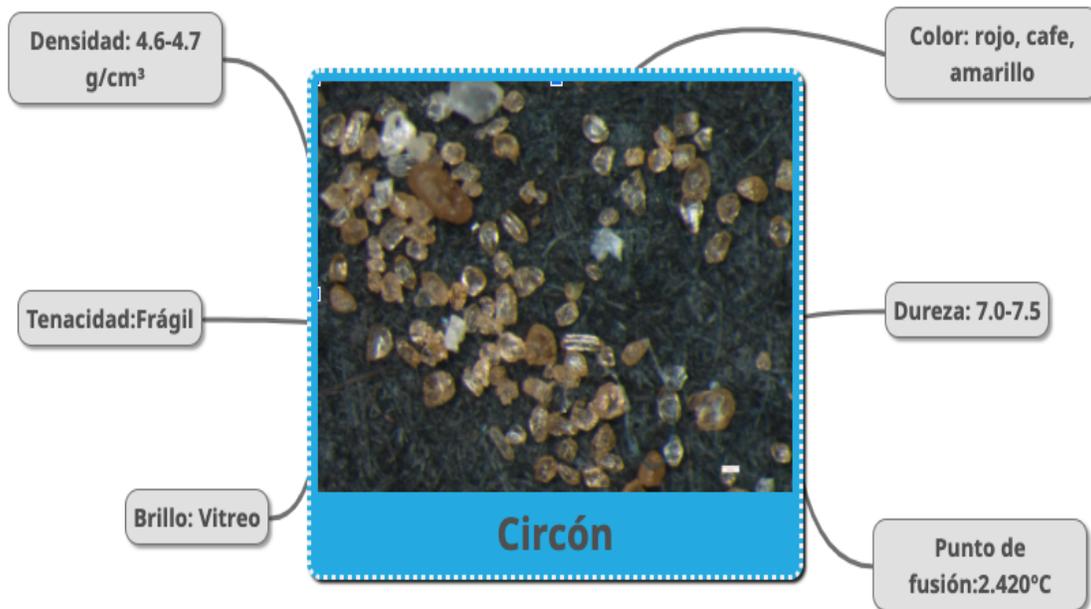


Figura 3.1 Propiedades físicas y químicas del circón (Deer et al., 2013).

#### Características particulares

El circón ( $ZrSiO_4$ ) es un mineral soluble en HF concentrado, tiene una forma de prisma con terminación doble usualmente en forma de pirámide, aunque los sedimentarios pueden estar con forma redondeada, es diamagnético y su peso específico es de 4.6-4.7 g/cm<sup>3</sup> (Deer et al., 2013).

#### Usos del circón en la geología

- Determinar la edad máxima de una sucesión estratigráfica (Hanchar & Hoskin, 2018).
- Estudios de evolución de la corteza y el manto (Gehrels, 2010).

- Es útil para correlacionar areniscas por su contenido de minerales (Reiners et al., 2018).

### 3.2 Circón detrítico

Se le llama al circón que se encuentra presente en algún sedimento, ya que al ser un mineral muy resistente es capaz de sobrevivir a más de un ciclo de meteorización y sedimentación (Deer et al., 2013).

### 3.3 Ácido fluorhídrico (HF)

Es un compuesto químico altamente corrosivo de color transparente, con una densidad parecida a la del agua usado comúnmente para atacar compuestos presentes en muestras geológicas (EPA., 1997).

*Tabla 3.1 Propiedades físicas del ácido fluorhídrico (Fernández Hernández, 2013).*

<b>Propiedades físicas HF</b>	
Masa molar	20 g/mol
Densidad	1.15 g/cm <sup>3</sup>
Punto de fusión	-36°C
Punto de ebullición	106°C

Se ha demostrado que el HF es de gran ayuda en la geocronología del circón, ya que este ácido fuerte tiene la capacidad de eliminar zonas dañadas por la pérdida de Pb y por consecuencia deja granos de circón más concordantes que el circón no tratado con HF (Mattinson, 2005).

### 3.4 Ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>)

Es un ácido fuerte, corrosivo, soluble en agua, no combustible e incoloro o amarillento. Contiene 70% de ácido nítrico y 30% de agua, hierve a 86°C. Es usado para tratar granos de circón por abrasión química, junto con el HF (Universidad Autónoma de Barcelona, 2010)(Mattinson, 2005).

Tabla 3.2 Propiedades físicas del ácido nítrico (EPA., 1997).

<b>Propiedades físicas HNO<sub>3</sub></b>	
Masa molar	63 g/mol
Densidad	1.51 g/cm <sup>3</sup>
Punto de fusión	-42°C
Punto de ebullición	84°C

### 3.5 Ácido clorhídrico (HCl)

Solución acuosa que presenta un olor característicamente fuerte, de color transparente o amarillo, soluble en agua. Se compone 37% de cloruro de hidrógeno y 63% agua. Reacciona a los carbonatos liberando CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (EPA., 1997).

Tabla 3.3 Propiedades físicas del ácido clorhídrico (EPA., 1997).

<b>Propiedades físicas HCl</b>	
Masa molar	36.46 g/mol
Densidad	1.12 g/cm <sup>3</sup>
Punto de fusión	-26°C
Punto de ebullición	48°C

### 3.6 Decaimiento de U-Pb

El decaimiento de U-Pb parte de la descomposición de isótopos padres a hijos con diferentes vidas medias. Ningún isótopo padre se desintegra directamente a Pb, sino que tiene una secuencia de decaimiento alfa y beta que a su vez crean isótopos secundarios, y siempre conducen al isótopo estable de Pb (Reiners et al., 2018).

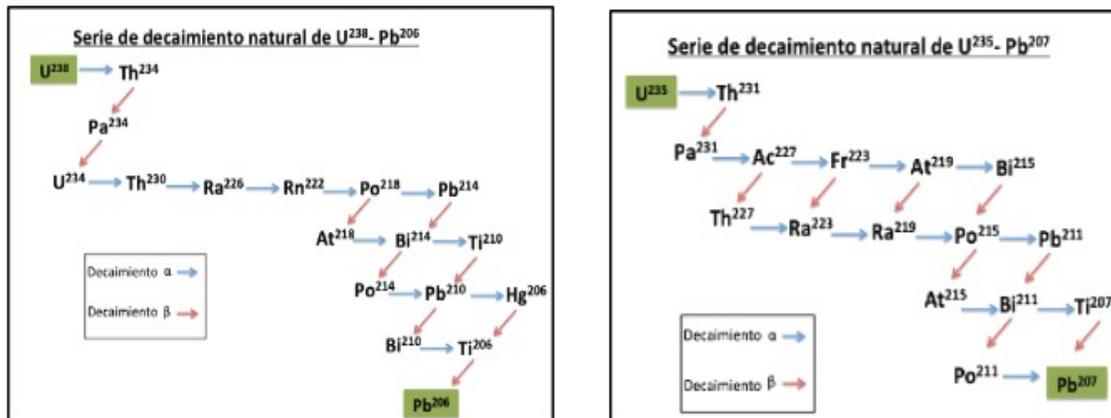


Figura 3.2 Serie de decaimiento natural para  $U^{238}/Pb^{206}$  y  $U^{235}/Pb^{207}$  donde se muestran los isótopos hijos (Reiners et al., 2018).

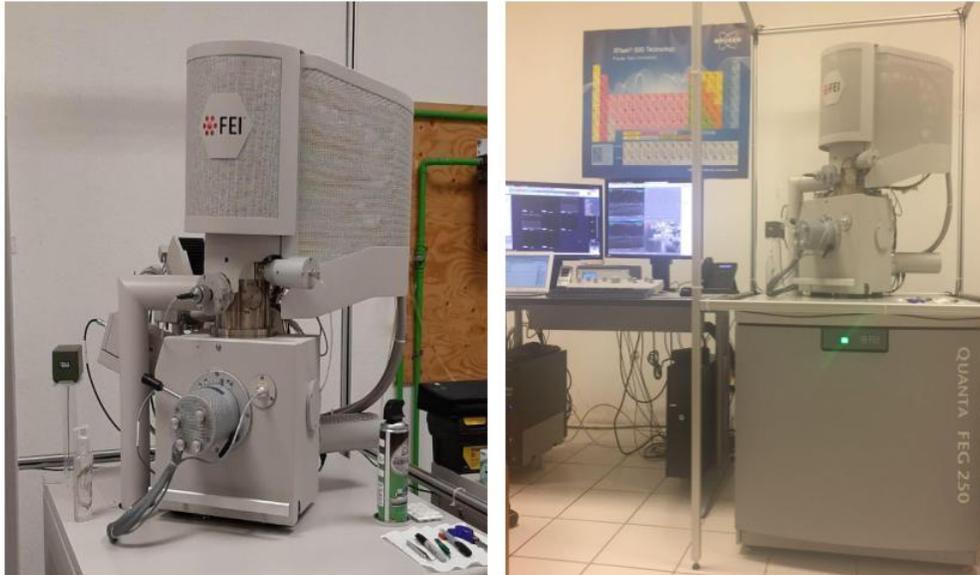
### 3.7 Microscopio electrónico de barrido (MEB)

Es un instrumento que proporciona imágenes a partir de un flujo de electrones sobre la superficie de una muestra. Dichas imágenes se producen por la interacción de electrones que inciden sobre la superficie provocando diferentes tipos de señales. Estas señales se captan por los detectores logrando caracterizar el material de la muestra, asimismo obtiene información morfológica y de composición química de la superficie del material (Ipohorski & Bozzano, 2013).

Las señales que se obtienen por la interacción del haz de los electrones y la superficie de la muestra son:

- Electrones dispersados o secundarios (SE): Se obtiene la morfología superficial de la muestra (Reimer, 1998).
- Electrones retrodispersados (BSE): Proporciona imágenes con diferente brillo de acuerdo a la composición química de la superficie (Reimer, 1998).

- Espectrometría de energía dispersiva de rayos X (EDS): Capta de manera cualitativa los rayos X característicos de los elementos químicos presentes en la superficie de la muestra (Ipohorski & Bozzano, 2013).



*Figura 3.3 Microscopio electrónico de barrido E-SEM Quanta™ 250 FEG que se encuentra ubicado en LINAN.*

Para este trabajo se utilizó el equipo E-SEM (Environmental Scanning Electron Microscope) Quanta™ 250 FEG que permite el análisis de muestras húmedas y no conductoras. Es un equipo de emisión de campo, es decir que produce un haz de electrones a partir de un cristal de tungsteno sometido a una diferencia de potencial para extraer el haz de electrones por emisión de campo. Cuenta con una resolución nominal de 3.0 nm (IPICYT, 2001-2017).

Este equipo puede trabajar con 3 modos de operación:

- Alto vacío (HV): Muestras conductoras y semiconductoras recubiertas con Au, C, Pt, etc. (IPICYT,2001-2017).
- Bajo vacío (LV): Muestras semiconductoras sin necesidad de recubrimiento (IPICYT,2001-2017).
- Ambientales (ESEM): Muestras húmedas y aislantes sin necesidad de recubrimiento. (IPICYT,2001-2017).

## 4. Metodología

En este capítulo se describirán detalladamente los procesos que se realizaron para los diferentes tratamientos de las muestras. En la figura 4.1 se ilustra el procedimiento general. De la misma manera serán descritos los procedimientos de análisis con el Microscopio Electrónico de Barrido, Espectrometría de masas (LA-ICPMS) y Prueba-T.

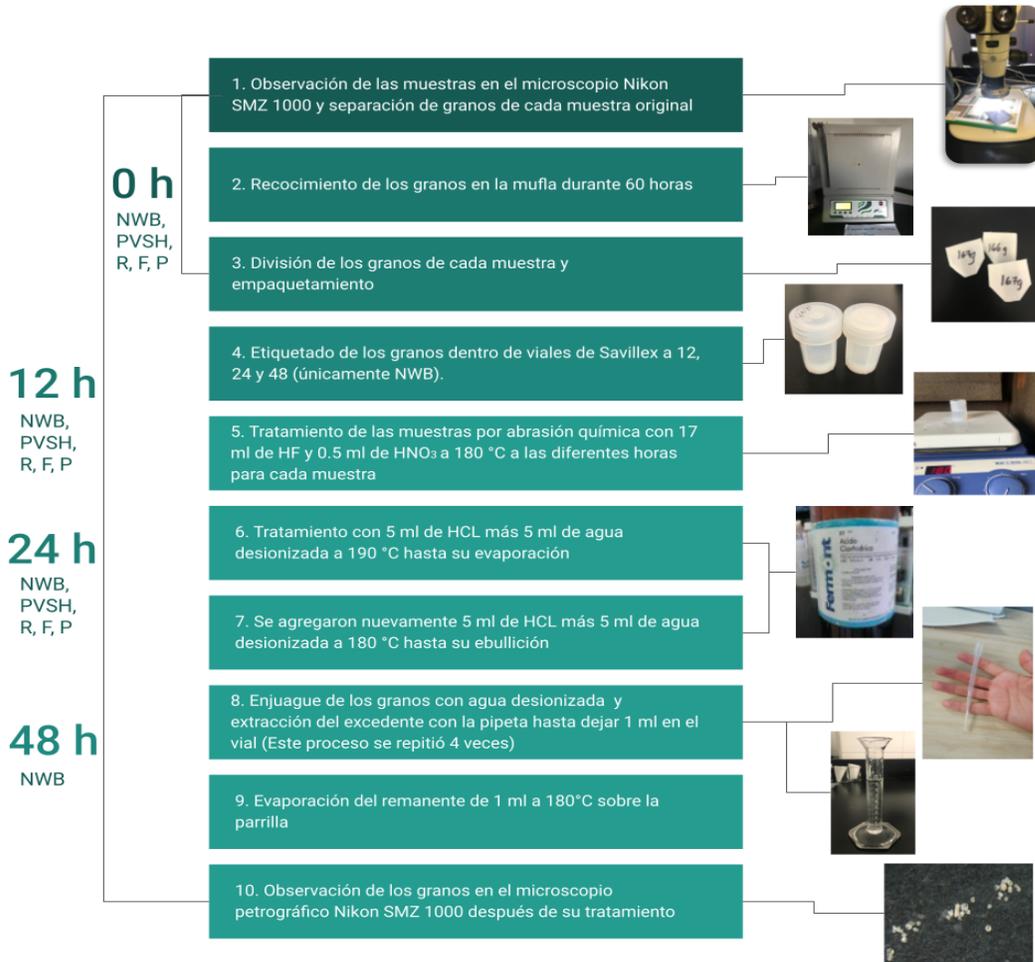


Figura 4.1 Diagrama ilustrativo de la preparación y desarrollo de los experimentos en el laboratorio.

#### 4.1 Material utilizado para la preparación de las muestras y el desarrollo de los experimentos

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| I. Microscopio petrográfico Nikon SMZ 1000 | VIII. Ácido fluorhídrico (HF) |
| II. Hoja de papel negro                    | IX. Mufla                     |
| III. Hoja de papel encerado                | X. Crisoles de porcelana      |
| IV. Isopropanol                            | XI. Vial de Savillex          |
| V. Muestras de circón: NWB, PVSH, R, F, P. | XII. Limpiador ultrasónico    |
| VI. Ácido clorhídrico (HCl)                | XIII. Pipeta de 2 ml          |
| VII. Ácido Nítrico (HNO <sub>3</sub> )     | XIV. Agua desionizada         |
|  | XV. Probeta graduada          |
|  | XVI. Parrilla                 |



Figura 4.2 Material utilizado en el laboratorio

#### 4.2 Preparación y desarrollo de los experimentos

1.- Se observaron las muestras en el microscopio petrográfico Nikon SMZ 1000 para reconocer la forma, color y brillo de los granos, ya que estas características físicas son importantes para poder distinguir el circón entre otros minerales que también pudieron estar presentes en las mismas muestras.

2.- Posteriormente se separaron granos de circón de cada una de las muestras originales con ayuda de una aguja metálica (tabla 4.1), contando grano por grano en el microscopio petrográfico hasta llegar a la cantidad deseada.

Tabla 4.1 Cantidad de granos por muestra.

<i>Nombre de la muestra</i>	<i>Cantidad de granos de circón</i>
NWB	667
PVSH	120
R	60
F	60
P	60

3.- Se depositaron los granos anteriormente separados dentro de crisoles de porcelana individuales para cada muestra, los cuales se introdujeron en una mufla por 60 horas a una temperatura de 897°C (para la muestra NWB) y 900°C (para las muestras restantes). Es importante mencionar que la mufla tiene una incertidumbre de  $\pm 2^\circ\text{C}$ , por lo que no se pudo llegar a los 900°C deseados en la muestra NWB y que las 60 horas de recocimiento de las muestras son independientes al tiempo que tarda la mufla en alcanzar la temperatura ideal, así como al tiempo de enfriamiento de esta (24 horas).

4.- Al terminar el recocimiento parcial (Es un método utilizado para recristalizar zonas con menor daño por el decaimiento radioactivo de U-Pb, mientras que las más dañadas no se podran recristalizar completamente lo que las hacen susceptibles al ataque de los ácidos) en la mufla se dividieron los granos de cada muestra como indica el siguiente diagrama (figura 4.3):

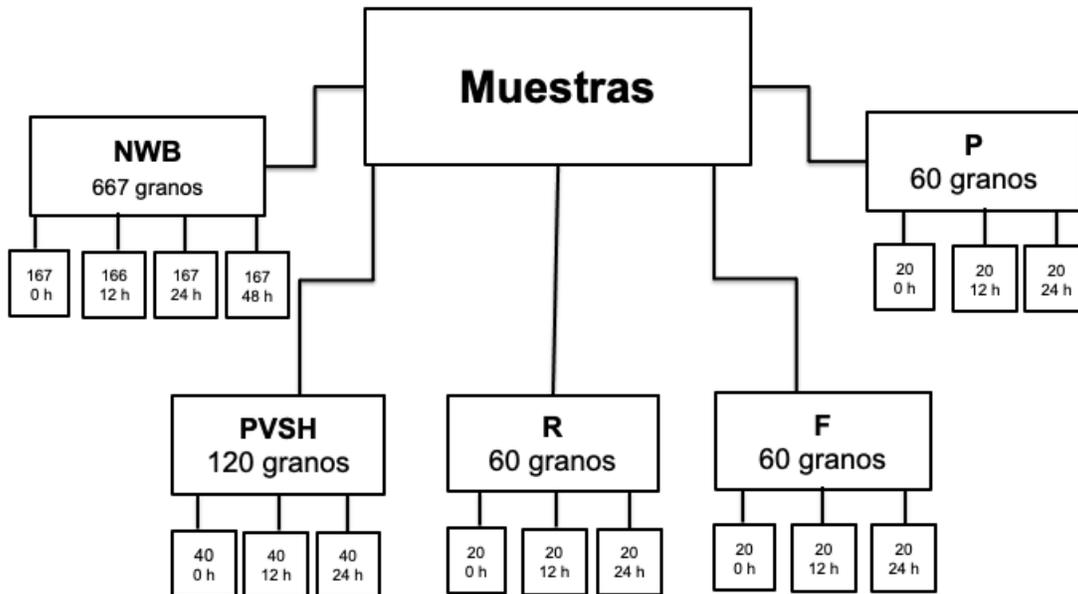


Figura 4.3 . Diagrama que indica cómo se dividieron las muestras de acuerdo al tiempo en el que fueron tratadas por abrasión química.

5.- Luego de separar las muestras como se indica en la figura 4.3 se procedió a poner los granos dentro de viales de Saville con etiquetas a 12 y 24 horas para cada muestra, y solo uno de 48 horas para la muestra NWB. Los granos etiquetados como 0h se colocaron en papeles encerados sellados y no se les realizó algún tratamiento.

6.- Para los experimentos se utilizaron los siguientes ácidos: HF al 48%, HCl al 36.5-38% y HNO<sub>3</sub> al 64-66%. En el caso de las muestras etiquetadas a 12 h se agregaron a los viales 17 ml de HF y 0.5 ml de HNO<sub>3</sub>. Posteriormente se colocaron sobre la parrilla eléctrica los recipientes semicerrados con la tapa, a una temperatura de 180 °C durante 12 horas dentro de una campana de extracción. Este procedimiento también se realizó para las muestras con etiqueta a 24 h, modificando el tiempo sobre la parrilla a 24 horas. Se debe mencionar que la única muestra tratada a 48 h por abrasión química fue la NWB en la cual se realizó el mismo procedimiento de 12 y 24 h modificando el tiempo que pasa el vial sobre la parrilla a 48 horas.

7.- Una vez que se evaporó la mezcla de HF y HNO<sub>3</sub> se procedió a verter dentro de los viales una solución de 5 ml de HCl más 5 ml de agua desionizada, para

posteriormente colocar sobre la parrilla a 190 °C hasta su evaporación dentro de la campana de extracción. El tiempo de evaporación de los ácidos (HF, HNO<sub>3</sub> y HCl) fué estimado en un experimento de prueba donde se calculó el tiempo en el que se debían destapar los viales de Savillex para la completa evaporación.

**8.-** Al evaporarse la solución anterior se agregaron nuevamente 5 ml de HCl más 5 ml de agua desionizada en los viales y se colocaron sobre la parrilla a una temperatura de 180 °C dentro de la campana de extracción hasta que el líquido entrara en ebullición. Posteriormente se introdujo el vial en un limpiador ultrasónico por 1 minuto para enjuagar los granos (Este procedimiento únicamente se realizó para la muestra NWB ya que el limpiador ultrasónico se dañó y no se pudo utilizar para el resto de las muestras).

**9.-** Luego se diluyó con agua desionizada el remanente de la sustancia anterior y con la ayuda de una pipeta se decantó la solución hasta dejar aproximadamente 1 ml en el vial, teniendo cuidado de no absorber granos de circón. Este procedimiento se repitió 4 veces para poder enjuagar los granos y remover residuos de HCl.

**10.-** Al quedar 1ml de líquido en el vial, se optó por poner este encima de la parrilla a una temperatura de 180 °C dentro de la campana de extracción hasta su evaporación.

**11.-** Los pasos 7 - 10 se hicieron para las muestras PVSH, R, F, P (12 y 24 h) y NWB (12, 24 y 48 h).

**12.-** Una vez concluidos cada uno de los pasos anteriores se observaron los granos de circón resultantes nuevamente en el microscopio petrográfico Nikon SMZ 1000 para su conteo e identificación de cambios en sus propiedades físicas como forma, color y brillo. En este análisis se utilizó una hoja de papel negro, para resaltar el color y las propiedades de los granos de circón. También se utilizó Isopropanol para separar los granos, ya que unos se encontraban pegados por fuerza de atracción entre ellos.

### 4.3 Preparación de las muestras para ser observadas en el microscopio electrónico de barrido

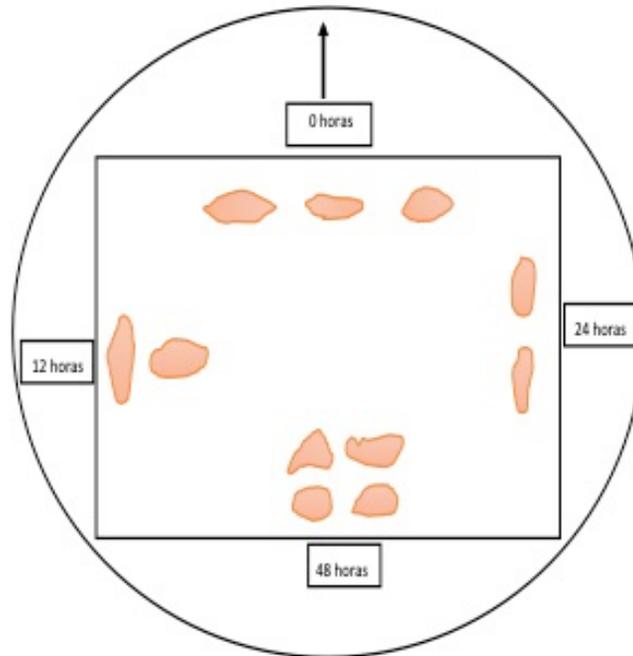
Una vez concluidos los experimentos dentro de los ácidos fuertes, se observó la muestra NWB con el microscopio electrónico de barrido (MEB) FEI-ESEM QUANTA FEG -250 ubicado en el Laboratorio Nacional de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología (LINAN) en el IPICYT.

El objetivo fue obtener imágenes de la muestra NWB que permitieran observar detalladamente la morfología superficial de los granos a 0h, 12h, 24h y 48h, para posteriormente comparar los resultados.

Los granos se montaron de forma ordenada dentro de un pin de metal con ayuda del microscopio Nikon SMZ 1000. Se le colocó cinta adhesiva de carbono doble cara para que los granos fueran adheridos correctamente al pin. También se utilizaron guantes de nitrilo y pinzas para montar los granos teniendo especial cuidado de no contaminar las muestras.

Finalmente, se ubicó la muestra dentro del microscopio electrónico de barrido QUANTA 250 para ser examinada a bajo vacío por electrones secundarios y se emplearon magnificaciones de 500X, 2 500X y 10 000X para enfocar los cambios en la superficie de cada cristal.

En la figura 4.4 se muestra el orden en el que se acomodaron los granos para cada experimento, así mismo se pintó una flecha con marcador negro en la parte superior del pin, ya que esto permite tener un orden y una mejor orientación al momento de analizar la muestra en el MEB.



*Figura 4.4 Representación de los granos analizados para la muestra NWB montada en el pin considerando el tiempo de tratamiento en los ácidos fuertes.*

- Material utilizado para colocar las muestras en el pin

I Microscopio Nikon SMZ 1000

II Guates de nitrilo

III Cinta de carbono doble cara

IV Pin de metal 25mm

V Pinzas

VI Muestra NWB no tratada y tratada a diferentes horas

VII ESEM QUANTA FEG-250



Figura 4.5 Materiales que se utilizaron para la preparación de la muestra NWB para después observarla en el MEB. I) Microscopio Nikon SMZ 1000 II) Guantes de nitrilo III) Cinta de carbono doble cara IV) Pin de metal V) Pinzas VI) MEB VII) Muestra NWB no tratada y tratada a 12h, 24h y 48h en ácidos fuertes.

#### 4.4 Preparación de las muestras para su análisis por LA-ICPMS

Una vez concluidos los experimentos (como se indica en la sección 4.2) para las muestras NWB, PVSH, R, F y P se empaquetaron los granos de circón resultantes después del tratamiento, al igual que los granos sin tratamiento en sobres de papel encerado para su análisis por LA-ICPMS en el laboratorio de Geocronología de la Universidad de Arizona (figura 4.6).

Es importante mencionar que para la muestra NWB tratada a 48 horas se decidió que no sería analizada por el espectrómetro de masas porque se diluyeron granos y es necesario mantenerlos completos para el análisis in-situ.

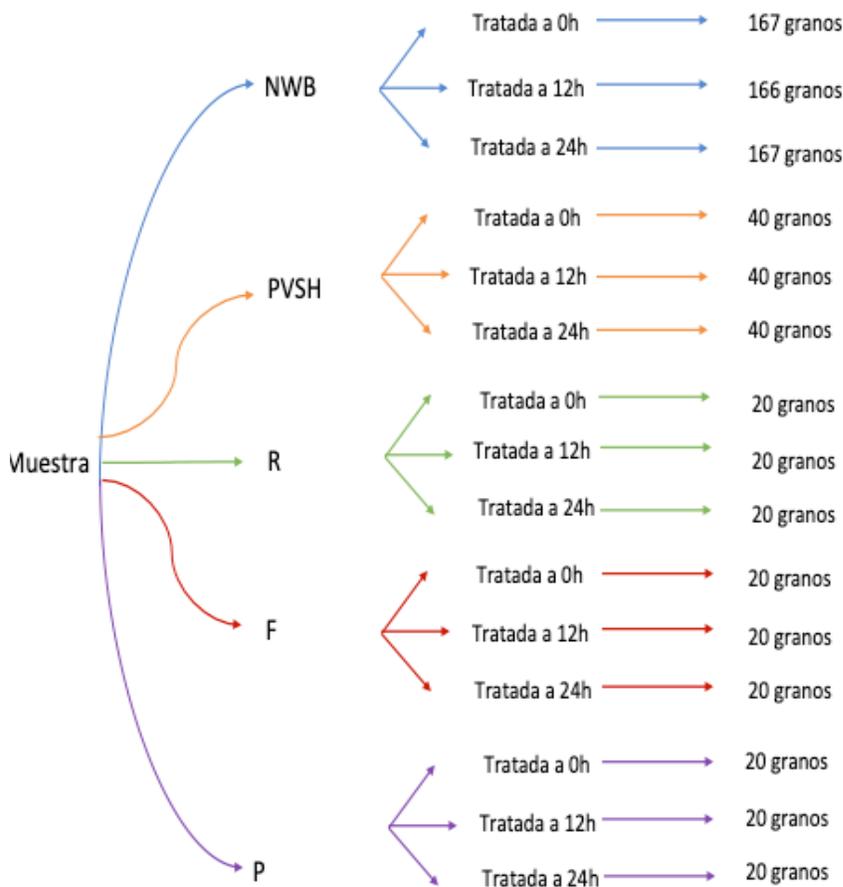


Figura 4.6 Diagrama que muestra el orden en el que se empaquetaron las muestras para ser enviadas al laboratorio de Geocronología de la Universidad de Arizona para su análisis por LA-ICPMS.

#### 4.5 Análisis por LA-ICPMS

En esta sección se muestran tablas (p.ej. 5.2) que contienen datos isotópicos como: la concentración de Uranio en ppm, la cantidad de Pb, la relación de U-Th, las relaciones isotópicas con su error de correlación, edades aparentes en millones de años y el porcentaje de concordancia, que es el que indica cuando un análisis es concordante o discordante según sea el valor del porcentaje.

Así mismo en este apartado se encuentran los gráficos de Concordia para cada experimento, estas fueron construidas en Excel con el plugin especial Isoplot donde se introdujeron los valores de las proporciones isotópicas  $Pb^{207}/U^{235}$  y  $Pb^{206}/U^{238}$  más el error de correlación, estos datos se encuentran en las tablas de datos isotópicos antes mencionadas. El eje x de la gráfica de Concordia representa la

proporción de  $Pb^{207}/U^{235}$  mientras que el eje y representa la proporción de  $Pb^{206}/U^{235}$  y la curva representa las edades.

Para que un análisis sea concordante se debe encontrar en un valor de 70%-105% en el porcentaje de concordancia, un valor menor al 70% se asocia a pérdida de Pb y uno mayor al 105% a inclusiones de otros minerales (Faure, 1986).

También en este capítulo se analizan diagramas de cajas y bigotes que se hicieron para observar gráficamente la pérdida de Pb en cada experimento, aunado a dichos gráficos se agregaron tablas que muestran numéricamente el valor del promedio, Q1, Q3, mediana, máximo y mínimo.

De la misma manera en esta sección se ubican pruebas-t para cada experimento, las cuales se realizaron con la finalidad de conocer la aceptación o rechazo de la hipótesis planteada, partiendo de la comparación del resultado de las medias entre los experimentos (0h, 12h y 24h) respecto a la pérdida de Pb.

#### 4.6 Prueba- t

Es una técnica estadística paramétrica que se utiliza para comparar medias en 2 grupos de muestras y se pueden utilizar 3 escenarios posibles para su análisis estos son: (Walpole et al., 2016)

- 1) Dos muestras relacionadas o pareadas.
- 2) Dos muestras independientes con varianzas iguales.
- 3) Dos muestras independientes con varianzas diferentes.

En este trabajo se utilizó el escenario 3 ya que se compararon los valores de pérdida de Pb de la muestra a 0h con los respectivos 12 y 24 horas de tratamiento para cada muestra (con diferentes tamaños muestrales), así mismo se aplicó el criterio de dos colas ya que este permite determinar si la diferencia de la media entre los experimentos a 0, 12 y 24 horas es estadísticamente significativa entre si.

## **5. Resultados**

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos antes y después del tratamiento de las muestras por abrasión química.

### 5.1 Imágenes de la muestra NWB tomadas por el microscopio petrográfico Nikon SMZ 1000.

Se observó la muestra NWB en el microscopio petrográfico y se tomaron fotografías a diferentes magnificaciones para identificar propiedades características del circón como color, brillo y forma. Este análisis se realizó con la finalidad de reconocer cambios cualitativos y cuantitativos en la muestra antes y después del tratamiento por abrasión química.

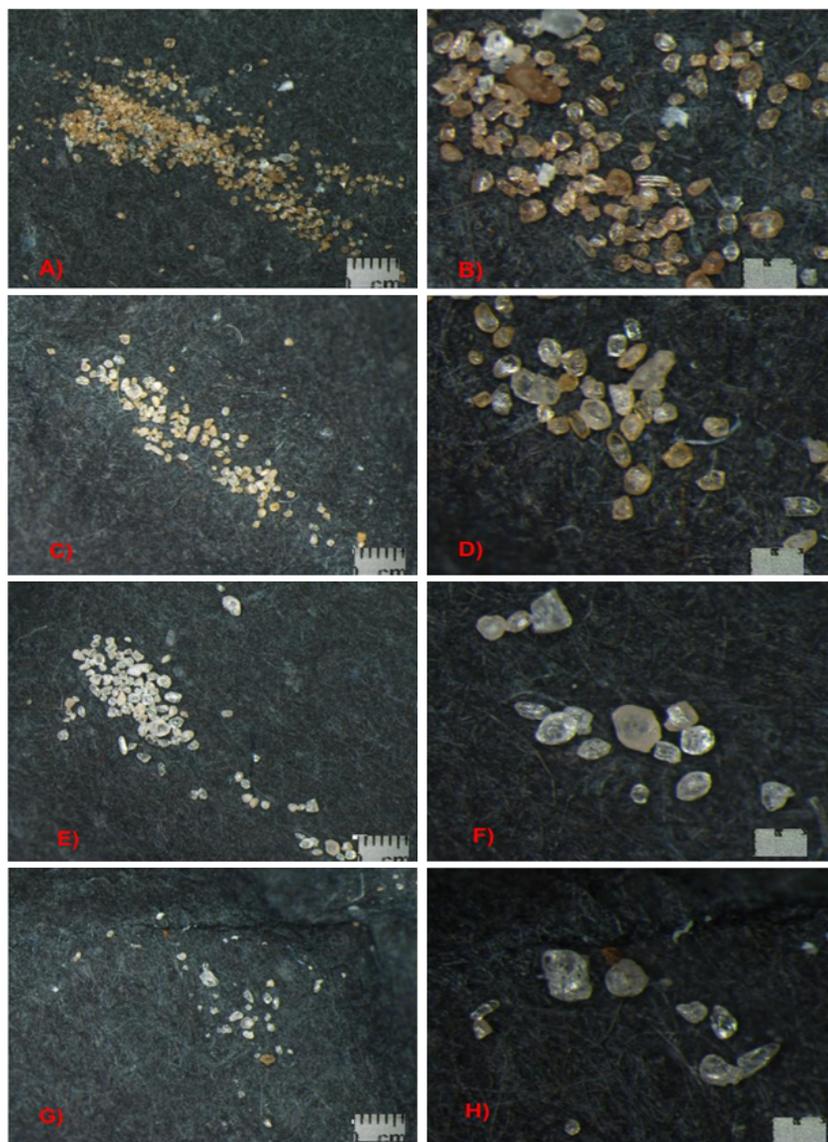


Figura 5.1 Fotografías tomadas por el microscopio petrográfico Nikon SMZ 1000 para la muestra NWB tratada a 0 h (A-B), 12 h (C-D), 24 h (E-F), 48 h (G-H). Magnificación a 2X y 6X en las columnas de izquierda a derecha respectivamente.

El microscopio petrográfico Nikon SMZ 1000 permitió observar la muestra NWB tratada a 0h usando diferentes magnificaciones donde se reconocen el color marrón y la forma con doble terminación característica del circón detrítico, de la misma manera se identifica el brillo vitreo (figura 5.1 A-B).

En la figura 5.1 (C-D) se puede observar una fotografía de la muestra NWB tratada a 12h por ácidos fuertes a una temperatura de 180°C, donde la forma de los granos

de circón detrítico se conserva, el color varía ligeramente con respecto a la muestra tratada a 0h y el brillo es opaco.

Para el experimento con 24 horas de tratamiento se aprecia (figura 5.1. E - F) que los granos muestran la morfología sin variaciones, pero ha cambiado su color completamente a blanco respecto a (C-D) y el brillo es cristalino.

En el caso de la figura 5.1 (G-H) se observa que la morfología de los granos se ha visto afectada ya que se muestran más redondeados e incluso hay algunos fragmentados, el color es blanco y el brillo es vítreo.

### **Cambios cuantitativos para la muestra NWB**

Se realizó el conteo grano por grano para cada muestra y como se observa en la (tabla 5.1) para los experimentos a las 0,12 y 24 horas se mantuvo la misma cantidad de granos al inicio y al final, mientras que para el tratamiento de la muestra a las 48 horas se tuvo una cantidad inicial de 167 y final de 85 granos.

*Tabla 5.1 Cantidad de granos antes y después de los experimentos para la muestra NWB.*

Nombre de la muestra	Horas de tratamiento	Cantidad de granos inicial	Cantidad de granos final
NWB	0h	167	167
	12h	166	166
	24h	167	167
	48h	167	85

### **5.2 Fotografías de la muestra MWB tomadas por el microscopio electrónico de barrido (MEB)**

Se colocaron en un pin de forma ordenada granos de circón, como se mencionó en la sección 4.4, posteriormente se analizaron en el microscopio electrónico de barrido por la técnica de electrones secundarios (SE) para observar los cambios morfológicos superficiales que ocurrieron en las muestras a las diferentes horas de los experimentos. Las fotografías de esta sección fueron tomadas gracias a la ayuda de la técnica responsable M. en C. Ana Iris Peña Maldonado.

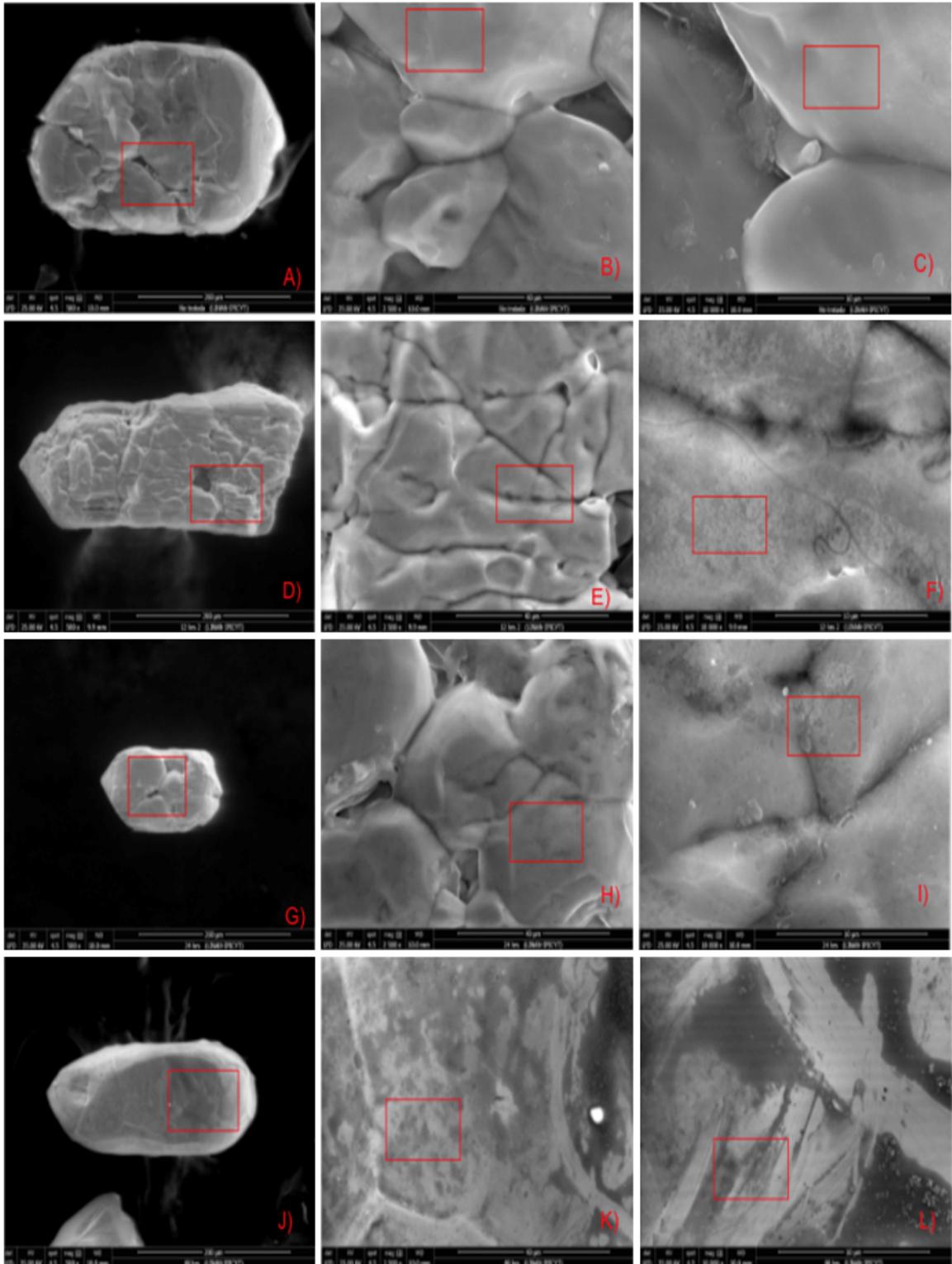


Figura 5.2 Fotografías tomadas por el MEB para la muestra NWB tratada a 0 h (A-C), 12 h (D - F), 24 h (G -I), 48 h (J - L). Magnificación a 500X, 2500X y 10000X en las columnas de izquierda a derecha respectivamente.

En la figura 5.2 se muestra un grano de circón a diferentes magnificaciones, donde en A) se observa un grano de circón completo naturalmente dañado y fracturado como se marca en el cuadro rojo, a una magnificación de 500X. Para B) y C) a magnificaciones de 2,500X y 10,000X respectivamente, la superficie del mineral se ve lisa como se señala en los cuadrados color rojo.

De la misma manera, la figura 5.2 muestra en D) el grano de circón completo altamente fracturado (señalado en rojo). Mientras que en E) y F) se aprecia más de cerca, comenzando a ser evidente una ligera porosidad fácil de distinguir en comparación con la figura 5.2 (B y C) donde la superficie es lisa.

Para la muestra tratada a 24 horas, se observa (figura 5.2 G) un grano roto y dañado como en las figuras anteriores, pero con ayuda de una magnificación más amplia (I) se muestra una porosidad más marcada que en el experimento a 12 horas, además de cierta topografía delimitada por el recuadro rojo.

En el grano tratado a 48 horas (figura 5.2) es más notoria la porosidad y topografía (K-L) (marcadas con rojo) que en todos los experimentos anteriores.

## 5.3 Análisis por LA-ICPMS de todas las muestras

### 5.3.1 Resultados de LA-ICPMS para la muestra NWB tratada a 0h

Tabla 5.2 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra NWB tratada a 0h.

Analysis	U conc (ppm)	206Pb 204Pb	U Th	Isotope ratios							Apparent ages (Ma)					Concor (%)	
				206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	error	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*		±
				207Pb*	(%)	235U	(%)	238U	(%)	corr.	238U	(Ma)	235U	(Ma)	207Pb*		(Ma)
<b>NWB 0h</b>																	
NWB 0h -1	53	29551	3.3	13.9448	0.9	1.6533	1.5	0.1673	1.2	0.78	997	11	991	10	977	19	102
NWB 0h -2	85	16178	3.2	11.2679	0.8	2.8690	1.4	0.2346	1.1	0.80	1358	13	1374	10	1398	16	97
NWB 0h -3	20	24731	2.9	5.3152	1.0	13.4500	2.0	0.5187	1.7	0.85	2694	36	2712	18	2725	17	99
NWB 0h -4	90	24192	1.6	12.7096	0.9	2.0093	1.5	0.1853	1.2	0.80	1096	12	1119	10	1163	18	94
NWB 0h -5	233	165670	1.6	10.7355	0.7	3.3390	1.5	0.2601	1.3	0.87	1490	17	1490	12	1490	14	100
NWB 0h -6	336	2244	2.3	12.7053	5.2	1.2461	5.6	0.1149	2.1	0.37	701	14	822	31	1164	103	60
NWB 0h -7	285	270271	7.7	13.3844	0.8	1.7969	1.2	0.1745	0.8	0.72	1037	8	1044	8	1060	16	98
NWB 0h -8	42	3001	1.3	11.9170	1.7	2.2635	2.4	0.1957	1.7	0.70	1152	18	1201	17	1290	34	89
NWB 0h -9	33	4853	4.8	13.0176	2.2	2.1492	2.6	0.2030	1.3	0.51	1191	14	1165	18	1116	45	107
NWB 0h -10	330	26402	2.4	12.7130	0.8	1.9161	1.5	0.1767	1.3	0.86	1049	13	1087	10	1163	15	90
NWB 0h -11	264	76416	4.5	12.4557	0.7	1.6479	1.3	0.1489	1.2	0.87	895	10	989	8	1203	13	74
NWB 0h -12	24	3287	2.9	12.6112	1.4	2.2775	1.8	0.2084	1.1	0.62	1220	12	1205	12	1179	27	104
NWB 0h -13	108	15180	1.4	13.3577	0.8	1.8623	1.4	0.1805	1.2	0.83	1070	11	1068	9	1064	16	101
NWB 0h -14	67	65045	2.3	13.6144	0.9	1.6936	1.4	0.1673	1.0	0.72	997	9	1006	9	1026	19	97
NWB 0h -15	377	75301	3.3	12.9609	0.8	1.9553	1.3	0.1839	1.1	0.80	1088	11	1100	9	1124	16	97
NWB 0h -16	217	39599	2.9	12.7713	0.8	2.1187	1.5	0.1963	1.3	0.86	1156	13	1155	10	1154	15	100
NWB 0h -17	369	37547	5.5	13.4797	0.6	1.7858	1.2	0.1747	1.1	0.86	1038	10	1040	8	1046	13	99
NWB 0h -18	77	38528	2.3	11.6088	0.8	2.7016	1.4	0.2276	1.2	0.82	1322	14	1329	11	1341	16	99
NWB 0h -19	359	25631	9.3	6.7807	1.8	2.1951	6.9	0.1080	6.7	0.97	661	42	1179	48	2316	30	29
NWB 0h -20	15	19416	3.7	12.8041	1.5	2.0092	2.0	0.1867	1.4	0.68	1103	14	1119	14	1149	29	96
NWB 0h -21	458	95180	9.3	11.1806	0.7	2.8657	1.6	0.2325	1.4	0.89	1347	17	1373	12	1413	14	95
NWB 0h -22	99	36822	1.5	11.6466	0.9	2.6488	1.3	0.2238	1.0	0.74	1302	12	1314	10	1334	17	98
NWB 0h -23	146	8307	1.5	13.6001	1.0	1.8080	1.4	0.1784	1.0	0.70	1058	10	1048	9	1028	21	103
NWB 0h -24	145	562107	3.2	12.7413	1.0	2.1557	1.5	0.1993	1.1	0.77	1172	12	1167	10	1158	19	101
NWB 0h -25	67	9075	7.8	13.8347	0.8	1.4748	1.5	0.1480	1.3	0.86	890	11	920	9	993	15	90
NWB 0h -26	273	36052	5.2	10.7553	0.8	3.2625	1.4	0.2546	1.1	0.81	1462	15	1472	11	1487	16	98
NWB 0h -27	99	11048	1.7	12.5430	0.9	2.4403	1.9	0.2221	1.6	0.86	1293	19	1255	13	1189	18	109
NWB 0h -28	219	28911	3.5	12.6191	0.7	2.1934	1.2	0.2008	1.0	0.81	1180	11	1179	8	1177	14	100
NWB 0h -29	62	4546	2.7	11.2661	2.7	2.5811	2.9	0.2110	1.2	0.40	1234	13	1295	21	1398	52	88
NWB 0h -30	135	17836	1.4	12.2078	0.8	2.3730	1.4	0.2102	1.1	0.82	1230	13	1235	10	1243	15	99
NWB 0h -31	735	34201	4.5	13.3934	0.7	1.4388	1.5	0.1398	1.3	0.89	844	10	905	9	1059	14	80
NWB 0h -32	155	25524	2.5	12.0646	0.7	2.4269	1.3	0.2124	1.0	0.80	1242	11	1251	9	1266	15	98
NWB 0h -33	67	71111	3.7	13.9493	1.0	1.3478	2.0	0.1364	1.8	0.87	824	14	867	12	976	21	84
NWB 0h -34	329	23543	4.8	13.4685	0.7	1.7743	1.8	0.1734	1.7	0.92	1031	16	1036	12	1047	15	98
NWB 0h -35	289	39093	4.2	6.4169	0.7	4.6530	1.4	0.2166	1.2	0.87	1264	14	1759	11	2410	12	52
NWB 0h -36	311	40873	2.5	10.9324	0.7	3.1496	1.4	0.2498	1.1	0.84	1438	15	1445	10	1456	14	99
NWB 0h -37	163	22980	4.6	12.9838	0.8	1.9318	1.5	0.1820	1.3	0.86	1078	12	1092	10	1121	15	96
NWB 0h -38	284	18223	1.4	12.6670	0.7	1.9608	1.4	0.1802	1.2	0.85	1068	12	1102	10	1170	15	91
NWB 0h -39	127	13842	2.4	13.2970	0.8	1.9397	1.6	0.1871	1.4	0.87	1106	15	1095	11	1073	16	103
NWB 0h -40	346	316867	2.6	12.7155	0.7	2.0781	1.5	0.1917	1.3	0.89	1131	14	1142	10	1162	13	97
NWB 0h -41	136	30785	3.5	13.7121	0.8	1.6115	1.4	0.1603	1.2	0.82	959	11	975	9	1011	17	95
NWB 0h -42	89	50688	2.3	12.6495	0.8	2.1403	1.4	0.1964	1.2	0.82	1156	12	1162	10	1173	16	99
NWB 0h -43	553	69347	49.9	13.5847	0.7	1.6546	1.6	0.1631	1.4	0.89	974	13	991	10	1030	15	95
NWB 0h -44	333	26651	2.1	11.0914	0.9	1.9782	1.8	0.1592	1.5	0.85	952	13	1108	12	1428	18	67
NWB 0h -45	152	32814	2.7	11.3484	0.8	2.8964	1.5	0.2385	1.2	0.83	1379	15	1381	11	1384	16	100
NWB 0h -46	110	29281	2.7	9.5106	0.9	4.2202	1.7	0.2912	1.4	0.84	1648	21	1678	14	1716	17	96
NWB 0h -47	627	48860	4.8	13.6056	0.8	1.4590	1.7	0.1440	1.5	0.87	867	12	914	10	1027	17	84
NWB 0h -48	109	121548	1.9	10.7687	0.8	3.3139	1.4	0.2589	1.2	0.82	1484	16	1484	11	1484	16	100
NWB 0h -49	206	181671	3.0	12.9871	0.7	1.5606	1.5	0.1471	1.4	0.90	884	11	955	9	1120	13	79
NWB 0h -50	509	196338	5.0	10.8898	0.9	3.0220	1.6	0.2388	1.3	0.82	1380	16	1413	12	1463	17	94

NWB 0h -51	14	987	4.8	16.0939	3.6	1.3843	3.8	0.1616	1.3	0.34	966	12	882	22	678	76	143
NWB 0h -52	136	19023	2.5	12.4914	1.0	2.1332	1.6	0.1933	1.2	0.76	1139	13	1160	11	1197	21	95
NWB 0h -53	61	15507	2.4	10.7670	1.1	3.2108	1.9	0.2508	1.6	0.83	1443	21	1460	15	1485	20	97
NWB 0h -54	334	152274	3.2	11.2330	1.0	2.8536	1.6	0.2326	1.3	0.81	1348	16	1370	12	1404	18	96
NWB 0h -55	110	32632	2.1	13.2590	0.7	1.7695	1.3	0.1702	1.0	0.81	1013	10	1034	8	1079	15	94
NWB 0h -56	67	7461	3.1	13.4658	0.9	1.7860	1.5	0.1745	1.2	0.78	1037	11	1040	10	1048	19	99
NWB 0h -57	54	45309	2.3	12.4745	0.8	2.2404	1.1	0.2028	0.8	0.72	1190	9	1194	8	1200	15	99
NWB 0h -58	101	333	2.1	5.5487	18.1	5.3396	19.4	0.2150	6.9	0.35	1255	78	1875	167	2654	303	47
NWB 0h -59	91	431898	2.5	13.4635	1.1	1.7039	2.0	0.1664	1.6	0.83	993	15	1010	13	1048	22	95
NWB 0h -60	181	1043726	0.7	12.9759	0.8	1.8917	1.4	0.1781	1.1	0.82	1057	11	1078	9	1122	16	94
NWB 0h -61	111	6172	0.9	13.9136	2.1	1.1039	2.6	0.1114	1.6	0.61	681	10	755	14	981	43	69
NWB 0h -62	107	23253	1.4	9.8562	0.7	4.0236	1.5	0.2877	1.3	0.86	1630	18	1639	12	1650	14	99
NWB 0h -63	82	8260	3.9	11.0832	0.7	3.0380	1.5	0.2443	1.3	0.87	1409	16	1417	11	1429	14	99
NWB 0h -64	286	35334	5.1	11.2205	0.7	2.6785	1.4	0.2181	1.2	0.87	1272	14	1323	10	1406	13	90
NWB 0h -65	44	15563	2.1	10.9544	0.8	3.2734	1.3	0.2602	1.0	0.77	1491	13	1475	10	1452	15	103
NWB 0h -66	169	20565	1.8	12.5114	1.2	2.2092	1.8	0.2006	1.3	0.73	1178	14	1184	12	1194	24	99
NWB 0h -67	79	11518	2.4	10.9936	0.9	3.1277	1.4	0.2495	1.0	0.74	1436	13	1440	11	1445	18	99
NWB 0h -68	37	36744	2.2	5.2909	0.7	13.6747	1.1	0.5250	0.9	0.78	2720	19	2727	11	2733	12	100
NWB 0h -69	200	37531	1.0	10.9443	0.7	3.2520	1.1	0.2582	0.8	0.76	1481	11	1470	9	1454	14	102
NWB 0h -70	340	25300	4.0	11.6615	0.7	2.3354	1.2	0.1976	1.0	0.81	1162	10	1223	8	1332	14	87
NWB 0h -71	77	28397	1.8	4.8167	0.6	15.3774	1.2	0.5374	1.0	0.85	2773	22	2839	11	2886	10	96
NWB 0h -72	319	101579	2.9	11.1236	0.7	2.9717	1.4	0.2399	1.2	0.86	1386	15	1400	10	1423	13	97
NWB 0h -73	47	18789	1.2	10.7586	0.9	3.2589	1.4	0.2544	1.1	0.75	1461	14	1471	11	1486	18	98
NWB 0h -74	590	39743	14.7	13.5093	0.9	1.6817	1.6	0.1648	1.4	0.85	984	13	1002	11	1041	17	94
NWB 0h -75	263	24757	1.9	13.7450	0.9	1.6570	1.7	0.1653	1.5	0.86	986	13	992	11	1006	18	98
NWB 0h -76	177	46184	2.6	11.5374	0.7	2.7530	1.4	0.2305	1.2	0.87	1337	15	1343	10	1352	13	99
NWB 0h -77	14	2273	4.4	13.4700	2.2	1.9141	2.7	0.1871	1.6	0.57	1106	16	1086	18	1047	45	106
NWB 0h -78	477	2539539	1.8	12.5014	0.8	2.1132	1.7	0.1917	1.5	0.87	1130	15	1153	12	1196	16	95
NWB 0h -79	57	8605	1.6	14.1162	1.2	1.4632	1.7	0.1499	1.2	0.70	900	10	915	10	952	25	95
NWB 0h -80	191	57317	2.1	11.6500	0.7	2.6868	1.3	0.2271	1.1	0.83	1319	13	1325	9	1334	13	99
NWB 0h -81	130	38967	1.4	10.6847	0.8	3.5227	1.5	0.2731	1.2	0.84	1557	17	1532	12	1499	15	104
NWB 0h -82	75	19607	2.4	10.8875	0.8	3.1963	1.3	0.2525	1.0	0.79	1451	13	1456	10	1463	14	99
NWB 0h -83	102	509230	3.3	13.4479	1.1	1.7463	1.9	0.1704	1.6	0.82	1014	15	1026	12	1050	22	97
NWB 0h -84	47	11766	2.3	13.2327	1.2	1.9166	1.8	0.1840	1.3	0.74	1089	13	1087	12	1083	24	101
NWB 0h -85	315	33519	2.5	11.4241	1.0	2.6688	1.8	0.2212	1.5	0.84	1288	18	1320	13	1371	19	94
NWB 0h -86	67	15703	2.1	13.5535	1.0	1.6810	1.6	0.1653	1.3	0.80	986	12	1001	10	1035	20	95
NWB 0h -87	282	28200	1.2	13.6636	0.8	1.8218	1.3	0.1806	1.0	0.80	1070	10	1053	8	1018	15	105
NWB 0h -88	47	26235	1.7	11.9957	0.9	2.6449	1.7	0.2302	1.5	0.86	1336	18	1313	13	1277	17	105
NWB 0h -89	12	730	1.3	19.1850	2.0	1.2147	2.3	0.1691	1.1	0.49	1007	11	807	13	290	46	347
NWB 0h -90	33	12861	2.8	5.3239	0.6	13.7991	1.3	0.5331	1.1	0.87	2754	25	2736	12	2723	10	101
NWB 0h -91	22	6297	2.7	13.6761	1.6	1.7474	2.0	0.1734	1.1	0.57	1031	11	1026	13	1016	33	101
NWB 0h -92	212	82744	1.8	10.9769	0.8	3.0228	1.4	0.2408	1.2	0.82	1391	15	1413	11	1448	15	96
NWB 0h -93	112	12657	1.9	11.6681	0.8	2.6745	1.4	0.2264	1.1	0.80	1316	13	1321	10	1331	16	99
NWB 0h -94	25	9324	1.8	13.4917	1.4	1.8533	1.8	0.1814	1.1	0.62	1075	11	1065	12	1044	29	103
NWB 0h -95	27	9147	3.4	13.4001	1.8	1.7176	2.1	0.1670	1.1	0.52	996	10	1015	13	1058	36	94
NWB 0h -96	107	338146	3.0	11.4264	0.8	2.8168	1.3	0.2335	1.0	0.79	1353	13	1360	10	1371	16	99
NWB 0h -97	158	34282	11.9	12.6799	0.8	1.8909	1.8	0.1740	1.6	0.90	1034	16	1078	12	1168	16	89
NWB 0h -98	162	184354	2.3	10.9140	0.9	3.1655	1.7	0.2507	1.5	0.87	1442	19	1449	13	1459	16	99
NWB 0h -99	377	42863	2.8	11.1159	0.9	2.8607	1.6	0.2307	1.3	0.81	1338	16	1372	12	1424	18	94
NWB 0h -100	107	3685	4.2	11.4777	3.9	2.1416	4.2	0.1784	1.5	0.35	1058	14	1162	29	1362	75	78

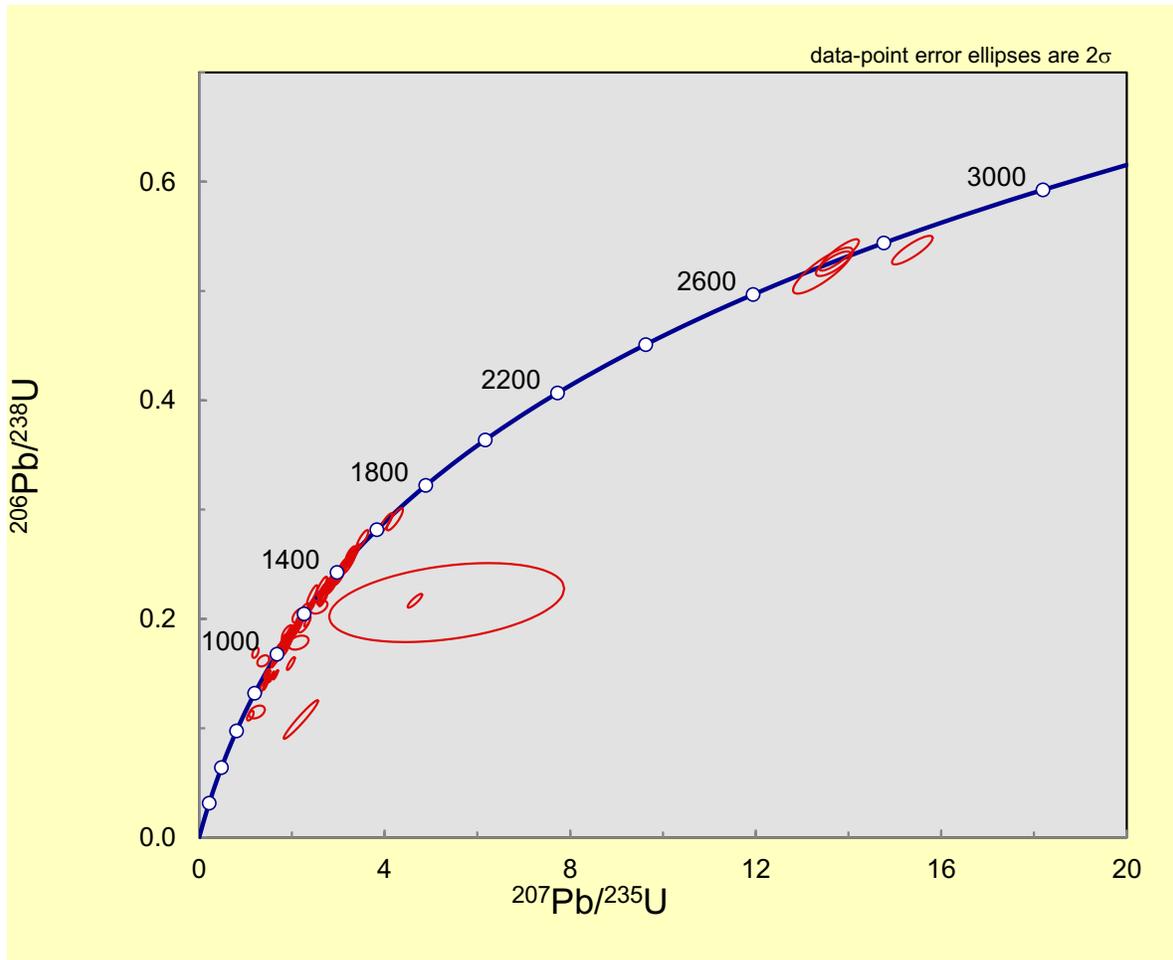


Figura 5.3 Gráfico de concordia para muestra NWB tratada a 0h.

La tabla 5.2 contiene un total de 100 análisis para muestra NWB sin tatar, estos resultados fueron obtenidos por el espectrómetro de masas del laboratorio de Geocronología en Arizona, 11 de ellos son discordantes (se muestran resaltados en color amarillo).

En la figura 5.3 se observa que hay elipses fuera de la curva de concordia por la derecha e izquierda y que unas son más grandes que otras, estos análisis se llaman discordantes por estar fuera de la línea de concordia.

### 5.3.2 Resultados de LA-ICPMS para la muestra NWB tratada a 12 horas

Tabla 5.3 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra NWB tratada a 12 h.

Analysis	U conc (ppm)	206Pb 204Pb	U Th	Isotope ratios							Apparent ages (Ma)						Concor (%)
				206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	error	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	
				207Pb*	(%)	235U	(%)	238U	(%)	corr.	238U	(Ma)	235U	(Ma)	207Pb*	(Ma)	
<b>NWB 12h</b>																	
NWB 12h-1	13	1233	1.3	16.6347	5.1	1.3079	5.3	0.1579	1.5	0.29	945	13	849	30	607	109	156
NWB 12h-2	23	11093	1.6	12.6498	1.7	2.1098	2.1	0.1936	1.2	0.60	1141	13	1152	14	1173	33	97
NWB 12h-3	54	11478	3.5	11.1774	1.0	2.8601	1.6	0.2320	1.2	0.78	1345	15	1371	12	1413	19	95
NWB 12h-4	135	37840	2.4	12.0187	0.9	2.4683	1.6	0.2152	1.3	0.82	1257	15	1263	11	1273	17	99
NWB 12h-5	562	261655	3.5	12.3486	0.6	2.0644	1.7	0.1850	1.6	0.93	1094	16	1137	11	1220	12	90
NWB 12h-6	235	80231	7.8	12.9418	0.9	1.9666	1.4	0.1847	1.1	0.78	1092	11	1104	10	1127	18	97
NWB 12h-7	22	1438	4.4	15.0978	1.9	1.5431	2.3	0.1690	1.3	0.58	1007	12	948	14	813	39	124
NWB 12h-8	24	20063	5.0	12.8104	1.0	1.9475	1.7	0.1810	1.3	0.79	1073	13	1098	11	1148	21	93
NWB 12h-9	27	15913	2.3	13.4310	1.7	1.7268	2.3	0.1683	1.5	0.68	1003	14	1019	15	1053	34	95
NWB 12h-10	349	54354	6.3	12.3057	1.0	2.1666	1.6	0.1934	1.3	0.80	1140	13	1170	11	1227	19	93
NWB 12h-11	432	29039	2.1	13.6669	0.9	1.6597	1.4	0.1646	1.1	0.79	982	10	993	9	1018	18	97
NWB 12h-12	143	109194	4.2	12.8215	1.1	1.7326	1.9	0.1612	1.6	0.83	963	14	1021	12	1146	21	84
NWB 12h-13	227	39952	2.3	14.1538	0.7	1.5027	1.7	0.1543	1.5	0.91	925	13	931	10	947	14	98
NWB 12h-14	56	14203	9.4	12.8907	1.0	1.8213	1.7	0.1704	1.4	0.80	1014	13	1053	11	1135	21	89
NWB 12h-15	730	274857	23.6	12.3007	0.9	2.1866	1.9	0.1952	1.6	0.87	1149	17	1177	13	1228	18	94
NWB 12h-16	206	38555	4.3	12.7604	0.9	2.0772	1.6	0.1923	1.4	0.83	1134	14	1141	11	1155	18	98
NWB 12h-17	157	57531	1.6	11.3874	0.7	2.7562	1.5	0.2277	1.3	0.86	1323	15	1344	11	1378	14	96
NWB 12h-18	120	37838	4.5	11.3626	0.7	2.7116	1.4	0.2236	1.3	0.88	1301	15	1332	11	1382	13	94
NWB 12h-19	88	10142	4.3	12.3867	1.0	2.2997	1.7	0.2067	1.4	0.81	1211	15	1212	12	1214	19	100
NWB 12h-20	131	264039	3.0	13.0388	0.9	1.9487	1.6	0.1844	1.3	0.83	1091	13	1098	11	1112	18	98
NWB 12h-21	27	48461	2.6	13.5319	1.3	1.7313	1.9	0.1700	1.3	0.70	1012	12	1020	12	1038	27	98
NWB 12h-22	134	12100	7.2	12.6738	1.3	1.8723	2.1	0.1722	1.6	0.78	1024	16	1071	14	1169	26	88
NWB 12h-23	34	2925	3.8	14.2519	1.6	1.6345	2.2	0.1690	1.5	0.67	1007	14	984	14	932	33	108
NWB 12h-24	59	12334	3.1	11.3567	1.0	2.8592	1.5	0.2356	1.2	0.75	1364	14	1371	12	1383	20	99
NWB 12h-25	122	8734	2.4	10.7590	2.8	2.6580	3.1	0.2075	1.4	0.45	1215	16	1317	23	1486	53	82
NWB 12h-26	61	8658	1.4	13.5153	1.1	1.8315	1.6	0.1796	1.1	0.73	1065	11	1057	10	1040	21	102
NWB 12h-27	128	26880	2.5	11.6579	0.8	2.6689	1.6	0.2258	1.4	0.85	1312	16	1320	12	1332	16	98
NWB 12h-28	222	68749	4.5	12.9001	0.9	2.0076	1.7	0.1879	1.5	0.85	1110	15	1118	12	1134	18	98
NWB 12h-29	28	64197	1.3	13.3233	1.6	1.7012	2.2	0.1645	1.5	0.67	982	13	1009	14	1069	33	92
NWB 12h-30	58	8334	2.3	11.6763	1.2	2.6287	1.7	0.2227	1.1	0.66	1296	13	1309	12	1329	24	98
NWB 12h-31	29	11803	3.0	13.7849	1.2	1.6521	1.8	0.1652	1.3	0.75	986	12	990	11	1000	24	99
NWB 12h-32	439	223198	3.9	13.2727	0.7	1.7849	1.3	0.1719	1.1	0.83	1023	10	1040	8	1077	14	95
NWB 12h-33	132	108335	3.5	11.8949	0.8	2.5284	1.3	0.2182	1.1	0.80	1272	12	1280	10	1293	16	98
NWB 12h-34	96	12676	21.3	11.1092	0.9	2.9822	1.3	0.2404	1.0	0.76	1389	12	1403	10	1425	16	97
NWB 12h-35	88	16170	2.4	10.8967	1.0	3.1258	1.6	0.2471	1.2	0.78	1424	16	1439	12	1462	19	97
NWB 12h-36	211	111438	3.1	12.4328	0.7	2.2210	1.3	0.2004	1.1	0.84	1177	12	1188	9	1207	14	98
NWB 12h-37	429	63686	2.7	10.7826	0.9	3.1647	2.1	0.2476	1.9	0.90	1426	24	1449	16	1482	18	96
NWB 12h-38	66	14373	5.3	11.5391	1.1	2.7207	2.2	0.2278	1.9	0.86	1323	22	1334	16	1352	21	98
NWB 12h-39	126	30800	4.0	13.5725	0.9	1.7283	1.6	0.1702	1.3	0.81	1013	12	1019	10	1032	19	98
NWB 12h-40	112	27136	3.2	12.2037	1.3	2.3476	2.3	0.2079	2.0	0.84	1218	22	1227	17	1243	25	98
NWB 12h-41	125	35404	3.0	12.6393	0.7	2.0342	1.2	0.1866	0.9	0.79	1103	10	1127	8	1174	14	94
NWB 12h-42	31	29372	21.5	13.5193	1.2	1.7601	1.6	0.1727	1.2	0.71	1027	11	1031	11	1040	23	99
NWB 12h-43	25	3283	2.7	13.7470	1.4	1.7550	2.0	0.1751	1.4	0.69	1040	13	1029	13	1006	29	103
NWB 12h-44	9	1014	2.0	16.9831	10.3	1.3295	10.4	0.1638	1.5	0.15	978	14	859	60	562	225	174

NWB 12h-45	800	66486	7.5	13.8354	0.9	1.5485	2.1	0.1555	1.9	0.90	931	16	950	13	993	18	94
NWB 12h-46	171	954418	2.1	11.1521	0.9	2.8681	1.6	0.2321	1.4	0.85	1345	17	1374	12	1418	17	95
NWB 12h-47	18	2883	1.9	14.6155	2.7	1.3005	3.0	0.1379	1.4	0.47	833	11	846	17	880	55	95
NWB 12h-48	95	22518	3.3	11.5646	1.0	2.6449	1.6	0.2219	1.3	0.78	1292	15	1313	12	1348	19	96
NWB 12h-49	358	94115	3.3	13.2937	0.8	1.7892	1.6	0.1726	1.4	0.86	1026	13	1042	10	1074	16	96
NWB 12h-50	233	37428	2.4	11.4606	1.1	2.1085	2.1	0.1753	1.8	0.86	1041	17	1152	14	1365	21	76
NWB 12h-51	32	2138	3.5	12.0057	2.8	2.1809	3.1	0.1900	1.3	0.41	1121	13	1175	21	1275	55	88
NWB 12h-52	132	33433	1.8	12.5723	0.9	2.0518	1.4	0.1872	1.1	0.79	1106	11	1133	10	1185	17	93
NWB 12h-53	11	5866	2.6	12.8683	2.0	1.9631	2.4	0.1833	1.3	0.55	1085	13	1103	16	1139	39	95
NWB 12h-54	74	110915	3.4	12.3165	1.1	2.3017	1.5	0.2057	1.0	0.70	1206	11	1213	10	1225	21	98
NWB 12h-55	451	44559	13.0	13.9039	0.8	1.6031	2.0	0.1617	1.8	0.91	966	16	971	12	983	17	98
NWB 12h-56	20	3156	1.9	14.2463	1.9	1.5918	2.4	0.1645	1.4	0.60	982	13	967	15	933	39	105
NWB 12h-57	78	20659	2.8	10.7713	1.1	3.2622	1.9	0.2550	1.5	0.80	1464	20	1472	15	1484	21	99
NWB 12h-58	35	51911	3.4	10.9114	1.2	3.1101	2.1	0.2462	1.7	0.81	1419	22	1435	16	1459	23	97
NWB 12h-59	14	1540	1.8	13.3122	6.5	1.9902	6.6	0.1922	1.5	0.22	1133	15	1112	45	1071	130	106
NWB 12h-60	130	60508	4.5	12.2280	1.0	2.3735	1.6	0.2106	1.3	0.81	1232	15	1235	12	1239	19	99
NWB 12h-61	654	1270488	4.4	12.7477	1.0	2.1283	1.9	0.1969	1.6	0.86	1158	17	1158	13	1157	19	100
NWB 12h-62	268	42458	6.0	13.4261	0.8	1.7565	1.6	0.1711	1.4	0.86	1018	13	1030	10	1054	16	97
NWB 12h-63	45	5921	2.6	12.9983	1.2	2.1402	1.8	0.2019	1.4	0.74	1185	15	1162	13	1119	25	106
NWB 12h-64	212	28566	2.7	13.1037	0.9	1.9535	2.0	0.1857	1.8	0.88	1098	18	1100	13	1102	19	100
NWB 12h-65	120	32518	3.4	11.3175	0.8	2.8235	1.6	0.2319	1.3	0.84	1344	16	1362	12	1389	16	97
NWB 12h-66	78	15086	2.2	13.2596	1.0	1.8383	1.6	0.1769	1.2	0.76	1050	12	1059	10	1079	21	97
NWB 12h-67	142	13958	2.8	12.4366	1.2	2.1860	1.8	0.1973	1.4	0.76	1161	15	1177	13	1206	23	96
NWB 12h-68	42	4587	4.2	14.1033	1.3	1.6023	2.0	0.1640	1.5	0.74	979	13	971	12	954	27	103
NWB 12h-69	54	13976	3.0	5.6378	1.3	11.1740	2.2	0.4571	1.8	0.81	2427	36	2538	20	2628	21	92
NWB 12h-70	146	35974	3.1	11.4664	1.0	2.6620	1.8	0.2215	1.6	0.85	1290	18	1318	14	1364	18	95
NWB 12h-71	467	74927	4.6	13.5669	0.9	1.7395	1.9	0.1712	1.6	0.87	1019	16	1023	12	1033	19	99
NWB 12h-72	553	595978	7.3	13.4922	0.9	1.8177	2.0	0.1780	1.8	0.89	1056	17	1052	13	1044	19	101
NWB 12h-73	180	21411	5.1	13.5617	1.0	1.6916	1.6	0.1665	1.3	0.80	993	12	1005	10	1033	20	96
NWB 12h-74	71	20665	2.1	10.7936	1.0	3.1294	1.8	0.2451	1.4	0.81	1413	18	1440	14	1480	20	95
NWB 12h-75	155	34783	3.7	12.2738	1.1	2.3033	1.6	0.2051	1.3	0.76	1203	14	1213	12	1232	21	98
NWB 12h-76	147	34910	1.8	11.0323	0.9	2.9622	1.7	0.2371	1.4	0.82	1372	17	1398	13	1438	18	95
NWB 12h-77	55	10715	2.8	16.2976	1.2	0.9325	2.2	0.1103	1.8	0.83	674	12	669	11	651	26	104
NWB 12h-78	139	34920	3.0	11.4113	0.8	2.7453	1.9	0.2273	1.7	0.91	1320	21	1341	14	1374	16	96
NWB 12h-79	92	7694	2.5	12.8551	1.1	1.9633	2.2	0.1831	1.9	0.87	1084	19	1103	15	1141	21	95
NWB 12h-80	8	2242	2.3	13.9733	4.8	1.6417	5.0	0.1665	1.4	0.28	993	13	986	32	973	98	102
NWB 12h-81	537	70719	3.6	12.8167	1.0	2.0608	2.0	0.1916	1.7	0.87	1130	18	1136	14	1147	19	99
NWB 12h-82	56	14474	12.4	15.5840	1.6	0.8857	4.2	0.1001	4.0	0.93	615	23	644	20	746	33	82
NWB 12h-83	57	24051	2.4	13.7331	1.1	1.7945	1.6	0.1788	1.2	0.74	1060	11	1043	10	1008	21	105
NWB 12h-84	57	47495	3.2	12.3060	1.1	2.2997	1.6	0.2053	1.2	0.73	1204	13	1212	12	1227	22	98
NWB 12h-85	23	7232	3.2	11.3983	1.8	2.6024	2.4	0.2152	1.6	0.65	1257	18	1301	18	1376	35	91
NWB 12h-86	38	13870	1.3	14.0091	1.6	1.5641	2.4	0.1590	1.8	0.74	951	16	956	15	967	32	98
NWB 12h-87	191	51508	4.6	11.0817	0.9	2.9938	1.6	0.2407	1.4	0.82	1390	17	1406	12	1430	18	97
NWB 12h-88	68	23549	2.5	10.8965	1.3	3.0962	2.1	0.2448	1.7	0.80	1412	21	1432	16	1462	24	97
NWB 12h-89	91	31817	4.5	13.1014	1.0	1.8674	1.6	0.1775	1.2	0.77	1053	12	1070	10	1103	20	96
NWB 12h-90	217	19461	3.7	13.7285	0.8	1.7135	1.6	0.1707	1.4	0.86	1016	13	1014	10	1009	16	101

NWB 12h-91	24	6469	3.0	12.3664	2.0	2.3063	2.3	0.2069	1.1	0.50	1212	13	1214	16	1217	39	100
NWB 12h-92	230	73658	3.7	10.9445	0.9	3.0829	1.8	0.2448	1.5	0.86	1412	19	1428	14	1453	17	97
NWB 12h-93	245	33659	9.4	13.3230	0.7	1.7533	1.4	0.1695	1.2	0.86	1009	11	1028	9	1069	14	94
NWB 12h-94	421	359905	16.1	12.8560	1.0	1.9389	1.9	0.1809	1.6	0.83	1072	15	1095	13	1141	21	94
NWB 12h-95	172	1485039	2.5	12.9645	0.8	1.9189	1.5	0.1805	1.3	0.83	1070	12	1088	10	1124	17	95
NWB 12h-96	291	66555	7.6	11.5048	0.9	2.6432	1.6	0.2206	1.4	0.85	1285	16	1313	12	1358	17	95
NWB 12h-97	594	296510	2.4	12.4688	0.9	2.2627	2.0	0.2047	1.8	0.90	1201	20	1201	14	1201	18	100
NWB 12h-98	56	6218	3.7	13.4826	1.3	1.8280	2.0	0.1788	1.5	0.77	1061	15	1056	13	1045	26	101
NWB 12h-99	97	20869	2.0	10.8977	1.0	3.0591	1.6	0.2419	1.2	0.76	1396	15	1423	12	1462	20	96
NWB 12h-100	231	23261	4.2	12.7262	0.9	2.2101	1.5	0.2041	1.2	0.81	1197	13	1184	11	1161	18	103
NWB 12h-101	54	2241	2.7	10.6253	5.4	2.7072	5.7	0.2087	1.8	0.32	1222	20	1330	42	1510	102	81
NWB 12h-102	459	27136	5.3	13.4671	1.1	1.7926	2.0	0.1752	1.6	0.83	1041	16	1043	13	1048	22	99
NWB 12h-103	480	27599	2.5	13.5222	1.0	1.7470	1.9	0.1714	1.6	0.86	1020	15	1026	12	1039	20	98
NWB 12h-104	184	141619	2.3	13.3269	0.9	1.7776	1.5	0.1719	1.2	0.80	1023	12	1037	10	1069	19	96
NWB 12h-105	8	1783	3.6	13.0880	5.7	2.1161	5.9	0.2010	1.8	0.30	1180	19	1154	41	1105	113	107
NWB 12h-106	45	123814	2.5	12.4808	1.2	2.1019	1.8	0.1903	1.4	0.76	1123	14	1149	13	1199	24	94
NWB 12h-107	23	11475	2.0	11.7222	1.5	2.5999	2.1	0.2211	1.4	0.69	1288	17	1301	15	1322	29	97
NWB 12h-108	508	1803573	16.2	14.3233	0.8	1.3890	1.7	0.1444	1.5	0.87	869	12	884	10	922	17	94
NWB 12h-109	90	14197	2.8	12.0682	1.0	2.3971	1.6	0.2099	1.3	0.79	1228	14	1242	11	1265	19	97
NWB 12h-110	201	72626	3.6	10.9920	0.7	3.0302	1.4	0.2417	1.2	0.85	1395	14	1415	10	1445	14	97
NWB 12h-111	212	34028	4.2	11.6961	1.0	2.6226	1.7	0.2226	1.4	0.81	1295	16	1307	13	1326	20	98
NWB 12h-112	25	16822	2.3	13.6531	1.4	1.7044	2.0	0.1688	1.3	0.68	1006	12	1010	13	1020	29	99
NWB 12h-113	366	104899	1.5	12.5408	0.9	2.2497	1.7	0.2047	1.4	0.83	1201	15	1197	12	1190	18	101
NWB 12h-114	41	4809	1.4	14.0810	1.5	1.6988	2.2	0.1736	1.6	0.72	1032	15	1008	14	957	31	108
NWB 12h-115	159	169536	4.0	10.9781	1.0	3.1113	1.6	0.2478	1.3	0.80	1427	17	1435	13	1448	19	99
NWB 12h-116	581	40798	9.3	13.5378	1.0	1.7638	2.1	0.1733	1.8	0.88	1030	17	1032	13	1037	19	99
NWB 12h-117	452	70523	42.0	13.7778	0.9	1.6830	1.6	0.1683	1.4	0.83	1002	13	1002	10	1001	19	100
NWB 12h-118	57	32718	3.3	12.7103	1.1	2.1293	1.8	0.1964	1.4	0.79	1156	15	1158	12	1163	22	99
NWB 12h-119	91	17974	1.4	13.8259	0.9	1.5841	1.6	0.1589	1.3	0.82	951	12	964	10	994	19	96
NWB 12h-120	456	270541	4.0	13.1964	0.9	1.8340	1.8	0.1756	1.6	0.87	1043	15	1058	12	1088	18	96
NWB 12h-121	105	18679	11.5	13.1712	1.1	1.7727	1.7	0.1694	1.3	0.75	1009	12	1036	11	1092	23	92
NWB 12h-122	571	61717	5.0	12.8661	0.9	2.0429	2.2	0.1907	2.0	0.92	1125	21	1130	15	1139	18	99
NWB 12h-123	132	50990	2.5	10.4628	1.0	3.2955	2.1	0.2502	1.8	0.88	1439	23	1480	16	1539	18	94
NWB 12h-124	145	8812	4.8	13.8429	1.1	1.7372	1.9	0.1745	1.5	0.81	1037	15	1022	12	992	23	105
NWB 12h-125	1100	135995	20.9	13.6286	0.9	1.6221	1.8	0.1604	1.5	0.86	959	14	979	11	1023	19	94
NWB 12h-126	256	33636	3.6	16.1253	0.9	0.8959	1.4	0.1048	1.1	0.75	643	7	650	7	674	20	95
NWB 12h-127	49	12999	3.6	13.8228	1.1	1.6135	1.6	0.1618	1.2	0.73	967	11	975	10	995	23	97
NWB 12h-128	287	719001	9.0	11.2506	0.8	2.8031	1.9	0.2288	1.7	0.89	1328	20	1356	14	1401	16	95
NWB 12h-129	63	4919	3.4	12.9102	1.2	2.2668	1.9	0.2123	1.5	0.77	1241	17	1202	13	1132	24	110
NWB 12h-130	80	26446	3.1	12.6534	0.9	2.0981	1.4	0.1926	1.1	0.78	1136	11	1148	9	1172	17	97
NWB 12h-131	127	71609	1.4	13.1488	0.9	1.9182	1.7	0.1830	1.5	0.84	1083	14	1087	12	1096	19	99
NWB 12h-132	289	98540	6.5	13.2999	0.9	1.8368	1.9	0.1773	1.7	0.90	1052	17	1059	13	1073	17	98
NWB 12h-133	113	14264	2.2	12.2381	1.1	2.4301	1.8	0.2158	1.3	0.76	1260	15	1252	13	1238	22	102
NWB 12h-134	246	47149	3.5	13.1338	1.0	1.7629	1.9	0.1680	1.6	0.85	1001	15	1032	12	1098	20	91

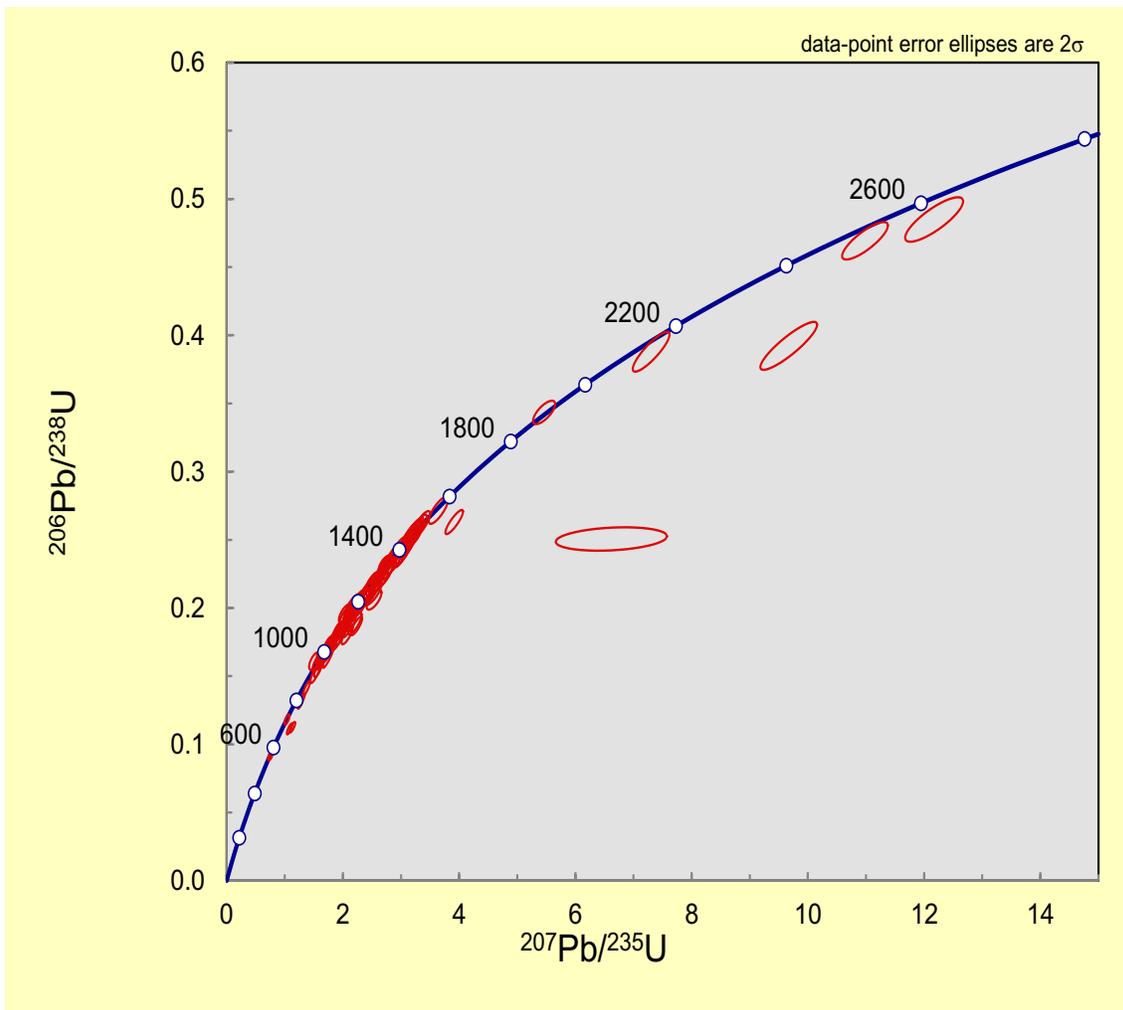


Figura 5.4 Gráfica de concordia para muestras NWB tratada a 12 h.

En la tabla 5.3 se observa que se realizaron 134 análisis, de los cuales 9 fueron discordantes para la muestra NWB tratada a 12 h (se marcan con color amarillo). En este experimento disminuyen la cantidad de análisis discordantes en comparación a la muestra sin tratamiento. Se utilizó el espectrómetro de masa de la Universidad de Arizona para hacer este análisis.

La figura 5.4 muestra la mayoría de las elipses sobre la línea de concordia y solo algunas fuera, estas se encuentran a la derecha de la curva, además se observan menos dispersas en comparación con la gráfica de la muestra no tratada, ya que esta tiene datos a la izquierda y a la derecha de la línea de concordia, las elipses tienen tamaños más homogéneos.

### 5.3.3 Resultados de LA-ICPMS para la muestra NWB tratada a 24 horas

Tabla 5.4 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra NWB tratada a 24 h.

Analysis	U conc (ppm)	206Pb 204Pb	U Th	Isotope ratios							Apparent ages (Ma)						Concor (%)
				206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	error	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	
				207Pb*	(%)	235U	(%)	238U	(%)	corr.	238U	(Ma)	235U	(Ma)	207Pb*	(Ma)	
<b>NWB 24h</b>																	
NWB 24h-1	460	150194	12.0	12.0623	1.0	2.3558	2.0	0.2062	1.8	0.86	1208	20	1229	15	1266	20	95
NWB 24h-2	150	113663	1.9	10.9674	1.0	3.1169	1.9	0.2480	1.6	0.85	1428	21	1437	14	1450	19	99
NWB 24h-3	65	107070	1.9	11.4752	0.9	2.8080	1.7	0.2338	1.4	0.83	1354	17	1358	12	1363	18	99
NWB 24h-4	156	173725	1.6	5.4902	1.0	12.1722	1.7	0.4849	1.4	0.82	2549	29	2618	16	2672	16	95
NWB 24h-5	28	38631	1.4	14.1714	1.3	1.5519	2.0	0.1596	1.6	0.77	954	14	951	12	944	26	101
NWB 24h-6	14	7099	1.9	12.5514	1.9	2.2280	2.2	0.2029	1.2	0.55	1191	13	1190	16	1188	37	100
NWB 24h-7	221	119584	5.8	12.8505	0.9	2.0134	2.0	0.1877	1.8	0.88	1109	18	1120	14	1141	19	97
NWB 24h-8	411	634889	10.3	9.2593	0.8	3.9150	1.6	0.2630	1.4	0.87	1505	18	1617	13	1765	15	85
NWB 24h-9	999	206260	5.9	14.1092	0.8	1.2860	1.9	0.1316	1.7	0.91	797	13	840	11	953	16	84
NWB 24h-10	109	58931	1.4	10.9643	0.9	3.0953	1.8	0.2463	1.6	0.86	1419	20	1432	14	1450	18	98
NWB 24h-11	48	23685	1.5	12.4644	1.3	2.1942	1.9	0.1984	1.4	0.74	1167	15	1179	13	1202	25	97
NWB 24h-12	98	28537	2.0	13.6969	0.9	1.6832	1.6	0.1673	1.3	0.81	997	12	1002	10	1013	19	98
NWB 24h-13	179	115667587	2.3	10.8807	0.9	3.0912	1.6	0.2440	1.2	0.80	1408	16	1430	12	1465	18	96
NWB 24h-14	32	8963	2.7	13.0469	1.4	2.0484	2.0	0.1939	1.3	0.68	1143	14	1132	13	1111	29	103
NWB 24h-15	43	16656	2.0	13.7565	1.6	1.6700	2.3	0.1667	1.6	0.71	994	15	997	14	1004	32	99
NWB 24h-16	76	28843	4.9	12.7136	1.0	2.0459	1.7	0.1887	1.4	0.82	1114	14	1131	12	1163	20	96
NWB 24h-17	86	61541	3.3	7.3197	0.9	7.3037	1.8	0.3879	1.5	0.87	2113	28	2149	16	2184	15	97
NWB 24h-18	175	321683	4.6	12.6917	0.9	2.1142	1.5	0.1947	1.3	0.81	1147	13	1153	11	1166	18	98
NWB 24h-19	96	55069	4.1	12.6254	1.2	2.1215	1.8	0.1943	1.3	0.74	1145	14	1156	12	1176	24	97
NWB 24h-20	55	15285	1.8	10.8148	0.9	3.3073	1.7	0.2595	1.4	0.84	1487	19	1483	13	1476	17	101
NWB 24h-21	267	204736	21.6	13.5558	1.1	1.5693	1.7	0.1544	1.3	0.78	925	12	958	11	1034	21	89
NWB 24h-22	86	181479	3.3	8.6660	1.0	5.4617	1.4	0.3434	1.0	0.72	1903	17	1895	12	1885	18	101
NWB 24h-23	385	506040	9.1	13.1432	0.9	1.8123	1.8	0.1728	1.5	0.85	1028	14	1050	12	1096	19	94
NWB 24h-24	120	71685	1.6	10.9205	1.1	3.0524	2.0	0.2419	1.6	0.82	1396	20	1421	15	1458	21	96
NWB 24h-25	69	30834	2.2	10.7956	0.9	3.2614	1.6	0.2555	1.3	0.82	1467	18	1472	13	1480	18	99
NWB 24h-26	314	237770	2.4	11.5296	1.0	2.2336	1.8	0.1869	1.5	0.82	1104	15	1192	13	1354	20	82
NWB 24h-27	153	184908	3.2	11.5842	0.8	2.6746	1.7	0.2248	1.5	0.90	1307	18	1321	13	1345	14	97
NWB 24h-28	447	183738	1.4	10.8990	0.9	3.0221	1.5	0.2390	1.2	0.80	1381	15	1413	11	1461	17	95
NWB 24h-29	112	81546	1.7	11.2333	0.8	2.7525	1.6	0.2244	1.4	0.87	1305	16	1343	12	1404	15	93
NWB 24h-30	66	81231	2.9	13.6578	1.5	1.6921	2.0	0.1677	1.4	0.68	999	13	1006	13	1019	30	98
NWB 24h-31	183	933045	1.8	11.5082	0.7	2.8363	1.4	0.2368	1.2	0.87	1370	15	1365	11	1357	13	101
NWB 24h-32	223	1650439	2.0	11.6139	1.0	2.7285	1.6	0.2299	1.3	0.78	1334	15	1336	12	1340	20	100
NWB 24h-33	328	113605	2.6	16.7827	1.0	0.7671	1.6	0.0934	1.3	0.82	576	7	578	7	588	21	98
NWB 24h-34	165	257732	21.8	13.1377	1.0	1.8034	1.9	0.1719	1.6	0.86	1023	15	1047	12	1097	19	93
NWB 24h-35	356	79561	4.9	11.5746	0.8	2.7107	1.9	0.2277	1.7	0.90	1322	21	1331	14	1346	16	98
NWB 24h-36	77	30429	4.5	11.9777	1.1	2.0735	1.9	0.1802	1.5	0.81	1068	15	1140	13	1280	22	83
NWB 24h-37	324	129162	9.6	12.4672	1.0	2.1418	1.5	0.1937	1.1	0.75	1142	12	1162	11	1201	20	95
NWB 24h-38	474	501452	9.8	13.0059	0.9	1.9392	2.1	0.1830	1.8	0.89	1083	18	1095	14	1117	19	97
NWB 24h-39	104	115923	1.6	5.2169	5.7	6.6199	5.9	0.2506	1.4	0.24	1441	18	2062	52	2756	94	52
NWB 24h-40	490	883069	2.4	12.5885	0.9	1.9708	2.0	0.1800	1.7	0.88	1067	17	1106	13	1182	19	90

NWB 24h-41	72	267582	0.9	10.2759	1.1	3.6432	1.9	0.2716	1.5	0.79	1549	21	1559	15	1572	21	99
NWB 24h-42	148	110335	1.8	10.7644	1.1	3.3458	1.9	0.2613	1.5	0.81	1497	20	1492	15	1485	21	101
NWB 24h-43	189	341030	2.8	12.8642	0.9	2.1308	1.6	0.1989	1.3	0.82	1169	14	1159	11	1139	19	103
NWB 24h-44	47	94707	2.3	12.4149	1.2	2.1787	1.9	0.1963	1.5	0.78	1155	16	1174	13	1210	23	96
NWB 24h-45	314	198589	10.8	13.7080	1.0	1.1314	1.7	0.1125	1.4	0.80	687	9	768	9	1012	21	68
NWB 24h-46	952	1000815	3.0	12.7501	0.8	2.0324	1.5	0.1880	1.3	0.86	1111	14	1126	10	1157	15	96
NWB 24h-47	100	54998	3.2	13.8044	1.1	1.6033	1.5	0.1606	1.0	0.66	960	9	972	9	997	23	96
NWB 24h-48	183	6270675	2.9	10.9206	1.1	3.2250	2.0	0.2555	1.7	0.84	1467	22	1463	16	1458	21	101
NWB 24h-49	218	216440	14.7	13.0536	0.9	1.9569	1.5	0.1853	1.2	0.81	1096	12	1101	10	1110	17	99
NWB 24h-50	320	602319	9.4	11.6109	1.0	2.5912	1.8	0.2183	1.5	0.83	1273	17	1298	13	1340	19	95
NWB 24h-51	323	96161	7.4	13.9840	0.9	1.6009	1.3	0.1624	1.0	0.73	970	9	971	8	971	19	100
NWB 24h-52	144	46590	3.8	12.7601	1.0	1.8909	1.7	0.1751	1.4	0.80	1040	13	1078	12	1155	21	90
NWB 24h-53	34	14313	2.5	12.1062	1.1	2.4279	1.9	0.2133	1.5	0.81	1246	17	1251	14	1259	22	99
NWB 24h-54	61	62600	2.2	11.4416	1.2	2.8627	1.9	0.2377	1.5	0.79	1374	18	1372	14	1368	22	100
NWB 24h-55	19	67837	1.5	13.8225	1.5	1.6377	2.1	0.1643	1.5	0.70	980	14	985	13	995	31	99
NWB 24h-56	13	54408	1.5	12.6792	2.0	2.1911	2.7	0.2016	1.8	0.67	1184	19	1178	18	1168	39	101
NWB 24h-57	44	42376	1.2	10.9942	1.2	3.2015	1.7	0.2554	1.3	0.75	1466	17	1458	14	1445	22	101
NWB 24h-58	1099	236826	13.0	14.1522	0.9	1.3753	1.8	0.1412	1.5	0.86	852	12	878	10	947	18	90
NWB 24h-59	180	543569	3.0	10.9807	0.9	3.2344	1.5	0.2577	1.2	0.80	1478	16	1465	11	1447	17	102
NWB 24h-60	22	68666	1.3	11.1980	1.5	2.5363	2.1	0.2061	1.5	0.71	1208	16	1283	15	1410	28	86
NWB 24h-61	253	2664573	5.2	12.3479	1.0	2.2633	1.8	0.2028	1.5	0.84	1190	17	1201	13	1220	19	98
NWB 24h-62	82	89542	5.1	11.7881	1.0	2.6048	1.8	0.2228	1.5	0.82	1297	17	1302	13	1311	20	99
NWB 24h-63	220	224884	12.5	14.1655	1.1	1.0830	1.8	0.1113	1.5	0.81	680	9	745	10	945	22	72
NWB 24h-64	54	752393	2.7	12.0780	1.0	2.4994	1.6	0.2190	1.3	0.81	1277	15	1272	12	1264	19	101
NWB 24h-65	18	88363	2.6	12.0765	1.5	2.4075	2.1	0.2110	1.4	0.67	1234	16	1245	15	1264	30	98
NWB 24h-66	81	33814	3.3	13.6362	1.4	1.7346	1.9	0.1716	1.4	0.72	1021	13	1021	13	1022	27	100
NWB 24h-67	72	18355	1.2	12.1458	1.2	2.4121	1.8	0.2126	1.3	0.74	1243	15	1246	13	1253	24	99
NWB 24h-68	520	544534	3.9	11.5931	0.9	2.5397	2.0	0.2136	1.8	0.89	1248	20	1283	15	1343	17	93
NWB 24h-69	80	40995	3.0	12.9476	1.1	1.9510	2.1	0.1833	1.7	0.84	1085	17	1099	14	1126	22	96
NWB 24h-70	93	112983	1.9	11.0563	1.2	3.1272	2.0	0.2509	1.6	0.81	1443	21	1439	15	1434	22	101
NWB 24h-71	87	34075	2.5	11.8349	1.2	2.4287	1.7	0.2086	1.2	0.71	1221	14	1251	12	1303	24	94
NWB 24h-72	99	111605	4.8	13.6692	1.2	1.7480	1.8	0.1734	1.4	0.76	1031	13	1026	12	1017	24	101
NWB 24h-73	47	25258	2.0	10.8104	1.1	3.2196	1.6	0.2525	1.2	0.74	1452	16	1462	13	1477	21	98
NWB 24h-74	90	254469	5.0	11.7824	1.3	2.2056	2.2	0.1886	1.7	0.81	1114	18	1183	15	1312	25	85
NWB 24h-75	63	21974	4.2	15.6945	1.2	1.0385	1.8	0.1183	1.3	0.72	721	9	723	9	731	26	99
NWB 24h-76	51	11427	0.9	16.7536	1.7	0.7532	2.2	0.0916	1.4	0.64	565	8	570	10	591	37	95
NWB 24h-77	578	24985977	2.1	12.9260	0.9	1.7533	2.3	0.1644	2.1	0.92	981	19	1028	15	1130	18	87
NWB 24h-78	21	10362	2.9	11.7357	1.3	2.7275	1.7	0.2323	1.1	0.67	1346	14	1336	12	1319	24	102

NWB 24h-79	124	58964	1.8	10.9202	1.0	3.1283	1.8	0.2479	1.5	0.83	1427	19	1440	14	1458	19	98
NWB 24h-80	287	112134	2.9	13.5517	1.2	1.7554	2.0	0.1726	1.6	0.80	1026	15	1029	13	1035	24	99
NWB 24h-81	161	330744	4.4	13.3490	0.9	1.8770	1.9	0.1818	1.7	0.89	1077	17	1073	13	1065	18	101
NWB 24h-82	119	4211408	3.5	10.9099	1.0	3.0287	1.9	0.2398	1.7	0.87	1385	21	1415	15	1460	18	95
NWB 24h-83	62	832806	1.7	13.7331	1.2	1.5225	2.2	0.1517	1.8	0.83	911	15	939	13	1008	25	90
NWB 24h-84	63	794181	2.2	10.9544	1.1	3.1033	1.8	0.2467	1.4	0.78	1421	18	1434	14	1452	21	98
NWB 24h-85	78	94366	1.3	5.5896	1.0	9.6710	2.1	0.3922	1.8	0.89	2133	33	2404	19	2642	16	81
NWB 24h-86	31	25519	3.1	11.7036	1.1	2.6994	1.9	0.2292	1.5	0.81	1330	18	1328	14	1325	22	100
NWB 24h-87	154	108553	2.2	13.1894	1.1	1.8365	1.9	0.1758	1.5	0.82	1044	15	1059	12	1089	21	96
NWB 24h-88	399	907504	8.2	12.2512	1.2	2.1128	2.4	0.1878	2.0	0.86	1110	21	1153	16	1236	24	90
NWB 24h-89	173	53489	1.6	12.5207	0.9	2.2674	1.7	0.2060	1.4	0.83	1207	15	1202	12	1193	19	101
NWB 24h-90	177	341958	3.4	11.3822	1.2	2.7544	1.8	0.2275	1.3	0.71	1321	15	1343	13	1378	24	96
NWB 24h-91	16	4609	1.8	14.6629	2.0	1.5137	2.6	0.1610	1.6	0.64	963	15	936	16	874	41	110
NWB 24h-92	12	17092	3.8	13.1857	1.8	2.0456	2.3	0.1957	1.5	0.65	1152	16	1131	16	1090	35	106
NWB 24h-93	18	26691	1.4	11.9964	1.4	2.5139	1.8	0.2188	1.1	0.64	1276	13	1276	13	1277	27	100
NWB 24h-94	43	75300	2.5	11.4354	1.1	2.6519	1.8	0.2200	1.4	0.77	1282	16	1315	13	1370	22	94
NWB 24h-95	46	42550	1.4	12.5276	1.2	2.2534	1.9	0.2048	1.4	0.76	1201	15	1198	13	1192	24	101
NWB 24h-96	151	478534	4.2	12.5064	0.9	2.0485	1.6	0.1859	1.4	0.84	1099	14	1132	11	1195	18	92
NWB 24h-97	65	113477	3.9	13.5768	1.0	1.7514	2.1	0.1725	1.8	0.88	1026	17	1028	14	1031	20	100
NWB 24h-98	226	635833	2.0	5.8889	0.8	10.9833	1.5	0.4693	1.2	0.82	2481	25	2522	14	2555	14	97
NWB 24h-99	275	4458947	4.2	11.7706	0.8	2.5719	1.7	0.2197	1.5	0.88	1280	18	1293	13	1314	16	97
NWB 24h-100	88	54474	3.5	11.3084	1.2	2.9579	2.0	0.2427	1.6	0.79	1401	20	1397	15	1391	23	101
NWB 24h-101	123	97687	2.1	11.1605	1.0	2.8838	1.7	0.2335	1.4	0.81	1353	17	1378	13	1416	19	96
NWB 24h-102	153	104657	2.5	13.2196	1.0	1.7555	2.1	0.1684	1.9	0.88	1003	18	1029	14	1085	20	92
NWB 24h-103	549	337621	3.5	13.7960	1.0	1.6294	2.3	0.1631	2.1	0.91	974	19	982	15	999	20	98
NWB 24h-104	16	13868	1.1	13.9342	2.0	1.6521	2.5	0.1670	1.4	0.58	996	13	990	16	978	41	102
NWB 24h-105	22	9206	2.2	12.8602	1.5	2.1407	2.1	0.1998	1.5	0.69	1174	16	1162	15	1140	31	103
NWB 24h-106	64	176232	3.2	13.4166	1.2	1.7545	2.0	0.1708	1.5	0.78	1016	14	1029	13	1055	25	96
NWB 24h-107	188	77456	2.8	13.1761	1.0	1.8975	1.6	0.1814	1.3	0.80	1075	12	1080	10	1091	19	98
NWB 24h-108	230	97712	4.3	13.0034	0.8	1.8407	1.7	0.1737	1.5	0.89	1032	15	1060	11	1118	15	92
NWB 24h-109	160	53570	2.5	13.7061	1.1	1.6585	1.9	0.1649	1.5	0.82	984	14	993	12	1012	22	97
NWB 24h-110	685	24320374	2.2	10.8640	1.0	3.1274	2.0	0.2465	1.7	0.86	1421	22	1439	15	1468	19	97
NWB 24h-111	155	61722	5.5	13.2998	1.0	1.8016	1.6	0.1739	1.2	0.76	1033	11	1046	10	1073	20	96
NWB 24h-112	158	62239	2.3	12.9098	1.1	2.0892	1.7	0.1957	1.3	0.77	1152	14	1145	11	1132	21	102
NWB 24h-113	41	8914	2.6	12.1787	1.6	2.2843	2.3	0.2019	1.7	0.74	1185	19	1207	16	1247	31	95
NWB 24h-114	438	624897	5.4	13.5716	0.9	1.7248	2.0	0.1698	1.7	0.88	1011	16	1018	13	1032	19	98
NWB 24h-115	16	18886	4.1	11.7425	2.2	2.4825	3.0	0.2115	1.9	0.65	1237	22	1267	22	1318	44	94
NWB 24h-116	66	56984	3.2	13.7186	1.0	1.6573	1.8	0.1650	1.5	0.83	984	13	992	11	1010	20	97

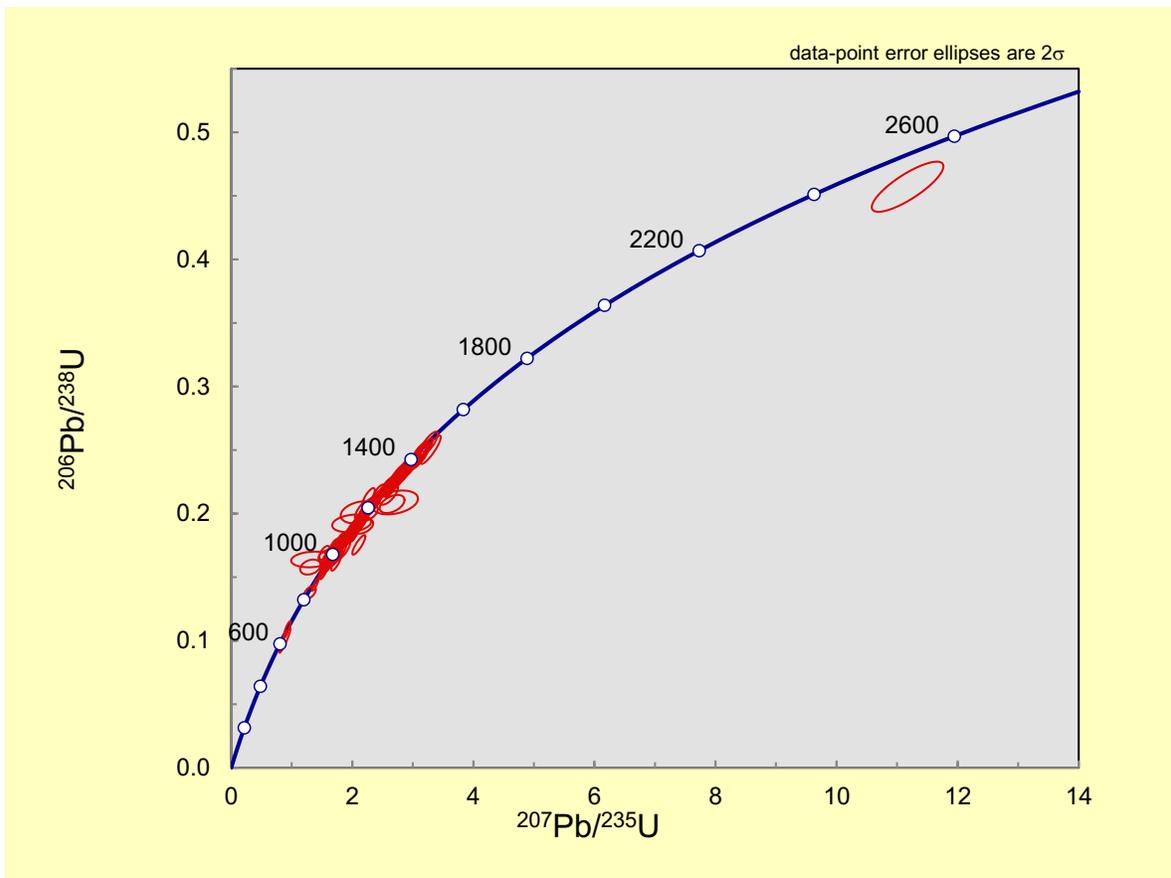


Figura 5.5 Gráfica de concordia para muestra NWB tratada a 24h.

Se puede observar que para la tabla 5.4 se realizaron un total de 116 análisis por LA-ICPMS, donde solo 4 de estos son discordantes (como se marca con color amarillo). A las 24 horas de tratamiento de la muestra NWB disminuye la cantidad de análisis discordantes en comparación a la muestra no tratada y la tratada a 12 horas.

Así mismo en la figura 5.5 se muestra que las elipses se encuentran agrupadas hacia un mismo lugar de la curva de concordia excepto por la que está en la parte superior derecha, además las elipses muestran un tamaño muy similar entre ellas. En comparación a los gráficos de concordia de 12 y 24 horas se puede decir que esta gráfica tiene un comportamiento más homogéneo.

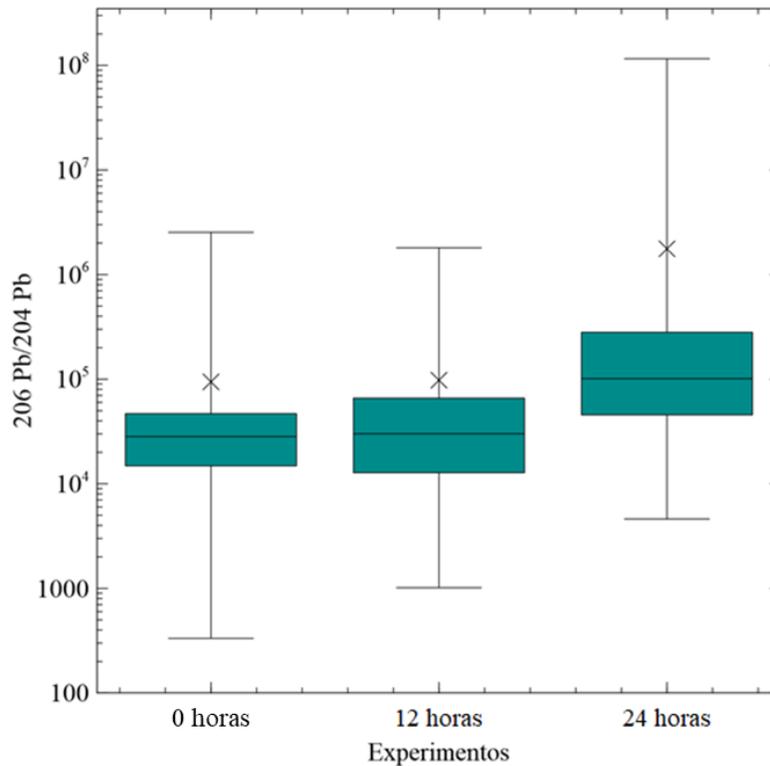


Figura 5.6 Diagrama de cajas y bigotes para la muestra NWB.

La figura 5.6 muestra la pérdida de Pb ( $Pb^{206}/Pb^{204}$ ) para la muestra NWB 0h y tratada a diferentes horas en la cual la línea divisora de las cajas corresponde a la mediana, la X al promedio, la línea superior corresponde al cuartil 3 (Q3) y la inferior al cuartil 1 (Q1) mientras que los bigotes simbolizan los valores máximo y mínimo del Pb común perdido en las muestras.

Esta grafica es útil para conocer la cantidad de Pb que se pierde a las diferentes horas de los experimentos. Se utilizó una escala logarítmica debido a la gran variación de los valores en cada uno de los experimentos.

El diagrama de cajas y bigotes muestra que, para este caso particular, los valores de la mediana y el promedio aumentan a mayor tiempo de exposición en los ácidos fuertes, lo que indica que la tendencia central de los datos también aumenta, pese a la gran dispersión de los mismos mostrado por los extremos y el RIQ (tamaño de la caja), principalmente en el experimento a 24 horas.

Tabla 5.5 Contiene los valores numéricos del diagrama de cajas y bigotes.

<b>Estadística</b>	<b>0 h</b>	<b>12 h</b>	<b>24 h</b>
<b>Mínimo</b>	333	1014	4609
<b>Máximo</b>	2539539	1803573	115667587
<b>Mediana</b>	28298	30086	101185
<b>Q1</b>	14 845.6	12 756.5	45 579.5
<b>Q3</b>	46 853.2	65 913.6	28 1107.5
<b>Promedio</b>	94 241	97 797	1 763 913
<b>Rango intercuartil</b>	32 007.6	53 157.1	235 528

Como se muestra en la tabla 5.5 El promedio aumenta a mayor tiempo de tratamiento de las muestras, de la misma manera el valor de la mediana aumenta a mayor tiempo de exposición en los ácidos, así como el rango intercuartil.

### 5.3.4 Resultados de LA-ICPMS para la muestra PVSH tratada a 0h

Tabla 5.6 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra PVSH tratada a 0h.

Analysis	U conc (ppm)	206Pb 204Pb	U Th	Isotope ratios							Apparent ages (Ma)						Concor (%)
				206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	error	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	
				207Pb*	(%)	235U	(%)	238U	(%)	corr.	238U	(Ma)	235U	(Ma)	207Pb*	(Ma)	
<b>PVSH 0h</b>																	
PVSH 0h-1	39	16338	1.1	11.7998	1.9	2.2063	5.5	0.1889	5.2	0.94	1115	53	1183	39	1309	37	85.22
PVSH 0h-2	273	25512	3.1	13.5873	0.9	1.7951	1.6	0.1770	1.3	0.82	1050	12	1044	10	1030	18	102.03
PVSH 0h-3	30	5914	1.0	14.3423	2.3	1.4155	4.3	0.1473	3.6	0.83	886	29	895	25	919	48	96.35
PVSH 0h-4	37	6047	2.6	10.5906	1.6	3.1748	3.8	0.2440	3.4	0.91	1407	43	1451	29	1516	30	92.84
PVSH 0h-5	204	324157	2.9	13.7384	1.1	1.7190	2.0	0.1714	1.7	0.85	1020	16	1016	13	1007	22	101.23
PVSH 0h-6	515	97998	1.9	10.4807	0.9	3.4179	1.7	0.2599	1.4	0.84	1489	19	1509	13	1535	17	97.01
PVSH 0h-7	1180	2859	2.2	9.3393	1.0	2.3401	1.6	0.1586	1.2	0.74	949	10	1225	11	1749	19	54.24
PVSH 0h-8	487	24901	4.9	13.6585	1.0	1.7518	1.5	0.1736	1.1	0.74	1032	11	1028	10	1019	20	101.28
PVSH 0h-9	124	189279	1.3	13.7470	1.0	1.7875	1.5	0.1783	1.2	0.78	1058	12	1041	10	1006	20	105.14
PVSH 0h-10	134	44021	2.0	17.5927	1.5	0.6080	2.3	0.0776	1.7	0.76	482	8	482	9	484	33	99.45
PVSH 0h-11	198	8119	1.1	18.5796	1.4	0.5671	1.8	0.0764	1.1	0.63	475	5	456	7	363	31	130.96
PVSH 0h-12	104	74515	3.0	13.5936	0.9	1.7642	1.7	0.1740	1.4	0.84	1034	14	1032	11	1029	18	100.54
PVSH 0h-13	186	44209	3.8	9.4136	1.0	4.3863	1.8	0.2996	1.6	0.86	1689	24	1710	15	1735	17	97.37
PVSH 0h-14	401	107071	2.5	12.6062	0.7	2.2004	1.5	0.2013	1.3	0.89	1182	14	1181	10	1179	14	100.23
PVSH 0h-15	58	32174	0.5	13.9437	1.5	1.5768	2.6	0.1595	2.1	0.82	954	19	961	16	977	30	97.66
PVSH 0h-16	35	2529	2.0	15.7409	5.9	1.4768	8.3	0.1687	5.8	0.71	1005	54	921	50	725	125	138.58
PVSH 0h-17	72	14430	1.1	13.4802	1.9	1.6616	2.8	0.1625	2.1	0.74	971	19	994	18	1046	38	92.85
PVSH 0h-18	283	39328	1.8	10.7399	0.9	3.3816	2.1	0.2635	1.9	0.90	1508	25	1500	16	1489	17	101.24
PVSH 0h-19	266	51285	1.7	9.1058	0.8	4.8242	1.5	0.3187	1.3	0.85	1784	20	1789	13	1796	15	99.33
PVSH 0h-20	255	141624	0.8	13.7542	1.1	1.7470	2.1	0.1743	1.8	0.84	1036	17	1026	14	1005	23	103.10
PVSH 0h-21	71	46592	2.7	8.7937	1.0	5.2531	1.8	0.3352	1.5	0.83	1863	24	1861	15	1859	18	100.25
PVSH 0h-22	105	309097	1.6	9.8432	0.9	4.0980	1.6	0.2927	1.4	0.85	1655	20	1654	13	1653	16	100.14
PVSH 0h-23	81	15272	1.1	5.3548	1.1	13.0199	1.8	0.5059	1.4	0.80	2639	31	2681	17	2713	17	97.27
PVSH 0h-24	183	4138	1.2	16.9841	3.9	0.5748	4.3	0.0708	1.9	0.44	441	8	461	16	562	84	78.56
PVSH 0h-25	87	10308	3.7	13.5851	1.9	2.0119	3.1	0.1983	2.5	0.80	1166	27	1120	21	1030	38	113.24
PVSH 0h-26	216	39577	0.9	13.7548	0.9	1.8063	1.8	0.1803	1.6	0.86	1068	16	1048	12	1005	19	106.34
PVSH 0h-27	95	4715	2.0	13.7079	6.4	0.7530	7.7	0.0749	4.3	0.56	466	19	570	34	1012	131	46.02
PVSH 0h-28	179	2637	34.1	11.0339	5.7	0.8842	5.9	0.0708	1.5	0.25	441	6	643	28	1438	110	30.66
PVSH 0h-29	132	238258	4.2	10.5303	1.6	2.7113	2.6	0.2072	2.1	0.81	1214	24	1332	20	1527	30	79.50
PVSH 0h-30	441	541892	3.4	13.3879	0.8	1.7928	1.5	0.1742	1.2	0.83	1035	12	1043	10	1059	17	97.69
PVSH 0h-31	128	14044	2.2	12.8162	1.1	2.1608	1.7	0.2009	1.3	0.74	1180	13	1169	12	1147	23	102.94
PVSH 0h-32	344	177559	2.4	18.2773	1.0	0.5291	2.1	0.0702	1.8	0.86	437	7	431	7	400	24	109.43
PVSH 0h-33	411	64857	1.1	17.1849	1.2	0.6012	1.8	0.0750	1.3	0.75	466	6	478	7	536	26	86.95
PVSH 0h-34	552	16916	3.3	12.1062	1.2	1.8316	1.7	0.1609	1.2	0.72	962	11	1057	11	1259	23	76.39
PVSH 0h-35	553	9424	1.2	12.3824	1.2	1.8904	2.1	0.1698	1.7	0.81	1011	16	1078	14	1215	24	83.25
PVSH 0h-36	449	36041	2.5	13.0041	1.0	1.9257	1.8	0.1817	1.6	0.85	1076	15	1090	12	1118	19	96.29
PVSH 0h-37	97	30317	1.8	5.6667	3.8	14.1023	6.8	0.5798	5.7	0.83	2948	134	2757	65	2619	63	112.56
PVSH 0h-38	639	209002	2.6	9.5990	0.9	4.4470	1.6	0.3097	1.4	0.83	1739	21	1721	14	1699	17	102.37
PVSH 0h-39	102	27295	2.4	11.6163	1.5	2.3618	3.5	0.1991	3.2	0.91	1170	34	1231	25	1339	28	87.38
PVSH 0h-40	310	50364	1.9	9.3100	0.8	5.0200	2.3	0.3391	2.2	0.94	1882	35	1823	20	1755	15	107.25
PVSH 0h-41	54	21658	1.1	10.1342	1.0	4.1375	1.8	0.3042	1.5	0.82	1712	22	1662	15	1598	19	107.12

PVSH 0h-42	96	14894	1.8	9.6538	1.0	4.3122	2.1	0.3021	1.9	0.88	1701	28	1696	17	1689	18	100.77
PVSH 0h-43	140	44603	4.1	13.6886	1.1	1.7770	1.9	0.1765	1.6	0.82	1048	15	1037	13	1015	23	103.28
PVSH 0h-44	99	15723	2.8	11.8262	1.5	2.5020	2.1	0.2147	1.5	0.71	1254	17	1273	15	1305	28	96.11
PVSH 0h-45	236	68254	2.5	12.7176	1.0	2.1712	2.3	0.2004	2.1	0.91	1177	23	1172	16	1162	19	101.31
PVSH 0h-46	42	4233	3.0	13.5674	2.0	1.7757	3.3	0.1748	2.6	0.79	1039	25	1037	22	1033	41	100.58
PVSH 0h-47	132	24972	3.1	12.9031	1.2	2.0280	2.4	0.1899	2.1	0.86	1121	22	1125	17	1133	25	98.89
PVSH 0h-48	40	11937	2.9	9.7363	3.3	4.4487	5.0	0.3143	3.7	0.75	1762	57	1721	41	1673	61	105.31
PVSH 0h-49	312	26863	2.3	13.2226	0.9	1.8526	2.0	0.1777	1.8	0.89	1055	18	1064	13	1084	18	97.25
PVSH 0h-50	36	3692	3.5	10.6281	3.7	2.6261	4.5	0.2025	2.4	0.54	1189	26	1308	33	1509	71	78.78
PVSH 0h-51	114	71628	1.8	13.5600	1.0	1.7881	1.9	0.1759	1.6	0.85	1045	15	1041	12	1034	20	101.07
PVSH 0h-52	64	11046	1.9	13.5899	1.6	1.7543	2.7	0.1730	2.2	0.82	1029	21	1029	18	1029	32	99.94
PVSH 0h-53	106	8479	1.1	18.4716	2.4	0.5319	2.9	0.0713	1.6	0.56	444	7	433	10	376	53	118.14
PVSH 0h-54	200	88001	2.0	11.4791	5.1	3.7539	20.9	0.3127	20.3	0.97	1754	312	1583	169	1362	98	128.75
PVSH 0h-55	131	78289	2.4	11.5746	1.1	2.7472	2.1	0.2307	1.8	0.85	1338	21	1341	16	1346	22	99.41
PVSH 0h-56	283	72960	2.0	18.0195	1.2	0.5279	2.0	0.0690	1.6	0.80	430	7	430	7	431	27	99.77
PVSH 0h-57	65	7138	2.4	11.5041	1.3	2.8439	3.3	0.2374	3.1	0.92	1373	38	1367	25	1358	25	101.11
PVSH 0h-58	350	17307	1.5	17.9476	0.9	0.5668	2.1	0.0738	1.9	0.90	459	8	456	8	440	20	104.31
PVSH 0h-59	268	53076	4.4	13.3910	3.5	1.9674	5.6	0.1912	4.4	0.78	1128	45	1104	38	1059	71	106.49
PVSH 0h-60	48	11317	1.9	16.2680	4.1	2.2894	11.4	0.2702	10.7	0.93	1542	147	1209	81	655	88	235.49
PVSH 0h-61	120	101598	2.4	13.7412	1.1	1.7688	2.2	0.1764	1.9	0.86	1047	18	1034	14	1007	23	104.00
PVSH 0h-62	125	7447	4.3	12.3234	1.1	2.3879	2.5	0.2135	2.3	0.89	1248	26	1239	18	1224	22	101.91
PVSH 0h-63	209	19847	2.4	10.7066	0.8	3.3645	2.1	0.2614	2.0	0.93	1497	26	1496	17	1495	15	100.11

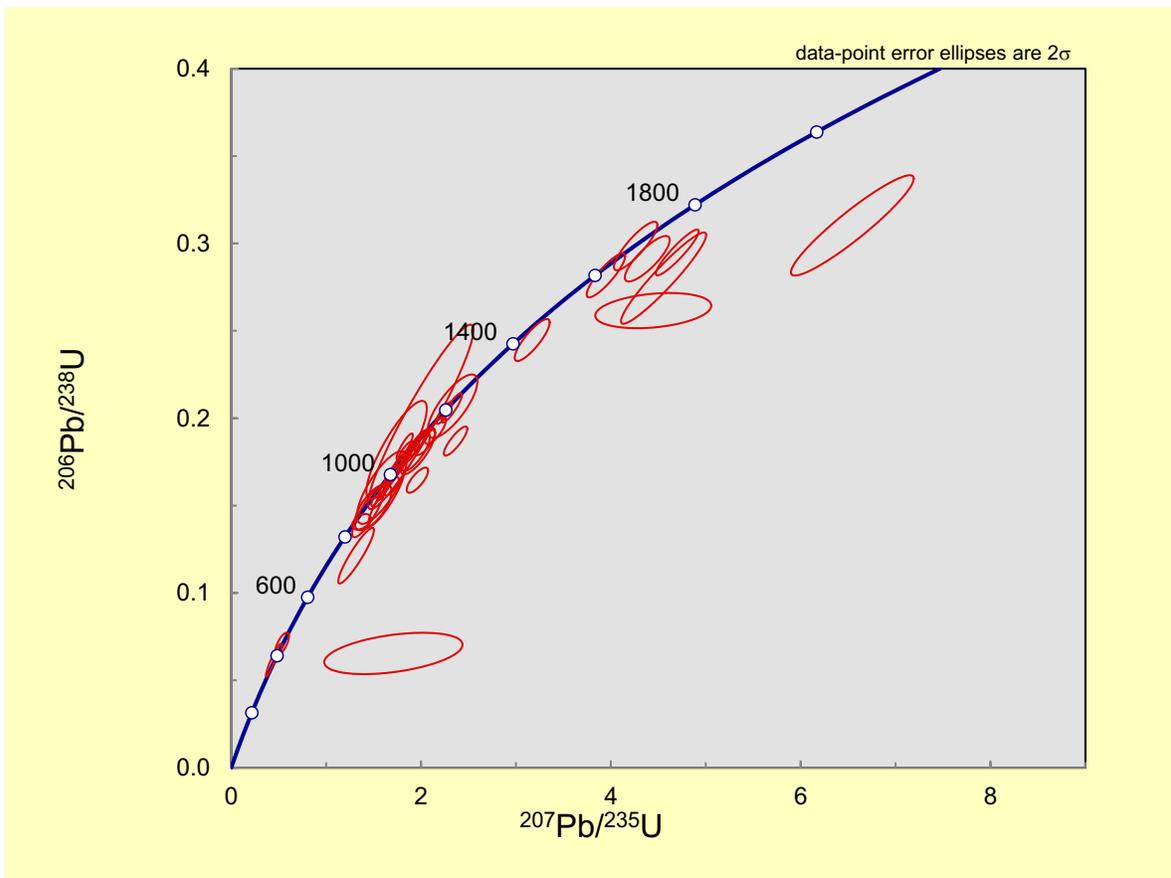


Figura 5.7 Gráfica de concordia para muestra PVSH tratada a 0 h.

La tabla 5.6 contiene información isotópica donde se observa que se realizaron 63 análisis, de los cuales 15 son discordantes como se aprecian en color amarillo, para la muestra PVSH no tratada.

Se muestra en la figura 5.7 que hay elipses sobre la curva de concordia, pero algunas se encuentran alejadas de ésta y discordantes hacia la derecha. El tamaño entre ellas es muy variado.

### 5.3.5 Resultados de LA-ICPMS para la muestra PVSH tratada a 12 horas.

Tabla 5.7 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra PVSH tratada a 12 h.

Analysis	U conc (ppm)	206Pb 204Pb	U Th	Isotope ratios							Apparent ages (Ma)						Concor
				206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	error	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	
				207Pb*	(%)	235U	(%)	238U	(%)	corr.	238U	(Ma)	235U	(Ma)	207Pb*	(Ma)	
<b>PVSH 12h</b>																	
PVSH 12h-1	120	41803	3.5	13.3946	1.4	1.6549	4.8	0.1608	4.7	0.96	961	42	991	31	1058	27	90.83
PVSH 12h-2	226	108499	2.1	13.8549	0.9	1.7054	2.0	0.1714	1.8	0.89	1020	17	1011	13	990	19	103.03
PVSH 12h-3	59	18533	1.8	13.7536	2.1	1.5529	3.3	0.1550	2.5	0.76	929	22	952	20	1005	43	92.42
PVSH 12h-4	102	49121	1.4	11.6812	0.8	2.4883	2.7	0.2109	2.6	0.95	1234	29	1269	20	1328	16	92.86
PVSH 12h-5	153	49948	1.3	13.0880	1.1	1.8644	2.4	0.1771	2.2	0.90	1051	21	1069	16	1105	21	95.11
PVSH 12h-6	95	53017	3.2	13.4090	1.5	1.8804	2.3	0.1829	1.8	0.77	1083	17	1074	15	1056	30	102.54
PVSH 12h-7	1195	3308	7.3	8.4772	1.2	2.4185	1.9	0.1488	1.4	0.75	894	12	1248	13	1925	22	46.45
PVSH 12h-8	114	37499	2.4	17.1814	2.9	0.5112	3.5	0.0637	2.0	0.57	398	8	419	12	536	64	74.25
PVSH 12h-9	237	57109	5.2	13.9524	0.8	1.6238	2.1	0.1644	2.0	0.92	981	18	979	13	976	17	100.55
PVSH 12h-10	852	87744	13.4	13.5827	0.9	1.8806	1.8	0.1853	1.5	0.86	1096	16	1074	12	1030	19	106.39
PVSH 12h-11	38	7964	1.6	11.9866	2.4	2.1994	4.3	0.1913	3.6	0.83	1128	37	1181	30	1278	48	88.27
PVSH 12h-12	89	8217	3.0	10.7877	1.5	3.0753	2.5	0.2407	1.9	0.79	1390	24	1427	19	1481	29	93.89
PVSH 12h-13	86	8237	3.0	14.2368	1.3	1.6404	2.1	0.1695	1.6	0.77	1009	15	986	13	934	27	107.98
PVSH 12h-14	83	6813	1.9	18.6771	3.3	0.4964	5.0	0.0673	3.8	0.76	420	16	409	17	351	74	119.64
PVSH 12h-15	59	18830	3.2	14.1178	1.9	1.6020	3.3	0.1641	2.7	0.82	980	25	971	21	952	39	102.93
PVSH 12h-16	164	180957	3.3	11.4457	4.9	3.2727	8.9	0.2718	7.4	0.83	1550	102	1475	69	1368	95	113.31
PVSH 12h-17	65	5471	2.3	14.1391	1.3	1.6817	2.0	0.1725	1.6	0.76	1026	15	1002	13	949	27	108.16
PVSH 12h-18	209	70946	1.0	9.9685	0.9	3.8399	1.9	0.2777	1.7	0.89	1580	24	1601	15	1629	16	96.98
PVSH 12h-19	120	14457	1.3	13.6731	1.4	1.7566	3.5	0.1743	3.2	0.92	1036	31	1030	23	1017	29	101.85
PVSH 12h-20	132	140004	1.8	11.6229	1.2	2.6192	1.9	0.2209	1.5	0.77	1287	17	1306	14	1338	24	96.14
PVSH 12h-21	198	47018	5.2	9.6915	1.0	4.2985	2.4	0.3023	2.2	0.91	1703	32	1693	20	1681	19	101.26
PVSH 12h-22	210	52495	2.4	13.3863	1.3	1.8782	2.4	0.1824	2.0	0.85	1080	20	1073	16	1060	25	101.94
PVSH 12h-23	92	99236	2.0	11.4972	1.0	2.8106	1.7	0.2345	1.4	0.82	1358	18	1358	13	1359	19	99.91
PVSH 12h-24	140	57781	3.1	12.6808	2.6	1.8169	3.2	0.1672	1.8	0.57	996	17	1052	21	1168	51	85.34
PVSH 12h-25	307	44417	4.7	13.2639	0.5	1.8041	1.7	0.1736	1.6	0.95	1032	15	1047	11	1078	11	95.73
PVSH 12h-26	50	5509	2.1	14.2264	1.7	1.6506	3.1	0.1704	2.6	0.83	1014	24	990	19	936	35	108.36
PVSH 12h-27	395	18651	2.9	18.6210	1.3	0.4844	2.5	0.0655	2.1	0.86	409	8	401	8	358	28	114.29
PVSH 12h-28	339	101842	3.1	11.7037	0.9	2.5239	1.8	0.2143	1.6	0.86	1252	18	1279	13	1325	18	94.50
PVSH 12h-29	499	10522	0.8	11.8639	1.9	2.2514	2.9	0.1938	2.2	0.76	1142	23	1197	20	1298	37	87.95
PVSH 12h-30	117	24754	1.4	13.6503	2.9	1.8582	4.5	0.1840	3.4	0.76	1089	34	1066	30	1020	59	106.74
PVSH 12h-31	439	244490	2.5	11.2554	0.9	2.5802	1.6	0.2107	1.4	0.84	1233	15	1295	12	1400	17	88.05
PVSH 12h-32	226	15046	5.9	13.9317	1.2	1.6410	2.5	0.1659	2.2	0.88	989	20	986	16	979	24	101.08
PVSH 12h-33	142	94918	5.6	13.6117	1.0	1.7688	1.8	0.1745	1.5	0.83	1037	14	1033	12	1026	20	101.06
PVSH 12h-34	25	29369	2.0	12.7925	3.7	1.6249	6.3	0.1508	5.1	0.81	906	43	980	40	1150	74	78.72
PVSH 12h-35	55	19439	2.4	13.2502	2.1	1.8073	2.8	0.1738	1.8	0.64	1033	17	1048	18	1080	43	95.61
PVSH 12h-36	108	34663	2.5	15.5416	1.0	1.8697	1.5	0.2108	1.1	0.75	1233	13	1070	10	752	21	164.00
PVSH 12h-37	351	177193	15.0	11.5693	0.8	2.6018	2.2	0.2184	2.0	0.94	1273	23	1301	16	1347	15	94.53
PVSH 12h-38	177	731534	3.5	5.1023	0.7	14.3238	1.4	0.5303	1.3	0.88	2743	29	2771	14	2792	11	98.22
PVSH 12h-39	114	71530	4.7	12.2131	1.9	2.2062	2.5	0.1955	1.6	0.64	1151	17	1183	17	1242	38	92.70
PVSH 12h-40	462	143575	2.8	13.6448	0.9	1.7869	1.4	0.1769	1.1	0.77	1050	11	1041	9	1021	19	102.85

PVSH 12h-41	273	59201	1.5	12.6052	1.1	2.0868	3.4	0.1909	3.2	0.94	1126	33	1144	23	1180	22	95.46
PVSH 12h-42	146	35309	1.4	13.7021	3.8	2.1205	10.1	0.2108	9.4	0.93	1233	105	1155	70	1013	78	121.79
PVSH 12h-43	1005	43486	2.3	12.9514	1.4	1.9277	2.0	0.1812	1.4	0.73	1073	14	1091	13	1126	27	95.33
PVSH 12h-44	533	114981	2.4	13.0916	0.9	1.8546	1.6	0.1762	1.3	0.83	1046	13	1065	11	1104	18	94.72
PVSH 12h-45	85	37120	2.8	13.3906	1.3	1.7087	2.8	0.1660	2.4	0.88	990	22	1012	18	1059	26	93.50
PVSH 12h-46	22	2114	1.5	15.6836	3.0	1.5496	4.0	0.1763	2.6	0.66	1047	25	950	25	733	64	142.87
PVSH 12h-47	119	813259	2.8	13.1726	1.0	1.8526	2.2	0.1771	1.9	0.89	1051	18	1064	14	1092	20	96.24
PVSH 12h-48	391	114511	2.7	9.1821	1.0	4.5701	1.7	0.3045	1.3	0.80	1713	20	1744	14	1780	19	96.24
PVSH 12h-49	84	28418	3.2	5.7164	0.8	11.6133	1.6	0.4817	1.4	0.86	2535	29	2574	15	2605	14	97.31
PVSH 12h-50	124	85703	0.9	13.9069	1.4	1.6494	2.0	0.1664	1.5	0.73	992	13	989	13	982	28	101.02
PVSH 12h-51	121	17902	1.6	18.3532	1.5	0.4955	2.8	0.0660	2.3	0.83	412	9	409	9	390	34	105.55
PVSH 12h-52	44	13211	3.3	12.7802	1.8	1.9912	3.0	0.1846	2.4	0.79	1092	24	1113	20	1152	36	94.80
PVSH 12h-53	76	278916	1.3	5.1328	0.8	13.8320	1.7	0.5151	1.6	0.89	2679	34	2738	17	2783	13	96.26
PVSH 12h-54	36	8387	2.4	12.4788	2.1	1.8375	4.6	0.1664	4.1	0.89	992	38	1059	30	1199	41	82.72
PVSH 12h-55	233	13647	3.1	13.7209	0.8	1.7378	2.0	0.1730	1.8	0.90	1029	17	1023	13	1010	17	101.87
PVSH 12h-56	199	16038	4.0	13.6506	1.9	1.9680	3.3	0.1949	2.7	0.82	1148	28	1105	22	1020	38	112.53
PVSH 12h-57	452	119058	7.4	12.1331	0.8	2.1179	1.7	0.1865	1.5	0.87	1102	15	1155	12	1255	17	87.84
PVSH 12h-58	42	1099371	21.6	14.0604	1.4	1.8274	2.5	0.1864	2.1	0.83	1102	21	1055	16	960	28	114.79
PVSH 12h-59	86	18968	2.5	13.7912	1.6	1.7034	2.7	0.1705	2.1	0.79	1015	20	1010	17	999	33	101.53
PVSH 12h-60	109	8131	2.3	17.6618	3.8	0.5580	6.3	0.0715	5.0	0.80	445	21	450	23	476	84	93.59
PVSH 12h-61	174	62991	1.6	13.0453	1.1	2.0347	2.1	0.1926	1.8	0.86	1135	19	1127	14	1111	22	102.16
PVSH 12h-62	84	3900	1.4	17.8557	2.3	0.5552	2.9	0.0719	1.7	0.59	448	7	448	10	452	51	99.16
PVSH 12h-63	140	11225	3.0	13.0581	0.9	2.1102	1.9	0.1999	1.7	0.89	1175	18	1152	13	1109	17	105.91
PVSH 12h-64	386	91955	25.8	11.7226	0.8	2.5138	2.1	0.2138	1.9	0.92	1249	22	1276	15	1322	16	94.51
PVSH 12h-65	791	29058	3.2	12.6543	1.2	1.7075	1.8	0.1568	1.4	0.76	939	12	1011	12	1172	24	80.11
PVSH 12h-66	283	10861	1.5	17.7069	1.4	0.5348	2.1	0.0687	1.5	0.72	428	6	435	7	470	32	91.11
PVSH 12h-67	198	120391	8.1	4.8095	0.9	14.6114	2.3	0.5099	2.1	0.92	2656	46	2790	22	2889	15	91.95
PVSH 12h-68	278	64368	2.7	12.3614	1.0	2.1724	1.6	0.1948	1.3	0.78	1148	13	1172	11	1218	20	94.21
PVSH 12h-69	84	25092	1.2	5.1977	0.8	13.6012	2.1	0.5130	1.9	0.92	2669	42	2722	20	2762	13	96.64
PVSH 12h-70	33	22652	3.6	12.9464	2.6	1.9030	3.7	0.1788	2.7	0.71	1060	26	1082	25	1127	52	94.11
PVSH 12h-71	135	35239	2.7	12.6956	1.5	2.1809	2.2	0.2009	1.7	0.76	1180	18	1175	16	1165	29	101.26

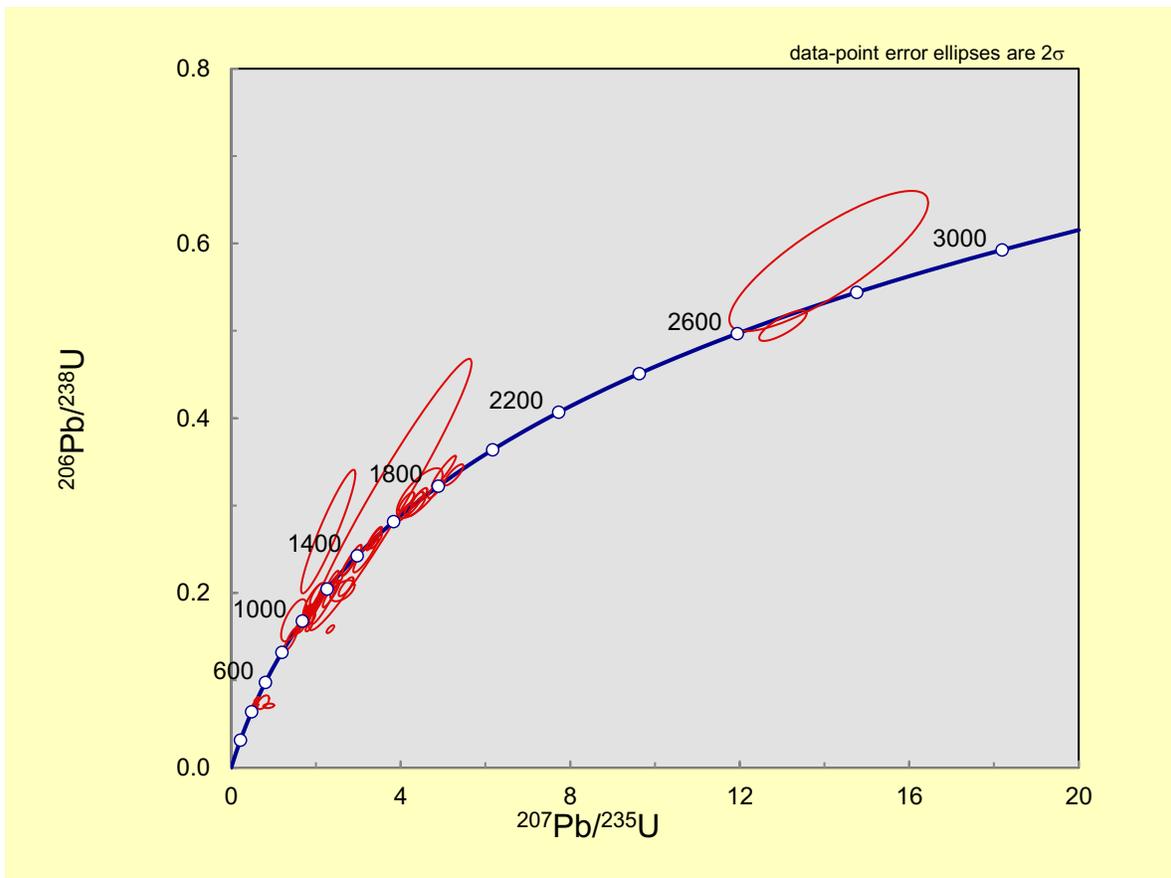


Figura 5.8 Gráfica de concordia para muestra PVSH tratada a 12 horas.

En la tabla 5.7 se observa que se realizaron con el espectrómetro de masa para la muestra PVSH tratada a 12 horas 71 análisis, de los cuales 14 fueron discordantes y se marcan con color amarillo. En este experimento disminuyen la cantidad de análisis discordantes en comparación a la muestra sin tratamiento.

La figura 5.8 muestra elipses fuera de la línea de concordia, discordantes hacia la derecha e izquierda y otras sobre la línea. Se observan menos dispersas en comparación con la gráfica de la muestra no tratada y las elipses tienen diferentes tamaños notables entre sí.

### 5.3.6 Resultados de LA-ICPMS para la muestra PVSH tratada a 24 horas

Tabla 5.8 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra PVSH tratada a 24 horas.

Analysis	U conc (ppm)	206Pb 204Pb	U Th	Isotope ratios							Apparent ages (Ma)						Concor (%)
				206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	error	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	
				207Pb*	(%)	235U	(%)	238U	(%)	corr.	238U	(Ma)	235U	(Ma)	207Pb*	(Ma)	
<b>PVSH 24h</b>																	
PVSH 24h - 1	189	116667	3.1	13.6268	1.0	1.6692	3.1	0.1650	3.0	0.95	985	27	997	20	1024	20	96.20
PVSH 24h - 2	73	8032	2.9	14.1286	2.6	1.3724	2.9	0.1407	1.3	0.44	849	10	877	17	950	54	89.31
PVSH 24h - 3	145	34514	2.7	12.2119	0.9	2.3240	1.9	0.2059	1.7	0.88	1207	18	1220	13	1242	17	97.19
PVSH 24h - 4	298	35487	2.6	18.1513	1.2	0.4813	2.6	0.0634	2.3	0.89	396	9	399	9	415	26	95.47
PVSH 24h - 5	540	681718	3.3	9.1562	1.2	4.3836	2.2	0.2912	1.8	0.83	1648	27	1709	18	1786	23	92.28
PVSH 24h - 6	64	28390	3.8	13.9138	4.2	1.5884	6.8	0.1604	5.3	0.78	959	47	966	42	981	86	97.69
PVSH 24h - 7	819	6721	2.2	8.1063	5.4	4.4470	5.6	0.2616	1.6	0.28	1498	21	1721	47	2005	96	74.72
PVSH 24h - 8	114	14749	1.0	14.3797	4.0	1.7427	7.5	0.1818	6.3	0.84	1077	63	1024	48	914	82	117.83
PVSH 24h - 9	413	187690	3.9	13.8992	0.9	1.5476	1.9	0.1561	1.7	0.88	935	14	950	12	984	19	95.06
PVSH 24h - 10	423	89745	1.8	13.6683	1.2	1.6932	1.8	0.1679	1.4	0.77	1001	13	1006	12	1018	24	98.34
PVSH 24h - 11	241	51987	0.9	9.8354	1.0	3.9482	2.1	0.2818	1.8	0.87	1600	26	1624	17	1654	19	96.74
PVSH 24h - 12	27	4048	1.2	13.7485	3.9	1.4951	5.3	0.1492	3.6	0.68	896	30	928	32	1006	79	89.11
PVSH 24h - 13	976	113266	36.3	13.5093	1.2	1.8354	2.0	0.1799	1.6	0.80	1066	16	1058	13	1041	24	102.43
PVSH 24h - 14	530	15525	7.5	11.5579	1.5	1.9619	2.3	0.1645	1.8	0.76	982	16	1103	16	1349	29	72.79
PVSH 24h - 15	55	9470	1.9	12.8011	1.9	1.9456	3.1	0.1807	2.5	0.79	1071	24	1097	21	1149	38	93.20
PVSH 24h - 16	285	35623	2.4	13.0408	1.0	1.9617	1.9	0.1856	1.6	0.86	1098	16	1102	12	1112	19	98.70
PVSH 24h - 17	113	7617	0.8	5.2738	15.8	1.7089	17.4	0.0654	7.4	0.42	408	29	1012	112	2738	262	14.91
PVSH 24h - 18	389	220926	5.4	13.5252	1.1	1.7646	1.7	0.1732	1.3	0.75	1030	12	1033	11	1039	23	99.11
PVSH 24h - 19	27	14985	0.7	6.5346	1.4	6.5446	4.0	0.3103	3.8	0.93	1742	58	2052	36	2379	24	73.22
PVSH 24h - 20	782	32569	2.4	8.6457	0.7	4.6998	2.0	0.2948	1.8	0.92	1666	27	1767	16	1889	13	88.15
PVSH 24h - 21	50	5759	3.9	12.7104	2.3	1.3159	5.8	0.1214	5.4	0.92	738	37	853	34	1163	46	63.48
PVSH 24h - 22	89	52919	1.7	8.4754	1.3	4.5556	4.0	0.2801	3.8	0.95	1592	54	1741	34	1925	24	82.70
PVSH 24h - 23	674	87537	5.5	13.1230	1.2	1.6910	1.8	0.1610	1.3	0.74	962	12	1005	12	1100	24	87.53
PVSH 24h - 24	850	16301	2.5	10.8963	1.1	2.3640	2.1	0.1869	1.8	0.85	1105	18	1232	15	1462	21	75.56
PVSH 24h - 25	319	67384	1.9	13.4638	1.0	1.7766	2.2	0.1736	1.9	0.88	1032	18	1037	14	1048	21	98.44
PVSH 24h - 26	43	10854	3.5	13.9825	2.5	1.4457	4.8	0.1467	4.1	0.86	882	34	908	29	971	51	90.83
PVSH 24h - 27	187	15807	5.9	13.8495	0.9	1.8275	1.9	0.1836	1.7	0.88	1087	17	1055	13	991	19	109.69
PVSH 24h - 28	107	40967	1.7	12.2308	2.9	2.3312	4.6	0.2069	3.6	0.78	1212	40	1222	33	1239	57	97.84
PVSH 24h - 29	421	119765	4.1	13.5024	0.9	1.7061	1.6	0.1671	1.3	0.82	996	12	1011	10	1042	18	95.60
PVSH 24h - 30	142	18954	1.3	10.6342	1.3	3.1713	2.4	0.2447	2.0	0.84	1411	25	1450	18	1508	24	93.57
PVSH 24h - 31	70	12032	2.4	13.0332	2.0	1.6336	4.7	0.1545	4.2	0.90	926	37	983	30	1113	41	83.19
PVSH 24h - 32	136	36509	1.5	18.5777	2.2	0.4984	3.1	0.0672	2.3	0.73	419	9	411	11	363	49	115.53
PVSH 24h - 33	66	3393	2.2	18.1962	4.0	0.5362	5.5	0.0708	3.8	0.69	441	16	436	19	409	89	107.69
PVSH 24h - 34	194	130517	1.5	12.3680	1.3	2.1516	2.1	0.1929	1.6	0.77	1137	17	1166	15	1219	26	93.32
PVSH 24h - 35	186	209909	1.2	9.6552	1.1	4.2614	2.2	0.2985	1.9	0.87	1684	28	1686	18	1688	20	99.75
PVSH 24h - 36	155	77571	2.9	13.8585	3.8	1.9965	11.4	0.2008	10.7	0.94	1179	116	1114	77	990	77	119.19
PVSH 24h - 37	429	64106	9.4	19.3951	2.1	0.4200	5.3	0.0591	4.9	0.92	370	18	356	16	265	49	139.71
PVSH 24h - 38	154	55554	2.3	12.5814	1.4	2.0386	2.1	0.1861	1.6	0.74	1100	16	1128	15	1183	28	92.98
PVSH 24h - 39	251	80830	2.5	13.1477	1.0	1.8976	1.8	0.1810	1.5	0.83	1073	15	1080	12	1096	20	97.89
PVSH 24h - 40	597	138287	3.0	12.4788	0.9	2.2418	1.5	0.2030	1.3	0.83	1191	14	1194	11	1199	17	99.32
PVSH 24h - 41	101	595073	3.8	12.6892	2.3	1.9682	3.8	0.1812	3.0	0.79	1074	30	1105	25	1166	46	92.04

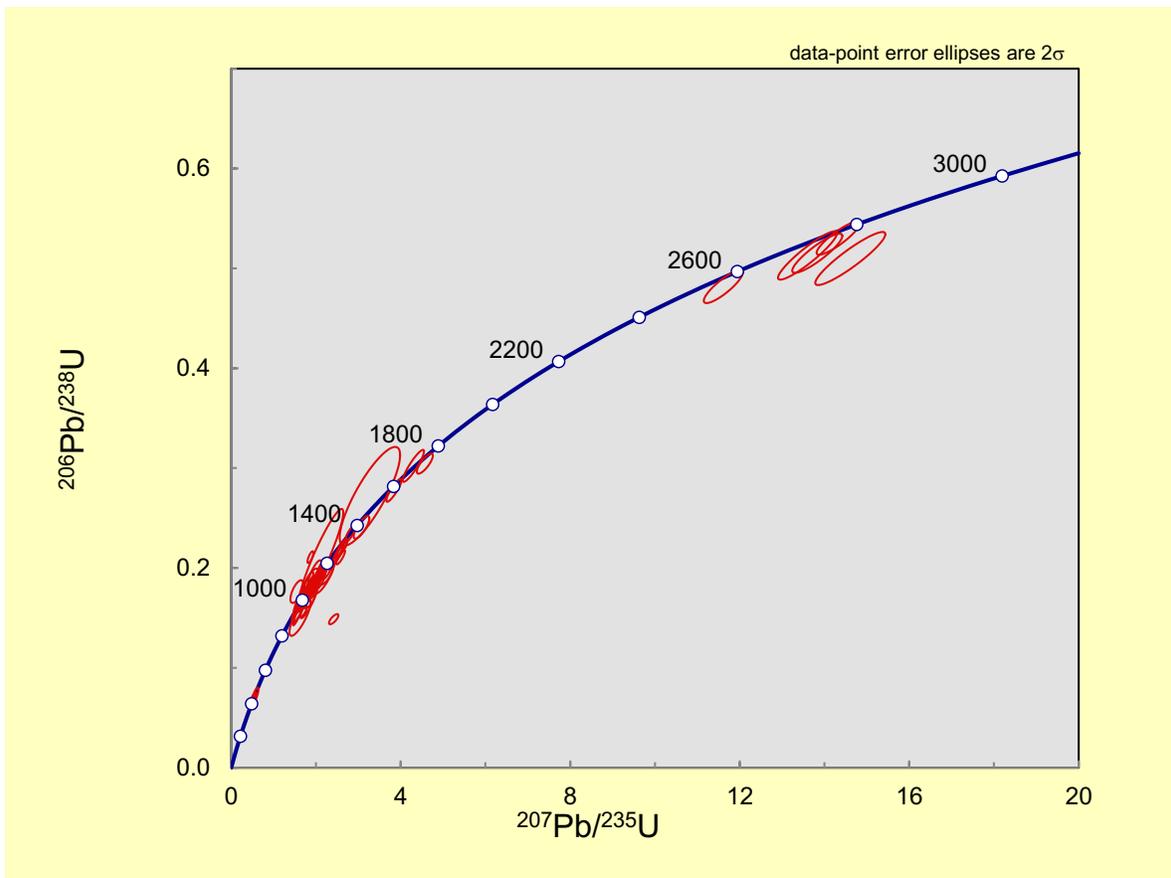


Figura 5.9 Gráfica de Concordia para la muestra PVSH tratada a 24 horas.

Se puede observar que para la tabla 5.8 se realizaron un total de 41 análisis con LA-ICPMS donde solo 8 de estos son discordantes como se marca con color amarillo. A las 24 horas de tratamiento de la muestra PVSH disminuye la cantidad de análisis discordantes en comparación a la muestra no tratada y la tratada a 12 horas.

Se indica que para la figura 5.9 hay elipses que se encuentran agrupadas en la parte inferior sobre la curva de concordia y otras están discordantes hacia la derecha superior, además de que las elipses tienen un tamaño más similar entre ellas en comparación a las curvas de 12 y 24 horas.

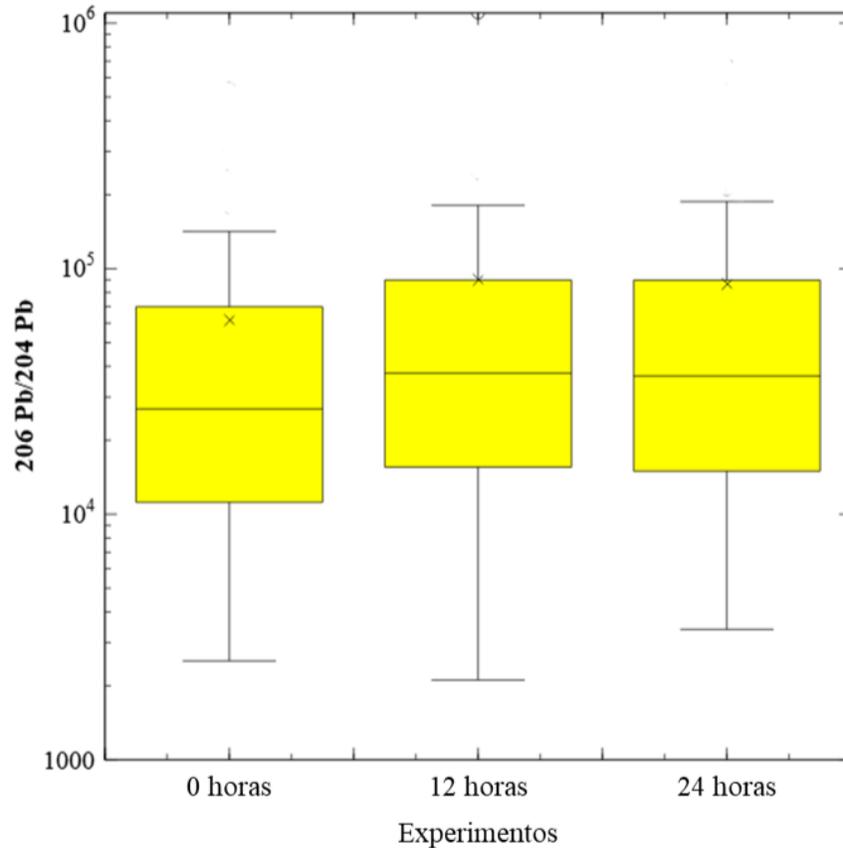


Figura 5.10 Diagrama de cajas y bigotes para la muestra PVSH.

La figura 5.10 muestra la perdida de Pb ( $Pb^{206}/Pb^{204}$ ) para la muestra PVSH 0h y tratada a diferentes horas en la cual la línea divisora de las cajas corresponde a la mediana, la X al promedio, la línea superior corresponde al cuartil 3 (Q3) y la inferior al cuartil 1 (Q1) mientras que los bigotes simbolizan los valores máximo y mínimo del Pb común perdido en las muestras.

Esta grafica es útil para conocer la cantidad de Pb que se pierde a las diferentes horas de los experimentos. Se utilizó una escala logarítmica debido a la gran variación de los valores en cada uno de los experimentos.

En este caso particular, el grafico muestra que los valores de la mediana y el promedio aumentaron a las 12 horas respecto de las no tratadas (la tendencia central aumenta), mientras que a las 24 horas de tratamiento vuelve a aumentar ligeramente respecto al experimento a 12 horas. También cabe señalar que el RIQ (tamaño de la caja) no presenta gran variación entre los tres experimentos.

Tabla 5.9 Contiene los valores numéricos del diagrama de cajas y bigotes.

<b>Estadística</b>	<b>0 h</b>	<b>12 h</b>	<b>24 h</b>
<b>Mínimo</b>	2529	2114	3393
<b>Máximo</b>	541892	1099371	681718
<b>Mediana</b>	26863	37499	37509
<b>Q1</b>	11181.71477	15542.1094	14984.8726
<b>Q3</b>	69941.19421	89849.4743	89745.2685
<b>Promedio</b>	61676	90112	90120
<b>Rango intercuartil</b>	58 759.48	74 307.37	74 760.39

La tabla 5.9 muestra que la mediana aumenta su valor a las 12h de tratamiento y a las 24h aumenta ligeramente, al igual que el promedio reflejando lo representado por el gráfico de cajas y bigotes. Para el (RIQ) no hay mucha variación entre los experimentos de 12 y 24 horas.

### 5.3.7 Resultados por LA-ICPMS de la muestra R tratada a 0h

Tabla 5.10 Datos isotópicos de U,Th y Pb de la muestra R tratada a 0 h.

Analysis	Isotope ratios										Apparent ages (Ma)						Concor (%)
	U conc	206Pb	U	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	error	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	
	(ppm)	204Pb	Th	207Pb*	(%)	235U	(%)	238U	(%)	corr.	238U	(Ma)	235U	(Ma)	207Pb*	(Ma)	
<b>R 0h</b>																	
R 0h - 1	68	25971	1.9	17.6737	2.5	0.5159	4.0	0.0662	3.1	0.78	413	12	422	14	474	55	87.07
R 0h - 2	97	3631	1.6	19.4397	3.7	0.4733	4.3	0.0668	2.2	0.51	417	9	393	14	260	86	160.46
R 0h - 3	75	1909	1.3	18.6906	5.5	0.4778	5.8	0.0648	1.9	0.33	405	8	397	19	349	125	115.91
R 0h - 4	142	4069	1.7	18.4284	3.9	0.4944	4.3	0.0661	1.9	0.44	413	7	408	14	381	87	108.31
R 0h - 5	162	8650	1.6	18.0231	1.7	0.5132	2.4	0.0671	1.7	0.71	419	7	421	8	431	37	97.20
R 0h - 6	120	1247	1.7	20.2124	4.1	0.4459	4.3	0.0654	1.4	0.32	408	5	374	14	169	96	241.15
R 0h - 7	159	2829	1.6	19.1202	1.2	0.4920	1.8	0.0683	1.3	0.73	426	5	406	6	298	28	143.02
R 0h - 8	145	3776	1.7	17.8335	2.2	0.5151	3.1	0.0667	2.2	0.70	416	9	422	11	454	50	91.55
R 0h - 9	95	1215	1.4	19.2510	5.9	0.4729	30.6	0.0661	30.0	0.98	412	120	393	100	282	135	146.21
R 0h - 10	82	728	1.9	31.7791	3.4	0.3177	10.1	0.0733	9.5	0.94	456	42	280	25	NA	NA	#VALOR!
R 0h - 11	69	31256	1.9	17.2917	2.0	0.5310	2.7	0.0666	1.8	0.68	416	7	432	9	522	43	79.59
R 0h - 12	96	1519	1.8	22.2729	2.2	0.4341	3.4	0.0702	2.6	0.76	437	11	366	10	NA	NA	#VALOR!
R 0h - 13	31	1775	3.6	18.9631	5.1	0.4924	6.4	0.0677	3.8	0.60	423	16	407	21	316	116	133.58
R 0h - 14	494	160181	1.2	17.8142	1.0	0.4919	1.8	0.0636	1.5	0.83	397	6	406	6	457	23	86.99
R 0h - 15	46	2546	1.9	19.4726	3.9	0.4569	4.4	0.0646	2.0	0.46	403	8	382	14	256	90	157.69
R 0h - 16	228	15183	1.8	18.2339	1.0	0.5066	1.8	0.0670	1.5	0.82	418	6	416	6	405	23	103.31
R 0h - 17	324	35867	1.0	17.5939	1.3	0.5186	2.2	0.0662	1.8	0.81	413	7	424	8	484	28	85.34
R 0h - 18	655	12214	1.8	18.0368	1.1	0.5136	2.4	0.0672	2.1	0.88	419	8	421	8	429	25	97.73

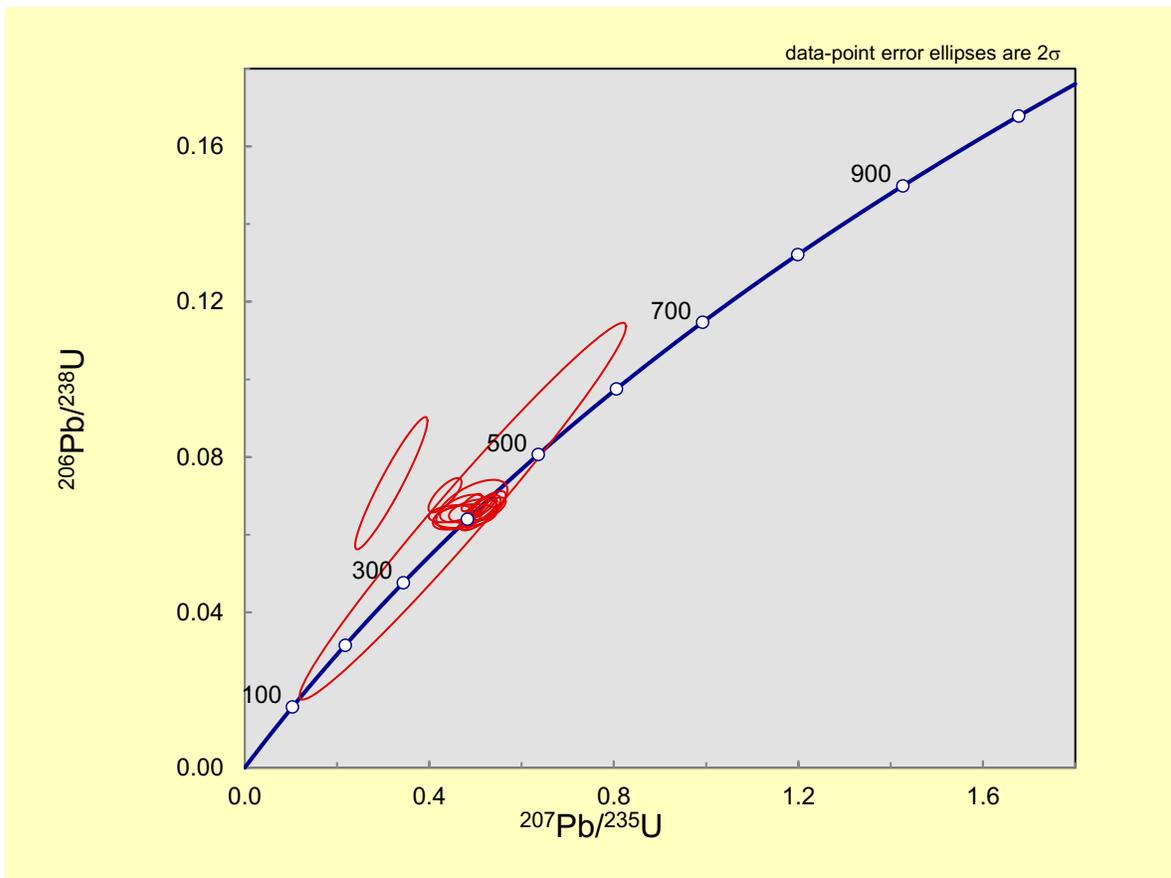


Figura 5.11 Gráfica de Concordia muestra R no tratada.

La tabla 5.10 muestra un total de 18 análisis para la muestra R sin tratamiento, de los cuales 10 fueron discordantes y se marcaron en color amarillo. La tabla contiene información isotópica de U, Th, Pb obtenida por LA-ICPMS.

Para la figura 5.11 se muestra la gráfica de Concordia que corresponde a la muestra R sin tratar, y se puede observar que hay algunas elipses sobre la línea de concordia, pero también hay otras discordantes a la izquierda, el tamaño entre ellas es variado y casi todas se encuentran agrupadas hacia un mismo sitio de la curva de Concordia.

### 5.3.8 Resultados por LA-ICPMS para la muestra R tratada a 12 horas

Tabla 5.11 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra R tratada a 12 horas.

Analysis	U conc (ppm)	206Pb 204Pb	U Th	Isotope ratios							Apparent ages (Ma)						Concor (%)
				206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	error	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	
				207Pb*	(%)	235U	(%)	238U	(%)	corr.	238U	(Ma)	235U	(Ma)	207Pb*	(Ma)	
<b>R_12h</b>																	
R12h-1	157	4653	1.7	18.9593	3.0	0.4982	3.3	0.0685	1.5	0.44	427	6	410	11	317	67	134.88
R12h-2	57	3846	2.7	19.0105	3.3	0.4834	6.1	0.0667	5.1	0.84	416	21	400	20	311	76	133.93
R12h-3	203	5857	1.5	18.9466	2.7	0.4892	4.1	0.0673	3.0	0.75	420	12	404	14	318	61	131.80
R12h-4	82	1349	2.2	22.5462	10.6	0.4165	10.9	0.0681	2.4	0.22	425	10	354	32	NA	NA	#VALOR!
R12h-5	62	8933	2.8	18.6670	2.6	0.5021	4.4	0.0680	3.6	0.81	424	15	413	15	352	59	120.47
R12h-6	161	5194	2.1	18.2828	2.6	0.4947	3.2	0.0656	1.8	0.58	410	7	408	11	399	58	102.73
R12h-7	158	3443	1.6	20.0329	2.5	0.4780	5.5	0.0695	4.9	0.89	433	20	397	18	190	57	227.68
R12h-8	227	6331	1.4	19.1226	2.4	0.4818	3.0	0.0669	1.8	0.59	417	7	399	10	297	55	140.32
R12h-9	114	2919	1.8	19.6393	3.5	0.4813	3.9	0.0686	1.8	0.46	428	7	399	13	236	80	181.09
R12h-10	52	2281	1.8	19.5591	2.7	0.4519	3.8	0.0641	2.7	0.70	401	10	379	12	246	63	163.20

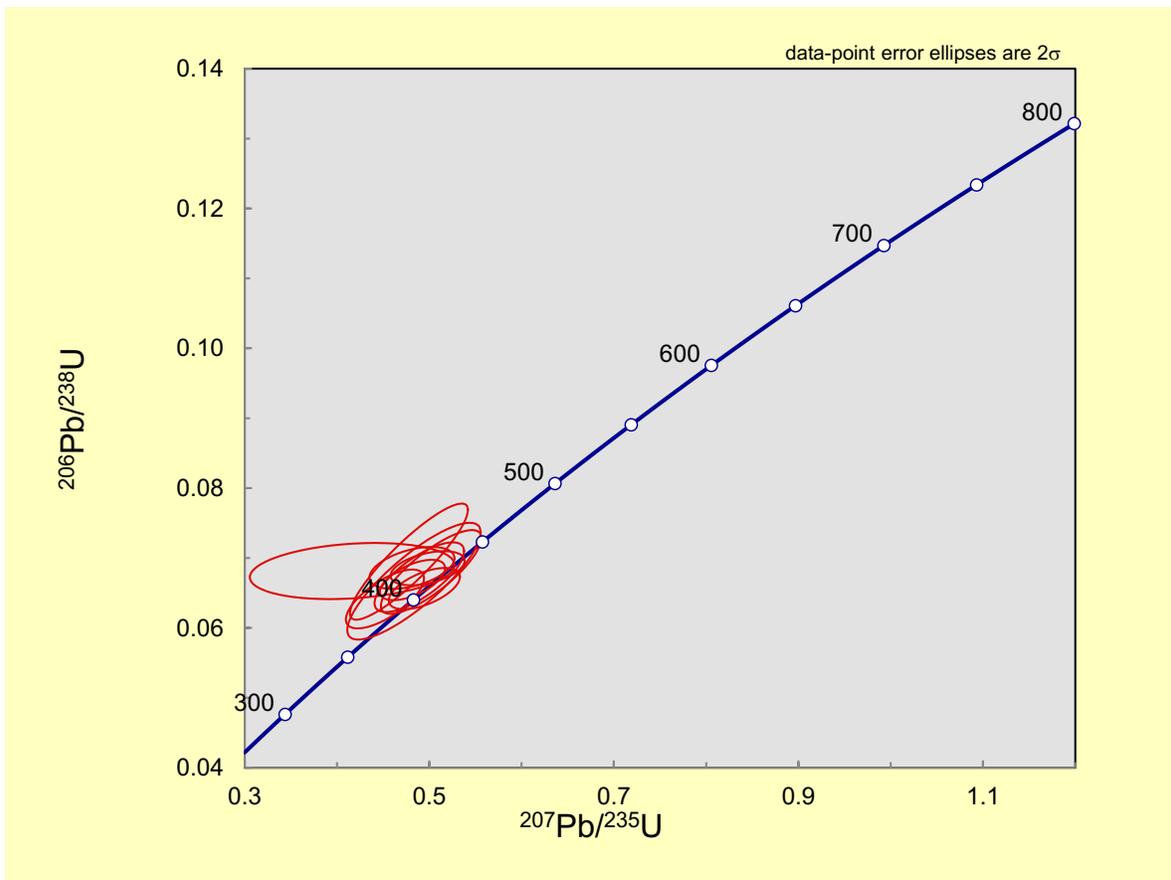


Figura 5.12 Gráfica de concordia muestra R tratada a 12 h.

En la tabla 5.11 se muestra un total de 10 análisis para la muestra R tratada a 12 horas, de los cuales 9 fueron discordantes y se marcaron en color amarillo. La tabla contiene datos de los Isótopos de U,Th, Pb.

Se muestra que para la figura 5.12 las elipses se aprecian agrupadas en la parte inferior sobre la curva de concordia y hay una en particular discordante hacia la izquierda, además de que las elipses tienen un tamaño similar entre ellas en comparación las elipses de a la curva de concordia en R no tratada.

### 5.3.9 Resultados por LA-ICPMS para la muestra R tratada a 24 horas

Tabla 5.12 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra R tratada a 24 horas.

Analysis	U conc (ppm)	206Pb 204Pb	U Th	Isotope ratios							Apparent ages (Ma)					Concor (%)	
				206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	error	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*		±
				207Pb*	(%)	235U	(%)	238U	(%)	corr.	238U	(Ma)	235U	(Ma)	207Pb*		(Ma)
<b>R 24h</b>																	
R24h-1	67	1142	2.2	23.2429	2.5	0.3846	3.1	0.0649	1.8	0.59	405	7	330	9	NA	NA	#VALOR!
R24h-2	122	15994	1.8	18.0045	1.3	0.5154	2.2	0.0673	1.8	0.81	420	7	422	8	433	29	96.99
R24h-3	78	44342	2.0	17.1270	3.2	0.5745	4.4	0.0714	2.9	0.67	445	13	461	16	543	70	81.81
R24h-4	89	5440	2.1	19.3469	1.9	0.4959	3.0	0.0696	2.3	0.78	434	10	409	10	271	42	160.32
R24h-5	195	10333	1.5	19.3343	2.2	0.5069	6.5	0.0711	6.1	0.94	443	26	416	22	272	51	162.75
R24h-6	103	6930	1.9	18.3368	2.1	0.5106	2.6	0.0679	1.5	0.58	424	6	419	9	392	47	108.02
R24h-7	135	3656	2.3	19.0564	4.2	0.4789	4.4	0.0662	1.5	0.34	413	6	397	15	305	95	135.41

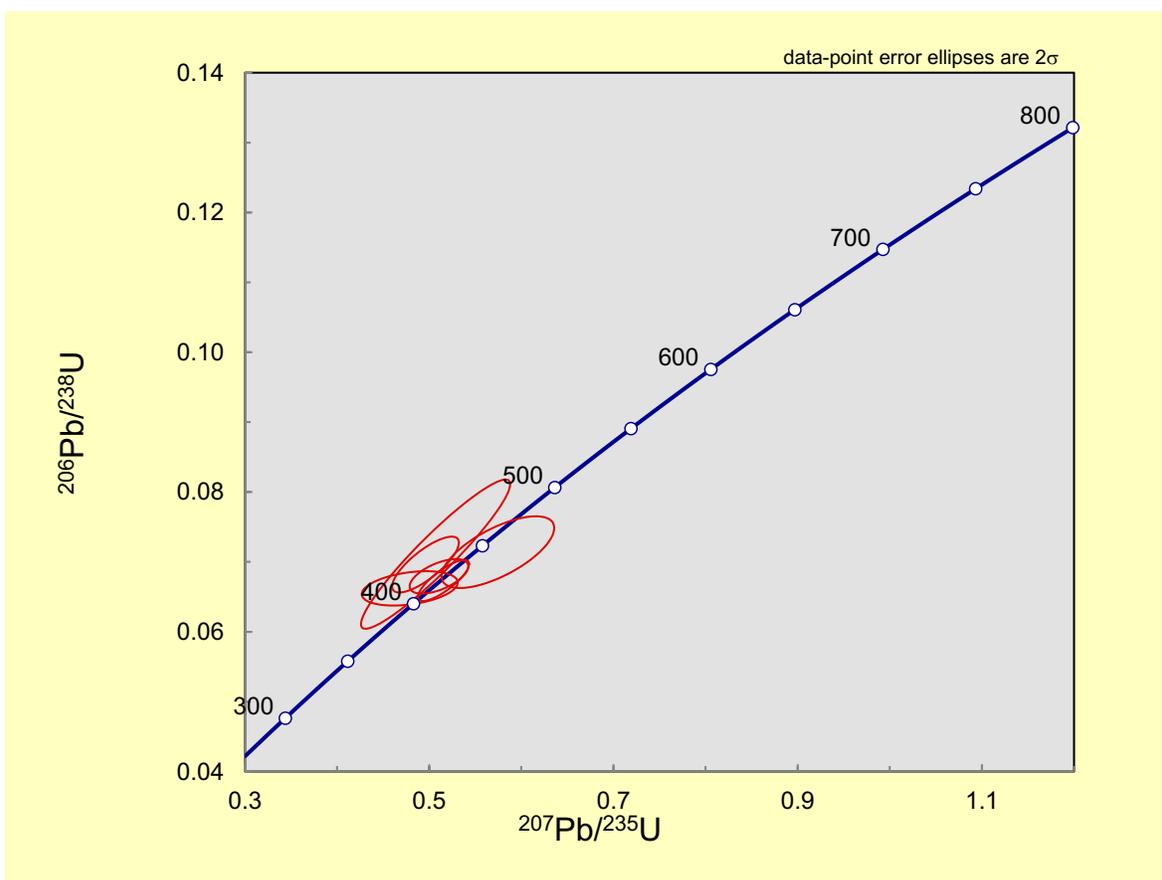


Figura 5.13 Gráfica de Concordia para muestra R tratada a 24h.

Para la tabla 5.12 se muestra que hay un número total de 7 análisis, de los cuales 5 fueron discordantes (marcados con amarillo) por lo que para R a 24 horas de tratamiento hay un número menor de análisis discordantes en comparación a los análisis de R a 12 horas y no tratada.

Así mismo, se observa que para la figura 5.13 hay elipses que se encuentran agrupadas en la parte inferior sobre la curva de concordia, una se encuentra discordante hacia la derecha y otra más pequeña es discordante hacia la izquierda. Las elipses muestran un tamaño similar entre ellas.

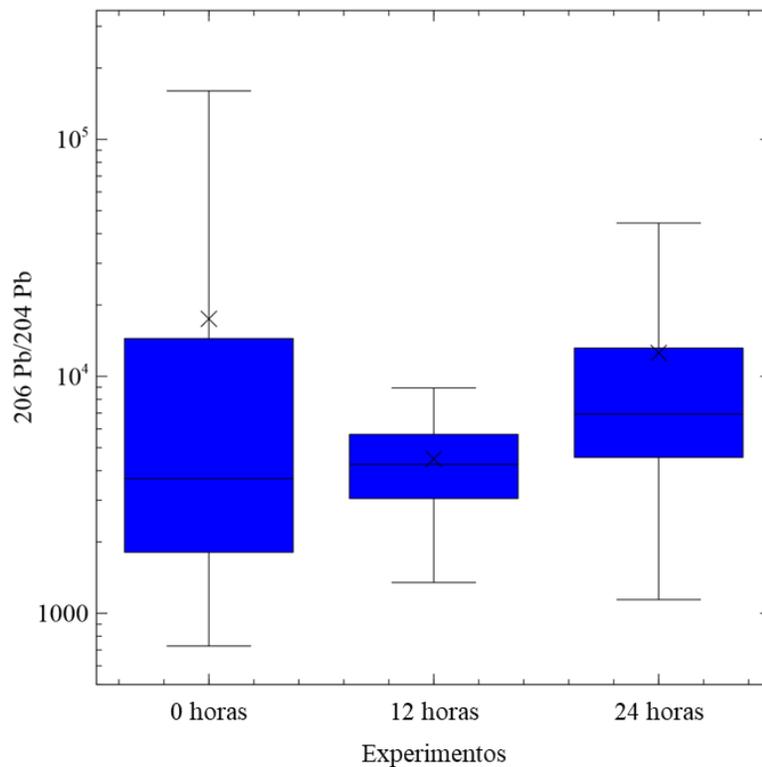


Figura 5.14 Diagrama de cajas y bigotes para la muestra R.

La figura 5.14 muestra la pérdida de Pb ( $Pb^{206}/Pb^{204}$ ) para la muestra R 0h y tratada a diferentes horas en la cual la línea divisora de las cajas corresponde a la mediana, la X al promedio, la línea superior corresponde al cuartil 3 (Q3) y la inferior al cuartil 1 (Q1) mientras que los bigotes simbolizan los valores máximo y mínimo del Pb perdido en las muestras.

Esta grafica es útil para conocer la cantidad de Pb común que se pierde a las diferentes horas de los experimentos. Se utilizó una escala logarítmica debido a la gran variación de los valores en cada uno de los experimentos.

Para el caso de la muestra R, el gráfico de cajas y bigotes presenta un aumento de la mediana en los experimentos de 12 y 24 h respecto de la muestra no tratada (0 h), el promedio por su parte disminuye a las 12 horas de tratamiento, pero aumenta nuevamente a las 24 horas, pero sin superar el valor de la muestra no tratada. Así mismo, el RIQ por su parte, muestra una disminución en el experimento a 12 h respecto a la muestra no tratada reflejando una menor dispersión de los datos, mientras que en el caso a 24 h aumentó respecto al tratado a 12 h pero sin superar el de la muestra no tratada, teniendo una dispersión menor de los datos.

*Tabla 5.13 Contiene los valores numéricos del diagrama de cajas y bigotes.*

<b>Estadística</b>	<b>0 h</b>	<b>12 h</b>	<b>24 h</b>
<b>Mínimo</b>	728	1349	1142
<b>Máximo</b>	160181	8933	44342
<b>Mediana</b>	3703	4250	6930
<b>Q1</b>	1 808.38	3 049.96	4 547.78
<b>Q3</b>	14 440.62	5 691.37	13 163.43
<b>Promedio</b>	17 476	4 481	12 548
<b>Rango intercuartil</b>	12 632.24	2 641.41	8 615.65

La tabla 5.13 muestra que la mediana aumenta de valor a mayor tiempo de exposición en los ácidos y el promedio disminuye a las 12h con respecto a las 0h y después aumenta a las 24h de tratamiento. El RIQ demuestra que la variabilidad de los datos es grande al tener muchas diferencias en los tamaños de las cajas.

### 5.3.10 Resultados por LA-ICPMS de la muestra F tratada a 0h

Tabla 5.14 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra F tratada a 0h.

Analysis	Isotope ratios										Apparent ages (Ma)						Concor (%)
	U conc	206Pb	U	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	error	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	
	(ppm)	204Pb	Th	207Pb*	(%)	235U	(%)	238U	(%)	corr.	238U	(Ma)	235U	(Ma)	207Pb*	(Ma)	
<b>F 0h</b>																	
F- 0h- 1	484	29683	2.2	13.0160	0.9	1.9906	1.6	0.1880	1.3	0.84	1111	14	1112	11	1116	17	99.52
F- 0h- 2	495	21737	1.8	13.3058	0.7	1.9571	1.7	0.1890	1.6	0.91	1116	16	1101	12	1072	14	104.10
F- 0h- 3	274	10929	2.0	13.1064	0.7	1.9440	1.9	0.1849	1.8	0.92	1094	18	1096	13	1102	15	99.23
F- 0h- 4	206	223593	2.9	13.0330	0.7	1.9455	1.8	0.1840	1.6	0.91	1089	16	1097	12	1113	15	97.79
F- 0h- 5	347	35144	1.9	12.9604	0.8	1.9783	1.6	0.1860	1.4	0.87	1100	14	1108	11	1124	16	97.82
F- 0h- 6	212	25610	1.6	13.0132	0.9	1.9349	2.1	0.1827	1.9	0.90	1082	19	1093	14	1116	18	96.90
F- 0h- 7	753	85086	1.9	13.2745	0.8	1.9185	1.8	0.1848	1.6	0.89	1093	16	1088	12	1077	17	101.54
F- 0h- 8	568	43817	2.1	13.0438	0.9	1.9194	1.8	0.1817	1.6	0.87	1076	16	1088	12	1112	18	96.80
F- 0h- 9	256	9027	2.7	13.2829	1.0	1.9578	2.0	0.1887	1.7	0.85	1114	17	1101	13	1075	21	103.63
F- 0h- 10	203	11067	1.8	13.3737	0.9	1.9460	1.8	0.1888	1.6	0.88	1115	17	1097	12	1062	17	105.04
F- 0h- 11	384	17645	1.7	13.0117	0.9	1.9946	1.7	0.1883	1.4	0.84	1112	14	1114	11	1117	18	99.61
F- 0h- 12	263	21683	2.2	13.1060	1.0	1.9381	2.1	0.1843	1.8	0.88	1090	18	1094	14	1102	19	98.94
F- 0h- 13	2181	77682	1.3	13.5993	0.7	1.8852	1.2	0.1860	1.0	0.83	1100	10	1076	8	1028	14	107.01
F- 0h- 14	204	265998	2.0	13.2552	1.3	1.9141	2.5	0.1841	2.2	0.86	1089	22	1086	17	1079	26	100.92
F- 0h- 15	828	64945	1.1	13.3813	0.8	1.9731	1.6	0.1916	1.4	0.86	1130	15	1106	11	1060	17	106.55
F- 0h- 16	251	89964	1.9	12.8098	0.7	2.0045	1.8	0.1863	1.6	0.92	1101	16	1117	12	1148	14	95.97
F- 0h- 17	211	11966	2.2	13.1145	1.1	1.9711	2.1	0.1876	1.8	0.86	1108	19	1106	14	1101	22	100.67
F- 0h- 18	277	13419	1.5	13.2281	0.8	2.0058	1.8	0.1925	1.6	0.89	1135	16	1117	12	1084	16	104.75
F- 0h- 19	348	9622	1.7	13.1717	0.9	1.8573	2.0	0.1775	1.8	0.89	1053	17	1066	13	1092	19	96.45

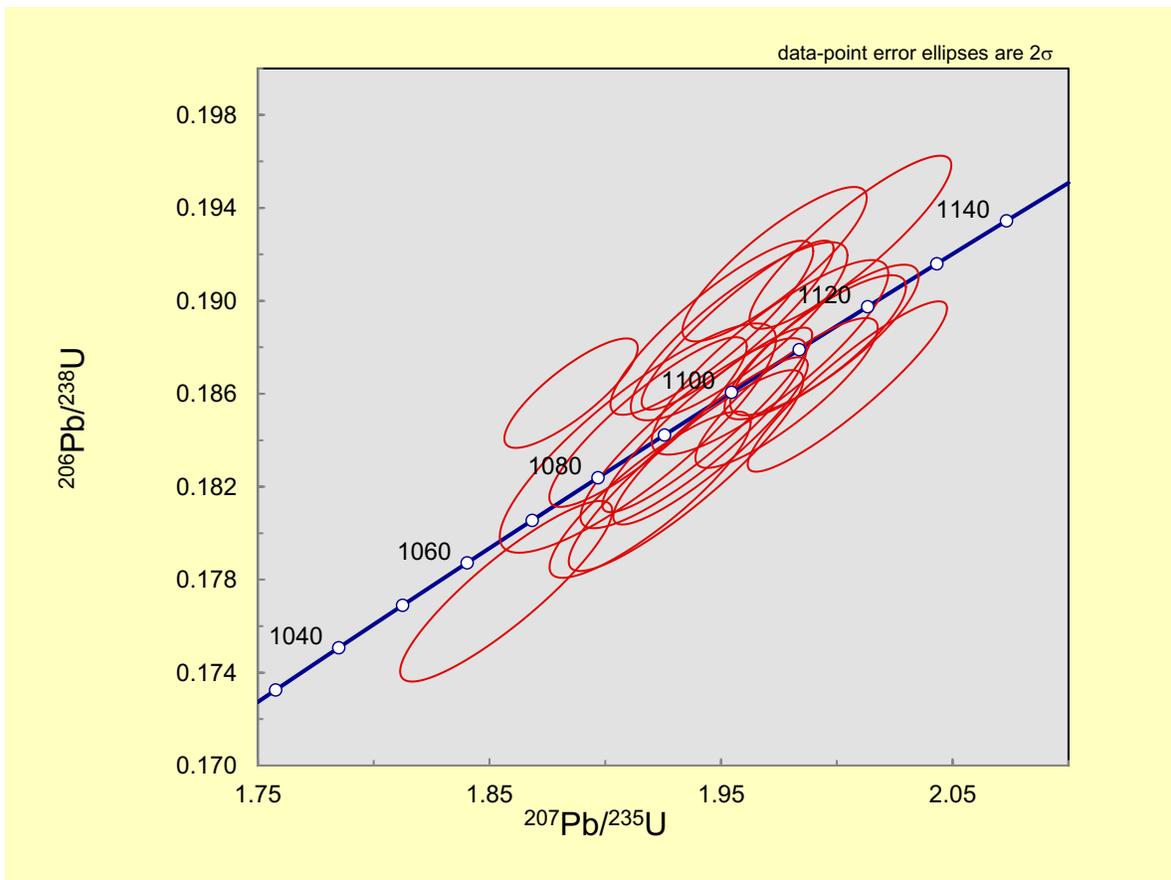


Figura 5.15 Gráfica de Concordia para muestra F tratada a 0h.

La tabla 5.14 muestra un total de 19 análisis para la muestra F sin tratamiento, de los cuales 3 fueron discordantes y se marcaron en color amarillo. La tabla contiene información isotópica de U, Th, Pb obtenida por LA-ICPMS.

Para la figura 5.15 se muestra la gráfica de Concordia que corresponde a la muestra F sin tratar, y se puede observar que hay algunas elipses sobre la línea de concordia, pero también hay otras discordantes a la izquierda y a la derecha, todas se encuentran agrupadas hacia un mismo sitio de la curva de Concordia.

### 5.3.11 Resultados por LA-ICPMS de la muestra F tratada a 12 horas

Tabla 5.15 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra F tratada a 12 horas.

Analysis	U conc (ppm)	206Pb 204Pb	U Th	Isotope ratios								Apparent ages (Ma)						Concor (%)
				206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	error	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±		
				207Pb*	(%)	235U	(%)	238U	(%)	corr.	238U	(Ma)	235U	(Ma)	207Pb*	(Ma)		
<b>F_12</b>																		
F12h - 1	163	37798	2.7	12.9512	0.8	1.9717	1.9	0.1853	1.7	0.90	1096	18	1106	13	1126	17	97.33	
F12h - 2	199	23092	3.2	12.9877	0.9	1.9057	1.6	0.1796	1.4	0.84	1065	13	1083	11	1120	17	95.05	
F12h - 3	96	6954	2.8	13.2595	1.3	1.6857	3.7	0.1622	3.4	0.94	969	31	1003	23	1079	25	89.82	
F12h - 4	117	2913	3.6	13.5575	1.4	1.9098	2.2	0.1879	1.7	0.76	1110	17	1085	15	1034	29	107.33	
F12h - 5	133	4985	2.4	13.6960	1.4	1.8893	2.9	0.1877	2.5	0.88	1109	26	1077	19	1013	28	109.45	
F12h - 6	113	16291	3.4	13.1781	0.9	1.9669	1.9	0.1881	1.6	0.88	1111	17	1104	12	1091	18	101.81	
F12h - 7	74	8723	3.8	13.1522	1.2	1.9284	2.2	0.1840	1.9	0.85	1089	19	1091	15	1095	23	99.44	
F12h - 8	193	84714	2.3	13.0554	1.1	1.9739	2.1	0.1870	1.7	0.84	1105	18	1107	14	1110	22	99.57	
F12h - 9	107	7649	2.2	13.3942	2.5	1.7865	13.3	0.1736	13.1	0.98	1032	125	1041	87	1058	50	97.50	
F12h - 10	59	12163	4.5	13.2667	1.1	1.8948	1.9	0.1824	1.5	0.81	1080	15	1079	13	1078	22	100.22	
F12h - 11	140	6430	2.9	13.4318	1.1	1.9512	1.9	0.1902	1.6	0.83	1122	17	1099	13	1053	22	106.60	
F12h - 12	209	14728	2.6	13.2116	1.1	1.8809	2.3	0.1803	2.0	0.87	1069	20	1074	15	1086	23	98.40	
F12h - 13	121	11541	2.6	13.1116	1.1	1.8967	2.8	0.1804	2.6	0.92	1069	26	1080	19	1101	22	97.11	
F12h - 14	118	6543	2.3	13.7284	1.5	1.8661	2.4	0.1859	1.8	0.77	1099	19	1069	16	1009	31	108.96	
F12h - 15	170	34633	3.0	13.1585	0.9	1.9694	1.7	0.1880	1.5	0.87	1111	16	1105	12	1094	17	101.52	
F12h - 16	78	8667	2.9	13.0622	1.4	1.9043	2.0	0.1805	1.3	0.68	1070	13	1083	13	1109	29	96.47	
F12h - 17	148	32065	2.5	13.5598	3.7	1.9809	6.4	0.1949	5.3	0.82	1148	55	1109	44	1034	75	111.04	
F12h - 18	74	1185551	4.1	13.1171	1.0	1.9424	1.8	0.1849	1.4	0.81	1094	14	1096	12	1100	21	99.37	
F12h - 19	501	776	1.6	7.6765	0.8	2.4167	1.3	0.1346	1.1	0.82	814	8	1248	9	2101	13	38.75	
F12h - 20	76	32489	3.9	13.0899	3.0	1.8854	16.2	0.1791	15.9	0.98	1062	156	1076	108	1105	60	96.14	

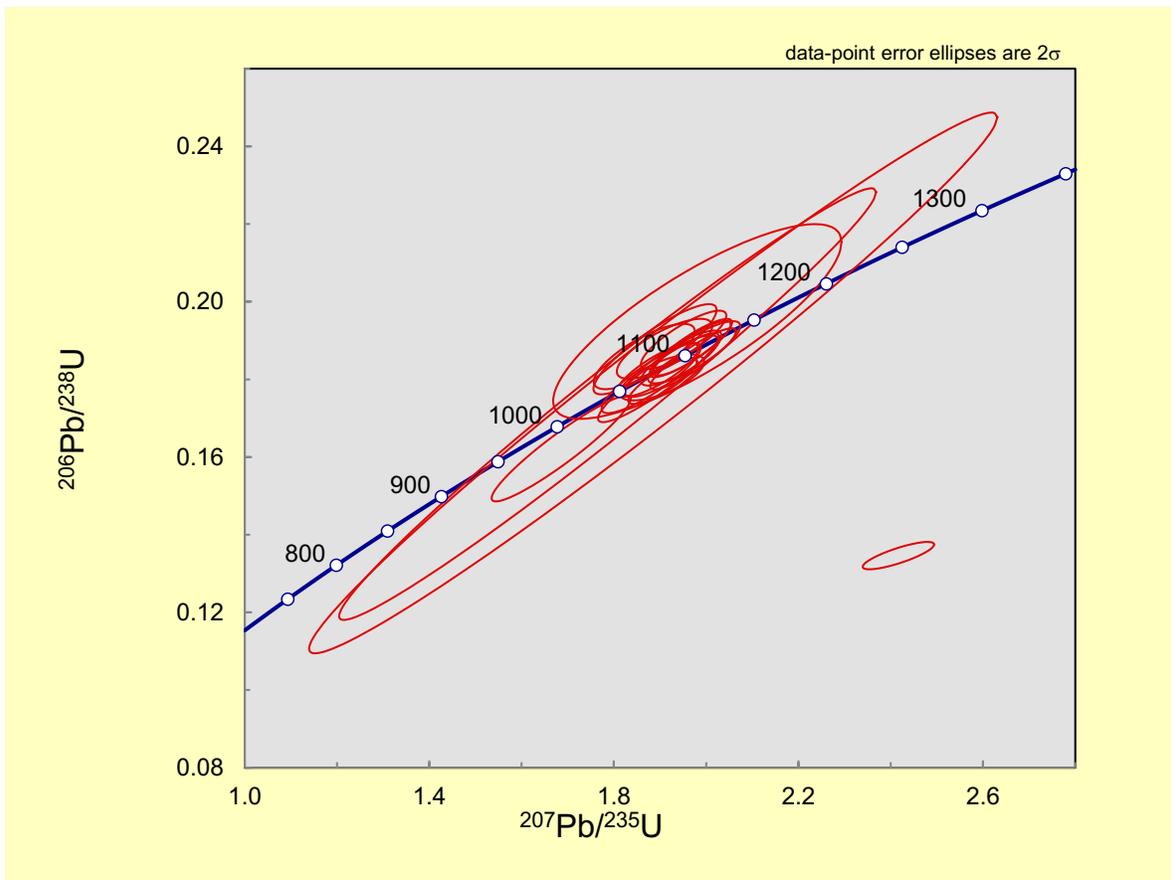


Figura 5.16 Gráfica de Concordia para muestra F tratada a 12 horas.

Para la tabla 5.15 se muestra que hay un número total de 20 análisis, de los cuales 6 fueron discordantes (marcados con amarillo) por lo que para F a 12 horas de tratamiento hay un número mayor de análisis discordantes en comparación a los análisis de R no tratada.

Así mismo, se observa que para la figura 5.16 hay elipses que se encuentran agrupadas en el centro sobre la curva de concordia, y otras que son discordantes a la izquierda y a la derecha de la línea.

### 5.3.12 Resultados por LA-ICPMS de la muestra F tratada a 24 horas

Tabla 5.16 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra F tratada a 24 horas.

Analysis	U conc (ppm)	206Pb 204Pb	U Th	Isotope ratios							Apparent ages (Ma)						Concor (%)
				206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	error	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	
				207Pb*	(%)	235U	(%)	238U	(%)	corr.	238U	(Ma)	235U	(Ma)	207Pb*	(Ma)	
<b>F 24h</b>																	
F24h - 1	8	304	2.5	39.6501	79.0	0.5428	84.5	0.1562	30.0	0.36	935	261	440	311	NA	NA	#VALOR!
F24h - 2	80	4454	2.4	13.4272	1.6	1.8090	2.4	0.1762	1.8	0.75	1046	18	1049	16	1054	32	99.33
F24h - 3	69	2083	2.8	13.2594	2.7	1.8061	3.2	0.1738	1.7	0.53	1033	16	1048	21	1079	54	95.74
F24h - 4	128	12362	1.7	13.2284	2.0	1.8810	3.3	0.1805	2.6	0.80	1070	26	1074	22	1083	39	98.75
F24h - 5	120	23819	2.3	13.0294	1.3	1.8987	2.3	0.1795	1.9	0.82	1064	19	1081	15	1114	26	95.55
F24h - 6	173	29405	2.2	12.9360	1.2	1.9947	2.1	0.1872	1.7	0.83	1106	18	1114	14	1128	23	98.06
F24h - 7	284	116655	1.7	12.9762	0.9	1.9651	1.6	0.1850	1.3	0.83	1094	13	1104	11	1122	18	97.53
F24h - 8	146	14249	1.8	13.2304	0.8	1.8335	1.6	0.1760	1.4	0.85	1045	13	1058	11	1083	17	96.49
F24h - 9	180	11861	1.9	13.1151	0.8	1.8575	1.5	0.1768	1.2	0.85	1049	12	1066	10	1101	15	95.33
F24h - 10	201	21427	1.7	13.0671	1.0	1.9128	2.3	0.1814	2.0	0.89	1074	20	1086	15	1108	20	96.96
F24h - 11	262	30249	1.8	12.8958	0.8	1.9079	2.0	0.1785	1.8	0.91	1059	18	1084	13	1134	16	93.34
F24h - 12	2	1000	2.1	5.1613	1.0	26.7878	1.2	1.0032	0.6	0.51	4479	19	3376	11	2774	16	161.47
F24h - 13	137	4816	2.2	13.5468	1.1	1.8179	2.0	0.1787	1.7	0.83	1060	16	1052	13	1036	23	102.34
F24h - 14	474	24315	1.8	13.0699	0.8	1.8800	1.6	0.1783	1.4	0.86	1058	14	1074	11	1108	17	95.48
F24h - 15	327	11435	2.1	13.0674	1.1	1.9546	1.9	0.1853	1.5	0.81	1096	15	1100	13	1108	22	98.92

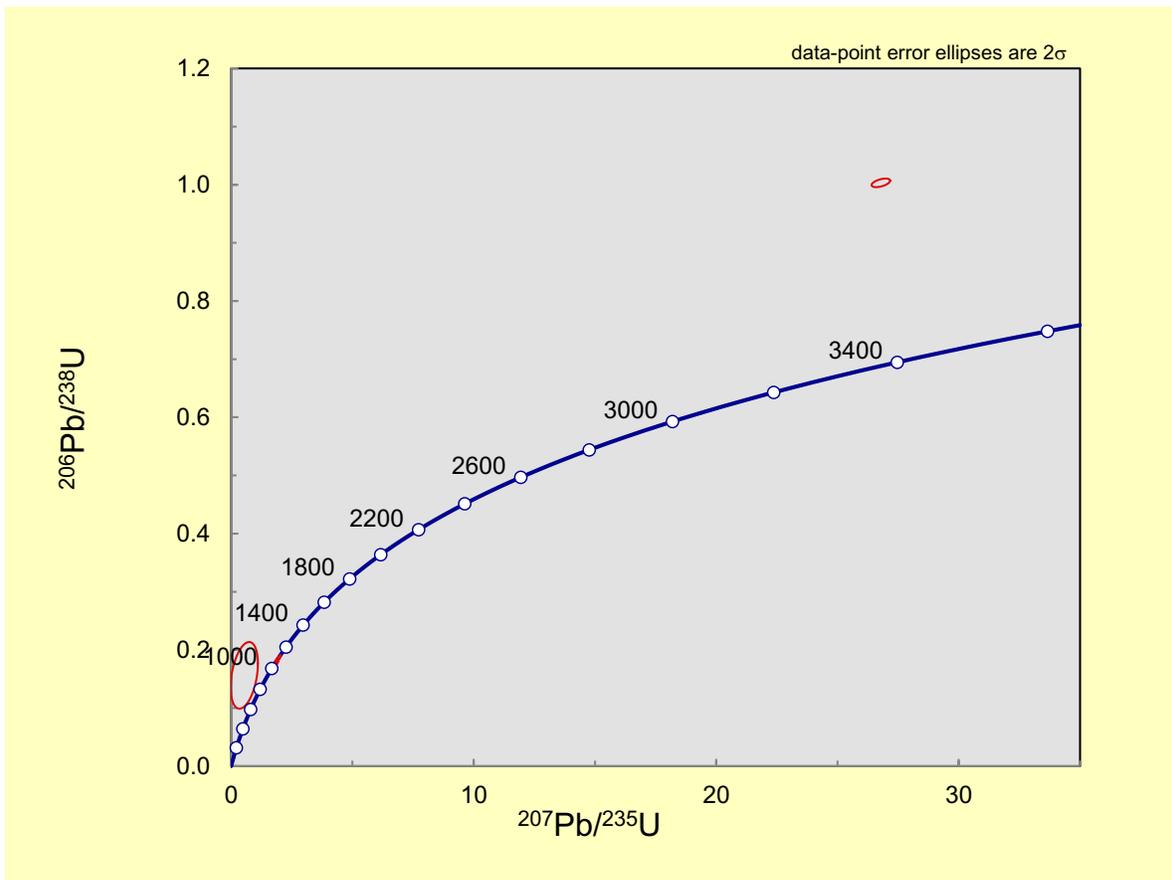


Figura 5.17 Gráfica de Concordia para muestra F tratada a 24 horas.

La tabla 5.16 muestra un total de 15 análisis para la muestra F tratada a 24 horas, de los cuales 2 fueron discordantes y se marcaron en color amarillo. La tabla contiene información isotópica de U, Th, Pb obtenida por LA-ICPMS.

Para la figura 5.17 se muestra la gráfica de Concordia que corresponde a la muestra F tratada a 24 horas, y se puede observar que hay algunas elipses sobre la línea de concordia, pero también hay otras discordantes a la izquierda, el tamaño entre ellas es variado y casi todas se encuentran agrupadas hacia un mismo sitio de la curva de Concordia.

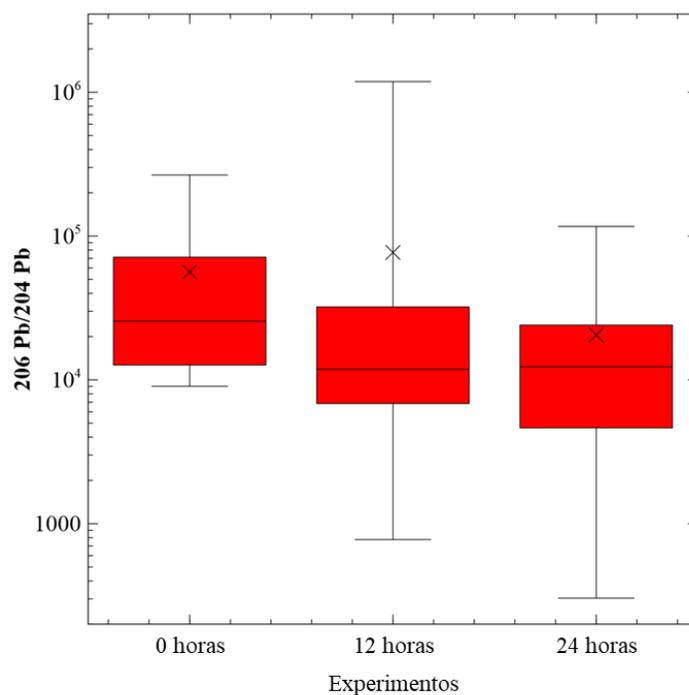


Figura 5.18 Diagrama de cajas y bigotes para la muestra F.

La figura 5.18 muestra la perdida de Pb ( $Pb^{206}/Pb^{204}$ ) para la muestra F a 0h y tratada a diferentes horas en la cual la línea divisora de las cajas corresponde a la mediana, la X al promedio, la línea superior corresponde al cuartil 3 (Q3) y la inferior al cuartil 1 (Q1) mientras que los bigotes simbolizan los valores máximo y mínimo del Pb perdido en las muestras.

Esta grafica es útil para conocer la cantidad de Pb que se pierde a las diferentes horas de los experimentos. Se utilizó una escala logarítmica debido a la gran variación de los valores en cada uno de los experimentos.

En relación a este gráfico se observa un aumento del promedio a 12 h respecto de la muestra a 0 h, y una disminución del mismo a las 24 h de tratamiento respecto a los experimentos a 0 y 12 h. Por su parte, la mediana muestra una disminución en la mediana a las 12 h de tratamiento respecto a la muestra no tratada (0 h) y un ligero aumento a las 24 h respecto al experimento a 12 h, pero sin ser mayor al valor de la muestra no tratada. Además de eso, el RIQ disminuyó progresivamente conforme más tiempo de tratamiento tuvo la muestra indicando una menor dispersión de los datos.

Tabla 5.17 Contiene los valores numéricos del diagrama de cajas y bigotes.

<b>Estadística</b>	<b>0 h</b>	<b>12 h</b>	<b>24 h</b>
<b>Mínimo</b>	9027	776	304
<b>Máximo</b>	265998	1185551	116655
<b>Mediana</b>	25610	11852	12362
<b>Q1</b>	12 692.38	6 748.40	4 634.97
<b>Q3</b>	71 313.75	27 578.62	24 066.98
<b>Promedio</b>	56 243	76 935	20 562
<b>Rango intercuartil</b>	58 621.36	20 830.22	19 432.01

La tabla 5.17 representa los valores de la grafica de cajas y bigotes, donde los valores de la mediana a las 12 h de tratamiento disminuyen, pero después a las 24 h aumentan, mientras que el promedio aumenta a las 12 h de exposición a los ácidos y a las 24 h disminuye. La dispersión de los datos medida por el rango intercuartil muestra que a las 12 h es menor dicha dispersión respecto a 0h y mas aún a las 24 h de tratamiento respecto a 0 h y 12 h de exposición a los ácidos.

### 5.3.13 Resultados por LA-ICPMS de la muestra P tratada a 0h

Tabla 5.18 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra P tratada a 0h.

Analysis	U conc (ppm)	206Pb 204Pb	U Th	Isotope ratios							Apparent ages (Ma)						Concor (%)
				206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	error	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	
				207Pb*	(%)	235U	(%)	238U	(%)	corr.	238U	(Ma)	235U	(Ma)	207Pb*	(Ma)	
<i>P 0h</i>																	
P-0h-1	331	10070	17.5	19.2521	1.4	0.3901	2.2	0.0545	1.6	0.75	342	5	334	6	282	33	121.33
P-0h-2	267	8405	16.5	19.0828	1.1	0.4005	1.9	0.0554	1.6	0.82	348	5	342	6	302	26	115.17
P-0h-3	287	17000	16.3	19.3386	1.2	0.3977	1.8	0.0558	1.3	0.73	350	4	340	5	272	28	128.89
P-0h-4	203	876	11.6	10.1613	8.6	0.7614	11.5	0.0561	7.5	0.66	352	26	575	50	1593	162	22.10
P-0h-5	409	9001	15.5	19.0944	1.0	0.3867	1.6	0.0536	1.3	0.79	336	4	332	5	301	23	111.88
P-0h-6	321	48083	17.2	18.6715	0.8	0.3981	2.1	0.0539	1.9	0.91	339	6	340	6	352	19	96.32
P-0h-7	642	9275	7.8	19.1605	2.0	0.4702	30.1	0.0654	30.0	1.00	408	119	391	98	293	47	139.41
P-0h-8	258	12736	19.0	19.3267	1.1	0.3947	2.2	0.0553	1.9	0.86	347	7	338	6	273	26	127.20
P-0h-9	378	6256	16.7	19.1769	1.0	0.3950	1.4	0.0550	1.0	0.74	345	3	338	4	291	22	118.61
P-0h-10	339	11606	17.2	19.5308	1.2	0.3820	1.8	0.0541	1.3	0.73	340	4	328	5	249	28	136.52
P-0h-11	711	209075	11.1	18.3937	1.1	0.4312	1.8	0.0575	1.5	0.79	361	5	364	6	385	26	93.62
P-0h-12	406	7089	16.8	19.3946	2.0	0.3922	2.5	0.0552	1.4	0.56	346	5	336	7	265	47	130.71
P-0h-13	287	18579	18.8	18.7587	1.1	0.3957	2.1	0.0539	1.8	0.85	338	6	338	6	341	25	99.16
P-0h-14	458	28134	13.0	18.6529	0.9	0.4184	1.6	0.0566	1.3	0.83	355	4	355	5	354	19	100.38
P-0h-15	296	5754	18.1	19.6479	1.1	0.3886	1.8	0.0554	1.4	0.79	348	5	333	5	235	25	147.80
P-0h-16	277	4969	13.9	19.1646	2.1	0.3668	29.4	0.0510	29.3	1.00	321	92	317	80	292	48	109.73
P-0h-17	416	15766	15.6	18.7703	1.2	0.4034	2.3	0.0549	1.9	0.85	345	6	344	7	340	27	101.52
P-0h-18	362	42867	17.6	19.1420	0.9	0.3871	1.6	0.0538	1.4	0.86	338	5	332	5	295	19	114.44
P-0h-19	398	151718	17.3	18.9298	1.5	0.3968	2.5	0.0545	2.0	0.80	342	7	339	7	320	33	106.78
P-0h-20	592	27055	16.9	18.4423	1.1	0.4248	1.5	0.0568	1.1	0.71	356	4	359	5	379	24	93.95

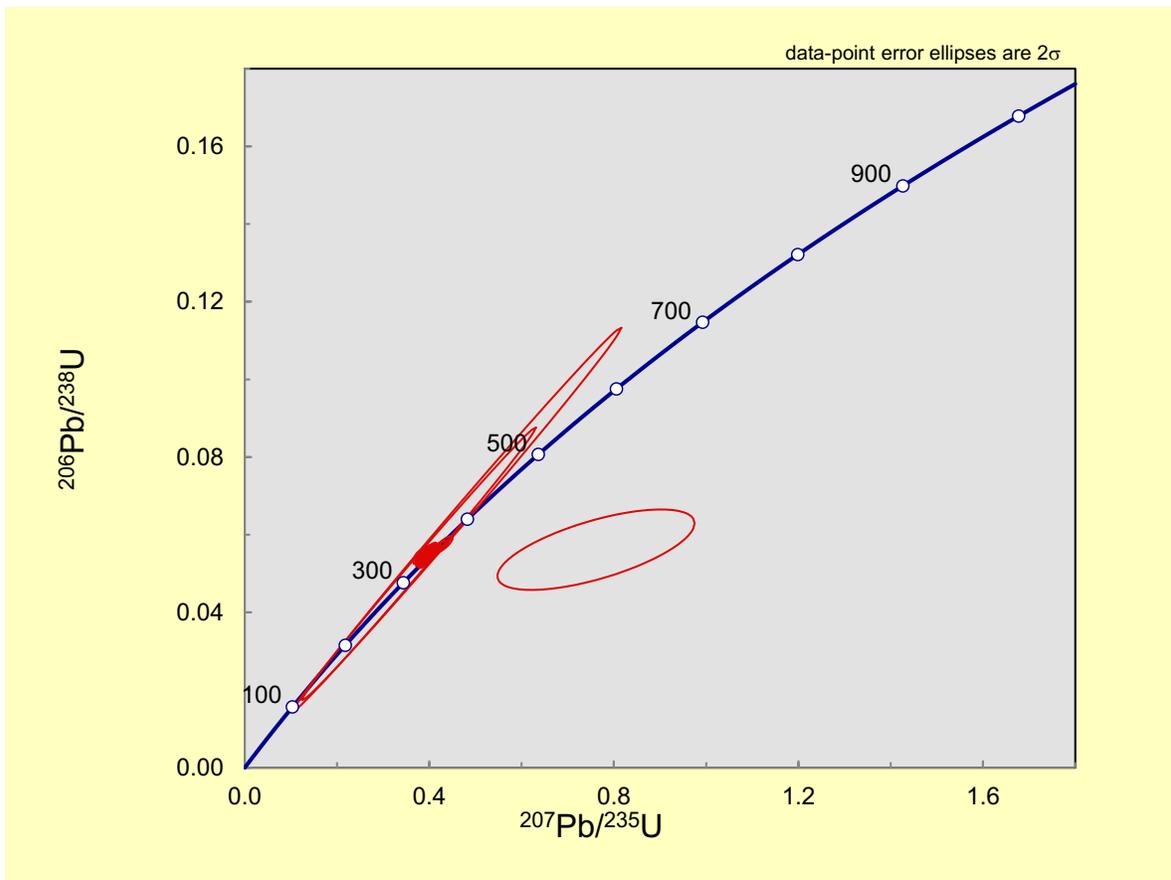


Figura 5.19 Gráfica de Concordia para muestra P tratada a 0h.

En la tabla 5.18 se observa que se realizaron 20 análisis, de los cuales 14 fueron discordantes para la muestra P 0h (se marcan con color amarillo). Se utilizó el espectrómetro de masa de la Universidad de Arizona para hacer este análisis. La figura 5.19 muestra elipses sobre la línea de concordia y solo algunas discordantes.

### 5.3.14 Resultados por LA-ICPMS de la muestra P tratada a 12 horas

Tabla 5.19 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra P tratada a 12 horas.

Analysis	U conc (ppm)	206Pb 204Pb	U Th	Isotope ratios							Apparent ages (Ma)						Concor (%)
				206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	error	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	
				207Pb*	(%)	235U	(%)	238U	(%)	corr.	238U	(Ma)	235U	(Ma)	207Pb*	(Ma)	
<b>P12</b>																	
P12h - 1	329	4130	16.5	19.7625	1.4	0.3818	2.0	0.0547	1.5	0.73	344	5	328	6	222	32	154.97
P12h - 2	422	3633	16.2	20.5231	1.1	0.3612	1.9	0.0538	1.5	0.82	338	5	313	5	134	26	252.67
P12h - 3	470	11461	10.4	19.0842	1.4	0.3951	2.1	0.0547	1.6	0.76	343	5	338	6	302	31	113.74
P12h - 4	653	23325	15.5	19.8788	1.9	0.4097	5.4	0.0591	5.0	0.93	370	18	349	16	208	45	177.85
P12h - 5	369	37973	14.3	18.8727	1.5	0.3986	2.3	0.0546	1.7	0.74	343	6	341	7	327	35	104.70
P12h - 6	330	4287	17.6	20.0686	2.1	0.3656	2.5	0.0532	1.3	0.52	334	4	316	7	186	49	179.78
P12h - 7	362	6101	16.4	19.3831	2.3	0.3770	2.6	0.0530	1.1	0.42	333	3	325	7	266	53	125.04
P12h - 8	379	4614	14.5	19.8581	1.3	0.3718	1.8	0.0536	1.2	0.69	336	4	321	5	210	30	159.83
P12h - 9	394	6368	15.2	19.2584	1.6	0.3817	2.0	0.0533	1.3	0.63	335	4	328	6	281	36	119.14
P12h - 10	351	6818	15.8	19.2520	1.5	0.3614	2.1	0.0505	1.4	0.68	317	4	313	6	282	35	112.62
P12h - 11	123	1065	13.5	24.2451	5.3	0.2914	30.5	0.0513	30.0	0.98	322	94	260	70	NA	NA	#VALOR!
P12h - 12	239	11164	13.0	18.9251	2.5	0.3686	2.9	0.0506	1.4	0.48	318	4	319	8	321	57	99.17

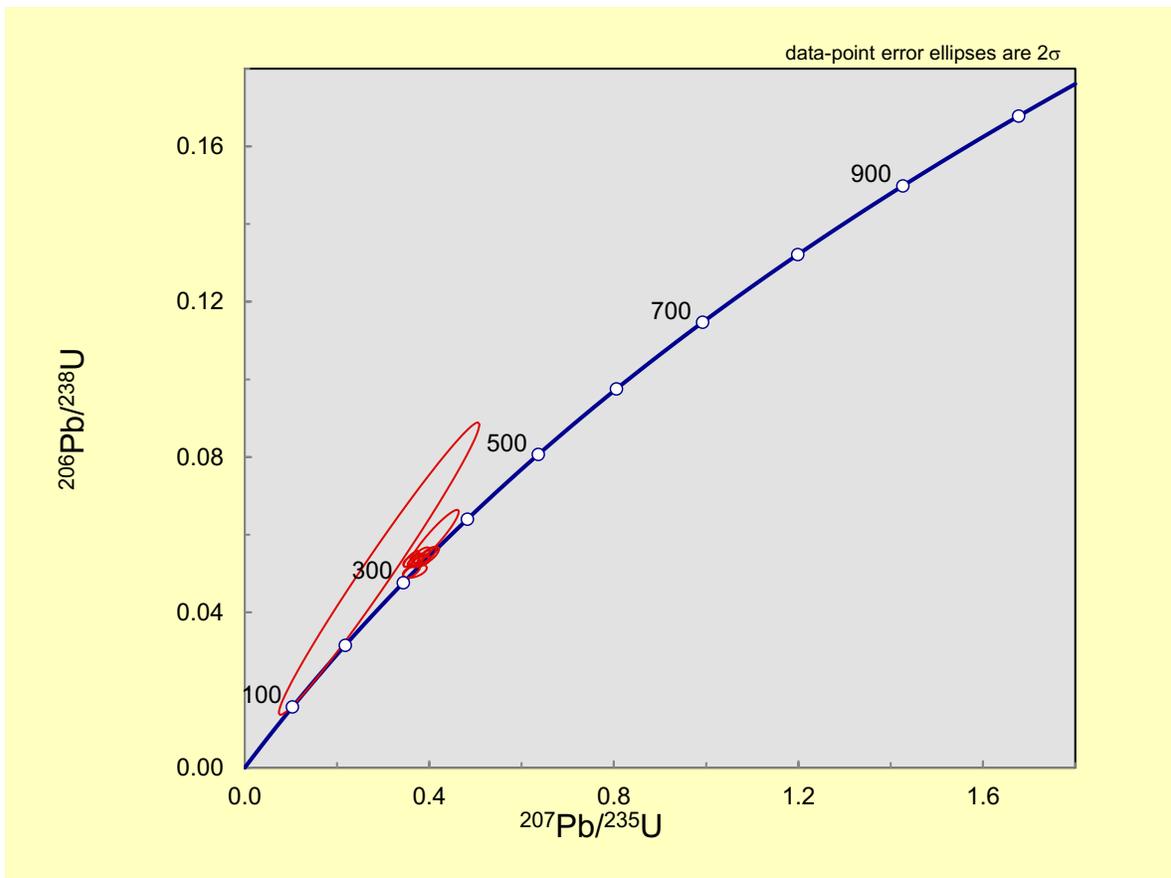


Figura 5.20 Gráfica de Concordia para muestra P tratada a 12 horas.

La tabla 5.19 contiene información isotópica donde se observa que se realizaron 12 análisis, de los cuales 10 fueron discordantes como se aprecian en color amarillo, para la muestra P tratada a 12 horas.

Se presenta en la figura 5.20 que hay elipses sobre la curva de concordia, pero hay una en especial que se muestra discordante a la izquierda. El tamaño entre ellas es variado.

### 5.3.15 Resultados por LA-ICPMS de la muestra P tratada a 24 horas

Tabla 5.20 Datos isotópicos de U, Th y Pb de la muestra P tratada a 24 horas.

Analysis	U conc (ppm)	206Pb 204Pb	U Th	Isotope ratios							Apparent ages (Ma)						Concor (%)
				206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	error	206Pb*	±	207Pb*	±	206Pb*	±	
				207Pb*	(%)	235U	(%)	238U	(%)	corr.	238U	(Ma)	235U	(Ma)	207Pb*	(Ma)	
<b>P_24</b>																	
P24h - 1	655	162448	12.5	18.3171	1.1	0.4045	1.8	0.0538	1.5	0.80	338	5	345	5	395	25	85.54
P24h - 2	457	3188	12.7	20.2374	1.2	0.3572	1.7	0.0524	1.3	0.73	330	4	310	5	166	27	197.97
P24h - 3	574	3455	11.8	19.9521	1.1	0.3651	1.9	0.0528	1.6	0.83	332	5	316	5	200	25	166.38
P24h - 4	581	7911	11.7	19.1272	1.3	0.3801	1.9	0.0528	1.4	0.75	331	5	327	5	297	29	111.69
P24h - 5	859	32763	11.7	18.5508	0.9	0.3891	1.6	0.0524	1.3	0.81	329	4	334	4	366	21	89.87
P24h - 6	293	5970	12.7	18.6057	1.4	0.3668	2.2	0.0495	1.7	0.78	312	5	317	6	359	31	86.67
P24h - 7	521	5019	11.3	19.4756	1.4	0.3671	2.0	0.0519	1.4	0.70	326	4	317	5	255	32	127.64
P24h - 8	476	27476	12.0	18.8278	1.1	0.3919	1.5	0.0535	1.1	0.72	336	4	336	4	333	24	101.06

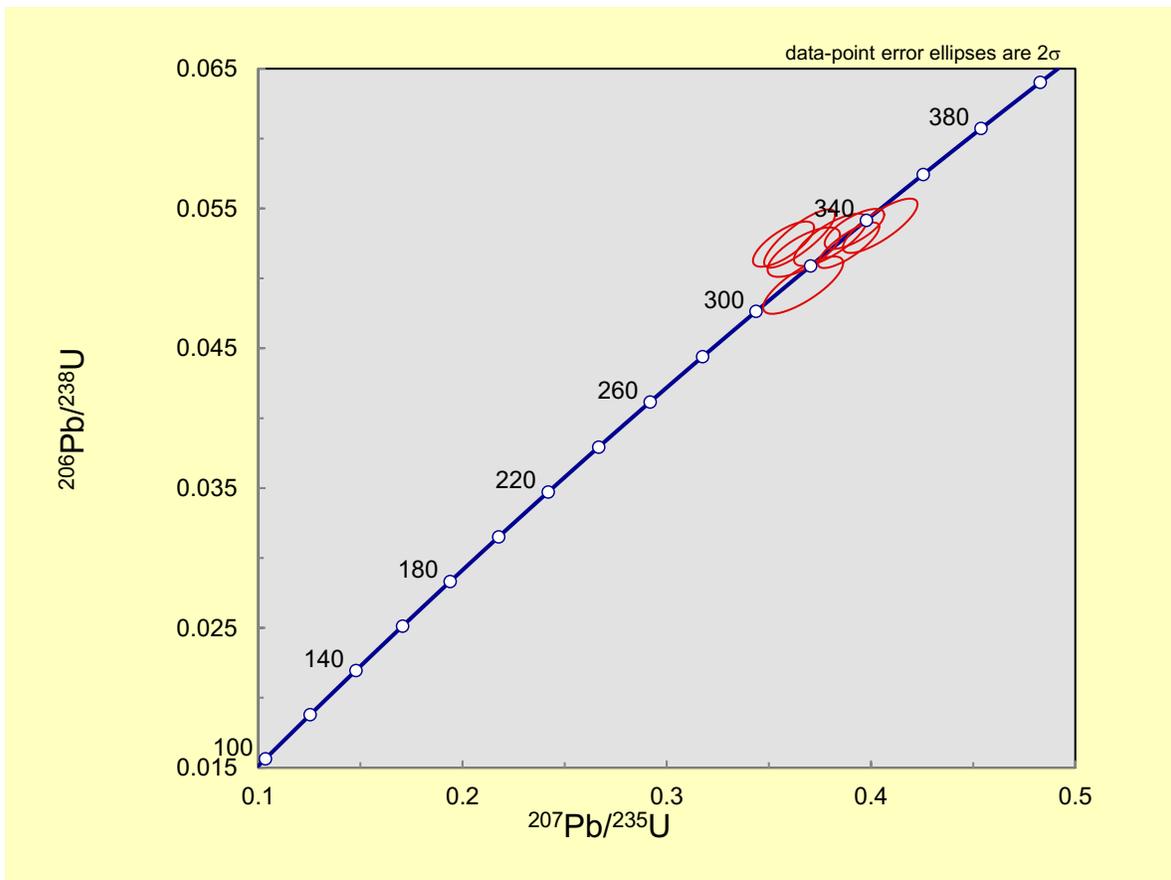


Figura 5.21 Figura 5.21 Gráfica de Concordia para muestra P tratada a 24 horas.

Para la tabla 5.20 se muestra que hay un número total de 8 análisis, de los cuales 4 fueron discordantes (marcados con amarillo) por lo que para P a 12 horas de tratamiento hay un número menor de análisis discordantes en comparación a los análisis de P no tratada y tratada a 12h.

Así mismo, se observa que para la figura 5.21 hay elipses que se encuentran agrupadas sobre la curva de Concordia.

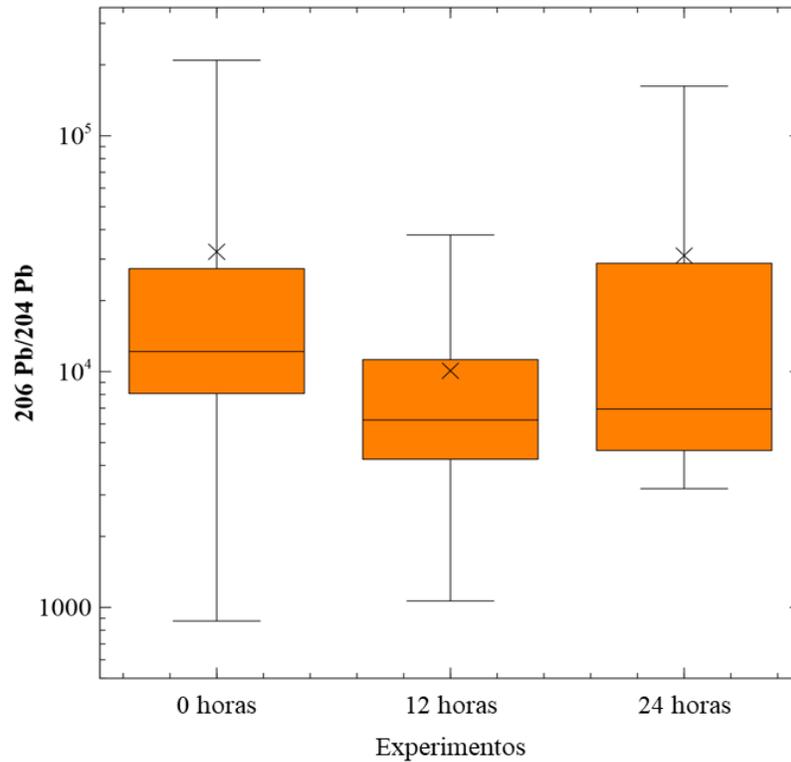


Figura 5.22 Diagrama de cajas y bigotes para la muestra P.

La figura 5.22 muestra la perdida de Pb ( $Pb^{206}/Pb^{204}$ ) para la muestra P a 0h y tratada a diferentes horas en la cual la línea divisora de las cajas corresponde a la mediana, la X al promedio, la línea superior corresponde al cuartil 3 (Q3) y la inferior al Q1 mientras que los bigotes simbolizan los valores máximo y mínimo del Pb perdido en las muestras.

Esta grafica es útil para conocer la cantidad de Pb que se pierde a las diferentes horas de los experimentos. Se utilizó una escala logarítmica debido a la gran variación de los valores en cada uno de los experimentos.

Para este caso, la gráfica de cajas y bigotes presenta un comportamiento parecido al caso anterior, donde el valor de la mediana y el promedio disminuyen en el experimento tratado a 12 h respecto a la muestra no tratada (0 h) y aumentan ligeramente a 24 h sin superar los valores de la muestra sin tratar. En cuanto al RIQ, este disminuye a las 12 horas de tratamiento, pero aumenta nuevamente a las 24 horas siendo mayor que en la muestra a 0 h.

Tabla 5.21 Contiene los valores numéricos del diagrama de cajas y bigotes.

<b>Estadística</b>	<b>0 h</b>	<b>12 h</b>	<b>24 h</b>
<b>Mínimo</b>	876	1065	3188
<b>Máximo</b>	209075	37973	162448
<b>Mediana</b>	12171	6235	6941
<b>Q1</b>	8 075.79	4 248.04	4 627.72
<b>Q3</b>	27 324.5	11 238.5	28 798.0
<b>Promedio</b>	32 216	10 078	31 029
<b>Rango intercuartil</b>	19 248.75	6 990.50	24 170.34

En la tabla 5.21 se encuentran representados los valores de la grafica de cajas y bigotes, donde los valores de las medidas de tendencia central disminuyen a las 12 h de tratamiento, pero después a las 24 h aumentan y el rango intercuartil presenta el mismo comportamiento.

## 5.4 Resultado de prueba-t

Para analizar los resultados de la prueba-t se utilizó el criterio de 90% de confianza para los que el valor de T no debe superar los valores de 0.1 Si el valor de T es mayor a 0.1 la hipótesis nula no puede ser rechazada. Los resultados obtenidos para cada muestra se presentan en la tabla 5.22

*Tabla 5.22 Resultados de la prueba-t por muestra.*

<b>Muestra</b>	<b>12h</b>	<b>24h</b>
<b>NWB</b>	0.92	0.11
<b>PVSH</b>	0.24	0.32
<b>R</b>	0.16	0.64
<b>F</b>	0.74	<b>0.06</b>
<b>P</b>	<b>0.08</b>	0.96

La tabla 5.22 contiene los resultados de la prueba-t para cada experimento a 12h y 24h, donde a las 24 horas de la muestra F y a las 12 horas de la muestra P los resultados son menores que 0.1 lo que implica que ambos experimentos tienen un grado de confianza mayor al 90%.

Cabe señalar que para las muestras NWB a 24h y R a 12 h los valores de t se encuentran muy cerca del grado de confianza aceptado (0.1), mientras que para las muestras restantes esta condición no se cumple, por lo que para estos experimentos la hipótesis nula no puede ser rechazada.

## 6. Interpretaciones y Discusión

Como se muestra en la sección 5.1 se analizaron granos de circón detrítico en el microscopio petrográfico Nikon SMZ 1000 con la finalidad de reconocer cambios cualitativos y cuantitativos presentes en la muestra NWB a las diferentes horas de los experimentos, se tomaron fotografías a 3 magnificaciones que permitieron distinguir el color, forma y brillo al igual que la cantidad de granos antes y después del tratamiento por ácidos fuertes.

Se observaron ligeros cambios de color (más claro) en los granos con tratamiento a 12 horas (figura 5.1 C-D) en comparación a la muestra sin tratamiento (figura 5.1 A-B) que presenta el color marrón intenso representativo del circón, mientras que para la muestra tratada a 24 horas (figura 5.1 E-F) se percibe un cambio más notorio ya que los granos se modificaron completamente a color blanco. Para los granos tratados a 48 horas (figura 5.1 G-H) se percibe que el color de estos también cambia a blanco con brillo cristalino y se encuentran fragmentados.

En relación a la cantidad de granos presentes en las muestras antes y después del tratamiento para los diferentes experimentos se tuvo como resultado que la muestra tratada a 48 horas perdió la mitad de granos y las tratadas a 0,12 y 24 horas conservaron la cantidad de granos inicial al final de los experimentos como se muestra en la (tabla 5.1). La pérdida de granos se asocia a que el circón es soluble en HF (Hanchar & Hoskin, 2018), por lo que tras 48 horas dentro de los ácidos se observa disolución y fragmentación de los granos.

Con base a los resultados de los experimentos en NWB por abrasión química de HF y HNO<sub>3</sub>, se decidió que las muestras PVSH, R, F y P serían tratadas en los ácidos a 12 y 24 horas ya que para este tiempo se conservó el número de granos de circón al inicio y fin de los experimentos. La cantidad de granos separados antes de los experimentos en el microscopio Nikon SMZ 1000 se determinó de acuerdo con la cantidad de muestra original total debido a que no todas tenían la misma cantidad de granos.

De acuerdo con las imágenes del Microscopio Electrónico de Barrido en el apartado 5.2 se analizó que el grano de circón a 0h tiene una superficie lisa en comparación con los granos tratados a 12 y 24 horas, ya que estos revelan cambios en la morfología superficial del grano siendo evidente una porosidad y topografía, mismas que se aprecian más notorias para el experimento (NWB) a 48 horas como producto de la abrasión química.

Tabla 6.1 Promedio, desviación estándar y error de la desviación estándar del porcentaje de concordancia para cada grupo de experimentos.

Muestra	Concordancia (%)								
	0 h			12 h			24 h		
	Promedio	DS	Error DS	Promedio	DS	Error DS	Promedio	DS	Error DS
NWB	97	28.47	2.84	98	9.94	0.85	96	7.23	0.67
PVSH	100.02	23.90	3.01	99	14.26	1.69	93.13	18.44	2.88
R	120.94	41.94	10.48	148.46	37.36	12.45	124.22	33.8	13.8
F	100.7	3.53	0.81	97.59	14.88	3.32	101.81	17.31	4.62
P	110.78	26.2	5.86	145.41	45.84	13.82	120.85	41.25	14.58

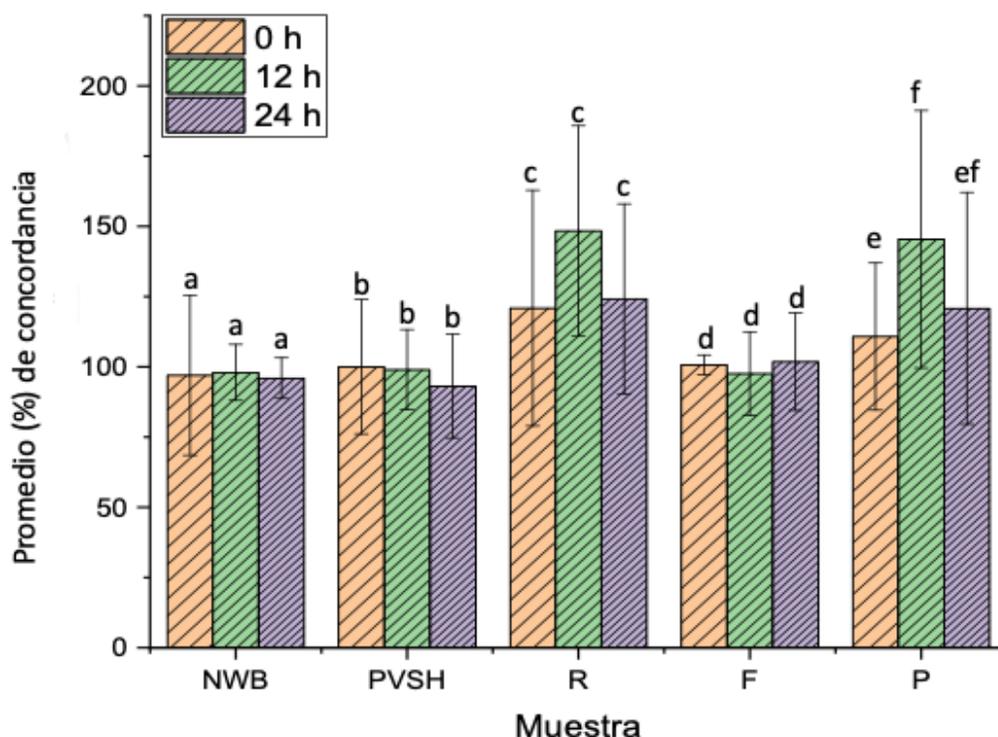


Figura 6.1 Gráfica del promedio, desviación estándar y análisis ANOVA del porcentaje de concordancia.

Para los resultados por LA-ICPMS se realizaron tablas que contienen datos isotópicos de U-Th-Pb de cada muestra para cada experimento, donde de acuerdo con el valor del porcentaje de concordancia obtenido de las proporciones de  $(\text{Pb}^{207}/\text{U}^{238} / \text{Pb}^{206}/\text{Pb}^{207}) * 100$  se determina si el análisis por el espectrómetro de masas es concordante o discordante. Aplicando la fórmula anterior, un análisis concordante debe encontrarse en un rango del 70%-105%, valores menores al 70% se asocian a pérdida de Pb y mayores al 105% a inclusiones de otros minerales (Faure, 1986). Los resultados obtenidos se presentan resumidos en la tabla 6.1 y gráficamente en la figura 6.1.

De la tabla 6.1 se puede mencionar que los promedios de las muestras R y P exceden el criterio de concordancia establecido por Faure, 1986 por lo que los experimentos son discordantes mientras que el resto de las muestras son concordantes.

La (figura 6.1) representa los valores del promedio del porcentaje de concordancia para cada experimento, al igual que la desviación estándar representados en la tabla 6.1. Adicionalmente se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) con criterio tukey para determinar si existe una diferencia entre las medias de cada conjunto de experimentos, las letras sobre las barras muestran la relación entre dichas medias. De este análisis resultó que no hay diferencia entre los promedios excepto para la muestra P (como indican las letras sobre cada barra), esta diferencia se asocia a que la mayoría de los análisis son discordantes y a su vez al limitado número de análisis realizados por el espectrómetro de masas.

En los gráficos de Concordia se presentan elipses de color rojo, las cuales se ubican sobre la línea de concordia o discordantes a ella (Schoene, 2013). El tamaño de las elipses representa el error de medición (Mattinson, 1994). Para los gráficos de Concordia de cada experimento se muestra que mientras más tiempo se traten los granos en ácidos fuertes las elipses tienden a ser menos discordantes, encontrándose más cerca de la curva de Concordia. Como ejemplo de lo anterior

pueden tomarse las figuras 5.3 - 5.5 aunque este comportamiento se refleja en todas las gráficas de concordia.

Con la finalidad de apoyar los resultados obtenidos de los gráficos de Concordia y para conocer el comportamiento de la pérdida de Pb por experimento se realizaron diagramas de cajas y bigotes, donde se representa diferentes métricas estadísticas tales como el promedio, rango intercuartílico, mediana y extremos. Dichos gráficos utilizaron una escala logarítmica para representar la gran variabilidad de los datos presentes en cada experimento.

Para la muestra NWB se obtuvo que a mayor tiempo de exposición en los ácidos las medidas de tendencia central aumentan (figura 5.6), lo cual se relaciona directamente con los gráficos de Concordia. Así mismo en los gráficos de cajas y bigotes para la muestra PVSH (figura 5.10) la media y mediana se mantienen en aumento en comparación con la muestra tratada a 0h, lo cual también se apoya con las gráficas de concordia.

En el caso de la muestra R (figura 5.14) la mediana aumenta en los experimentos a 12 y 24h, mientras que el promedio disminuye a las 12 h, pero vuelve a aumentar a las 24 h de tratamiento, las gráficas de concordia reflejan más concordancia a mayor tiempo en los ácidos.

Particularmente en las muestras F y P la mediana disminuye en el tratamiento a 12 h y aumenta ligeramente a las 24 h, los gráficos de concordia muestran una menor discordancia al igual que la muestra anterior.

A fin de probar la hipótesis propuesta se hizo una prueba de medias (t de student) cuyos resultados se muestran en la tabla 5.22, mostrando que la mayoría de los experimentos no alcanzan el 90% de confianza, a excepción de 2 (F\_24h y P\_12h) lo cual no necesariamente indica que los experimentos tienen un mayor número de análisis concordantes ya que estos experimentos tienen un menor número de

análisis. De la misma manera esto se observa en el análisis ANOVA donde la media de la muestra P es significativamente mayor a las 12h de tratamiento por la mayor cantidad de análisis discordantes. Derivado de lo anterior se obtuvo que la hipótesis nula no puede ser rechazada para la mayoría de los experimentos.

## 7. Conclusiones

En los gráficos de cajas y bigotes para las muestras NWB y PVSH se observa que a mayor tiempo de tratamiento en los ácidos fuertes las medidas de tendencia central aumentan, lo que indica que la pérdida de Pb es directamente proporcional al incrementar el tiempo de exposición en los ácidos. Para las muestras R, F y P esta condición no se cumple.

Aunque los gráficos de cajas y bigotes muestran un aumento de la pérdida de Pb a mayor tiempo de exposición en los ácidos para las muestras NWB y PVSH, esto no es suficiente para representar una diferencia significativa entre las medias del porcentaje de concordancia a diferente tiempo de tratamiento, lo cual es representado en el análisis ANOVA.

A partir de los gráficos de Concordia, puede observarse que mientras más tiempo de exposición de los granos a los ácidos, estos reflejan más concordancia respecto a la muestra no tratada. Lo anterior es evidente ya que las elipses se encuentran más cerca o sobre la línea de Concordia mientras más tiempo pasan las muestras en los ácidos fuertes.

Del análisis de varianza (ANOVA) se puede concluir que no existe una diferencia significativa entre los promedios de los conjuntos de experimentos, excepto para la muestra P. Las letras sobre las barras en la figura 6.1 indican la relación entre las medias, y arrojan que la muestra P es la única que tiene diferencias significativas, aunque esto se debe a que la mayoría de los análisis son discordantes y al limitado número de análisis realizados. Se recomienda también realizar más análisis en la muestra P, así como F y R para mejorar la precisión de los resultados.

Pese a que la prueba-t no puede rechazar la hipótesis nula para la mayoría de los experimentos, esta fue rechazada para F 24 h y P 12 h gracias a que cumple con el

criterio de significancia estadística del 90% lo que es consistente con el análisis ANOVA.

Los gráficos de cajas y bigotes a partir de los datos de pérdida de plomo, por si mismos no permitieron establecer una relación significativa con los análisis de medias del porcentaje de concordancia entre los experimentos a diferentes horas. Los análisis de t de Student y ANOVA no permitieron rechazar la hipótesis nula en lo general. Por su parte los gráficos de concordia demuestran ser mas concordantes a mayor tiempo de exposición, pero sin ser suficientemente robustos para rechazar la hipótesis nula.

El método de abrasión química para la eliminación de discordancias por la pérdida de plomo no mostró una clara mejoría para este propósito bajo las condiciones en las que se elaboró cada experimento, según muestra el análisis ANOVA y la prueba-t.

## **8.- Limitaciones y recomendaciones**

### **Limitaciones**

Este trabajo no puede apoyar a la datación de rocas sin circón, además de que sería difícil de aplicar para rocas máficas y ultra máficas por su bajo contenido en este mineral.

Durante el recocimiento de las muestras dentro de la mufla no se pudo medir la temperatura del interior de ésta porque en el laboratorio no se cuenta con un instrumento que lo permita, por lo que solo se tomó en cuenta la temperatura que marcaba la mufla y ésta tiene un error de  $\pm 2$  grados.

En el curso de los experimentos, el limpiador ultrasónico sufrió una avería y no se pudo utilizar para enjuagar los granos de las muestras PVSH, R, F y P tratadas a 12h y 24h por lo que no se sabe con certeza si este paso es indispensable en los experimentos o se puede desechar.

### **Recomendaciones**

Es importante tener en cuenta que el área de trabajo en el laboratorio debe permanecer siempre limpia para evitar la contaminación de la muestra de circón. Para lograr lo antes mencionado se limpió con agua y papel cada área e instrumento utilizado al igual que el piso ya que en este puede haber minerales dispersos y estos le pueden causar problemas de contaminación a la muestra.

Se debe contar siempre con un equipo de protección personal adecuado como: bata, goggles y guantes para protegernos de cualquier accidente en el laboratorio. Una vez terminados los experimentos se necesita limpiar el área de trabajo y los instrumentos para mantener el orden.

En futuros estudios se pueden replicar los experimentos para muestras de granos de circón más viejo para poder determinar si los experimentos funcionan de la misma manera para estos.

Para que exista una mejor significancia estadística por los experimentos planteados en este trabajo, es necesario hacer análisis por LA-ICPMS amplios para así observar realmente el comportamiento de estos a mayor tiempo de tratamiento en los ácidos.

## Referencias

- (EPA)., E. P. A. (1997). *Ácido clorhídrico: Usos, Aplicaciones Y Sobre, Efectos Salud*. 51–64. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia2.pdf>
- Barrell, J. (1917). Rhythms and the measurements of geologic time. *Geological Society of America Bulletin*, 28(1), 745–904. <https://doi.org/10.1130/gsab-28-745>
- Black, L. P., Kamo, S. L., Allen, C. M., Davis, D. W., Aleinikoff, J. N., Valley, J. W., Mundil, R., Campbell, I. H., Korsch, R. J., Williams, I. S., & Foudoulis, C. (2004). Improved  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element-related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chemical Geology*, 205(1–2), 115–140. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.01.003>
- Boltwood, B. B. (1905). On the ultimate disintegration products of the radioactive elements. In *American Journal of Science* (Vols. s4-20, Issue 118, pp. 253–267). <https://doi.org/10.2475/ajs.s4-20.118.253>
- Deer, W. A., Howie, R. A., & Zussman, J. (2013). An Introduction to the Rock-Forming Minerals. In *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. <https://doi.org/10.1180/dhz>
- Faure, G. (1986). *Principles of isotope geology* (2nd ed.). Wiley.
- Fernández Hernández, J. L. (2013). *Aplicación de la tecnología de intercambio iónico en la purificación de ácido fluorhídrico*. 231.
- Gehrels, G. (2010). *U-Th-Pb analytical methods for Zircon*.
- Hanchar, J. M., & Hoskin, P. W. O. (2018). Zircon. In *Zircon* (Vol. 5, Issue Chapter 10). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2451.2008.00687.x>
- Holmes, A., & Lawson, R. W. (1927). Factors Involved in the Calculation of the Ages of Radioactive Materials. In *American Journal of Science* (Vol. 13, pp. 327–344).
- Ipohorski, M., & Bozzano, P. B. (2013). Microscopía electrónica de barrido en la caracterización de materiales. *Ciencia e Investigación*, 63(3), 43–53.
- Laura Valencia, L. (2008). *Modificación del sistema de tratamiento de agua en el laboratorio roxfarma para eliminar la presencia de coliformes totales y salmonella*. Universidad Nacional Del Centro Del Perú.
- Luz, M., Urueña, P., Alejandro Muñoz Rocha, J., & Urueña, C. L. (2018). *Geochronology laboratory at the servicio geológico colombiano (Colombian geological survey): Advances in the U-Pb dating of zircons by the LA-ICP-MS technique*. 40–41.
- Martin, A. J., Southworth, S., Collins, J. C., Fisher, S. W., & Kingman, E. R. (2015). Laurentian and Amazonian sediment sources to Neoproterozoic- lower Paleozoic Maryland Piedmont rocks. *Geosphere*, 11(4), 1042–1061. <https://doi.org/10.1130/GES01140.1>
- Mattinson, J. M. (1994). A study of complex discordance in zircons using step-wise dissolution techniques. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 116(1–2), 117–129. <https://doi.org/10.1007/BF00310694>
- Mattinson, J. M. (2005). Zircon U-Pb chemical abrasion (“CA-TIMS”) method: Combined annealing and multi-step partial dissolution analysis for improved precision and accuracy of zircon ages. *Chemical Geology*, 220(1–2), 47–66. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.03.011>
- Paces, J. B., & Miller, J. D. (1993). Precise U-Pb ages of Duluth Complex and related mafic intrusions, northeastern Minnesota: geochronological insights to physical,

- petrogenetic, paleomagnetic, and tectonomagmatic processes associated with the 1.1 Ga Midcontinent Rift system. *Journal of Geophysical Research*, 98(B8).  
<https://doi.org/10.1029/93jb01159>
- Reiners, P. W., Carlson, R. W., Renne, P. R., Cooper, K. M., Granger, D. E., Mclean, N. M., Schoene, B., & Wiley, J. (2018). *Geochronology and Thermochronology*.  
[www.wiley.com/wiley-blackwell](http://www.wiley.com/wiley-blackwell).
- Schoene, B. (2013). U-Th-Pb Geochronology. In *Treatise on Geochemistry: Second Edition* (Vol. 4). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00310-7>
- Sláma, J., Košler, J., Condon, D. J., Crowley, J. L., Gerdes, A., Hanchar, J. M., Horstwood, M. S. A., Morris, G. A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M. N., & Whitehouse, M. J. (2008). Plešovice zircon - A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, 249(1–2), 1–35. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.11.005>
- Szabo, E. W., Osborne, W. E., Copeland, C. W., & Neathery, T. L. (1988). *Pottsville Formation*. Geological Survey of Alabama.  
[https://ngmdb.usgs.gov/Prodesc/proddesc\\_55859.htm](https://ngmdb.usgs.gov/Prodesc/proddesc_55859.htm)
- Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. (2005). Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física. In *Pearson Educación S. A.*
- Tilton, G. R. (1956). The interpretation of lead-age discrepancies by acid-washing experiments. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 37(2), 224–230.  
<https://doi.org/10.1029/TR037i002p00224>
- Torres, R., García, A., & Molina, J. (2004). *Petrología metamórfica - Asistente de Prácticas*. 1–45.
- Tucker, M. (2003). *Petrología Sedimentaria: Una introducción al Origen de las Rocas Sedimentarias* (3rd ed.). Blackwell Science.
- Universidad Autonoma de Barcelona. (2010). *Acido nítrico*. 65–78.  
[https://www.uab.cat/doc/DOC\\_RiscosLab13\\_DF\\_Guia\\_us\\_Acid\\_Nitric](https://www.uab.cat/doc/DOC_RiscosLab13_DF_Guia_us_Acid_Nitric)
- Von Quadt, A., Gallhofer, D., Guillong, M., Peytcheva, I., Waelle, M., & Sakata, S. (2014). U-Pb dating of CA/non-CA treated zircons obtained by LA-ICP-MS and CA-TIMS techniques: Impact for their geological interpretation. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 29(9), 1618–1629. <https://doi.org/10.1039/c4ja00102h>
- Walpole, R., Myers, R., Myers, S., & Ye, K. (2016). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (9th ed.). Pearson.
- Widmann, P., Davies, J. H. F. L., & Schaltegger, U. (2019). Calibrating chemical abrasion: Its effects on zircon crystal structure, chemical composition and U–Pb age. *Chemical Geology*, 511(September 2018), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.02.026>