



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
QUÍMICAS

“RELACIONES ISOTÓPICAS DE PLOMO, EN MUESTRAS
AMBIENTALES, COMO MARCADORES DE ORIGEN”

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:
Q. ALBERTO FERNÁNDEZ ALARCÓN

TUTOR: M. EN C. MARÍA TRINIDAD MARTÍNEZ CASTILLO
FACULTAD DE QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

MÉXICO D.F. MAYO 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mí tutora la M. en C. Trinidad Martínez Castillo

Al Dr. Ciro Eliseo Márquez Herrera del departamento de metalurgia de la Facultad de Química de la UNAM.

A la Dra. Graciela Zarazúa Ortega del departamento de estudios del ambiente del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

Al jurado calificador:

La Dra. Liliana Virginia Raquel Saldívar y Osorio

La Dra. Sofía Guillermina Burrillo Amezcua

El Dr. Juan Manuel Navarrete Tejero

El Dr. Samuel Tejeda Vega

El Dr. Emilio Bucio Carrillo

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada (número de beca 334599, número de becario 271164)

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Al Posgrado UNAM

Al Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas

Las muestras Utilizadas en el presente trabajo fueron recolectadas en la zona Metropolitana del Valle de Toluca. El desarrollo del mismo se llevó a cabo en el edificio D (laboratorios 326 y 208) y el edificio B (laboratorio103) de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El presente trabajo se presentó en el evento QuimiUNAM 2013 que se llevó a cabo en el auditorio “Alfonso Caso” del edificio de Humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México D.F. (UNAM) en los días 13, 14 y 15 de Noviembre de 2013, bajo la modalidad de cartel con el título “Lead isotopic ratios in environmental samples, like origin markers” Alberto Fernández Alarcón, María Trinidad Martínez Castillo

Resumen

A pesar de que la contaminación por metales pesados se conoce desde tiempos muy antiguos, no fue sino hasta el comienzo del desarrollo industrial cuando ésta toma su debida importancia. Desde la formación de grandes asentamientos urbanos las interacciones de los humanos con la contaminación por metales pesados han causado una gran cantidad de enfermedades e incluso la muerte. La mayoría de los metales pesados se encuentran naturalmente en el ambiente, pero es la actividad humana la encargada de dispersarlos y acumularlos a niveles no naturales, llegando a grados de enriquecimiento que ponen en riesgo la salud de los seres vivos. Uno de los principales contaminantes, provenientes de la actividad humana, es el plomo. Este es un metal pesado ampliamente estudiado por su alto grado de toxicidad y efectos negativos en el sistema nervioso, especialmente en personas jóvenes. En la actualidad la mayoría de índices de calidad en productos y parámetros mediambientales exigen una baja concentración de plomo. En la mayoría de las ocasiones, la identificación de la fuente de contaminación, para controlar los niveles de plomo, resulta más práctica que la separación del metal.

Un gran esfuerzo ha sido enfocado a la identificación de fuentes de contaminación antropogénica. Una de las técnicas más usuales para la identificación de estas fuentes es el análisis multielemental de muestras urbanas, en el cual, por medio de estudios estadísticos multivariados se pretende identificar relaciones entre los elementos propios de una sola actividad humana causante de la contaminación. En los últimos años el estudio de relaciones isotópicas, cocientes entre las abundancias de los isotopos de un mismo elemento, ha tomado gran importancia. La distribución de cada isótopo en el medio es diferente según el origen del elemento mismo; logrando identificar el valor de las relaciones isotópicas en una muestra es posible rastrear el origen del elemento estudiado.

En el presente trabajo se discute el procedimiento de identificación de fuentes de contaminación, utilizando las relaciones isotópicas como marcadores de origen del plomo presente en un grupo de muestras ambientales de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT). En la literatura se discute la combinación lineal, de las relaciones isotópicas de plomo en posibles fuentes de contaminación, para dar explicación de los valores en las relaciones isotópicas de plomo en una muestra estudiada. Por medio de los

resultados obtenidos en el estudio de fuentes de contaminación y muestras ambientales de la ZMVT, se proporcionan bases estadísticas y algebraicas para no aceptar por completo el procedimiento de combinación lineal de relaciones isotópicas, en los contaminantes, para explicar el valor de relaciones en las muestras. En cambio un estudio meramente comparativo nos proporcionaría información cualitativa de las principales fuentes de contaminación, sin bases matemáticas para el cálculo de porcentajes de aporte (coeficientes de combinación lineal) de los contaminantes a la muestra.

Índice temático

1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivos generales	5
1.2.2 Objetivos particulares	5
2. Materiales y métodos	6
2.1 Descripción y ubicación de las zonas de muestreo seleccionadas	7
2.2 Muestreo, tratamiento y digestión de musgos	10
2.3 Muestreo, tratamiento y digestión de suelos	11
2.4 Digestión de plomo industrial y estándar de plomo común NIST (RSM 981)	11
2.5 Muestreo, tratamiento y lixiviación de materia particulada depositada	12
2.6 Muestreo, tratamiento y extracción de plomo en gasolinas	13
2.7 Muestreo, tratamiento y digestión de agua potable	13
2.8 Tratamiento y digestión de muestra de carbón	14
2.9 Muestreo, tratamiento y lixiviación de las muestras de aerosoles	14
2.10 Métodos de calibración y ajuste de parámetros del equipo ICP-OES	16
2.11 Métodos de calibración y ajuste de parámetros del equipo ICP-MS	16
3. Resultados y Análisis	17
3.1 Análisis multielemental	17
3.1.1 Análisis multielemental de suelos	18
3.1.2 Análisis multielemental de musgos M1	23
3.1.3 Análisis multielemental de musgos M2	26
3.1.4 Análisis comparativo entre muestreos de musgo	29
3.1.5 Análisis comparativo entre suelos y musgos de los mismos sitios de muestreo	29
3.1.6 Análisis multielemental para muestras de polvo	30
3.1.7 Análisis multielemental posibles fuentes de contaminación	32
3.2 Análisis isotópico	32
3.2.1 Análisis isotópico a posibles fuentes de contaminación	34
3.2.2 Análisis isotópico a muestras ambientales	40
3.2.2.1 Análisis isotópico: diferencias significativas	40
3.2.2.2 Análisis isotópico: conglomerados	42
3.2.2.3 Estudio de distancias	44
3.2.2.4 Combinación lineal de contaminantes	47
4. Conclusiones	54
5. Bibliografía	56

Índice de tablas

2.1 Zonas de muestreo	9
2.2 Zonas de muestreo de aerosoles	15
2.3 Inventario de muestras de aerosoles	15
3.1 Resumen de calibración ICP-OES	18
3.2 Concentraciones de Pb, Cu y Zn en suelos	19
3.3 Concentraciones de Cr, V, Fe y Ti en suelos	19
3.4 Correlaciones entre elementos: suelos	20
3.5 Factores de enriquecimiento	22
3.6 Concentraciones de Pb, Cu y Zn en M1	24
3.7 Concentraciones de Cr, V, Fe y Ti en M1	24
3.8 Correlación entre elementos M1	25
3.9 Concentraciones de Pb, Cu y Zn en M2	27
3.10 Concentraciones de Cr, V, Fe y Ti en M2	27
3.11 Correlación entre elementos M2	28
3.12 Correlación entre suelos y musgos	30
3.13 Porcentajes de recuperación soil-7	31
3.14 Relaciones isotópicas NIST RSM 981	33
3.15 Factor "mass bias" (a) y parámetro k	33
3.16 Relaciones isotópicas de posibles contaminantes parte 1	38
3.17 Relaciones isotópicas de posibles contaminantes parte 2	38
3.18 Comparación de relaciones isotópicas en el resto del mundo	39
3.19 Contaminante más cercano M1, M2 y S	46
3.20 Contaminante más cercano MPD y Aerosoles	46
3.21 Porcentaje de aporte M1	49
3.22 Porcentaje de aporte M2 y S	50
3.23 Porcentaje de aporte MPD y Aerosoles	50

Índice de Anexos

I Mapas	li
II Curvas de calibración ICP-OES	Iv
III Calidad de los resultados ICP-OES	vii
IV Análisis multielemental: suelos	Ix
V Análisis multielemental: M1	xix
VI Análisis multielemental: M2	xxix
VII Análisis multielemental entre musgos: Diferencias significativas.	xxxix
VIII Análisis multielemental entre suelos y musgos: Diferencias significativas	xl
IX Análisis isotópico: suelos	xlii
X Análisis isotópico: M1	xlix
XI Análisis isotópico: M2	lvi
XII Análisis isotópico entre musgos: diferencias significativas	lxiii
XIII Análisis isotópico entre suelos y musgos: diferencias significativas	lxiv
XIV Análisis isotópico polvo	lxvi
XV Análisis isotópico aerosoles	lxxi
XVI Conglomerados entre relaciones isotópicas	lxxvi
XVII Distancias	cxxxix
XVIII Porcentajes de aporte para cada relación	cxxxv

1. Introducción

1.1 Antecedentes

La contaminación ambiental por metales pesados es un problema que, a pesar de estar presente desde la antigüedad (Nriagu 1996), comienza a tomar importancia a partir del desarrollo industrial. Debido al alto impacto que la contaminación tiene sobre el entorno cercano de los seres humanos y los graves problemas de salud que ésta conlleva, una gran cantidad de científicos han enfocado sus esfuerzos a la descripción, prevención y tratamiento de la contaminación ambiental.

Muchos de estos metales pesados son dispersados y producidos por la actividad humana: desde las emisiones de las grandes industrias, emisiones vehiculares, el desgaste de las mismas piezas de los vehículos, hasta el tratamiento de residuos sólidos son formas de integrar estos metales al medio ambiente. Los metales pesados no son biodegradables y tienden a acumularse en la naturaleza. Cuando cierto medio se expone a emisiones elevadas de estos elementos se produce un enriquecimiento anómalo de dicho metal en el cuerpo donde es depositado. La acumulación de estos metales en sitios densamente poblados, como las zonas urbanas, aumenta significativamente la probabilidad de contacto, la ingestión o la inhalación de estos por la población (Mielke y Reagan 1998).

Uno de los principales contaminantes es el plomo. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos describe al plomo como un elemento naturalmente encontrado, en bajas cantidades, en la corteza terrestre, a pesar de tener usos benéficos, es un elemento tóxico para animales y humanos. Éste se puede encontrar en cualquier parte del medio que nos rodea: en el aire, el agua o los suelos. El uso de combustibles fósiles, dentro de éstos, las gasolinas plomadas utilizadas en el pasado, las emisiones de las industrias y el antiguo uso de pinturas plomadas son las principales fuentes de plomo que la EPA (Environmental Protection Agency) propone, sin descartar productos de la vida cotidiana como cerámicos, materiales de tuberías y tubos, soldaduras, gasolinas, baterías y cosméticos.

El plomo puede entrar al ambiente proviniendo de las fuentes del pasado, como gasolinas plomadas y pinturas, pero también de las industrias en especial de empresas fundidoras de plomo. Mientras las concentraciones más comunes de plomo en suelos se encuentran en un orden de magnitud de decenas de partes por millón, este nivel natural se

puede ver incrementado por la actividad humana. La movilidad del plomo en ambiente es muy amplia: cuando el plomo es emitido a la atmosfera, por fuentes industriales o vehículos, puede viajar largas distancias antes de depositarse, donde es usualmente incorporado a las partículas del suelo. El plomo puede moverse a cuerpos acuáticos dependiendo de las características del suelo y del tipo de compuesto del que forma parte.

Los efectos del plomo en la salud son variados dependiendo de la edad, los niños son principalmente vulnerables a los efectos nocivos del plomo ya que su cuerpos en crecimiento fijan más plomo que el de los adultos y los efectos de éste en sus cerebros y sistema nervioso son bien conocidos (Needleman, et. al., 1990). Los bebés y los niños pequeños se exponen más al plomo por la frecuencia con la que ellos se colocan en la boca objetos que se encuentran en contacto con el suelo y el polvo, incluyendo sus manos. Otras formas en las que los niños se exponen al plomo es por inhalación de polvo contaminado, por la ingesta de agua o alimentos con plomo o por el contacto con juguetes con plásticos o pinturas con altos niveles de plomo. Incluso, en la actualidad, muchas ocupaciones como la minería o la fabricación de vidrio o vitrales exponen a altas concentraciones de plomo a muchas personas.

En las zonas urbanas de México el principal problema de emisión de plomo es el consumo de gasolinas plomadas (Martínez et. al. 2004), en los años anteriores a 1986 el compuesto tetraetil plomo era utilizado como aditamento antidetonante en las gasolinas; este hecho provocaba que, tan sólo en la Zona Metropolitana del Valle de México, 1421 toneladas por año de plomo fueran arrojadas a la atmosfera. Para el año de 1995, debido a la regulación en la adición de alquil plomo a las gasolinas, las emisiones de plomo a la atmósfera se redujeron a 109 toneladas por año (INEGI-SEMARNAT 1998). No fue sino hasta 1996 cuando, se prohíbe la adición de alquil plomo a las gasolinas y estrictas regulaciones en las emisiones de los vehículos fueron implantadas.

Existen muchos estudios dedicados a deducir las fuentes de contaminación, por metales pesados, por medio de análisis estadísticos multivariados. La idea es aplicar métodos estadísticos de correlación y de clasificación a un grupo de datos de concentraciones de metales pesados (Cr, Cu, Zn, Fe, Ti, V, Pb, etc.) en muestras ambientales para hallar relaciones entre los grupos de elementos que provienen de una fuente de contaminación en particular. Los métodos de análisis de la muestras son variados y dentro de los más

utilizados se encuentran la fluorescencia de rayos X en energía dispersiva (Tejeda et. al. 2006, Martínez et. al. 2014) y reflexión total (Tejeda et. al 2010; Zarazúa et. al. 2013; Rodríguez 2010). En tiempos recientes y con el desarrollo tecnológico de nuevos dispositivos utilizados en la separación y detección de masas atómicas, así como de equipos con gran capacidad de ionización de muestras, el estudio de las abundancias relativas o relaciones isotópicas de un elemento, se ha convertido en un instrumento esencial para dilucidar la fuente de contaminación de dicho elemento. El análisis por espectroscopia de masas de ionización térmica (TIMS, Thermal Ionization Mass Spectrometry) es la mejor opción para los análisis isotópicos, sin embargo los altos costos instrumentales y el minucioso pretratamiento de las muestras lo hacen una metodología poco usual. En los últimos diez años se ha explorado el uso de la espectroscopia de masas-plasma acoplado por inducción con analizador de masas con cuadrupolo, encontrando en este tipo de estudio ventajas con respecto a TIMS como por ejemplo: la rápida preparación de muestra, menor costo de análisis con respecto a TIMS y la robustez instrumental.

El plomo posee cuatro isótopos estables, ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb cada uno de ellos provenientes de diferentes fuentes. El isótopo ^{204}Pb es un isótopo primordial, en cambio el resto de los isotopos son el punto final de tres cadenas de decaimiento radiactivo naturales: la cadena de decaimiento del ^{238}U tiene como producto estable el isótopo de masa 206 del plomo, en cambio el ^{235}U es el padre del isótopo ^{207}Pb y por último el ^{232}Th del ^{208}Pb . El cociente de los valores de abundancia relativa de cada uno de los isótopos de plomo presentes en una muestra nos proporciona información del origen del plomo presente en dicha muestra. Esta técnica ha sido utilizada en muchos estudios para encontrar la principal fuente de plomo, de un área seleccionada (Frabrice Monna et. al. 1997, W. Hansmann y V. Köppel 2000, C.L. Sugden et. al. 1993, Soto-Jiménez et. al. 2006, T. Martínez et. al. 2004 y 2007, Morton-Bermea O. et. al. 2010, Soto-Jiménez y A. Flegal 2009 Jong-Woo Choi et. al. 2013)

La Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) es una región ubicada en el estado de México que comprende los municipios de Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Toluca, Xonacatlán y Zinacatepec; los cuales cubren una superficie de 2038 Km² y se encuentran a una altura promedio de 2660 msnm. Para el año de 2010 la

población contaba con 1.85 millones de habitantes y una flota vehicular de 430 mil vehículos. Como muchas ciudades de México, la principal actividad económica ha cambiado, pasó de ser una economía rural a una industrial y de servicios, actualmente cuenta con importantes parques industriales (Gobierno del Estado México 2005).

En el presente trabajo se desarrolla el análisis multielemental (Cr, Cu, V, Pb, Fe, Ti y Zn) de un grupo de muestras ambientales tales como, musgos, suelos y polvo de la calle de la ZMVT. Mediante la digestión ácida de las muestras mencionadas y su posterior análisis por espectroscopia de emisión óptica acoplado a plasma (ICP-OES) así como un detallado estudio estadístico a los resultados arrojados por el equipo. Las conclusiones del estudio antes descrito se comparan con las conclusiones obtenidas de un análisis de relaciones isotópicas realizado al mismo grupo de muestras (en un equipo de masas acoplado a plasma ICP-MS), con la intención final de comparar las relaciones isotópicas de plomo como marcadores de origen.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos generales

En el presente trabajo se pretende probar el alcance del método de combinación lineal de relaciones isotópicas para hallar las principales fuentes de contaminación, por plomo, de un grupo de muestras ambientales. De tal forma que midiendo las relaciones isotópicas de un grupo de contaminantes y un grupo de muestras ambientales sea posible identificar la fuente de contaminación mayoritaria en este grupo de muestras. Haciendo uso de las abundancias de cuatro isótopos de plomo (^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb), medidas en un equipo de ICP-MS (inductively coupled plasma-mass spectroscopy), y de las relaciones resultantes entre ellos, se probará la existencia de una fuente principal de plomo para un grupo de muestras ambientales de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, ZMVT; este estudio se utiliza como definición ostensiva del alcance del método de combinación lineal de relaciones isotópicas.

1.2.2 Objetivos particulares

Medir las concentraciones de un grupo de metales pesados (Cr, Cu, V, Pb, Fe, Ti y Zn), en un equipo de ICP-OES, de un grupo de muestras ambientales de la ZMVT y por medio de análisis estadísticos multivariados proponer una fuente principal de contaminación de estas muestras.

Medir las abundancias de cuatro isótopos de plomo (^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb) en un grupo de muestras ambientales de la ZMVT y un grupo de 5 contaminantes, en un equipo de ICP-MS y mediante análisis estadísticos y algebraicos hallar las principales fuentes de plomo del grupo de muestras ambientales.

Probar la calidad de los resultados obtenidos por medio de la comparación directa con materiales de referencia certificados.

Comparar las conclusiones obtenidas por el método multielemental con las conclusiones obtenidas por el método de relaciones isotópicas.

Explicar las concentraciones de plomo presentes en las muestras analizadas

2. Materiales y Métodos

El presente trabajo se centra en la digestión y análisis multielemental e isotópico de un grupo de muestras ambientales. En el desarrollo del capítulo se hará la descripción de las zonas de muestreo así como las técnicas utilizadas para la recolección de las muestras. Las metodologías de pretratamiento y digestión de dichas muestras se describe detalladamente.

Las muestras seleccionadas para el análisis son: los musgos, debido a la gran importancia que éstos poseen como biomonitores (Zarazua 2013, Poblano-Bata 2013); suelos superficiales urbanos, siendo éstos más adecuados para la determinación de la contaminación antropogénica (Rodríguez 2010); la materia particulada depositada (polvo) en las calles y avenidas de las zonas urbanas y un grupo de muestras de aerosoles, proporcionadas por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (RAMA), colectadas entre los años 2010 y 2012. Los referentes a las fuentes de contaminación utilizados son: granulados de plomo industrial utilizado en la fundición y maquila de piezas metálicas, agua potable como referente al plomo natural, combustibles fósiles como gasolinas, diesel y carbón.

Para asegurar la calidad de los resultados obtenidos se trataron, de la misma forma que las muestras, un grupo de estándares certificados con matrices similares a las muestras: Estándar de plomo común *National institute of Standards & Technology* Standard Reference Material 981, Common lead isotopic standard
Estándar de suelos *International Atomic Energy Agency* Reference Material IAEA-Soil-7 Trace Elements in Soils
Estándar de suelos *International Atomic Energy Agency* Reference Material IAEA-Soil-5 Trace Elements in Soils
Estándar de hojas de cítricos *National Bureau of Standard* Standard Reference Material 1572 Citrus leaves
Estandar de Liquen *International Atomic Energy Agency* Reference Material IAEA-336 Trace and Minor Elements in Lichen

Cabe mencionar que los reactivos utilizados son de grado de ultra alta pureza, para análisis específico de elementos traza. El material utilizado en el pretatamiento y digestión de las muestras se lavó y enjuagó con agua desionizada y se dejó reposar por 12h en una solución

fresca de HNO₃ de la misma pureza requerida para la digestión, después se enjuagó con agua desionizada

2.1 Descripción y ubicación de las zonas de muestreo seleccionadas

Según la distribución geográfica y las distintas actividades humanas realizadas en la ZMVT, se seleccionaron dieciséis sitios con características distintas. Atendiendo a estas características, los sitios de muestreo se clasificaron en tres categorías: Zonas urbanas, Zonas de transición y áreas naturales protegidas según la clasificación del Plan Regional de Desarrollo Urbano de Valle de Toluca emitido por la Secretaria de Desarrollo Urbano del Estado de México (Gobierno del Estado de México, 2005) Figura 1.

Zonas Urbanas: estas zonas se distinguen por tener áreas parcial o totalmente edificadas, cuentan con centros de población en la periferia metropolitana en áreas metropolitanas y áreas de influencia de los ejes hidráulicos. Paralelamente cumplen con tener infraestructura hidráulica, sanitaria, drenaje, energía eléctrica, vialidad, transporte, equipamiento educativo, de comunicaciones etc.

En la Tabla 2.1 se presentan las coordenadas de los sitios de muestreo, de los cuales 5 están considerados como parques urbanos (Negrete, Alameda, Reforma, Hípico y la Pila) las otras se clasifican como camellones en avenidas vehiculares (Santin y Tollocan) Tollocan está ubicado en una vialidad de industrias y servicios.

Zonas de Transición: las zonas de transición o en proceso de urbanización son aquellas áreas aptas y potenciales de desarrollo que pueden albergar el crecimiento poblacional de los centros urbanos de la región. San Miguel y San Antonio son dos ejemplos, la primera tiene una gran influencia urbana y agrícola, mientras que San Antonio tiene como influencia principal la agrícola y la pecuaria. Las otras zonas que entran dentro de esta clasificación son Acapulco, Pedregal y Ameyalco.

Áreas Naturales Protegidas: Las áreas naturales protegidas o áreas con usos no urbanizables son zonas en las que el gobierno restringe el uso de estas zonas de la urbanización. Lomas Altas, Cacalomacan y Ciervita son parte de esta clasificación.

En la tabla 2.1 se muestra la clasificación completa de los sitios de muestreo con las coordenadas, la especie de musgo muestreada y las principales influencias al medio.

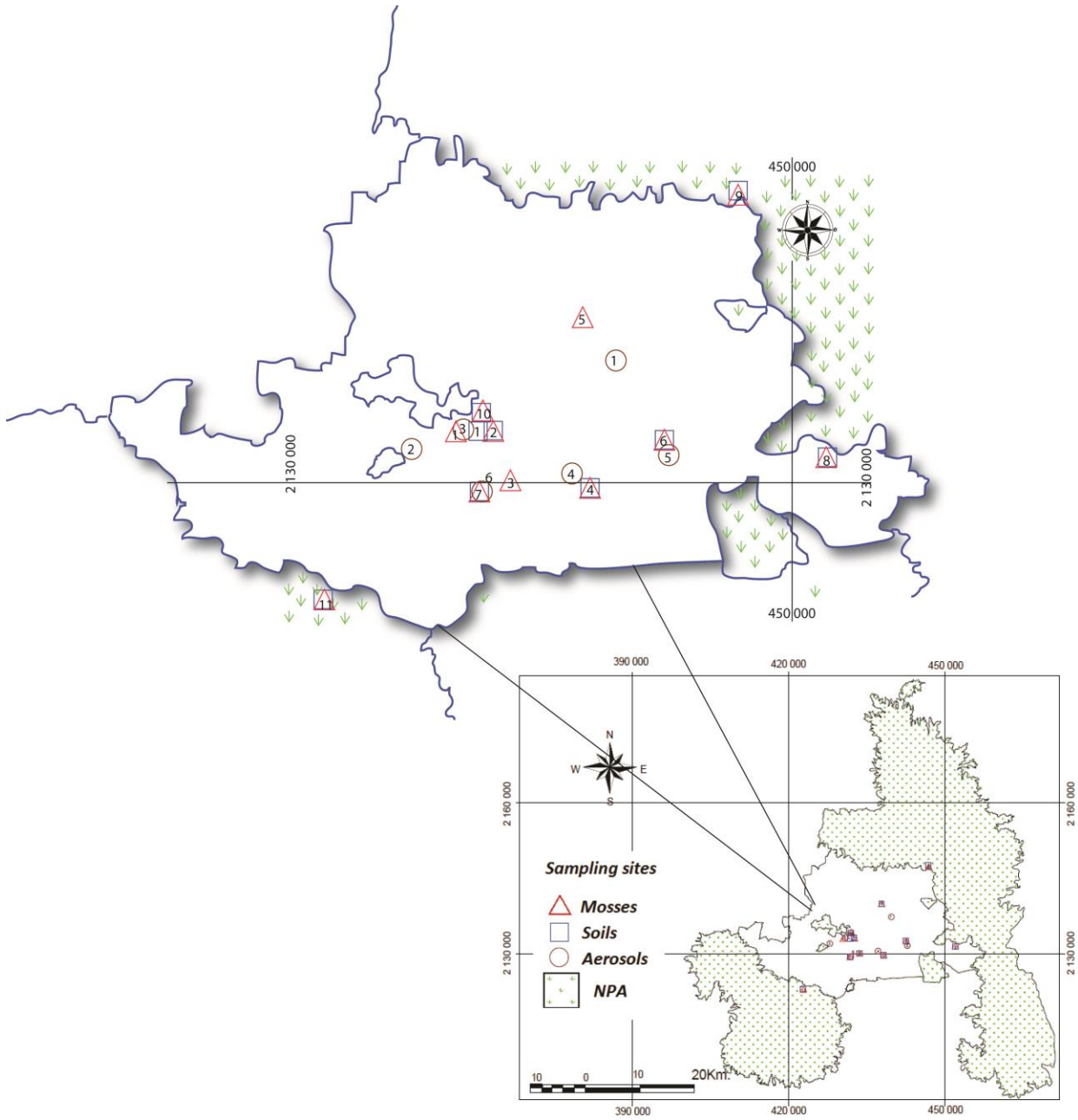


Figura 1: Mapa de las zonas de muestre de musgos, suelos y aerosoles (Gobierno del Estado de México 2005)

Sitio	M1	M2	S	Coordenadas	Clas.	Descripción
Negrete	M29	M122b	S155	N 19° 15' 26"	U	Área Urbana con vialidades primarias e influencia agrícola
				W 99° 17' 58"		
Alameda	M32	M125b	S151	N 19° 17' 24"	U	Área urbana con vialidades primarias de alta influencia vehicular
				W 99° 39' 43"		
Reforma	M34	M127b	S152	N 19° 17' 28'	U	Área urbana con vialidades primarias de alta influencia vehicular
				W 99° 38' 30'		
Hípico	M30	M123b	S139	N 19° 15' 51"	U	Área urbana con vialidades primarias de alta influencia vehicular
				W 99° 37' 54"		
La Pila	M31	M124b	S154	N 19° 15' 37"	U	Área urbana con vialidades primarias e influencia agrícola
				W 99° 35' 15"		
Santín	M37	M130b	S160	N 19° 21' 10"	U	Lindero de árboles en vialidad de abasto con influencia urbana y agrícola
				W 99° 35' 31"		
Tollocan	M38	M131b	S153	N 19° 17' 12"	U	Lindero de árboles en vialidad de industrias y servicios con influencia urbana e industrial
				W 99° 32' 49"		
Lomas Altas	M33	M126b	S157	N 19° 18' 1"	ANP	Parque natural protegido con influencia urbana y vehicular
				W 99° 38' 51"		
Acazolco	NC	M135b	S146	N 19° 16' 1"	T	Área arbórea con influencia urbana y agrícola
				W 99° 24' 40"		
El Pedregal	NC	M134b	S148	N 19° 15' 18"	T	Área arbórea con influencia urbana y agrícola
				W 99° 29' 23"		
San Miguel	M36	M129b	S161	N 19° 16' 37"	T	Área arbórea con influencia urbana y agrícola
				W 99° 27' 25"		
Ameyalco	NC	M136b	S147	N 19° 18' 42"	T	Área arbórea con influencia urbana y agrícola
				W 99° 27' 11"		
San Antonio	M35	M128b	S156	N 19° 25' 19"	T	Área arbórea con influencia agrícola y pecuaria
				W 99° 30' 22"		
San Diego	NC	M137b	S149	N 19° 30' 4"	ANP	Bosque protegido con influencia agrícola
				W 99° 36' 51"		
Cacalomacán	M39	M132b	S158	N 19° 11' 57"	ANP	Bosque protegido con influencia agrícola
				W 99° 44' 5"		
Ciervita	M40	M133b	S150	N 19° 11' 17"	ANP	Bosque protegido con influencia agrícola
				W 99° 48' 36"		

Tabla 2.1: Descripción y coordenadas geográficas de los sitios de muestreo. M1: clave para el muestre 1 de musgos, M2: clave para el muestreo 2 de musgos, S: clave para el muestreo de suelos. Clas.: Clasificación, U: urbana, T: transición, ANP: área natural protegida

2.2 Muestreo, tratamiento y digestión de musgos

El muestreo de musgos se realizó en dos temporadas del año diferentes, una fría y seca (invierno), en noviembre del 2010, y otra en la temporada cálida y húmeda (verano) en agosto del 2011. Las especies seleccionadas para este análisis fueron *Fabrionia Ciliaris* y *Leskea angustata* (Zarazua et. al. 2013). Para la toma de muestras se seleccionó un área de 30 metros cuadrados y 10 árboles aleatoriamente, dentro de esta área, que presentaran colonias de musgos a una altura superior a 100 cm. Un área de cinco centímetros cuadrados de musgos se cortó y retiró con todo y corteza, posteriormente fue trasladado al laboratorio de análisis en bolsas de polietileno previamente identificadas (Poblano-Bata et. al 2013).

El grupo de muestras de la misma área se separó de la corteza de la que estaba adherido y se lavó ligeramente con agua desionizada. Se trabajó únicamente con la parte entre el rizoma hasta el esporofito. Todo el material obtenido se secó al ambiente durante 48 horas, se molió y homogeneizó mecánicamente (Zarazúa et. al. 2013).

Para la digestión de las muestras se utilizó la digestión acelerada con asistencia de microondas (CEM® modelo MarsX) con una potencia máxima de 1200W al 100 %, rampa de temperatura de 20 minutos, 200 °C, presión 180 psi. Este procedimiento fue aplicado a una primera digestión de 0.3 g de muestra pretratada donde se adicionaron 4 mL de HNO₃ de ultra alta pureza y 1 mL de HCl del mismo grado que para el ácido nítrico, posteriormente 1.5 mL de H₂O₂ se adicionaron a la mezcla y se trató con las mismas condiciones, mencionadas anteriormente, de digestión acelerada por microondas. Después de este tratamiento se notó la presencia de un precipitado, éste fue lavado y el sobrenadante inicial junto con el lavado del precipitado se colectaron y fueron llevados a un volumen final de 10 mL con agua desionizada (Poblano Bata 2013).

Dentro de este grupo de muestras de musgos, se digirieron los estándares certificados de liquen (IAEA 336) y el estándar de hojas de cítricos (SRM 1572). De la misma forma se prepararon blancos de reactivos junto con el grupo de muestras.

2.3 Muestreo, tratamiento y digestión de suelos

El muestreo de suelos superficiales se llevó a cabo por medio de un nucleador de acero inoxidable con una penetración de 20 centímetros de profundidad. De esta forma se obtuvieron seis muestras puntuales de un área de 2500 metros cuadrados, que se mezclaron para obtener una muestra compuesta, por sitio. El muestreo fue llevado a cabo en los meses de octubre de 2010 y septiembre de 2011 (Tejeda et. al. 2013). Después de trasladar las muestras al laboratorio de análisis en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas, se procedió con un tamizado en 0.06 mm, molido y homogeneizado.

Después de haber homogeneizado la muestra de suelo, una submuestra de 1 g se secó y se colocó en un contenedor de teflón, se agregaron 10 mL de HCl de ultra alta pureza la mezcla se calentó por aproximadamente 2 h en un intervalo de temperatura de entre 60 °C y 80 °C, posteriormente se agregaron 10 mL de HF y 20 mL de HCl y se llevaron casi a sequedad (este procedimiento fue realizado por triplicado), por último se agregó una mezcla de 5 mL de HCl y 10 mL de HNO₃, seguido de una evaporación a sequedad, la muestra se recuperó con una solución de HCl al 1 % a un volumen final de 25 mL.

El estándar seleccionado para comprobar la calidad de los datos de este tipo de matriz fue el estándar de suelos IAEA-Soil-5, el cual se digirió de la misma forma y con los mismos reactivos que las muestras. Se preparó un grupo de blancos siguiendo el procedimiento previamente descrito para el tratamiento de las muestras.

2.4 Digestión del plomo industrial y el estándar de plomo común del NIST (RSM 981)

Una muestra de entre 0.05 g y 0.1 g de alambre de plomo común NIST (SRM 981) se pesó y colocó en un vaso de precipitado de 50 mL, a continuación se agregó 1 mL de HNO₃ Sigma Aldrich Ultra Trace junto con 4 mL de agua desionizada. La mezcla se calentó hasta la digestión completa del metal. Posteriormente se adicionó otro mililitro de ácido nítrico y el volumen se aforó a 50 mL (A.T. Townsend et. al. 1998, C.S.C. Wong y X.D. Li 2004). Se tomó solución como solución stock, de la cual se hicieron diluciones sucesivas 1:100 (STDPb 1.1), 1:100 (STDPb 1.2), 1:2 (STDPb 1.3) y 1:2 (STD 1.4), estas últimas tres soluciones se utilizaron para la calibración del equipo de ICP-MS.

De la misma forma una pequeña esfera de plomo industrial, granulada de plomo, con un peso de entre 0.05 g y 0.1 g se pesó, y se colocó en un vaso de precipitado de 50 mL, se adicionó la misma mezcla 1:4 de ácido nítrico agua con la que se trató al estándar, se calentó hasta la completa disolución del gránulo y un mililitro más de ácido nítrico de ultra alta pureza se agregó y el volumen constituido a 50 mL. En este caso sólo las primeras dos diluciones fueron necesarias, ya que no se debían preparar distintas concentraciones de plomo, sólo alcanzar la concentración adecuada para su análisis isotópico.

Se preparó un blanco de reactivos de la misma forma y con los mismos reactivos usados para el tratamiento de las muestras y el estándar.

2.5 Muestreo, tratamiento y lixiviación de materia particulada depositada

Las muestras de polvo fueron colectadas en las zonas urbanas, exclusivamente en zonas donde el tráfico vehicular, el intemperismo y el paso de peatones provocan la acumulación de partículas sobre el pavimento. Éstas son una compleja mezcla de materia orgánica, partículas de polvo, suelos, emisiones de vehículos y chimeneas de grandes fábricas. El muestreo se llevó a cabo en los sitios de Tollocan, ubicando tres zonas: el camellón de la avenida Tollocan, el paso peatonal y la materia particulada depositada en el área de la parada de camiones del transporte público. De igual forma se colectaron muestras de polvo en el sitio de Alameda, Reforma y en la azotea del Templo del Carmen en el centro histórico de la ciudad de Toluca.

Se colectó una pequeña cantidad de polvo de estos sitios y se trasladó al laboratorio de análisis en bolsas de polietileno. La muestra se tamizó a 0.06 mm, posteriormente se molió y homogeneizó mecánicamente. A una submuestra de aproximadamente 0.75 g de polvo pretratado se le adicionaron 30 mL de una solución 8 M de HNO_3 en un vaso de precipitado y se calentaron a 90 °C por 3 h en una parrilla de calentamiento, la mezcla resultante se filtró y el filtrado fue lavado con tres porciones de 5 mL de agua desionizada, estos lavados se adicionaron al sobrenadante inicial. La mezcla de los lavados y el sobrenadante se llevaron casi a sequedad, la muestra fue recuperada a 50 mL con una solución de HCl al 1% (C.L. Sugden et. al. 1993). Junto con la muestra de polvo se digirió

un estándar de suelos IAEA-Soil-7 de la misma forma y con los mismos reactivos que las muestras. Adicionalmente se trató y preparó un blanco de reactivos junto con las muestras. Este procedimiento fue pensado únicamente para el análisis isotópico, por lo que la muestra no fue digerida sino que solamente lixiviada, con la intención de obtener la fracción de plomo más soluble y por ende disponible para su movilidad en el ambiente.

2.6 Muestreo, tratamiento y extracción de plomo en gasolina

Para la recolección de gasolina se utilizaron contenedores de polietileno y se tomó una muestra de un litro directamente desde la bomba de las gasolineras, en la ZMVT, se tomaron muestras de gasolina Premiun, gasolina Magna y diesel. Mientras que en las gasolineras del D.F. sólo se recolectaron muestras de las gasolinas, omitiendo el diésel, debido a que es más complicado que una gasolinera expenda diesel en esta zona, por lo que es más probable que los vehículos pesados que pasan por la ZMVT provenientes del D. F. no se reabastezcan de diesel en esta ciudad.

Con ayuda de agitación magnética se homogenizó la muestra completa (un litro) y se tomó una submuestra de 2.5 mL posteriormente se adicionó a un embudo de extracción, el cual contenía 5 mL de una solución 1.0 M de iodo monoclorado acuoso. Al mismo embudo se agregaron 12.5 mL de 2,2,4-trimetilpentano. La fracción acuosa, la de abajo, contiene al plomo y se traslada a un vaso de precipitado de 100 mL, la fracción orgánica restante se lava con porciones de 3 mL de agua desionizada por triplicado. Los lavados se combinan con la fracción acuosa inicial y se llevaron casi a sequedad, se recuperó el volumen a 100 mL con una solución al 1 % de HCl de ultra alta pureza (Chareles J. Lord III, 1994). Un blanco, utilizando 2.5 mL de agua destilada, se trató de la misma forma anteriormente descrita.

2.7 Muestreo y tratamiento de agua potable

Las muestras de agua potable fueron recolectadas de grifos cercanos a los sitios de muestreo de Alameda y Tollocan. Se recolectaron directamente del grifo, en contenedores de propileno, un aproximado de 100mL. Las muestras fueron recolectadas a primera hora

en la mañana, después de abrir el grifo y dejar correr el agua por aproximadamente un minuto.

Por medio de agitación magnética se homogeneizó la muestra y se tomó una submuestra de 20 mL de agua ésta se colocó en un contenedor de teflón, se adicionó un mililitro de ácido nítrico de ultra alta pureza y se dejó reposar la muestra por 24 h (C.L. Sugden et. al. 1993). Concluido el tiempo de reposo, se completó el volumen a 25 mL, con agua desionizada, en un matraz aforado. Simultáneamente con las muestras se preparó un blanco, usando 20 mL de agua desionizada.

2.8 Tratamiento y digestión de muestra de carbón

Una muestra de carbón obtenida al azar, se molió y homogeneizó mecánicamente en un mortero de ágata, posteriormente fracciones de entre 1 g y 1.5 g fueron tomadas y colocadas en crisoles sellados. En una mufla precalentada a 400 °C se colocaron los crisoles por tres horas y media. Las cenizas obtenidas se digirieron agregando 20mL de una solución de ácido nítrico 8 M, dejando reposar hasta la digestión completa. La mezcla se dejó enfriar a temperatura ambiente y se filtró por gravedad, lavando el filtrado con porciones de 2 mL de agua desionizada. Posteriormente se completó hasta un volumen de 50 mL con una solución de ácido clorhídrico al 1% (C.L. Sugden et. al. 1993). Este procedimiento se llevó a cabo para una muestra de carbón de la ZMVT y otra muestra de carbón comercial proveniente del Distrito Federal.

2.9 Muestreo, tratamiento y lixiviación de aerosoles

El muestreo de aerosoles se llevó a cabo con un grupo de muestras donadas por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT, las muestras donadas son al azar comprendidas entre el periodo de diciembre de 2010 a enero de 2012 (invierno). La RAMA comprende un grupo de siete estaciones de muestreo divididas en tres zonas: Zona Norte que comprende las estaciones de Aeropuerto y San Cristóbal Huichotitlán; Zona Centro con dos estaciones más Toluca Centro y Oxtotitlán; Zona sur con tres estaciones Metepec, Ceboruco y San Mateo Atenco.

Zona	Estación	Abreviatura	Coordenada Norte	Coordenada Oeste
Norte	Aeropuerto	AP	19° 20' 4.4"	99° 34' 26.3"
	San Cristóbal Huichotitlán	SC	19° 19' 38.0"	99° 38' 3.44"
Centro	Toluca Centro	CE	19° 16' 41.1"	99° 39' 23.1"
	Oxtotitlán	OX	19° 17' 0.40"	99° 41' 0.56"
Sur	Metepc	MT	19° 16' 12.7"	99° 35' 42.7"
	Ceboruco	CB	19° 15' 37.0"	99° 38' 44.6"
	San Mateo Atenco	SM	19° 16' 49.5"	99° 38' 3.44"

Tabla 2.2: Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo de la RAMA ZMVT.

Las muestras de aerosoles depositados en filtros de fibra de vidrio fueron tomadas por un muestreador automático BAM 1020 de alto volumen con un flujo promedio de 17.6 Lmin⁻¹ de aire en muestreos individuales por cada hora, monitoreando partículas menores a 10 micras (PM10) y menores a 2.5 micras (PM2.5). Un grupo de 24 h fue lixiviado colocándose en un contenedor de teflón sellado a presión con una solución 2 M de HNO₃ en una estufa a 300 °C por 4 h. La solución resultante fue filtrada y el residuo de fibra de vidrio lavado con agua desionizada, el volumen final fue aforado a 25 mL con agua desionizada. De las estaciones de monitoreo descritas en la tabla anterior se cuenta con las siguientes muestras:

Estación	Fecha	Tamaño de partícula
SM	Diciembre 15, 2010	NR
SM	Diciembre 23, 2010	NR
CE	Febrero 4, 2011	PM 10
MT	Febrero 11, 2011	PM 10
CB	Febrero 14, 2011	NR
AP	Febrero 15, 2011	PM 10
SM	Febrero 21, 2011	PM 10
OX	Enero 13, 2012	PM 2.5

Tabla 2.3: Inventario de muestras de aerosoles donados por la RAMA de la ZMVT; NR no reportado

2.10 Métodos de Calibración y ajuste de parámetros del equipo de ICP-OES

Las muestras, para su análisis multielemental fueron medidas en un equipo de espectroscopia de emisión óptica de plasma de acoplamiento inductivo ICP-OES por sus siglas en inglés (inductively coupled plasma optical emission spectroscopy) modelo 73 Perkin Elmer, Optical Emission Spectrometer, Optima 4300DV. Para calibrar el equipo se utilizó un estándar con 21 elementos de la marca Perkin Elmer (Quality Control Standard 21) dentro de los cuales se encontraban los siete elementos deseados para su cuantificación (Cr, Cu, V, Pb, Fe, Ti y Zn). Después de ajustar los parámetros del equipo con el estándar de concentración de 100 mg/L, se prepararon dos diluciones del estándar las cuales tenían concentraciones de 10 mg/L (1 ppm) y 1 mg/L (0.1 ppm) respectivamente, mientras que para la concentración de 0 mg/L se utilizó agua desionizada, con estas cuatro soluciones de distinta concentración se ajustaron curvas de calibración, con cuatro puntos, para cada uno de los elementos a analizar.

2.11 Métodos de Calibración y ajuste de parámetros del equipo de ICP-MS

Para el análisis isotópico de las muestras se utilizó un equipo de plasma acoplado inductivamente a un espectrómetro de masas con analizador de cuadrupolo ICP-MS por sus siglas en inglés (Inductively coupled plasma mass spectroscopy). Los parámetros del equipo, como tiempo de muestreo y tiempo muerto, así como número de réplicas fueron seleccionados según las sugerencias del Software de Perkin Elmer y lo reportado por Rodríguez et. al., 2010. La curva de calibración fue medida tomando en cuenta agua desionizada como auto blanco (autoblack) y el blanco de reactivos en la digestión del estándar NIST SRM 981 como blanco de calibración.

3. Resultados y Análisis

En este capítulo se presentarán algunos de los resultados obtenidos, los que se consideran de mayor relevancia para la obtención de conclusiones, el resto se encuentra reportado en los anexos. También se hará la discusión de los datos obtenidos en los distintos análisis realizados, análisis multielemental en el equipo de ICP-OES y el análisis isotópico en el equipo de ICP-MS, así como la discusión de los resultados arrojados por las distintas pruebas estadísticas planteadas para la comprensión y descripción de los datos obtenidos. De igual forma se presentan los argumentos que llevaron a las conclusiones que se plantean de este trabajo.

El análisis de resultados se divide en análisis multielemental y análisis isotópico y al final una comparación entre ambos para evaluar el alcance de las relaciones isotópicas como marcadores de origen.

3.1 Análisis multielemental

En el análisis multielemental se tratarán los datos obtenidos por equipo de ICP-OES para siete elementos seleccionados: Cr, Cu, V, Pb, Fe, Ti y Zn. Los Parámetros del equipo fueron optimizados por comparación con un estándar de 21 elementos de la marca Perkin Elmer. Los parámetros como número de repeticiones, tiempo de toma de muestra, tiempo muerto, medición axial o ecuatorial, coordenadas óptimas de la flama y longitud de la misma se seleccionaron según mediciones realizadas anteriormente para los mismos elementos y matrices similares. A continuación se muestra un resumen de las regresiones obtenidas para la calibración en concentraciones de los elementos seleccionados. El análisis de regresión y gráficos de regresión se encuentran en el Anexo II.

Elemento	Pendiente (cpm/ppm)	Ordenada al origen (cpm)	R²
Cr	23228	908.07	0.9999
Cu	27012	1009.8	0.9998
V	25058	906.4	0.99999
Pb	1606.7	65.885	0.9999
Fe	17922	786.7	0.9999
Ti	143229	5910.3	0.9998
Zn	7697.3	30.87	0.9999

Tabla 3.1: Resumen de calibración del equipo de ICP-OES para los siete elementos seleccionados, todas las calibraciones contaban con 4 puntos, el blanco (0ppm) y tres más (0.1ppm, 1ppm y 10ppm)

3.1.1 Análisis multielemental de Suelos

En las muestras de suelos se midió la concentración en mg/Kg (ppm) de Cr, Cu, V, Pb, Fe, Ti, y Zn por medio de una digestión ácida asistida por microondas y un equipo de ICP-OES. Con los resultados obtenidos se realizaron pruebas estadísticas para corroborar la precisión y exactitud de los datos por medio de la comparación directa con un estándar; “Reference Material IAEA Soil 5”. En la Tabla I del Anexo III se muestran los datos reportados para dicho estándar y los valores obtenidos para éste.

De la Tabla I del Anexo III podemos observar que la mayoría de los valores obtenidos se encuentran dentro del intervalo de confianza reportado para la concentración del elemento, mientras que los porcentaje de recuperación son superiores al 75%, con excepción del hierro que es 65%, por lo que se decidió aplicar una corrección en los valores en las concentraciones de Fe para efectuar los cálculos de factor de enriquecimiento y plomo antropogénico. De lo anterior podemos concluir que la calidad de los datos obtenidos para las muestras de suelos es buena.

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos para las muestras de suelos.

Sitio	Clave	Cu (mg/Kg)		Pb (mg/Kg)		Zn (mg/Kg)	
		X	s	X	s	x	S
Acazulco	S146	16.06	0.43	5.97	0.30	75.60	0.32
Santin	S160	19.20	0.31	11.42	0.34	66.26	0.38
Tollocan	S153	30.82	1.77	57.01	1.98	136.90	0.62
Pedregal	S148	7.54	0.65	1.36	1.93	47.79	0.28
Ciervita	S150	8.05	0.52	9.39	0.54	58.72	0.89
La Pilita	S154	4.73	0.09	6.05	0.16	52.19	0.65
Ameyalco	S147	11.64	2.04	20.14	1.13	70.51	0.26
Cacalomacan	S158	11.41	0.60	2.73	0.32	63.15	1.20
Reforma	S152	8.99	0.63	39.34	1.25	63.55	1.07
Negrete	S155	3.20	1.11	3.51	1.20	59.38	0.61
Hípico	S139	18.86	0.52	10.42	0.75	73.10	0.63
San Miguel	S161	12.70	0.83	10.19	1.05	69.17	6.73
San Antonio	S156	14.14	0.77	13.27	0.32	54.01	0.65
San Diego	S149	13.84	0.68	11.37	0.67	84.11	0.35
Alameda	S151	17.23	1.53	71.99	2.48	85.94	0.85
Lomas Altas	S157	12.52	0.64	16.15	1.11	63.64	0.17

Tabla 3.2: Concentraciones de Pb, Cu y Zn; con su desviación, halladas en las muestras de suelos

Sitio	Clave	Cr (mg/Kg)		V (mg/Kg)		Fe (mg/Kg)		Ti (mg/Kg)	
		x	S	X	s	X	s	x	S
Acazulco	S146	84.73	1.20	97.84	1.27	26077.43	181.24	4408.59	15.45
Santin	S160	53.42	0.20	52.12	1.14	15628.97	107.05	2986.57	24.42
Tollocan	S153	49.27	0.09	82.48	0.81	22215.69	308.78	3698.14	24.40
Pedregal	S148	34.83	0.43	66.85	2.00	19426.32	191.19	3158.22	10.75
Ciervita	S150	36.74	0.20	61.68	1.31	20028.65	83.91	3327.54	38.69
La Pilita	S154	39.30	1.38	66.99	0.69	20434.72	152.35	3559.67	32.80
Ameyalco	S147	75.46	0.15	88.66	0.72	25712.98	37.51	4772.00	57.10
Cacalomacan	S158	41.20	0.54	82.82	1.45	24581.89	225.20	4492.68	60.88
Reforma	S152	44.24	1.18	79.55	1.44	19199.06	86.85	3946.12	26.86
Negrete	S155	44.58	1.18	80.85	1.61	23079.86	162.99	4341.13	22.96
Hípico	S139	48.08	0.37	69.13	1.39	22072.50	20.14	2854.70	32.66
San Miguel	S161	74.42	0.60	92.30	2.08	26134.22	208.72	4732.26	53.08
San Antonio	S156	73.53	1.81	70.90	1.86	20205.13	86.48	3699.47	42.41
San Diego	S149	54.74	0.74	146.82	1.85	33090.13	247.03	8136.99	38.47
Alameda	S151	44.33	0.37	70.47	1.66	21783.39	133.75	3898.73	59.34
Lomas Altas	S157	54.84	0.14	74.41	1.30	19358.45	237.81	3492.36	34.04

Tabla 3.3: Concentraciones de Cr, V, Fe y Ti; con su desviación, halladas en las muestras de suelos

El primer análisis realizado fue la existencia de diferencias significativas entre las concentraciones de los elementos en las distintas zonas de muestreo. Este estudio fue realizado por medio de un ANOVA; anterior a este estudio se probó la homogeneidad de las varianzas de los datos por medio de una prueba de Levene. Las tablas de ANOVA resultantes se muestran en el Anexo IV, así como las pruebas de rangos múltiples para encontrar los sitios de muestreo sin diferencia estadísticamente significativa. Los ANOVA's nos muestran que existen diferencias estadísticamente significativas en los sitios de muestreo. Dentro de los sitios sin diferencia significativa no es posible encontrar una clara tendencia ya que sitios con alto contenido de plomo tienen cantidades similares de V, Cr, Fe o Zn con sitios donde la concentración de plomo es pequeña. Ejemplo de ellos son la ausencia de diferencia entre Reforma con Lomas Altas y Pedregal en el caso del hierro, Cacalomacan con Reforma en el caso del zinc y Tollocan con Hípico en el caso del cromo. Por lo que es posible proponer solo una fuente de plomo distinta entre los suelos.

El siguiente estudio realizado fue el análisis multivariado de correlaciones entre los distintos elementos medidos en las muestras de suelo, la matriz de los coeficientes de Pearson se muestra a continuación.

	Cr	Cu	V	Pb	Fe	Ti	Zn
Cr	1.00						
Cu	0.25	1.00					
V	0.35	0.05	1.00				
Pb	-0.10	0.55*	-0.06	1.00			
Fe	0.38	0.03	0.93°	-0.11	1.00		
Ti	0.27	-0.07	0.96°	-0.07	0.89°	1.00	
Zn	0.11	0.84*	0.30	0.67*	0.28	0.19	1.00

Tabla 3.4: Matriz de coeficientes de correlación para los distintos elementos medidos en las muestras de suelos. Las probabilidades de no estar correlacionados (Valor -P) para 15 grados de libertad de los coeficientes 0.55(0.0288), 0.67(0.0048), 0.84(0.0000) se muestran entre paréntesis: *correlación positiva entre Pb, Zn, Cu. ° correlación positiva entre Fe, V, Ti.

Como podemos observar existen correlaciones fuertes entre Pb, Cu y Zn, estos tres elementos son relacionados a la contaminación por el tráfico vehicular, esto debido a las emisiones de gas propias de los vehículos y el inevitable desgaste de las piezas de los mismos, un ejemplo es la presencia de zinc y plomo en la llantas de los vehículos (Terry B et, al 2004) y el cobre como principal contaminante de las piezas metálicas, como el motor, que presentan desgaste con el uso, debido a la fricción entre estas. Mientras que los otros tres elementos correlacionados fuertemente Fe, Ti y V son de un origen común, litogénicos.

Debido al origen común que tienen estas dos triadas de elementos, no es raro que se encuentren fuertemente correlacionados los elementos de cada una de estas (visible por los altos valores en los coeficientes de correlación de Pearson) en muestras de suelos superficiales.

Del análisis anterior y la convincente explicación a las correlaciones existentes entre los dos grupos de elementos, el análisis de conglomerados entre elementos se obvió. Apoyado esto también por la diferencia tan grande que existe entre las concentraciones de metales traza y los metales de mayor abundancia, lo que ocasionaría que los elementos más abundantes (Fe y Ti) se agruparan rápidamente dejando pequeñas distancias entre elementos traza, aun y a pesar de provenir de fuentes distintas. En cambio se realizó un análisis de conglomerados entre los sitios de muestreo tomando como variables los tres elementos relacionados a la fuente de contaminación por tráfico vehicular (Pb, Cu y Zn) y, otro estudio de conglomerados teniendo como única variable la concentración de plomo, los gráficos de dispersión y los dendogramas arrojados de dichos análisis se muestran en el Anexo IV.

Es evidente que los sitios con las mayores concentraciones de plomo (Tollocan, Reforma y Alameda) se encuentran en conglomerados aislados en el estudio de plomo solo y en el estudio conjunto con Zn y Cu. El Resto de los sitios de muestreo se reparte aleatoriamente notando sólo la tendencia de agrupamiento de Ciervita con San Antonio y San Miguel y de Hípico con Santín. De la ubicación de estos sitios (Mapa de la ZMVT Figura 1) podemos notar que los tres primeros se encuentran en zonas con bajo tránsito de vehículos y cierta influencia agrícola, mientras que los últimos dos en zonas con tránsito de bajo a medio (parques urbanos), por lo que podemos decir que los resultados obtenidos son coherentes.

Los factores de enriquecimiento calculados para cada uno de los sitios de muestreo se muestran en el Anexo IV, La forma de calcular estos valores se muestra en la siguiente ecuación (W. Shotyk et. al 2000):

$$EF = \frac{Pb_m / M_m}{Pb_c / M_c}$$

Donde Pb_m es la concentración de plomo en la muestra, M_m la concentración de un metal de referencia en la muestra, Pb_c la concentración de plomo en la corteza terrestre y M_C la concentración del metal de referencia en la corteza terrestre. Es habitual que estos metales de referencia sean elementos abundantes, litogénicos y con una variabilidad mínima. Siguiendo con las convenciones el hierro y el titanio fueron seleccionados como metales de referencia. Dentro de los argumentos para descartar al hierro como metal de referencia se encontraba el hecho de que a pesar de ser de origen terrestre el hierro presenta un pequeño aporte antropogénico, lo que podía interferir en el resultado, mientras que el titanio presentaba el inconveniente de no estar presente en los valores certificados de todos los materiales de referencia utilizados para la certificación de los datos. De todo lo anterior se decidió hacer el cálculo con ambos metales obteniendo resultados muy cercanos. En la siguiente tabla, se muestran las categorías de contaminación según el valor del factor de enriquecimiento (H.A. Ghrefat, 2011).

Factor de Enriquecimiento (EF)	Grado de Enriquecimiento
EF < 1	No enriquecido
1 < EF < 3	Menormente enriquecido
3 < EF < 5	Enriquecimiento moderado
5 < EF < 10	Enriquecimiento de moderado a severo
10 < EF < 25	Enriquecimiento severo
25 < EF < 50	Enriquecimiento muy severo
EF > 50	Enriquecimiento extremadamente severo

Tabla 3.5: grados de enriquecimiento según el valor del factor de enriquecimiento (reportado por)

Para el cálculo del porcentaje de plomo antropogénico se utilizó la fórmula reportada W. Shotyk et. al., 2000. Donde las variables utilizadas son las mismas descritas para la ecuación anterior:

$$APb(\%) = \left(\frac{Pb_m - \left(\frac{Pb_c}{M_C} \right) M_m}{Pb_m} \right) \times 100$$

Los valores de las concentraciones de plomo en la corteza terrestre y de ambos metales de referencia son: 16mg/Kg para el plomo, 3.59% para el hierro y 0.38% para el titanio, estos reportados Jean- Marie Martin et al. en 1979.

Se decidió tomar como referencia el valor promedio reportado de las concentraciones de estos metales en la corteza terrestre, en lugar del valor de referencia de los suelos propios del lugar, para tener bases para comparar los niveles de concentración de metales pesados por acumulamiento natural (concentración del metal pesado en suelos de referencia de la zona) con el resto del mundo (concentración reportada por Jean- Marie Martin et. al. 1979).

Como era de esperarse, los sitios con mayor tránsito de vehículos y más expuestos a actividades humanas muestran los factores de enriquecimiento más grandes: Alameda EF de 4.8 y un porcentaje de plomo antropogénico de 77.2%, 3.7 y 72.7% para Tollocan y 3.0 como factor de enriquecimiento con 57.8% de plomo antropogénico para Reforma, los tres sin superar el grado de enriquecimiento moderado. Al ser el plomo uno de los principales indicadores de la actividad antropogénica es normal que los sitios donde hay un mayor tráfico vehicular y un gran desarrollo industrial posean los factores de enriquecimiento más grandes que el resto de los sitios.

El resto de los sitios poseen factores menores que la unidad, es decir sin enriquecimiento, y porcentajes de plomo antropogénico menor a cero, esto indica que tienen una cantidad de plomo en los límites inferiores a las variaciones propias de la concentración del metal en la corteza terrestre. La forma que se tiene para explicar esto es que las muestras son de suelos superficiales y de sitios donde el mayor aporte de plomo, la vía aérea, es poco accesible debido a obstáculos físicos como árboles o materia orgánica, previamente depositada en el suelo, con gran movilidad.

3.1.2 Análisis multielemental de musgos (MI, temporada fría y seca, invierno)

Antes de comenzar cualquier análisis estadístico a los datos obtenidos de las muestras de musgo, se buscó comprobar la confiabilidad de los datos. Mediante la digestión, de la misma forma que las muestras, de materiales de referencia certificados con matrices similares a las muestras (*Standar IAEA- 336 Lichen y Reference Material 1572*

Citrus Leaves) se pudo demostrar que los porcentajes de recuperación para los metales de interés son cercanos al 100% con errores relativos inferiores al 10% en la mayoría de los casos. Luego entonces se decidió no aplicar corrección alguna para los datos de concentraciones obtenidos en las muestras de musgos. Los resultados para estos estándares se encuentran en las Tablas II y III del Anexo III.

M1		Cu (mg/Kg)		Pb (mg/Kg)		Zn (mg/Kg)	
Nombre	Clave	x	s	x	S	X	S
Negrete	M29	19.23	0.25	45.75	0.61	86.03	0.54
Alameda	M32	49.13	0.88	143.88	2.40	168.59	1.54
Reforma	M34	52.14	1.11	116.23	0.50	173.63	3.69
Hípico	M30	32.53	0.77	23.39	0.54	152.85	0.60
La Pila	M31	29.07	0.98	34.48	1.07	154.94	0.81
Santin	M37	25.99	0.64	16.83	0.50	169.25	4.14
Tollocan	M38	68.99	0.94	65.50	0.39	324.71	2.58
Lomas Altas	M33	19.34	0.30	11.92	0.43	91.17	1.53
San Miguel	M36	28.15	0.68	29.00	0.20	109.32	1.12
San Antonio	M35	18.41	0.10	18.92	0.33	69.68	0.81
Cacalomacan	M39	12.66	0.34	9.49	0.99	72.66	0.61
Ciervita	M40	15.26	0.53	9.88	0.33	71.27	0.20

Tabla 3.6: Concentraciones de Cu, Pb y Zn; con sus desviaciones, halladas en las muestras de musgos de la temporada fría y húmeda (M1)

M1		Cr (mg/Kg)		V (mg/Kg)		Fe (mg/Kg)		Ti (mg/Kg)	
Nombre	Clave	x	S	X	S	X	s	x	S
Negrete	M29	22.05	0.09	40.65	0.50	9946.74	91.66	691.13	6.47
Alameda	M32	39.39	0.65	53.54	0.93	12320.08	85.17	716.49	5.35
Reforma	M34	33.54	0.64	50.78	1.25	7329.72	65.74	568.52	5.81
Hípico	M30	32.51	0.12	24.43	0.48	6645.34	96.87	541.77	7.77
La Pila	M31	20.13	0.29	36.29	0.69	8501.89	86.04	662.75	5.31
Santin	M37	21.00	0.48	36.91	0.95	8780.99	39.48	696.86	4.91
Tollocan	M38	39.64	0.41	79.37	0.47	9904.59	107.44	652.97	7.82
Lomas Altas	M33	10.55	0.17	20.20	0.65	3365.53	77.24	238.50	7.62
San Miguel	M36	19.70	0.24	34.92	1.01	8425.50	198.42	816.19	18.79
San Antonio	M35	12.34	0.16	22.73	0.41	4987.39	25.85	478.82	1.86
Cacalomacan	M39	11.68	0.09	17.55	0.57	5822.61	41.99	545.86	3.75
Ciervita	M40	9.80	0.07	13.41	0.35	3818.85	61.05	372.86	5.52

Tabla 3.7: Concentraciones de Cr, V, Fe y Ti; con sus desviaciones, halladas en las muestras de musgos de la temporada fría y húmeda (M1)

El análisis estadístico aplicado a las muestras de musgo comenzó con un ANOVA, con el fin de verificar si existían diferencias significativas entre las concentraciones de los elementos analizados para cada uno de los sitios de muestreo. La tabla de varianzas arrojada por el programa y la prueba de rangos múltiples se encuentran en el Anexo V. En el caso del muestreo uno (M1) realizado en el mes de noviembre de 2010 (invierno), en el cual el clima es frío y seco, se contaba con un número inferior de muestras que en el muestreo dos, los sitios de Acazulco, Ameyalco, San Diego y Pedregal sólo se analizaron durante el segundo muestreo (verano). El ANOVA muestra que existen diferencias significativas entre cada sitio de muestreo y para cada elemento; mostrando sólo una tendencia en dos elementos antes descritos como propios de la contaminación vehicular, las concentraciones de Zn y Pb no presentan diferencias significativas entre los sitios de Ciervita y Cacalomacan. Ambos sitios se encuentran dentro de la categoría de zonas naturales protegidas y se encuentran a una distancia considerable del tráfico vehicular.

Un análisis de correlaciones de Pearson muestra que existe una gran correlación entre la mayoría de los metales analizados, dejando con correlaciones positivas leves al Ti con Zn, Cu y Pb, elementos provenientes de distintas fuentes. El hecho de que el hierro presente una cierta correlación con Pb, Cu y Zn es que la concentración de éste en muestras ambientales tiene un pequeño aporte antropogénico. A continuación se muestra la matriz de coeficientes de Pearson obtenidos:

	Cr	Cu	V	Pb	Fe	Ti	Zn
Cr	1.00						
Cu	0.91	1.00					
V	0.84	0.92	1.00				
Pb	0.79	0.74	0.69	1.00			
Fe	0.75	0.59	0.76	0.67	1.00		
Ti	0.51	0.37*	0.55	0.38*	0.86	1.00	
Zn	0.81	0.92	0.89	0.47	0.56	0.38*	1.00

*Tabla 3.8: Matriz de coeficientes de Pearson para el análisis multielemental en el muestreo 1 de musgos (M1) * correlación leve, con una probabilidad superior al 10% de una correlación inexistente*

Un análisis de conglomerados realizado a este grupo de datos muestra una clara agrupación de los sitios con una mayor probabilidad de ser contaminados Alameda y Reforma se encuentran en un conglomerado y Tolloacan en otro aislado, esto posiblemente debido a las diferentes fuentes de contaminación, Alameda y Reforma se encuentran dentro

de la ciudad, un tráfico más abundante pero menos pesado, sólo vehículos pequeños transitan cerca de estos sitios; mientras que el caso de Tolloca es continuación de una carretera federal con un tráfico de vehículos grandes y principalmente usando diesel como combustible. Como era de esperarse los sitios Ciervita y Cacalomacan se encuentran en un mismo conglomerado, mostrando espectros similares en cuanto a las concentraciones de los metales en cuestión. El dendograma obtenido por el método del vecino más lejano, para cuatro conglomerados y midiendo las distancias euclidianas se muestra en el Anexo V.

Haciendo uso de las mismas fórmulas, utilizadas en el análisis de suelos, para el cálculo del factor de enriquecimiento y el porcentaje de plomo antropogénico se obtuvieron los valores para cada uno de los sitios de muestreo de musgos (Anexo V). De estos cálculos y comparando con el grado de enriquecimiento podemos ver que la mayoría de las muestras poseen grados superiores a un enriquecimiento moderado, llegando a niveles de enriquecimiento muy severo en el caso de sitios como Alameda y Reforma, incluso en sitios de bajos niveles de contaminación como Ciervita se presenta un enriquecimiento de moderado a severo. Esta situación no se observa en el análisis de suelos, hablando de una fuente de contaminación, extra a los suelos, de la que los musgos tienen un aporte significativo. La tabla que muestra los factores de enriquecimiento y porcentajes de plomo antropogénico se muestra en el Anexo V. Si observamos esta tabla es posible apreciar que el valor del porcentaje de plomo antropogénico calculado usando al hierro, como metal base, y al titanio tienen la misma tendencia y en la mayoría de los casos es superior al 80%.

3.1.3 Análisis multielemental de musgos (M2, temporada cálida y húmeda, verano)

De la misma forma que se trataron los datos obtenidos para el muestreo uno, se realizaron los análisis estadísticos para los datos del muestreo dos, obteniéndose resultados similares. Los cuales están reportados en las siguientes tablas.

M2		Cu (mg/Kg)		Pb (mg/Kg)		Zn (mg/Kg)	
Nombre	Clave	x	s	X	S	x	s
Negrete	M122b	19.53	0.40	40.53	0.38	94.36	1.28
Alameda	M125b	36.75	0.97	74.58	1.32	147.49	3.28
Reforma	M127b	50.31	0.14	99.93	1.77	156.27	2.32
Hípico	M123b	26.17	0.77	25.57	0.50	159.46	4.09
La Pila	M124b	34.45	0.95	29.73	1.10	164.57	4.78
Santin	M130b	29.29	0.44	19.80	0.24	209.62	2.58
Tollocan	M131b	70.44	0.88	69.15	0.91	305.87	3.71
Lomas Altas	M126b	21.19	0.76	14.30	0.43	90.97	0.56
Acazulco	M135b	16.01	0.18	12.89	0.29	76.72	0.66
Pedregal	M134b	19.38	0.20	41.50	0.75	135.22	1.33
San Miguel	M129b	39.95	0.88	45.59	0.48	159.39	5.17
San Antonio	M128b	21.29	1.52	20.68	0.34	71.65	1.91
Ameyalco	M136b	17.08	0.35	20.72	0.38	77.51	0.67
San Diego	M137b	17.13	0.46	18.25	0.10	73.03	0.70
Cacalomacan	M132b	14.07	0.58	9.47	0.50	66.20	0.69
Ciervita	M133b	14.41	0.36	10.78	0.30	67.27	0.65

Tabla 3.9: Concentraciones de Cu, Pb y Zn; con sus desviaciones, halladas en las muestra de musgos de la temporada cálida y húmeda (M2)

M2		Cr (mg/Kg)		V (mg/Kg)		Fe (mg/Kg)		Ti (mg/Kg)	
Nombre	Clave	x	S	x	S	X	S	x	S
Negrete	M122b	19.67	0.22	37.04	1.15	9743.64	304.43	749.06	22.11
Alameda	M125b	33.82	0.76	35.18	0.61	9858.47	153.01	623.48	8.22
Reforma	M127b	42.85	0.58	61.66	0.50	8854.09	130.41	659.92	6.51
Hípico	M123b	21.98	0.59	25.79	0.41	6880.31	179.64	583.14	14.72
La Pila	M124b	26.06	0.36	39.80	1.08	9459.93	141.90	716.21	8.89
Santin	M130b	19.28	0.20	40.53	0.19	8008.89	62.06	616.06	3.53
Tollocan	M131b	39.14	0.46	73.04	1.01	10525.47	49.59	676.43	3.08
Lomas Altas	M126b	17.24	0.15	25.91	0.67	4479.87	19.31	426.69	1.83
Acazulco	M135b	13.67	0.11	19.11	0.33	6601.16	3.26	666.13	0.98
Pedregal	M134b	15.85	0.13	21.21	0.39	4132.39	24.79	406.48	2.76
San Miguel	M129b	29.43	0.90	59.33	1.23	12045.24	57.52	837.70	1.62
San Antonio	M128b	14.30	0.31	26.33	1.40	6665.52	145.50	541.87	9.50
Ameyalco	M136b	9.50	0.10	24.43	0.71	4359.29	63.32	431.06	4.07
San Diego	M137b	12.17	0.14	32.83	0.86	5855.44	39.18	517.31	3.62
Cacalomacan	M132b	11.56	0.08	18.43	0.62	6439.42	65.10	585.15	5.84
Ciervita	M133b	12.27	0.08	20.06	0.71	5504.91	54.49	543.60	5.30

Tabla 3.10: Concentraciones de Cr, V, Fe yTi; con sus desviaciones, halladas en las muestra de musgos de la temporada cálida y húmeda (M2)

En el ANOVA para cada elemento entre sitios de muestreo no se nota ninguna tendencia, con la diferencia notoria con M1 que existe una mayor cantidad de sitios sin diferencias significativas, siendo esto una pequeña muestra de la presencia de una mayor contaminación en las muestras obtenidas en la temporada cálida y húmeda. Los resultados del análisis como tabla de varianzas y prueba de rangos múltiples se muestran en el Anexo V.

El análisis multivariante en correlaciones de Pearson muestra las mismas correlaciones y la falta de correlación entre los mismos elementos que en el muestreo 1 (Ti con Pb, Cu y Zn) aunque en este caso los valores de los coeficientes de Pearson son mayores a sus análogos en M1; respaldando la idea de que los sitios de muestreo presentan una mayor concentración en la estación cálida y húmeda (verano).

	Cr	Cu	V	Pb	Fe	Ti	Zn
Cr	1.00						
Cu	0.92	1.00					
V	0.86	0.93	1.00				
Pb	0.91	0.78	0.74	1.00			
Fe	0.75	0.70	0.78	0.59	1.00		
Ti	0.55	0.48°	0.61	0.37°	0.92	1.00	
Zn	0.74	0.88	0.78	0.56	0.59	0.39°	1.00

Tabla 3.11: matriz de coeficientes de correlación entre elementos para los sitios del muestreo dos de musgos ° bajo nivel de correlación

El análisis de conglomerados, para 6 conglomerados muestra similitudes con los resultados obtenidos para el mismo análisis en M1, los sitios Alamenda y Reforma forman un solo conglomerado y Tollocan se encuentra en otro conglomerado aislado de los demás, mientras que los sitios con bajo nivel de contaminación (Ciervita y Cacalomacan) se encuentran dentro del mismo grupo. Los factores de enriquecimiento muestran que, en general, existe una mayor concentración de metales en el muestreo dos, pero a pesar de mostrar como máximo un enriquecimiento muy severo, el número de sitios que alcanza este grado de contaminación es menor que en el muestreo uno. Los valores del factor de enriquecimiento y porcentaje de plomo antropogénico se encuentran en el Anexo VI.

3.1.4 Análisis comparativo entre muestreos de musgo (M1 vs M2)

Con la intención de probar la idea de que existe mayor concentración en alguna de las dos temporadas de muestreo se realizó una prueba t (comparación entre dos medias muestrales) para asegurar la diferencia significativa entre M1 y M2, para ello se programó un archivo Excel. En este se prueba la homocedasticidad de los datos de cada sitio para los dos muestreos y, en base al resultado, elegir el valor T y los grados de libertad para realizar la prueba entre las dos medias muestrales. La primera prueba consistió en mostrar que no había diferencias significativas entre los muestreos para cada sitio, en el segundo caso era probar que la cantidad de cada elemento era mayor en M2 que en M1, si no cumplía con ninguna de los dos pruebas anteriores era evidente que el muestreo 1 era mayor en concentración. Las pruebas realizadas se presentan en el Anexo VII. Los resultados muestran que en la mayoría de los casos las muestras de M2 es superior en concentración al muestreo uno. También es muy evidente que en el sitio de Cacalomacan en la mayoría de los elementos no presenta diferencia significativa entre los dos muestreos. Analizando con detalle los resultados salta a la vista que los sitios con mayor índice de contaminación (parques urbanos) se encuentran dentro del grupo de sitios en los que las concentraciones de los metales analizados son superiores en M1 que en M2, haciendo evidente que el clima y las condiciones atmosféricas son factores predominantes en las fuentes de contaminación en estos sitios.

3.1.5 Análisis comparativo entres suelos y musgos de los mismos sitios de muestreo.

Para tener una primera apreciación de cómo varían las concentraciones de los metales analizados entre las muestras de musgos y suelos, se propuso el análisis de correlaciones tomando a las concentraciones del metal a probar en suelos y musgos como distintos tratamientos, de esta forma obtener información de si la concentración varia de la misma forma en suelos y musgos en función del sitio de muestreo. Este análisis se aplicó para suelos contra M1 de musgos y suelos contra M2 de musgos, a continuación se presenta el resumen de coeficientes de Pearson obtenidos para cada uno de los siete elementos analizados en cada muestreo.

Elemento	Suelos vs M1	Suelos vs M2
Cr	-0.18	-0.23
Cu	0.62*	0.54*
V	0.26	0.05
Pb	0.85*	0.73*
Fe	0.18	0.02
Ti	0.39	0.002
Zn	0.85*	0.62*

*Tabla 3.12: Resumen de las 7 matrices (una por cada elemento analizado) de coeficientes de correlación de Pearson provenientes de las comparaciones de los 12 sitios de muestreo para M1 y 16 para M2 con sus análogos en suelos. *Valores con menor probabilidad de no estar correlacionados*

Dentro de la Tabla 3.12 se muestran los valores de correlación más altos, marcados con un asterisco, que coinciden, en ambos muestreos de musgos, con los metales Cu, Pb y Zn descritos anteriormente como propios de la contaminación por tráfico vehicular. También es evidente que los valores para los coeficientes de correlación entre suelos y musgos en general son más altos para M1 que para los calculados entre suelos y M2, proponiendo que suelos y musgos no comparten la misma fuente o vía de contaminación.

Un estudio similar al aplicado a los dos muestreos de musgos, con el afán de corroborar un índice de contaminación distinto entre las dos temporadas de muestreo, fue aplicado a las muestras de suelos y musgos que coincidían en estaciones de muestreo. Este análisis se realizó entre las muestras de suelo y cada uno de los muestreos de musgos, las tablas de resultados se muestran en el Anexo VIII. Como es posible apreciar las concentraciones de metales pesados litogénicos (Fe, Ti, Cr y V) son mayores en suelos que en musgos, mientras que en el caso de los antropogénicos (Cu, Zn y Pb) tienen mayor presencia en los musgos debido a la gran influencia del tráfico en las muestras.

3.1.6 Análisis multielemental para muestras de polvo

Dada la semejanza entre las matrices de polvo y suelos se decidió utilizar un estándar de suelos para corroborar la calidad de los datos obtenidos de las muestras de polvo. Como antecedente al estudio de los datos obtenidos para el estándar de suelos

mediante el tratamiento de muestra utilizado en el análisis de polvo se seleccionó por su practicidad en la medición de relaciones isotópicas de plomo, ya que no se utilizaba ácido fluorhídrico y a pesar de no lograr una digestión, sólo una lixiviación, se obtienen buenos resultados para un análisis isotópico (C.L. Sudgen et. al. 1993). Por lo que se esperaba que las concentraciones obtenidas para el estándar fueran menores a las reportadas, los resultados se muestran a continuación y en el Anexo III:

Elemento	Valores reportados		Valores obtenidos	
	Valor recomendado (mg/Kg)	Intervalo de confianza (mg/Kg)	Valor promedio (mg/Kg)	Desviación estándar (mg/Kg)
Cr	60	49-74	29.96	0.12
Cu	11	9-13	0.23	0.08
V	66	59-73	38.92	1.34
Pb	60	55-71	43.66	0.17
Fe	25700	25200-26300	18279	46.56
Ti	3000	2600-3700	191.62	2.42
Zn	104	101-113	80.766	2.02

Tabla 3.13: Concentraciones reportadas y obtenidas para el estándar Reference Material IAEA- Soil- 7

Es muy evidente que los valores obtenidos son muy inferiores a los reportados, debido en gran parte a que en el tratamiento de la muestra no se llegó a una completa digestión y por ello no fue posible tener en solución el 100% de los metales presentes. Si observamos el Pb es uno de los elementos que posee el valor más cercano al reportado siendo una de las razones por las que el tratamiento da buenos resultados para el análisis isotópico. Otra razón es que al haber un error sistemático en la extracción, éste se encuentra presente en la misma proporción para cada isótopo de plomo y al trabajar con los cocientes de las abundancias de los isótopos el cociente de ambos errores es 1, manteniendo constante el valor de la relación sin importar que el porcentaje de recuperación sea 100% o 60%.

Por lo anterior y en vista de los malos resultados obtenidos para el análisis multielemental en las muestras de polvo se decidió no hacer conclusiones basadas en estos datos, por lo que el análisis de estas muestras se restringe solamente a las relaciones isotópicas de plomo, con las reservas del caso.

3.1.7 Análisis multielemental a posibles fuentes de contaminación

Se estudiaron distintas posibles fuentes de contaminación entre ellas gasolina y diesel como posibles fuentes de contaminación del tráfico vehicular, agua potable como una referencia de la concentración de metales en el ambiente que rodea a la zona, un trozo de plomo industrial como ejemplo más cercano a la contaminación proveniente del sector de producción y maquila de piezas metálicas, carbón en representación de la contaminación proveniente de carboeléctricas o la quema de cualquier otro combustible fósil. Como referencia se utilizó un estándar del NIST para la certificación de las relaciones isotópicas de plomo. Como era de esperarse todas estas muestras poseen concentraciones usuales de los elementos analizados, en la mayoría de los casos la concentración de estos se encuentra por debajo del límite de detección del equipo.

3.2 Análisis isotópico

El análisis isotópico se llevó a cabo en un equipo de ICP-MS con cuadrupolo, cuya principal función es una separación más eficiente de los iones según su relación carga masa. Existen dos parámetros a optimizar en este equipo, el primero es el tiempo muerto del equipo, el análisis requerido para la optimización de este equipo fue saltado y tomado según lo reportado por Rodríguez (2010) en la tesis doctoral titulada “Distribución espacial de metales pesados en suelos superficiales de la ciudad de México, uso de relaciones isotópicas de Pb como trazadores de fuentes de contaminación en zonas urbanas”. El segundo parámetro es el efecto de discriminación de masa del equipo, que se puede corregir mediante el parámetro “mass bias” (a) este fue calculado mediante el análisis y comparación de una solución de Pb NIST SRM 981 mediante la siguiente fórmula reportada por Jarvis et. al. (1992) y Price-Russ III et. al. (1987):

$$R_e = R_v * (1 + an)$$

Donde R_v es la relación isotópica verdadera (este valor se encuentra reportado en el certificado del estándar “NIST SRM 981 common Lead”) R_e es la relación isotópica

obtenida experimentalmente, “a” el parámetro “mass bias” y n la diferencia de masas entre los dos isótopos presentes en la relación. Los valores reportados y los experimentales para las relaciones $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (son las relaciones reportadas oficialmente en el certificado) se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Isótopos relacionados	Valores reportados por el NIST		Valores experimentales	
	Valor	Desviación	Valor	Desviación
$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	0.059042	0.000037	0.05733	0.00102
$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	0.91464	0.00033	0.91616	0.00276
$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2.1681	0.008	2.15819	0.02658

Tabla 3.14: Relaciones isotópicas reportadas para el estándar NIST SRM 981 y sus análogos obtenidos experimentalmente.

Del despeje del parámetro “a” de la fórmula anterior tenemos:

$$a = \frac{R_e - R_v}{nR_v}$$

Un método abreviado fue propuesto por Yip et. al (2008) proponiendo un nuevo parámetro K que incluía al parámetro mass bias y la diferencia entre masas de los isótopos de la relación a corregir:

$$K = \frac{R_v}{R_e} = \frac{1}{(1 + an)}$$

Los valores obtenidos para el parámetro “a” y el método resumido por medio del cálculo de K se muestran en la siguiente tabla:

	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
a	-0.01212	0.00166	-0.0229
K	1.02484	0.99834	1.00459

Tabla 3.15: Corrección del efecto de discriminación de masa, parámetro mass bias (a) y método abreviado (K)

Debido a que los valores para el parámetro K son muy cercanos a la unidad se decidió no aplicar corrección a las relaciones obtenidas para las muestras y extrapolar esta corrección a cualquier relación isotópica obtenida en el mismo equipo. A pesar de ser estas tres relaciones isotópicas las reportadas en el certificado de estándar del NIST las más utilizadas en la literatura son: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Soto Jiménez et. al 2006, T. Martínez et. al 2004, C.L. Sugden et. al 1993, Fabrice Monna et. al 1997, W. Shotyk et. al 2000, etc)

La única interferencia de masa que podría existir en los datos obtenidos es la provista por el isótopo de masa 204 de mercurio, debido a las bajas concentraciones de este elemento y la baja abundancia del isótopo interferente (6.87%) se decidió no aplicar corrección alguna por esta interferencia.

El equipo de ICP-MS arroja datos de abundancias de los distintos isótopos de plomo seleccionados (^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb en este caso). Para el cálculo de las relaciones isotópicas se hizo uso de una programación en una hoja de Excel. De igual forma en una sencilla programación en Excel se calculó la incertidumbre asociada al cociente con el uso de la fórmula de incertidumbre extendida.

$$S = \left(\frac{I_1}{I_2}\right) \sqrt{\left(\frac{S_1}{I_1}\right)^2 + \left(\frac{S_2}{I_2}\right)^2}$$

Donde I_1 es la abundancia arrojada por el equipo para el isótopo 1, I_2 es la abundancia del Isótopo 2, S_1 es la desviación, arrojada por el equipo para tres medidas realizadas por éste, de la abundancia del isótopo 1, S_2 es la desviación de la abundancia del isótopo 2, S la desviación asociada a la relación isotópica que involucra a los isótopos 1 y 2.

En cada una de las relaciones calculadas se asocia una desviación que se obtuvo de la manera antes descrita. En algunos casos, donde se cuenta con más de una muestra del mismo tipo o se decide hacer una agrupación de muestras similares, se calcula la desviación estándar del grupo de valores calculados.

3.2.1 Análisis isotópico de las posibles fuentes de contaminación

Antes de comenzar con el estudio isotópico de las muestras ambientales, se define y especifica el grupo de contaminantes que serán utilizados como referencia y la comparación con las muestras para hallar, entre ellos, las posibles fuentes de contaminación de cada una de las muestras analizadas. Este grupo consta de 3 tipos de contaminantes o referentes: los combustibles, agua potable y granulados de plomo. Los combustibles entre los que se destacan los fósiles (gasolinas y diesel) y los no fósiles (carbón); haciendo referencia a la

contaminación por el tráfico vehicular, en el caso de los primeros y, usando al carbón como referencia a la contaminación proveniente de algunas actividades rurales (fogatas u hornos caseros) o de algunas industrias que utilizan carbón como combustible para generación de calor, tal es el caso de algunas fundidoras. El agua potable fue utilizada como referente del plomo presente en el ambiente de forma natural, proveniente de actividades meramente naturales sin aporte antropogénico. El granulado de plomo se utilizó como referente más cercano a la contaminación de plomo proveniente de la actividad industrial.

Este grupo de contaminantes, después de haber sido caracterizados isotópicamente, se compararon con el grupo de muestras ambientales (musgos, suelos, polvo y aerosoles) para encontrar la fuente de contaminación principal en cada una de ellas por medio de análisis estadísticos tales como: ANOVAS y análisis de conglomerados; y análisis matemáticos como: combinaciones lineales de las fuentes de contaminación más cercanas en valores a las muestra ambientales. En el resto del capítulo se muestran los argumentos que apoyan las conclusiones de este trabajo.

Gasolinas

El análisis fue aplicado a un grupo de gasolinas y diésel provenientes de la ZMVT y ZMVM (Zona Metropolitana del Valle de México). El análisis multielemental reveló que la cantidad de plomo presente en las distintas muestras de Gasolina Magna, Gasolina Premium, (ZMVT y ZMVM) y diesel (ZMVT) era inferior a los límites de detección del equipo de ICP-OES. Los resultados obtenidos por el equipo de ICP-MS fueron analizados de la forma descrita a continuación. Debido a que la cantidad de plomo presente en los combustibles fósiles era muy pequeña y la intención del estudio era la revisión de las relaciones isotópicas de las muestras, el blanco no fue descontando a la abundancia de cada isótopo, para evitar el hecho de atribuir una relación isotópica proveniente del plomo en el blanco, a una relación propia del combustible, se hicieron pruebas t (comparación entre dos medias muestrales) para cada una de las relaciones isotópicas con las que se trabajó durante el estudio dando como resultado general que existe una diferencia significativa entre las relaciones isotópicas de plomo presente en el blanco y las obtenidas para los combustibles.

Por lo que podemos asegurar que la relación reportada para cada grupo de gasolina o diesel corresponde al plomo presente en cada combustible.

Un estudio similar, incluyendo un ANOVA, se realizó al grupo de datos correspondiente a los combustibles (ahora sin incluir el blanco). De los resultados aquí obtenidos, entre ellos la ausencia de diferencias significativas entre las gasolinas y la repetida presencia de estas diferencias entre los valores de gasolinas y diesel, se decidió trabajar con un solo valor para el caso de las gasolinas, un promedio de las relaciones para las gasolinas Premium y Magna provenientes del D.F. y la ZMVT, y un valor para el diesel. Logrando con esto establecer una diferencia entre dos tipos de vialidades: un tráfico ligero de autos pequeños y un tráfico pesado de camiones de transporte y tráileres. Los valores obtenidos, y utilizados en este trabajo, se reportan en las Tablas 3.15 y 3.16:

La desviación reportada en las Tablas 3.15 y 3.16, para los valores medidos de las relaciones en gasolinas se calculó a partir de la desviación estándar entre las muestras de gasolinas agrupadas, según lo antes mencionado, (Premium y Magna de la ZMVT y ZMVM.). Mientras que la desviación reportada para el diesel se calculó de la forma descrita al inicio del apartado.

Carbón

El análisis de carbón se llevó a cabo en dos muestras distintas, una de ellas originaria de la ZMVT y una segunda de carbón comercial distribuida en supermercados del D.F. y algunos otros estados de la República. Ambas muestras fueron tratadas de la misma manera. Las relaciones isotópicas calculadas y los errores asociados para cada relación se muestran en las Tablas 3.15 y 3.16.

Después de una prueba t para contrastar las dos medias muestrales, resultó que no existía diferencia significativa entre las muestras de carbón, por lo que se decidió tomar un solo valor para las dos muestras de carbón analizadas. La desviación entre estas dos muestras se usó como la incertidumbre propia de cada una de las relaciones isotópicas reportadas para el carbón.

Agua potable

Del conjunto de muestras de agua potable analizadas ninguna presentó diferencias estadísticamente significativas entre los valores de relaciones isotópicas, resultado de una prueba t entre dos medias muestrales.

De acuerdo a lo descrito en el capítulo de materiales y métodos se probó un blanco de reactivos e incluso se obtuvo el espectro de masas para una muestra de agua desionizada, justo la misma con la que se prepararon el resto de las muestras. El conjunto completo de datos de agua que comprenden: las muestras tratadas de agua del grifo de dos sitios de muestreo, el blanco de reactivos para el tratamiento de éstas y la muestra de agua desionizada utilizada en los tratamientos químicos; se sometió a un ANOVA y reveló que no existían diferencias significativas entre estos valores. Por lo que se decidió tomar un solo valor para cada relación isotópica reportada para el agua potable, como referente del plomo natural de la zona. La desviación reportada en las Tablas 3.15 y 3.16 se obtuvo como la desviación estándar del conjunto de muestras de agua.

Granulados de plomo

El granulado de plomo fue tomado como un referente del plomo industrial, éste plomo granulado tiene forma de pequeñas esferas de distintos diámetros, esto debido a que facilita la fundición y ahorra energía. Al no tener otra fuente de plomo industrial para hacer comparación, los valores de las relaciones isotópicas para plomo proveniente de la industria fueron tomados como los obtenidos del digerido de estas esferas de plomo.

En las siguientes dos tablas se muestran los resultados obtenidos para las seis posibles combinaciones en relaciones isotópicas provenientes de la medición de la abundancia de los cuatro isótopos principales de plomo.

Fuente de Pb	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$	
	Valor	\pm	Valor	\pm	Valor	\pm
Gasolina	18.037	1.375	1.204	0.004	0.491	0.01
Diesel	16.097	1.176	1.202	0.001	0.484	0.004
Carbón	20.479	0.102	1.186	0.016	0.480	0.004
Agua	19.342	0.404	1.216	0.001	0.488	0.002
Granulado	18.876	0.032	1.190	0.000	0.487	0.000

Tabla 3.16: Relaciones Isotópicas ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$) para las posibles de contaminación, las relaciones para gasolina, carbón y agua potable son promedios de un grupo de muestras, por la ausencia de diferencias significativas entre los miembros de estos grupos, mientras que el diesel y el granulado de plomo son valores de una sola muestra digerida por triplicado y corrido tres veces.

Fuente de Pb	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$	
	Valor	\pm	Valor	\pm	Valor	\pm
Gasolina	14.981	1.142	36.714	2.349	0.408	0.008
Diesel	13.387	0.979	33.282	2.432	0.402	0.0004
Carbón	17.261	0.147	42.700	0.551	0.404	0.009
Agua	15.903	0.315	39.623	0.939	0.402	0.002
Granulado	15.864	0.027	38.791	0.065	0.409	0.000

Tabla 3.17: Relaciones Isotópicas ($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$) para las posibles de contaminación, las relaciones para gasolina, carbón y agua potable son promedios de un grupo de muestras, por la ausencia de diferencias significativas entre los miembros de estos grupos, mientras que el diesel y el granulado de plomo son valores de una sola muestra digerida por triplicado y corrido tres veces.

En la siguiente tabla se muestra una comparación de las relaciones isotópicas, para el grupo de contaminantes propuestos, de valores obtenidos en el presente trabajo y otros reportados por diversos autores en el resto del mundo. La simple comparación visual hace evidente una diferencia importante en la relación $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ de los combustibles mexicanos y los de los ejemplos Europeos, en cambio la relación $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ no presenta diferencias importantes en todo el conjunto de muestras. Otra relación que presenta una gran variabilidad es el cociente $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, esta valor es muy distinto entre cada uno de los tipos de contaminantes e incluso dentro de las muestras del mismo contaminante pero de distintas partes del mundo. El resto de relaciones isotópicas presentan las mismas tendencias.

Fuente de Pb	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$	
	Valor	±	Valor	±	Valor	±	Valor	±	Valor	±	Valor	±
Gasolina ¹	18.037	1.375	1.204	0.004	0.491	0.01	14.981	1.142	36.714	2.349	0.408	0.008
Diesel ¹	16.097	1.176	1.202	0.001	0.484	0.004	13.387	0.979	33.282	2.432	0.402	0.0004
NIST 1636a ²	NR	NR	1.223	0.0035	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
G. Mexicanas ³	NR	1.200	0.003	NR	0.406	0.004	NR	NR	NR	NR	NR	NR
G. Escocesas ⁴	NR	NR	1.082	0.024	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
G. Francesas ⁵	16.830	NR	1.084	NR	0.458	NR	NR	NR	36.710	NR	NR	NR
G. Reino Unido ⁵	16.600	NR	1.067	NR	0.456	NR	NR	NR	36.480	NR	NR	NR
G. Magna ⁶	18.037	0.001	1.144	0.001	NR	NR	15.761	0.0014	36.884	0.002	NR	NR
G. Premium ⁶	17.938	0.062	1.135	0.073	NR	NR	15.797	0.059	36.996	0.132	NR	NR
G. Extra ⁷	18.731	0.09	1.204	0.0016	0.488	0.0033	NR	NR	NR	NR	NR	NR
G. Nova ⁷	18.698	0.003	1.202	0.0008	0.487	0.0013	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Carbón ¹	20.479	0.102	1.186	0.016	0.480	0.004	17.261	0.147	42.700	0.551	0.404	0.009
C. Perú ⁸	18.929	0.100	1.206	0.0053	0.486	0.0007	15.696	0.016	38.944	0.181	NR	NR
C. Norte América ⁸	18.864	0.163	1.204	0.0096	0.487	0.004	15.663	0.016	38.686	0.126	NR	NR
C. Escoses ⁴	NR	NR	1.185	0.002	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Agua ¹	19.342	0.404	1.216	0.001	0.488	0.002	15.903	0.315	39.623	0.939	0.402	0.002
A. Mexicana ⁶	17.964	0.002	1.161	0.0038	NR	NR	15.473	0.002	39.562	0.008	NR	NR
A. Escoces ⁴	NR	NR	1.153	0.026	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Granulado ¹	18.876	0.032	1.190	0.000	0.487	0.000	15.864	0.027	38.791	0.065	0.409	0.000
G. Mexicano ⁶	17.137	0.007	1.071	0.008	0.425	0.018	16.001	0.006	40.318	0.017	NR	NR

Tabla 3.18: Comparación entre fuentes de contaminación mexicanas y otras partes del mundo. NR: no reportado¹ mediciones hechas en el presente trabajo, ² Carles J. Lord III 1994, ³ Martín F. Soto-Jiménez et. al. 2006, ⁴ C.L. Sugden et. al. 1993, ⁵ Fabrice Monna et. al. 1997, ⁶ T. Martínez et. al. 2004, ⁷ Sergio A. Sañudo-Wilhelmy et. al 1994, ⁸ Díaz Somoano M. et. al. 2007

3.2.2 Análisis isotópico a las muestras ambientales

Al conjunto de datos isotópicos de las muestras ambientales se les realizan estudios estadísticos a cada tipo de muestra en particular y posteriormente se expondrá un análisis conjunto entre las muestras más relacionadas, suelos y musgos, para posteriormente hacer la comparación de éstas con las cinco fuentes de contaminación seleccionadas. El estudio de las muestras se centra en seis relaciones isotópicas posibles entre los cuatro isótopos de plomo analizados: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$.

3.2.2.1 Análisis isotópico, diferencias significativas

Suelos

El primer estudio realizado fue un ANOVA para cada una de las relaciones isotópicas antes mencionadas. Una prueba de rangos múltiples, los gráficos de medias y análisis de medias así como la tabla de varianzas arrojados por el programa se encuentran en el Anexo IX. Es evidente que existen diferencias significativas entre la mayoría de los sitios de muestreo, notando que no había diferencia significativa entre los valores del cociente $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ para Alameda y Cacalomacan, fenómeno que no se esperaba. De la misma forma los valores para $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ y $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ no presentan diferencia significativa para los sitios Cacalomacan y Reforma; siendo esto un factor a analizar dada la gran diferencia entre los valores de concentración de plomo en estos sitios. Recordando el análisis de conglomerados realizado a las muestras de musgos y suelos en su etapa multielemental los sitios de Alameda y Reforma se agrupaban en ambos muestreos, indicando como posible fuente en común el plomo natural, al poseer relaciones isotópicas tan parecidas a una zona con bajo aporte antropogénico (Cacalomacan).

Musgos (M1)

A pesar de mostrar más similitudes entre relaciones isotópicas dentro de sitios con las mayores concentraciones de plomo, la inexistencia de diferencias significativas entre los valores de $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ entre los sitios de Cacalomacan y Tollocan proponen

una misma fuente de contaminación en esta época del año (invierno). La tendencia más evidente es que para los sitios de Negrete y Santin, ambos parques urbanos, las diferencias significativas son nulas en la mayoría de las relaciones isotópicas. Estas deducciones están basadas en los análisis reportados en el Anexo X.

Musgos (M2)

En este muestreo la tendencia a poseer relaciones isotópicas sin diferencias significativas entre sitios con niveles de contaminación similares (Reforma, Alameda y Tollocan entre los más contaminados; Cacalomacán, San Diego y Ciervita como los menos contaminados) comienza a ser evidente, proponiendo que el poco viento y las precipitaciones propias de la temporada homogeneicen las fuentes de contaminación impidiendo la mezcla y dispersión de las mismas. El análisis del que se derivan estas conclusiones se encuentra en el Anexo XI

Pruebas entre muestreos de musgos y suelos

Se probó si los valores, para cada relación isotópica, eran significativamente diferentes entre muestreos de musgos y muestras de suelo del mismo sitio (la tabla resultante se encuentra reportada en los Anexos XII y XIII). Existe una mayor cantidad de diferencias significativas entre muestras de suelos y musgos de la temporada fría y seca (M1), que entre suelos y musgos de la temporada cálida y húmeda (M2). Siendo Lomas Altas (área natural protegida) la que presentó un mayor número de relaciones isotópicas sin diferencia significativa. Dando bases para afirmar que en este sitio es donde se encuentra el menor aporte antropogénico

Materia particulada depositada (polvo)

Este estudio mostró que todas las muestras poseen relaciones isotópicas distintas, fácilmente explicable por los diferentes fenómenos que ocurren en estas zonas, desde corrientes de viento, el paso de vehículos y el tránsito peatonal. Todo esto provoca que la

mezcla de partículas sea distinta para cada zona a pesar de estar a unos pocos metros de distancia (Anexo XIV).

Aerosoles

Al ser poca variedad de muestras analizadas no es posible encontrar tendencias claras. Lo que es muy notorio es que la estación Centro de fecha febrero 5, 2011 guarda una estrecha relación con la estación Aeropuerto de fecha febrero 15, 2011. Mientras que la estación de San Mateo de fecha febrero 21, 2011 presenta pocas diferencias significativas con la estación Metepec de fecha febrero 11, 2011 (Anexo XV). Dando una pequeña evidencia de la relación existente entre el plomo en el ambiente y las condiciones climáticas.

3.2.2.2 Análisis isotópico, conglomerados

Un análisis de conglomerados se realizó para cada grupo de muestras ambientales, adicionando los datos de las cinco posibles fuentes de contaminación a cada estudio, con el fin de averiguar a qué fuente de contaminación se acercaba más el valor de cada muestra. Este estudio se realizó para cada uno de los cinco tipos de muestras (Musgos M1 y M2, suelos, polvo y aerosoles) en cada una de las 15 combinaciones posibles entre dos relaciones isotópicas y un análisis global. Los gráficos de dispersión y los dendogramas se encuentran en el Anexo XVI.

Para el caso de los resultados arrojados para las muestras de suelos es muy clara la agrupación repetida de los sitios de Cacalomacán con Reforma y de Ciervita con Tollocan. Estos dos casos de agrupación sorprenden por la gran diferencia en concentraciones de plomo reportadas para estos cuatro sitios, además de la disparidad de influencias para cada uno. Los sitios de Ciervita y Tollocan suelen presentar mayor agrupamiento con el Plomo industrial, mientras que los sitios de Reforma y Cacalomacán presentan agrupamientos variados presentado una leve tendencia a agruparse con la muestra de agua potable. Para el resto de las muestras la agrupación entre los parques urbanos (Negrete, La Pila, Santin y Alameda) es común, de igual forma las zonas de transición (San Miguel, Pedregal, San

Antonio, Ameyalco y Acazulco). Las zonas naturales protegidas (Lomas Altas, Ciervita; Cacalomacan y San Diego) presentan esporádicas agrupaciones entre ellas.

En el muestreo uno para musgos (M1) se presenta la agrupación de la mayoría de los sitios de muestreo en el mismo conglomerado que el plomo industrial y el agua potable, dejando fuera a las otras tres posibles fuentes de contaminación, con la eventual agrupación de los parques urbanos (Negrete, Hípico, La pila, Reforma y Alameda), con excepción de Tollocan que suele agruparse con el resto de las muestras en especial con los sitios de Cacalomacan y Santin. Otro evento a distinguir es la inusual separación del sitio Lomas Altas en un conglomerado aislado y eventualmente agrupado con la muestra de gasolina. En cuanto a las zonas de transición no se observa un patrón repetitivo, se encuentran agrupadas con zonas urbanas y áreas naturales protegidas de forma aleatoria. En este análisis se observa claramente que la participación de diesel y carbón es mínima en contaminación de estas muestras ya que la muestra de gasolina suele agruparse al plomo industrial.

En el caso de M2 la agrupación de los tres sitios con mayores concentraciones de plomo (Alameda, Tollocan y Reforma) es un poco más evidente, aunque el sitio de Tollocan suele separarse del grupo. Este resultado concuerda con la agrupación de Alameda con Reforma y Tollocan aislado en el análisis multielemental en M2. Es importante resaltar que los sitios de Ciervita y San Miguel suelen agruparse en conglomerados aislados. En el análisis realizado a M2, el conglomerado de muestras donde se encuentra la muestra de plomo industrial es más grande en número de miembros que su análogo en M1. Recordando el análisis multielemental (Anexo VI) se hizo una comparación entre las concentraciones de plomo en las muestras de M1 y M2, en este análisis los sitios de Negrete, Alameda, Reforma y La Pila presentaron una mayor cantidad de plomo en M1 que en M2, haciendo una comparación con el estudio isotópico encontramos que no existía una tendencia importante entre estos sitios, con la excepción de que la agrupación de Reforma con Alameda es más usual en M2 (verano) que en M1 (invierno).

En el estudio de materia particulada depositada, polvo, no hay duda de que la asociación entre la muestra recolectada en Alameda, en la azotea del templo de nuestra Señora del Carmen y en el camellón del paseo Tollocan se encuentra presente en un gran número de análisis y usualmente ligados a la muestra de plomo industrial, Mientras que el

resto de los sitios de muestreo (Reforma, el paso peatonal y la parada de autobuses del paseo Tollocan) guardan estrecha relación con la muestra de agua potable. Es fácilmente deducible que en los sitios donde haya menos movimiento, como es el caso de los primeros tres sitios, el depósito puede permanecer inmóvil por más tiempo, mientras que en el paso peatonal y la parada de autobús el ajetreo propio del lugar hace que las partículas depositadas estén en constante cambio.

Mientras que para la mayoría de las muestras las agrupaciones principales se encontraban con la muestra de plomo industrial y agua potable, en el caso del análisis a las muestras de aerosoles una agrupación importante con la muestra de gasolina salta a la vista. Las zonas de monitoreo de Aeropuerto, Oxtotitlan y Ceboruco son de las que se encuentran más comúnmente asociadas con la muestra de gasolina. Muchos autores reportan estrechas correlaciones de aerosoles con gasolinas, y en este caso no es la excepción.

3.2.2.3 Estudio de distancias

A pesar de que estos análisis de conglomerados nos muestran tendencias importantes entre los sitios de muestreo, con respecto a las posibles fuentes de contaminación, la naturaleza propia del estudio hace que la información arrojada por éste no sea determinante para elegir cuál es la principal fuente de contaminación para cada muestra en particular, ya que por sí mismo el análisis de conglomerados compara el baricentro de un grupo de muestras con cada muestra nueva, sin poder hacer distinción entre muestras ambientales y contaminantes. De esta forma tenemos información de un grupo de muestras pero no de cada muestra individual. Para poder tener información acerca de cuál es la principal fuente de contaminación para cada una de las muestra se hizo un estudio basado en las distancias euclidianas que se presentan al hacer la gráfica entre dos relaciones isotópicas. En este estudio se propone hallar el contaminante más cercano a cada muestra para cada una de las 15 combinaciones posibles entre dos de las 6 relaciones isotópicas estudiadas. Para ello se hizo uso de una programación en Excel bajo la siguiente fórmula:

$$D = \sqrt{(A_1 - B_1)^2 + (A_2 - B_2)^2}$$

Donde A_1 es la primera relación isotópica en el contaminante, B_1 es la misma relación isotópica pero presente en la muestra. A_2 es la segunda relación isotópica en el contaminante, B_2 la segunda relación isotópica en la muestra y D la distancia entre estos dos puntos (contaminante y muestra) de igual forma para los cinco contaminantes. Se manejan números adimensionales para las distancias ya que las relaciones isotópicas, al ser cocientes, carecen de unidades. Después, la programación de la hoja elegía el valor mínimo de las cinco distancias calculadas y la asociaba a la fuente de contaminación que correspondía. Los resultados se muestran en el Anexo XVII.

Es este caso la información proporcionada es más concreta hablando individualmente, ya que se nota claramente que el plomo industrial posee relaciones isotópicas más cercanas a los muestreos de musgos, en especial con M2, que los suelos que poseen un gran número de aportaciones del plomo natural (agua potable). Resaltando que sitios como Tollocan poseen relaciones más similares al agua potable que al plomo industrial y que la aportación de gasolinas a las muestras de aerosoles es más importante que la que se asumía en el análisis de conglomerados.

Si bien la información obtenida del análisis anterior es más concreta que la obtenida con el análisis de conglomerados sigue siendo mucha para analizarla, ya que tener 15 opciones para encontrar a la fuente de contaminación más cercana para cada una de las muestras sigue siendo poco específica. La distancia euclidiana entre dos puntos en una sola dimensión (el valor absoluto de la resta de ambos puntos) es fácilmente extrapolable a dos dimensiones (ecuación utilizada en el estudio anterior) la extrapolación a tres o más dimensiones es igualmente aplicable. Valiéndonos de esto, colocamos cada muestra y las cinco posibles fuentes de contaminación en un diagrama hipotético de 6 dimensiones (las seis relaciones isotópicas calculadas $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$) y se calcularon las distancias entre estos puntos, cada una de las muestras y las cinco posibles fuentes de contaminación, para elegir cual era el valor mínimo y seleccionar la fuente de contaminación que tuviera una combinación de valores, en relaciones isotópicas, lo más cercanas a la muestra probada. La metodología utilizada fue similar a la del estudio anterior con el cambio de fórmula para el cálculo de distancias:

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^6 (A_i - B_i)^2}$$

Donde A_i es la i ésima relación isotópica en el contaminante, y B_i la i ésima relación isotópica para la muestra. Un resumen de los resultados finales se muestra en las siguientes tablas:

Sitio	M1	M2	S	Sitio	M1	M2	S
Negrete	I	I	A	Acazulco	nc	A	I
Alameda	A	I	I	Pedregal	nc	A	A
Reforma	I	I	A	San Miguel	A	I	I
Hípico	A	A	A	Ameyalco	nc	A	I
La pila	A	A	I	San Antonio	A	A	I
Santín	I	G	A	San Diego	nc	A	I
Tollocan	I	A	A	Cacalomacan	I	A	A
Lomas Altas	I	A	A	Ciervita	A	I	A

Tabla 3.19: Contaminante más cercano a cada muestra, M1: Muestreo uno musgos, M2: muestreo dos musgos, S: muestras de suelos, A: agua potable, I: plomo industrial, G: gasolina, D: diesel, C: carbón, nc: no colectado.

Polvo				Aerosoles			
Reforma	A	Alameda	I	Metepc	A	San Mateo 1	G
Carmen Azotea	I			Aeropuerto	I	San Mateo 2	I
T. Paso Peatonal	I			Oxtotitlan	A	San Mateo 3	I
T. Camellon	I			Centro	G		
T. Parada Camión	I			Ceboruco	G		

Tabla 3.20: Contaminante más cercano, materia particulada depositada y aerosoles.

De este estudio podemos notar que a grandes rasgos los principales contaminantes en las muestras son el plomo industrial y el plomo natural (agua potable), sin pasar por alto la gran influencia de los valores de la muestra de gasolina en las muestras de aerosoles, sin embargo, haciendo un estudio más a fondo notamos que el valor determinante, en la distancia entre las seis relaciones isotópicas, es el valor de la relación entre las abundancias de los isótopos ^{208}Pb y ^{204}Pb . El valor de esta relación es el más alto, con números que van desde 33.28 hasta 42.7 en las fuentes de contaminación y apenas entre 36.19 y 40.85 para las muestras, hecho que ocasiona que las distancias globales se vean afectadas por estas diferencias.

3.2.2.4 Combinación lineal de contaminantes

No obstante, es imposible que un solo contaminante sea quien aporte todo el plomo presente en una muestra, una combinación lineal de las distintas fuentes de contaminación sería el escenario que mejor describiría cada una de las relaciones presentes en una muestra. El caso que se plantea en el presente trabajo supone un sistema en el que cinco fuentes de contaminación aportan cierta cantidad de plomo, con relaciones isotópicas específicas, a una muestra. La ecuación resultante para el cálculo de los coeficientes de aporte (porcentaje en el que contribuye cierta fuente a la contaminación de la muestra analizada) posee cinco variables (los cinco contaminantes propuestos) y se cuenta con seis ecuaciones (seis relaciones isotópicas calculadas). El cálculo de estas cinco variables es matemáticamente complicado; por lo que hacemos la suposición de que sólo los dos contaminantes más cercanos, al valor de la muestra, son los principales y por ende los que mayor porcentaje de aporte tienen, siendo los otros tres casi despreciables. La siguiente suposición está basada en el hecho de que para poder representar un número por medio de una combinación lineal de dos o más variables, se debe contar con un valor superior, al número que se pretende explicar, y otro menor; dentro del grupo de variables con los que se cuenta para explicar dicho número. Dicho esto se buscó, el par de contaminantes que tuvieran un valor mayor y otro menor a cada muestra. Posteriormente se calculó el porcentaje de aporte de cada uno de estos dos contaminantes mediante las siguientes ecuaciones:

$$B_i = X_1 A_i + X_2 A'_i$$

$$1 = X_1 + X_2$$

Sustituyendo y despejando para X_2 tenemos:

$$X_2 = \frac{B_i - A_i}{A'_i - A_i}$$

De las dos últimas expresiones podemos calcular X_1 :

$$X_1 = \frac{B_i - A'_i}{A_i - A'_i}$$

Donde B_i es la i ésima relación isotópica en la muestra, A_i es la i ésima relación isotópica en la contaminante 1, A'_i es la i ésima relación isotópica en el contaminante 2 (recordando que estos contaminantes son el más cercano superior y el más cercano inferior,

con respecto a la muestra en cada relación isotópica), X_1 es el porcentaje de aporte del contaminante 1 y X_2 el porcentaje de aporte del contaminante 2.

Este procedimiento se aplicó a cada una de las seis relaciones isotópicas calculadas para cada muestra y se obtuvieron los porcentajes de aporte. Los resultados se reportan en el Anexo XVIII. Existe un pequeño número de muestras que presentan porcentajes de aporte negativos debido a que no se proponen fuentes de contaminación con valores mayores o menores a las relaciones de dichas muestras, y aunque carecen de sentido físico, nos dan bases para pensar que existe una fuente de contaminación que no fue contemplado. Una primera idea nos propone las emisiones de fábricas cercanas al área muestreada.

Como se puede observar los porcentajes de aporte no son los mismos para todas las relaciones isotópicas de una misma muestra y esto se debe a que muestras con valores diferentes de $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ pueden tener valores de $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ iguales, este hecho es extrapolable para cualquier relación isotópica que no contenga al isótopo de masa 204. Para solucionar este problema se seleccionaron las fuentes de contaminación con mayor aporte en la mayoría de las muestras (plomo natural, representado por el agua potable, y plomo industrial) y una tercera fuente que variaba según la muestra, con la intención de elegir un contaminante con valor mayor y otro menor, es decir, un tercer contaminante para cada muestra que fuera capaz de explicar la relación isotópica que se pretendía analizar en la muestra. En cuanto a las relaciones isotópicas se eligieron las tres relaciones que se supone explican la mayor variabilidad dentro de las muestras; luego entonces se hizo un promedio de los porcentajes de aporte, calculado para cada relación isotópica, de cada una de las fuentes de contaminación seleccionadas. Para el caso de las muestras en las que falta información para el cálculo de los porcentajes de aporte (con resultados de aportes negativos), se proponen sólo las tres fuentes de contaminación más cercanas al valor reportado de la muestra.

La forma de calcular los porcentajes se basó en la suposición de dos mezclas binarias simples, una del tercer contaminante con plomo natural (agua potable) y otra del tercer contaminante con plomo industrial, según las siguientes ecuaciones se calculó el porcentaje de aporte:

$$X_1 = \frac{R_M^n - R_A^n}{R_{3C}^n - R_A^n}$$

$$X_2 = \frac{R_M^n - R_I^n}{R_{3C}^n - R_I^n}$$

Donde R_M^n es la n -ésima relación isotópica en la muestra, R_A^n la n -ésima relación isotópica en el agua potable, R_I^n la n -ésima relación isotópica en el plomo industrial, R_{3C}^n la n -ésima relación isotópica en el tercer contaminante (variable para cada muestra); X_1 y X_2 los límites del intervalo del porcentaje de aporte del tercer contaminante para la muestra M. se calcularon los límites X_1 y X_2 para cada relación isotópica seleccionada ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) y se promediaron. La razón por la cual fueron elegidas estas tres relaciones isotópicas es que son las que presentan una mayor variabilidad dentro de las muestras, explicando el mayor porcentaje de variaciones, una razón extra es que el isótopo de masa 204 es el único isótopo que no es radiogénico y por ende su concentración es prácticamente constante haciéndolo un buen elemento de comparación y referencia. Este procedimiento fue descrito por F. Monna en 1995. En las tablas siguientes se muestran los resultados para el estudio descrito.

Sitio	3er Cont.	Porcentajes (%)	
Musgos 1			
Negrete	G		
Alameda	G		
Reforma	G	32.91	10.90
Hípico	G		
La Pila	C	25.68	39.21
Santin	G	32.91	14.41
Tollocan	G		
Lomas Altas	G		
San Miguel	G		
San Antonio	G		
Cacalomacan	G		
Ciervita	C	22.71	36.95

Tabla 3.21: porcentajes de un tercer contaminante en muestra de musgos M1, C Carbón, G Gasolina

Sitio	3er Cont.	Porcentajes (%)		Sitio	3er Cont.	Porcentajes (%)	
Musgos 2				Suelos			
Negrete	G	33.55	12.62	Acazulco	G		
Alameda	G	36.63	17.76	Santin	C	34.85	47.28
Reforma	G	36.63	17.76	Tollocan	C	39.97	51.37
Hípico	G			Pedregal	G		
La Pila	G			Ciervita	C	13.97	30.63
Santin	G	66.81	55.08	La Pilita	G		
Tollocan	C	46.35	56.66	Ameyalco	G		
Lomas Altas	C	37.23	48.87	Cacalomacan	G		
Acazulco	G			Reforma	G		
Pedregal	C	27.94	41.58	Negrete	G		
San Miguel	G			Hípico	G		
San Antonio	G			San Miguel	G		
Ameyalco	G			San Antonio	G	52.33	39.76
San Diego	C	33.36	45.42	San Diego	G		
Cacalomacan	C	33.76	45.50	Alameda	G		
Ciervita	G	44.63	25.20	Lomas Altas	G		

Tabla 3.22: porcentajes de un tercer contaminante para musgos (M2) y suelos C Carbón, G Gasolina

Sitio	3er Cont.	Porcentajes (%)		Sitio	3er Cont.	Porcentajes (%)	
Polvo				Aerosoles			
CA	G			MT	G		
AL	G	40.08	22.44	SM2	G		
TPC	G	37.17	16.56	OX	G		
RH	G			SM1	D	40.80	34.63
TPP	G			AP	G	57.04	44.07
TC	G	59.54	49.04	SM3	G		
Estándar	C	18.79	33.99	CE	G	63.86	53.44
				CB	D	39.54	33.16

Tabla 3.23: Porcentajes de aporte de un tercer contaminante en polvo y aerosoles C Carbón, G Gasolina D Diésel

La gasolina resulta como la tercera fuente de contaminación predominante en las muestras analizadas, seguida por el carbón y por último el diésel. Siendo los porcentajes de aporte más considerables en las muestras de aerosoles.

Este procedimiento se basa en la idea de que la relación isotópica presente en una muestra se puede explicar por medio de una combinación lineal de las relaciones isotópicas de cada uno de los contaminantes propuestos, donde los coeficientes de combinación lineal corresponden a los porcentajes de aporte para cada uno de los contaminantes.

$$R_M^n = X_1 R_1^n + X_2 R_2^n + \dots + X_i R_i^n$$

Donde R_M^n es la n -ésima relación isotópica de la muestra, X_i el porcentaje de aporte de i -ésimo contaminante y R_i^n la n -ésima relación isotópica del i -ésimo contaminante. Resulta sencillo pensar que, con seis relaciones isotópicas posibles para el plomo, la resolución de un sistema de ecuaciones de $n \times n$, según el caso de elección de número de contaminantes y relaciones isotópicas que expliquen la mayor variabilidad, sea fácilmente resuelto por métodos matriciales:

$$A = \begin{bmatrix} R_1^1 & \dots & R_i^1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ R_1^n & \dots & R_i^n \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_i \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} R_M^1 \\ \vdots \\ R_M^n \end{bmatrix}$$

$$AX = B$$

$$X = A^{-1}B$$

La resolución de estos sistemas matriciales tiene como restricción la independencia lineal de cada uno de los sistemas de ecuaciones propuestos, situación que es imposible de cumplir por los sistemas de relaciones isotópicas debido a que una relación isotópica puede ser explicada por el cociente de otras dos:

$$\frac{{}^{206}\text{Pb}/{}^{204}\text{Pb}}{{}^{208}\text{Pb}/{}^{204}\text{Pb}} = {}^{206}\text{Pb}/{}^{208}\text{Pb}$$

Aunado a la evidente dependencia entre los sistemas de relaciones isotópicas surge otro problema, las relaciones isotópicas pueden expresarse de dos formas distintas: A/B o B/A ,

dejando dos opciones para la expresión de las combinaciones lineales, a continuación se presenta el caso sencillo para la combinación de solo dos contaminantes:

$$R_M = \frac{A_M}{B_M} = X_1 R_1 + X_2 R_2 = X_1 \frac{A_1}{B_1} + X_2 \frac{A_2}{B_2}$$

$$R'_M = \frac{B_M}{A_M} = X'_1 R'_1 + X'_2 R'_2 = X_1 \frac{B_1}{A_1} + X_2 \frac{B_2}{A_2}$$

Donde A_M y B_M la abundancia de los isótopos A y B en la muestra; A_1 y B_1 la abundancia de los isótopos A y B en el contaminante 1; A_2 y B_2 la abundancia de los isótopos A y B en el contaminante 2; R_M , R_1 y R_2 las primeras relaciones isotópicas, en la muestra y los dos contaminantes, que involucran a los isótopos A y B; R'_M , R'_1 y R'_2 las relaciones isotópicas, de la muestra y los dos contaminantes, que involucran a las abundancias de los dos isótopos, A y B, pero en forma inversa. Resulta extremadamente sencillo calcular R' , de cualquier muestra, a partir de R ; pero si tratamos de explicar la a partir de las combinaciones lineales de las relaciones de los contaminantes:

$$R_M = \frac{1}{R'_M}$$

$$R'_M = \frac{B_M}{A_M} = X'_1 R'_1 + X'_2 R'_2$$

$$R_M = \frac{1}{X'_1 R'_1 + X'_2 R'_2} = X_1 R_1 + X_2 R_2$$

Vemos que los valores de los porcentajes de aporte X'_i y X_i no son iguales en valor, haciendo imposible pensar que el porcentaje de aporte de un contaminante varíe en función de que relación isotópica utilicemos. A pesar de que los porcentajes obtenidos por el método de combinación lineal de relaciones isotópicas son cercanos a los reales estos solo nos proporcionan una vaga aproximación, por lo que no nos atrevemos a asegurar que estos valores son lo reales, pero suficientemente cercanos para darnos una idea de cuáles son las principales fuentes de contaminación.

El desarrollo algebraico, por medio de programación lineal de optimización, para la combinación lineal de relaciones isotópicas se encuentra en desarrollo, donde la idea principal es encontrar el máximo y el mínimo en los porcentajes de aporte de cada uno de

los contaminantes que hagan que la suma entre estos sea máxima pero menor que 1 (función objetivo), usando las combinaciones lineales de las relaciones isotópicas para explicar la misma relación en la muestra como inequaciones (restricciones del sistema). De igual manera la propuesta del cálculo del porcentaje de aporte por medio de la combinación lineal de las abundancias de cada uno de los isótopos de plomo, usando la distancia entre dos relaciones isotópicas como parámetro de aproximación de este se encuentra en procedimiento.

4. Conclusiones

La calidad de los datos de concentraciones de metales pesados (Cr, Cu, V, Pb, Fe, Ti y Zn) obtenidos por la digestión de muestras ambientales y su posterior medición en el equipo de ICP-OES es buena. Se obtuvieron buenos porcentajes de recuperación con el tratamiento y medición de materiales de referencia certificados.

El análisis multielemental de las muestras ambientales (musgos, suelos, polvo y aerosoles) de la ZMVT revela que no existe un grado severo de contaminación en la zona. De igual forma el estudio indica que la principal influencia, en las zonas que presentan una mayor concentración de metales pesados, es el tránsito vehicular, mostrando que los sitios de Alameda y Reforma comparten una misma fuente de contaminación y el sitio de Tollocan una menor acumulación de metales pesados debido a un distinto tipo de vialidad. Mientras que los sitios de Cacalomacan, Lomas Altas y Ciervita presentan una cantidad de plomo pequeña asegurando que en las zonas naturales protegidas se encuentran libres de aporte antropogénico a la concentración de metales pesados, siendo San Diego la única zona que presenta una concentración apenas un poco superior al resto de las áreas naturales protegidas. Es evidente que la cantidad de los elementos propios de la contaminación vehicular (Pb, Cu y Zn) es mayor en musgos que en suelos. De la comparación entre las dos temporadas de muestreo en musgo podemos afirmar que el clima y las condiciones atmosféricas son factores importantes en la distribución de contaminantes, a pesar de que el muestro dos (M2) posee mayores concentraciones en metales pesados, los sitios de Alameda y Reforma siempre presentan mayor concentración en el muestreo uno (M1), por lo que podemos asegurar que las precipitaciones de la temporada cálida y húmeda acarrear cierta cantidad de metales pesados de la atmosfera, siendo un fenómeno adicional que explicaría los niveles altos de concentración en los sitios de Alameda y Reforma.

La comparación directa con el estándar de relaciones isotópicas de plomo común del NIST RSM 981 nos dice que el método propuesto para la medición de las abundancias de los cuatro isótopos se ajusta a los parámetros requeridos, por lo que es posible afirmar que la calidad de los resultados obtenidos por, el equipo de ICP-MS, para las muestras ambientales es muy buena.

Del análisis de relaciones isotópicas es posible concluir que las principales fuentes de plomo en las muestras ambientales son las referentes al plomo industrial y plomo

natural, granulados de plomo y agua potable respectivamente, mientras que la gasolina es el siguiente contaminante que posee un mayor aporte a las muestras. La agrupación entre muestras por relaciones isotópicas es similar a la resultante por el análisis multielemental, señalando al tránsito vehicular como la principal fuente de contaminación. La agrupación de algunas de las áreas naturales protegidas con el plomo industrial o el plomo presente en las gasolinas, es por la similitud del plomo en suelos profundos con los minerales presentes en la extracción del petróleo o el plomo metálico, todas con firmas isotópicas reportadas para plomo mexicano.

El método que afirma que es posible calcular los porcentajes de aporte de cada uno de los contaminantes en una muestra a partir de la combinación lineal de las relaciones isotópicas presentes en los contaminantes, no es del todo cierto, es imposible atribuir con certeza un porcentaje de aporte a una relación isotópica. De igual forma la resolución de sistemas de ecuaciones para n relaciones isotópicas entre una muestra y un grupo de contaminantes es imposible resolver debido a la dependencia entre cada una de las relaciones isotópicas.

Se propone para trabajos posteriores el planteamiento de un sistema en el que la base del cálculo de los porcentajes de aporte sea la diferencia existente entre una relación isotópica presente en la muestra y la de los contaminantes, con la suposición de que los porcentajes de aporte son los coeficientes de combinación lineal de cada uno de los isótopos de plomo y no de las relaciones.

La segunda opción a revisar es la optimización de las combinaciones lineales de las relaciones isotópicas por medio de programación lineal usando las que ahora se proponen como ecuaciones como inecuaciones propias del sistema, teniendo como función objetivo la suma de todos los coeficientes de aporte y programando para la minimización del sistema.

5. Bibliografía

C.L. Sugden, J.G. Farmer, A.B. MacKenzie. 1993. *Isotopic ratios of lead in contemporary environment material from Scotland*. Environmental Chemistry and Health. Vol. 15, No. (2/3) 59

Chareles J. Lord, III, 1994 *Determination of Lead and Lead Isotopes ratios in Gasoline by Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy*. Journal of Analytical Atomic Spectroscopy, Vol. 9 599-603

Delgadillo M.C. y A. Cárdenas S. 200. *Urban mosses in Mexico city*. Anales del instituto de Biología. Universidad Autónoma de México. Serie Botánica Vol. 71, No. 2, 63-72

Díaz Somoano M., Kylander M., Weiss D.J., López- Antón M.A., Suárez-Ruiz I., Martínez Tarazana M.R. 2007. *Lead isotopes Variability in different world wide coal deposits*. International Conference of Coal science and Technology. Nottingham august 2007

Dotor J, Tejeda S., Zarazúa G., Ávila P., Amaya A., Arredondo S., Astivia F. Distribución de Cu, Zn y Pb en la atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca usando como indicador depósito seco sobre hojas de *Ligustrum vulgaris*. XXIII Congreso Técnico-Científico ININ-SUTIN. Centro Nuclear Nabor Carrillo Flores. 4 al 6 de Diciembre de 2013, México.

Fabrice Monna, Joel Lancelot, Ian W. Croudace, Andrew B. Cundy, James T. Lewis. 1997. *Pb Isotopic Composition of Airborne Particulate Material from France and the Southern United Kingdom; Implications for Pb Pollution Sources in Urban Areas*. Environmental Science and Technology. 31, 2277-2286

Gobierno del Estado de México, 2005. *Plan regional de desarrollo urbano del valle de Toluca*. Gobierno del Estado de México y Secretaria de Desarrollo Urbano.

G. Zarazúa, P. Ávila- Pérez, S. Tejeda, T. Martínez, J. Poblano- Bata, C. Zepeda, H. Ortiz-Ontiveros, G. Macedo. J. Sánchez- Meza. 2013. *Assessment of spatial variability of heavy metals in metropolitan zone of Toluca Valley, Mexico using the boimonitoring technique in mosses and TXRF analysis*. Scientific World Journal. Article ID 426492

H. A. Ghrefat, Y. Abu-Rukah, M. A. Rosen.2011. *Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Kafraïn Dam, Jordan* . Environmental Monitoring Assessment Vol.178, 95–109.

Jarvis K.E., Gray I., Houk R.S.1992. *Handbook of Inductively Coupled Plasma-Mass Spectroscopy*. Blackie & Son Ltd. Great Britain

Jean-Marie Martin an Michel Meybeck. 1979. *Element mass-balance of material carried by major world rivers*. Marine Chemistry. Vol. 7, 173-206

Josefina Poblano Bata 2013. *Uso de briofitas como indicadores atmosféricos de metales pesados en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca*. Tesis Licenciatura Universidad Autónoma del Estado de México. Febrero 2013

Jong-Woo Choi, Eun-Jin Yoo, Jee-Young Kim, Jong-Yeon Hwang, Khsnghuym Lee, Won-Seok Lee, Jean-Seok Han, Kyu-Seung Lee 2013. *Pb concentration and isotopic composition in the soil and sediments around the abandoned mine in southwest of Korea*. Journal of Agricultural Chemistry and Environment. Vol. 2 No. 4 101-108

Manish M. Patel, Holmes Adrienne, Robert Jones, Jeff Jarrett, James Barner, Carol S. Rubin. 2008. *Use of lead isotopes ratios to identify sources of lead exposure in Alaska natives*. International Journal of Circumpolar Health. Vol. 67, No. (2-3) 261-268

M. Soto-Jiménez, F. Páez-Osuna. 2001. *Cd, Cu, Pb and Zn Lagoonal Sediments from Mazatlán Harbor (SE Gulf of California): Bioavailability and Geochemical Fractioning*. Environmental Contamination and Toxicology. Vol. 56 350-356

Martin F. Soto-Jiménez, Sharon A. Hibdon, Charley W. Rankin, Jugdeep Aggarawl, A. Carolina Ruiz- Fernández, Federico Páez-Osuna, A. Russell Flegal. 2006. *Chronicling a century of Lead Pollution in Mexico: Stable Lead Isotopic Composition Analyses of Dated Sediment Cores*. Environmental Science and Technology. Vol. 40, 764-770

Martín F. Soto Jiménez, A. Russell Flegal. 2009. *Origin of lead in the Gulf of California Ecoregion using stable isotope analysis*. Journal of Geochemical Exploration. Vol. 101, 209-217

Needleman, H.L., Schell A., Bellinger D., Leviton, A., Allred E.N. 1990. *The long term effects of exposure to low doses of lead in children. An 11-year follow up report*. New England Journal of Medicine. Vol. 322, 83-88

Nriagu J.O. 1998. *Global inventory of natural and anthropogenic emissionsof trace metals to the atmosphere*. Nature. Vo. 279. 409-411

Nriagu J.O. 1996. *A history of global metal pollution*. Science. Vol. 272, 223-224

Price-Russ III, G. Bazan, J.M. 1987. *Isotopic ratios measurementwith an inductively coupled plasma spectrometer*. Spectrochimica Acta part B 42. 49-62

R. Breder. 1982. *Optimization Studies for Reliable Trace Metal Analysis in Sediments by Atomic Absorption Spectroscopy Methods*. Fresenius Zeitschrift für Analytische Chemie. Vol. 313, 395-402

R. Dybczynski, A. Tugsavul, O. Suschny. 1979. *Soil-5 New IEA Certified Reference Material for Trace Element Determinations*. Geostandars Newsletters. Vol. 3, No.1, 61-87

Rodríguez-Salazar M.T.J. 2010 *Distribución espacial de metales pesados en suelos superficiales de la ciudad de México. Uso de relaciones isotópicas de Pb como trazadores*

de fuentes de contaminación en zonas urbanas. Tesis Doctoral en el Programa de Posgrado en Ciencias de la tierra

Samuel Tejeda, Graciela Zarazúa-Ortega, Fernanda Astivia. Analisis geoquímico de suelos de la zona metropolitana del valle de Toluca. XXIII Congreso Técnico-Científico ININ-SUTIN. Centro Nuclear Nabor Carrillo Flores. 4 al 6 de Diciembre de 2013, México.

S. Dragovic, N. Mihailovic. 2009. *Analysis of mosses and topsoils for detecting sources of heavy metal pollution: multivariate and enrichment factor analysis*. Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 157, 383-390

S. Tejeda, G. Zarazua-Ortega, P. Avila-Perez, A. García-Mejía A., L. Carapia-Morales, C. Diaz-Delgado C. (2006). Major and trace elements in sediments of the upper course of Lerma river. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 270, No.1, 9-14.

S. Tejeda, G. Zarazúa, P. Ávila-Pérez, L. Carapia-Morales, T. Martínez. (2010). Total reflection X-ray fluorescence spectrometric determination of elements in water hyacinth from the Lerma River. Spectrochimica Acta Part B, Vol 65, special issue 6, junio 2010. DOI: 10.1006/j.sab2010.04-005.

Sergio A., Sañudo-Wilhemly, A. Rossell-Flegal. 1994. *Temporal variations in lead concentrations and isotopic compositions in the Southern California Bight*. Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol. 58, No. 15, 3315-3320

T. Martínez, J. Lartigue, F. Juárez, P. Avila-Perez, G. Zarazua, C. Marquez. M.P. Orta, V. Alvarez. 2004. *Application of lead Isotopic Ratios in Atmospheric Pollution Studies in the Valley of Mexico*. Journal of Atmospheric Chemistry. Vol. 49, 415-424

T. Martínez, J. Lartigue, F. Juarez, P. Avila-Perez, C. Marquez, G. Zarazua, S. Tejeda. 2007. *$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ratios in dry deposit samples from the Metropolitan Zone of the Valley of Mexico*. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Vol. 273, No. 3, 577-582.

T. Martínez, S. Tejeda, J. Lartigue, G. Zarazúa, P. Ávila-Pérez, A. Ramos, M. Navarrete, G. Muller (2014). Chemical composition of marine sediments in the Pacific Ocean from Sinaloa to Jalisco, Mexico. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Volume 299, Issue 1, pp 827-834.

Terry B. Councell, Kea U. Duckenfield, Edward R. Landa, Edward Calender, 2004 *Tire-Wear Particulates as a source of zinc to the environment*. Environmental Science and Technology Vol. 38 4206-4214

Townsend A.T., Zoongshou Y. 1998. *Precise lead isotope ratios in Australia galena samples by high resolution inductively coupled plasma mass spectroscopy*. Journal of Analytical Spectroscopy. Vol. 13, 809-813

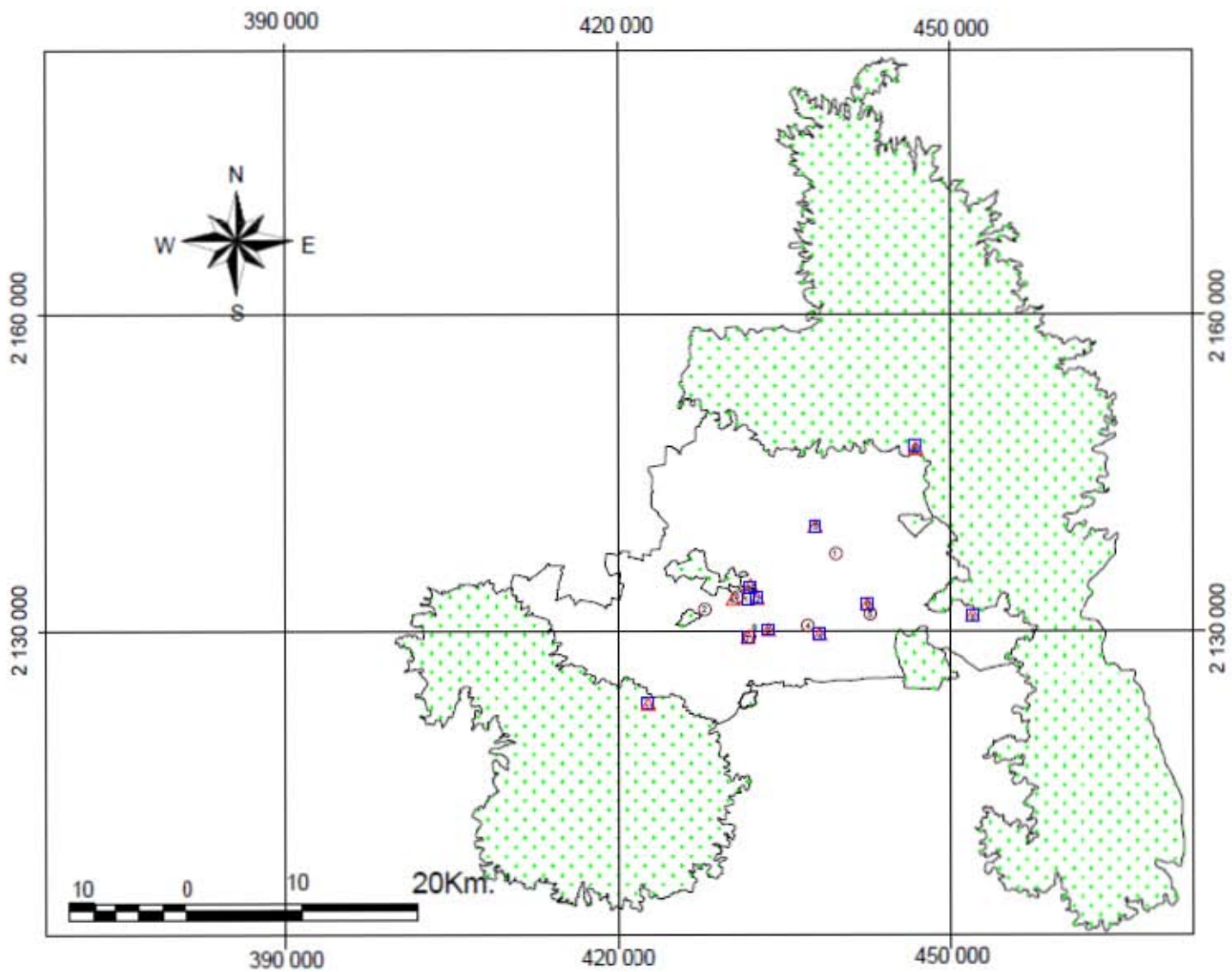
W. Hansmann, V. Köppel, 2000. *Lead-isotopes as tracers of pollutants in soil*. Chemical Geology, 171, 123-144

W. Shotyk, P. Blaser, A. Grünig, A.K. Cheburkin. 2000. *A new approach for quantifying cumulative, anthropogenic, atmospheric lead deposition using peat cores from bogs: Pb in eight Swiss Peat bog profiles*. The Science of the Total Environment. Vol. 249, 281-295

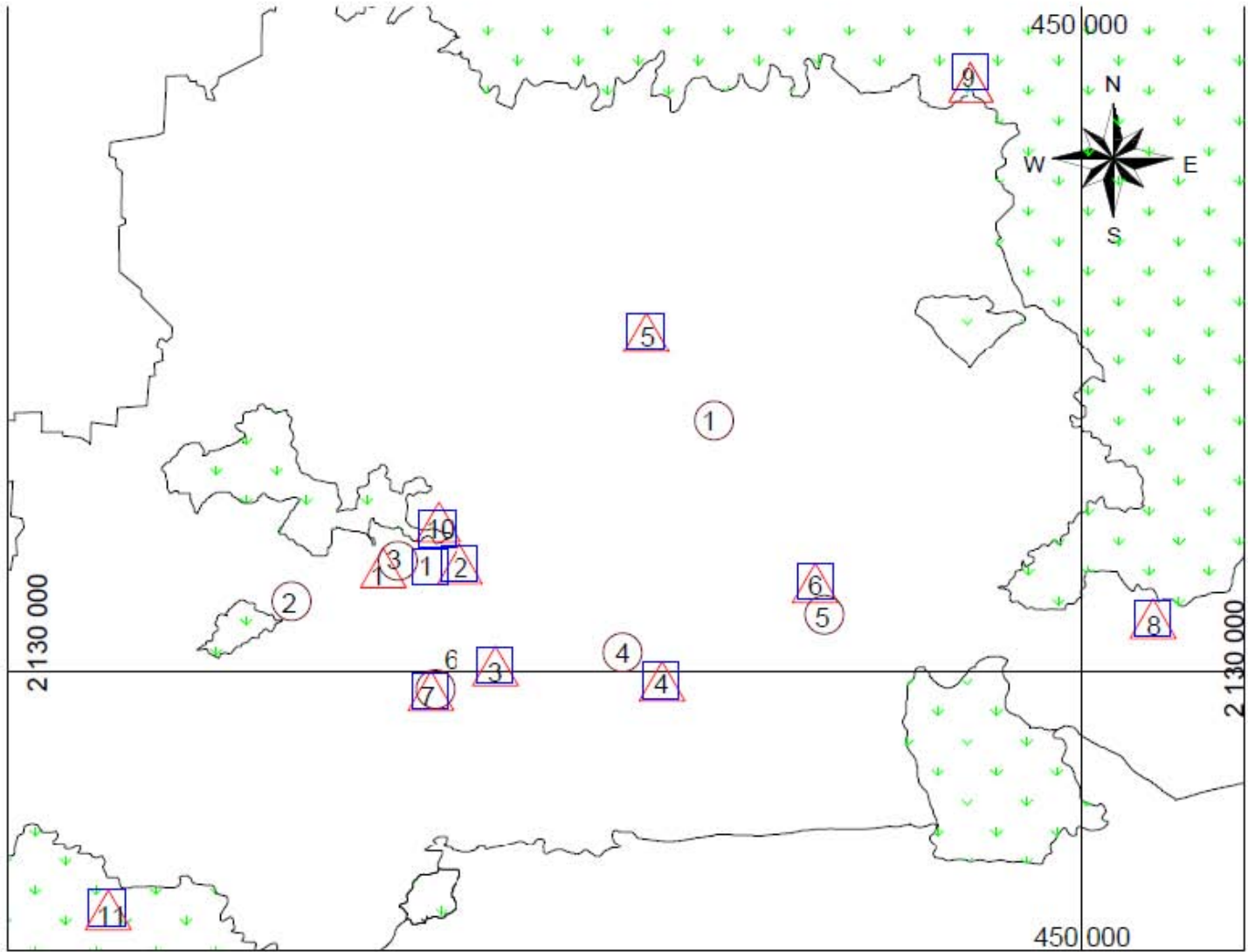
Wong C.S.C. Li D. 2004. *Pb contamination and isotopic composition of urban soils in Hong Kong*. The Science of the Total Environment. Vol. 319, 185-195

Anexos

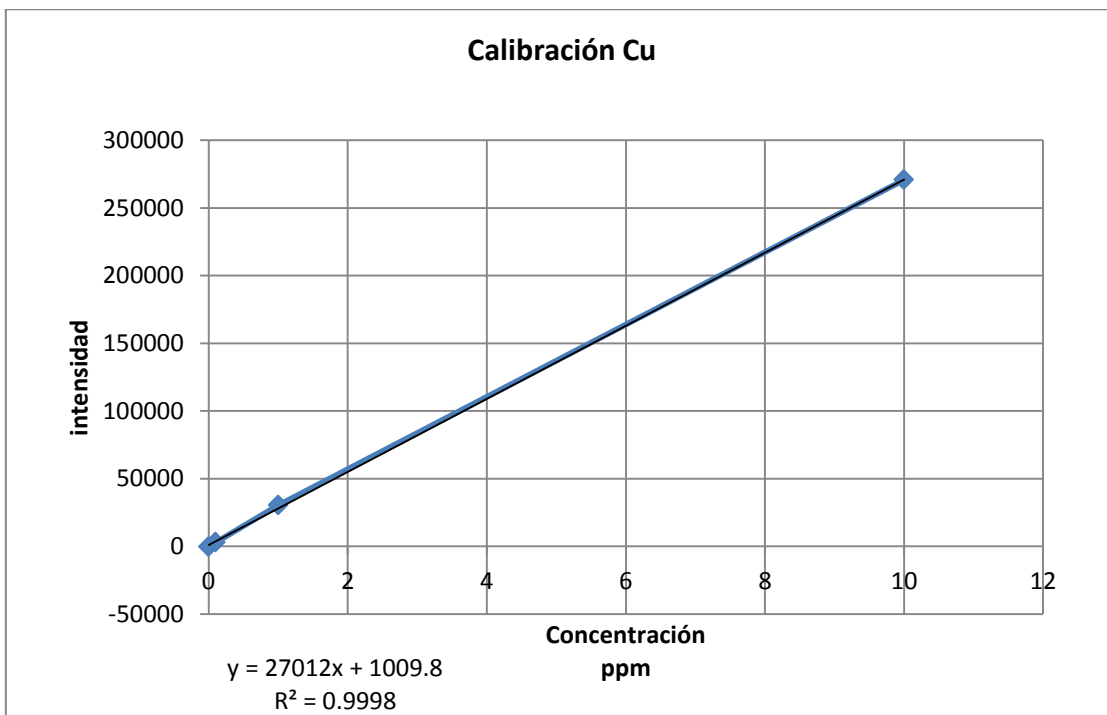
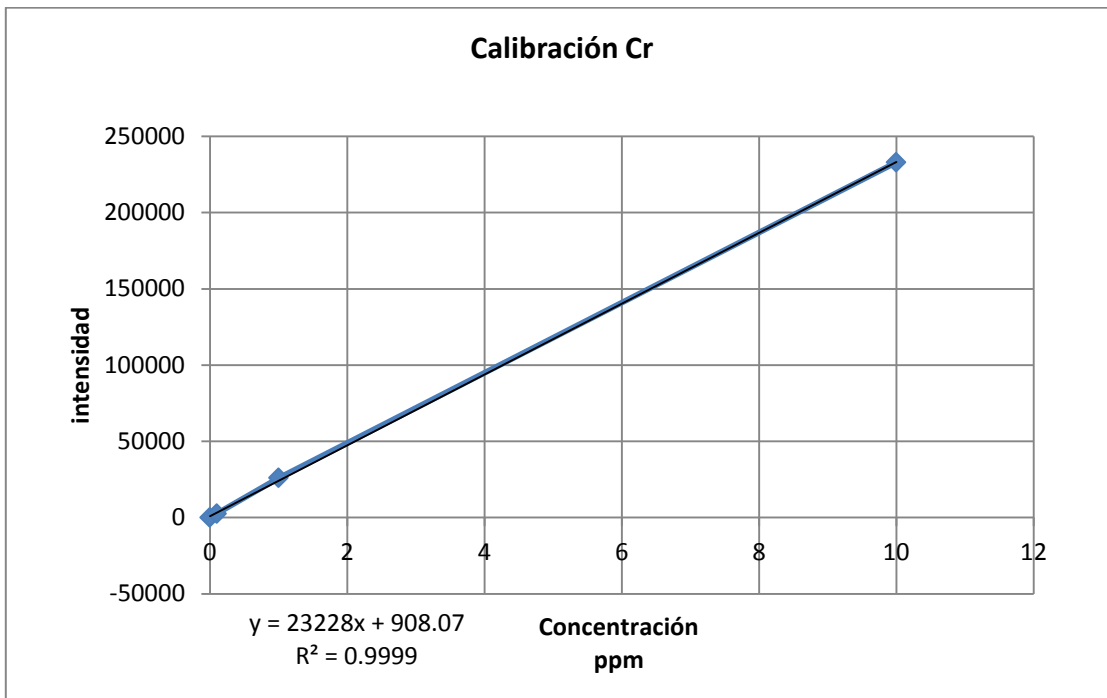
ii

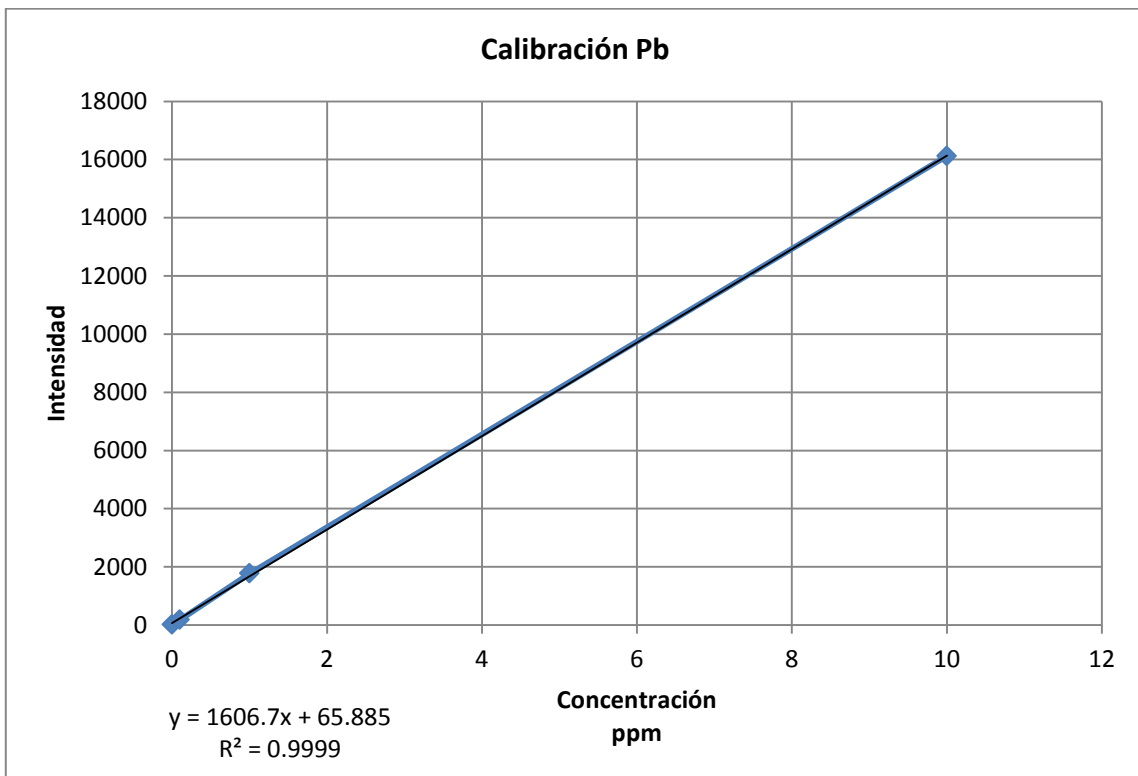
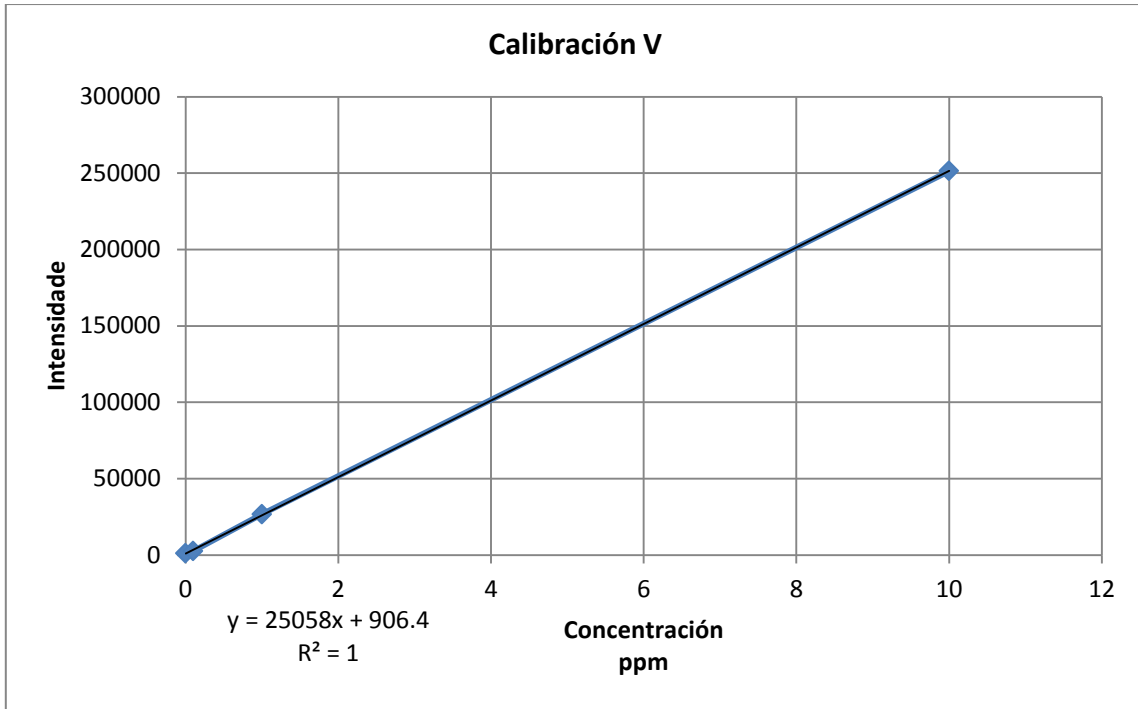


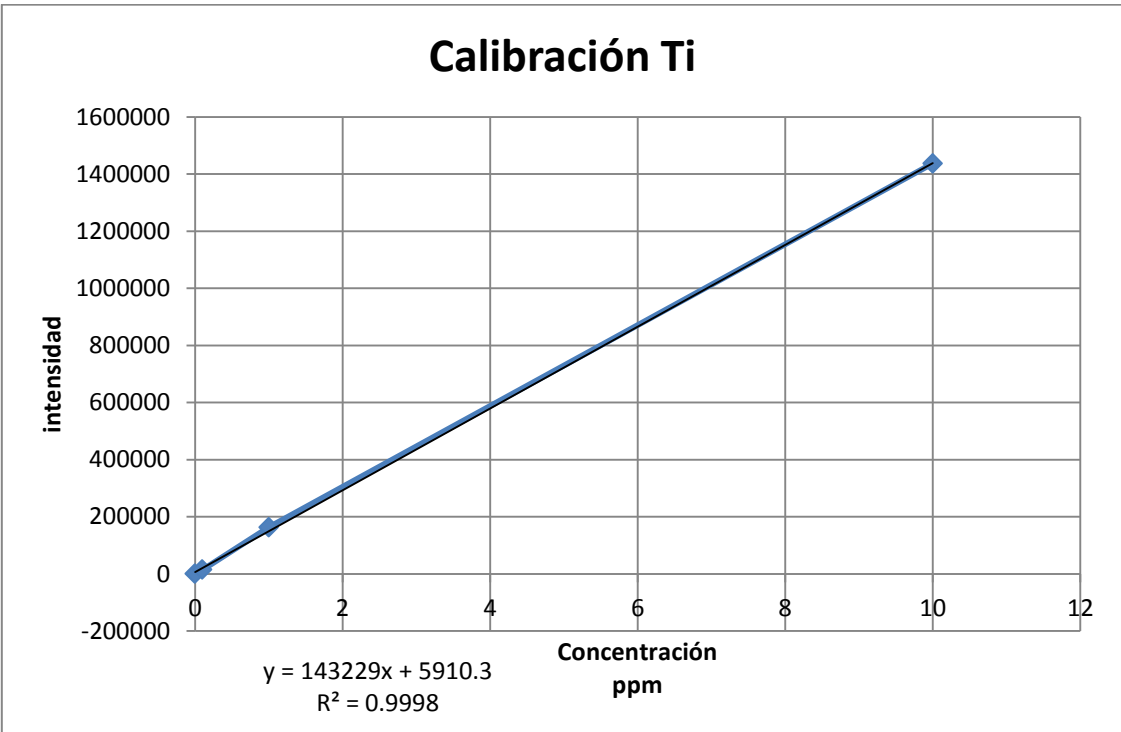
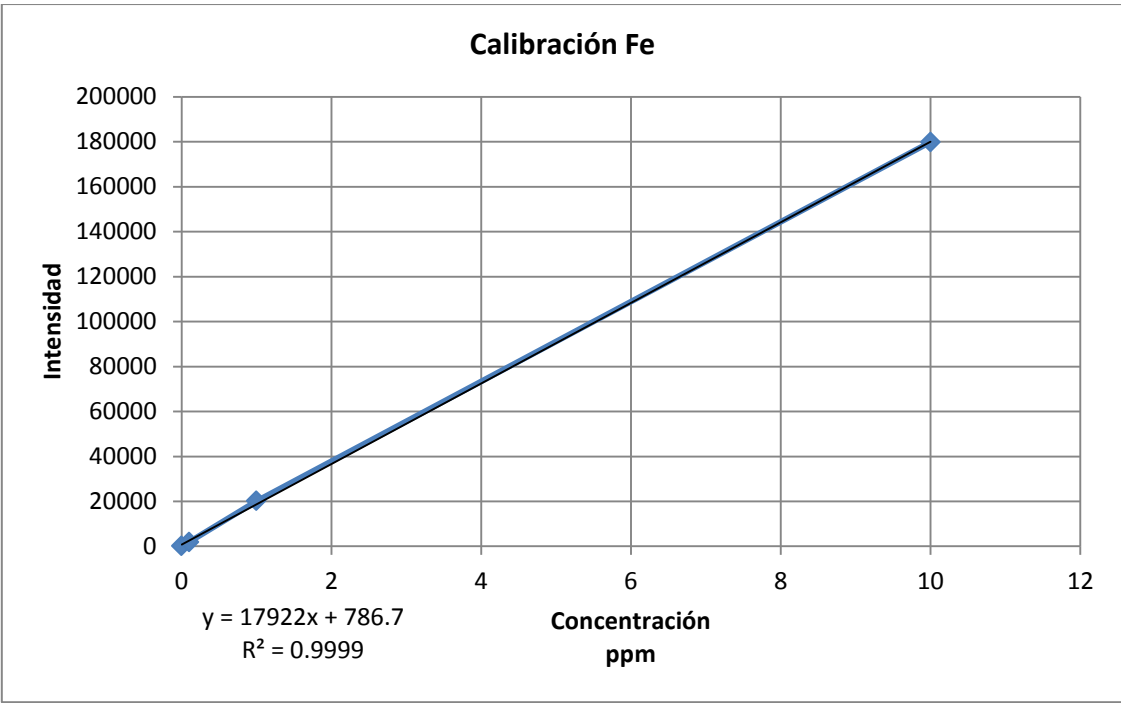
iii:



II. Curvas de calibración ICP-OES







III. Calidad de los resultados ICP-OES

Elemento	Valores reportados		Valores obtenidos		Porcentaje de recuperación
	Valor promedio (mg/Kg)	Desviación estándar (mg/Kg)	Valor promedio (mg/Kg)	Desviación estándar (mg/Kg)	
Cr	28.9	2.8	22.41	0.12	78
Cu	77.1	4.7	68.48	1.12	89
V	151	NR	132.36	3.46	88
Pb	129	26	113.23	1.18	88
Fe	44500	1900	28823	2190	65
Ti	4700	NR	4311.50	35.63	92
Zn	368	8.2	279.56	4.13	76

Tabla I: Porcentajes de recuperación para el estándar soil 5, NR: no reportado

<i>Estándar IAEA-336 Lichen</i>					
Elemento	Valores reportados		Valores obtenidos		Porcentaje de recuperación
	Valor promedio (mg/Kg)	Desviación estándar (mg/Kg)	Valor promedio (mg/Kg)	Desviación estándar (mg/Kg)	
Cr	1.06	0.17	<LD	<LD	NA
Cu	3.6	0.5	3.49	0.21	97
V	1.47	0.22	0	0	NA
Pb	4.9	0.6	4.27	0.27	73
Fe	430	50	462.17	11.13	108
Ti	NR	NR	23.73	0.6	NA
Zn	30.4	3.4	32.31	0.38	106

Tabla II. Porcentajes de recuperación en el estándar de líquen, NR no reportado, NA no aplica, LD límite de detección

<i>Reference Material 1572 citrus Leaves</i>					
Elemento	Valores reportados		Valores obtenidos		Porcentaje de recuperación
	Valor promedio (mg/Kg)	Desviación estándar (mg/Kg)	Valor promedio (mg/Kg)	Desviación estándar (mg/Kg)	
Cr	0.8	0.2	<LD	<LD	NA
Cu	16.5	NR	16.11	0.05	98
V	NR	NR	<LD	<LD	NA
Pb	13.3	0.2	14.19	0.3	106
Fe	90	10	88	0.11	98
Ti	NR	NR	3.24	0.09	NA
Zn	29	2	28.11	0.31	97

Tabla III: Porcentajes de recuperación en el estándar de hojas de cítricos, NR no reportado, NA no aplica LD límite de detección

Elemento	Valores reportados		Valores obtenidos	
	Valor recomendado (mg/Kg)	Intervalo de confianza (mg/Kg)	Valor promedio (mg/Kg)	Desviación estándar (mg/Kg)
Cr	60	49-74	29.96	0.12
Cu	11	9-13	0.23	0.08
V	66	59-73	38.92	1.34
Pb	60	55-71	43.66	0.17
Fe	25700	25200-26300	18279	46.56
Ti	3000	2600-3700	191.62	2.42
Zn	104	101-113	80.766	2.02

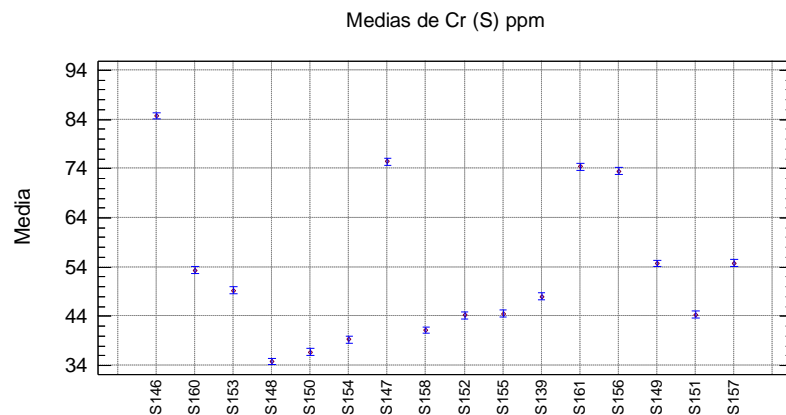
Tabla IV: Concentraciones reportadas y obtenidas para el estándar Reference Material IAEA- Soil- 7

IV. Análisis multielemental en suelos

Sitio	Clave	Cu (mg/Kg)		Pb (mg/Kg)		Zn (mg/Kg)	
		X	s	x	s	x	s
Acazulco	S146	16.06	0.43	5.97	0.30	75.60	0.32
Santin	S160	19.20	0.31	11.42	0.34	66.26	0.38
Tollocan	S153	30.82	1.77	57.01	1.98	136.90	0.62
Pedregal	S148	7.54	0.65	1.36	1.93	47.79	0.28
Ciervita	S150	8.05	0.52	9.39	0.54	58.72	0.89
La Pilita	S154	4.73	0.09	6.05	0.16	52.19	0.65
Ameyalco	S147	11.64	2.04	20.14	1.13	70.51	0.26
Cacalomacan	S158	11.41	0.60	2.73	0.32	63.15	1.20
Reforma	S152	8.99	0.63	39.34	1.25	63.55	1.07
Negrete	S155	3.20	1.11	3.51	1.20	59.38	0.61
Hípico	S139	18.86	0.52	10.42	0.75	73.10	0.63
San Miguel	S161	12.70	0.83	10.19	1.05	69.17	6.73
San Antonio	S156	14.14	0.77	13.27	0.32	54.01	0.65
San Diego	S149	13.84	0.68	11.37	0.67	84.11	0.35
Alameda	S151	17.23	1.53	71.99	2.48	85.94	0.85
Lomas Altas	S157	12.52	0.64	16.15	1.11	63.64	0.17

Sitio	Clave	Cr (mg/Kg)		V (mg/Kg)		Fe (mg/Kg)		Ti (mg/Kg)	
		x	s	x	s	x	s	x	s
Acazulco	S146	84.73	1.20	97.84	1.27	26077.43	181.24	4408.59	15.45
Santin	S160	53.42	0.20	52.12	1.14	15628.97	107.05	2986.57	24.42
Tollocan	S153	49.27	0.09	82.48	0.81	22215.69	308.78	3698.14	24.40
Pedregal	S148	34.83	0.43	66.85	2.00	19426.32	191.19	3158.22	10.75
Ciervita	S150	36.74	0.20	61.68	1.31	20028.65	83.91	3327.54	38.69
La Pilita	S154	39.30	1.38	66.99	0.69	20434.72	152.35	3559.67	32.80
Ameyalco	S147	75.46	0.15	88.66	0.72	25712.98	37.51	4772.00	57.10
Cacalomacan	S158	41.20	0.54	82.82	1.45	24581.89	225.20	4492.68	60.88
Reforma	S152	44.24	1.18	79.55	1.44	19199.06	86.85	3946.12	26.86
Negrete	S155	44.58	1.18	80.85	1.61	23079.86	162.99	4341.13	22.96
Hípico	S139	48.08	0.37	69.13	1.39	22072.50	20.14	2854.70	32.66
San Miguel	S161	74.42	0.60	92.30	2.08	26134.22	208.72	4732.26	53.08
San Antonio	S156	73.53	1.81	70.90	1.86	20205.13	86.48	3699.47	42.41
San Diego	S149	54.74	0.74	146.82	1.85	33090.13	247.03	8136.99	38.47
Alameda	S151	44.33	0.37	70.47	1.66	21783.39	133.75	3898.73	59.34
Lomas Altas	S157	54.84	0.14	74.41	1.30	19358.45	237.81	3492.36	34.04

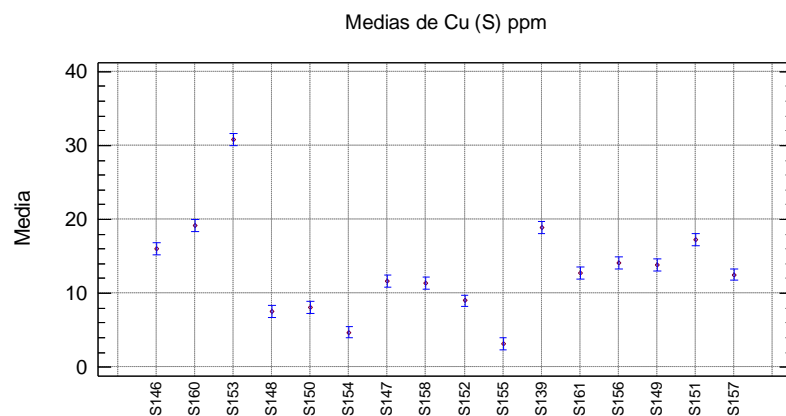
ANOVA en suelos: Cromo



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	10733.7	15	715.578	1021.09	0.0000
Intra grupos	22.4256	32	0.700799		
Total (Corr.)	10756.1	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
S148	3	34.8287	X
S150	3	36.7441	X
S154	3	39.3032	X
S158	3	41.2048	X
S152	3	44.2415	X
S151	3	44.3267	X
S155	3	44.5751	X
S139	3	48.0774	X
S153	3	49.2671	X
S160	3	53.4215	X
S149	3	54.7409	XX
S157	3	54.8412	X
S156	3	73.5297	X
S161	3	74.4188	XX
S147	3	75.4565	X
S146	3	84.7259	X

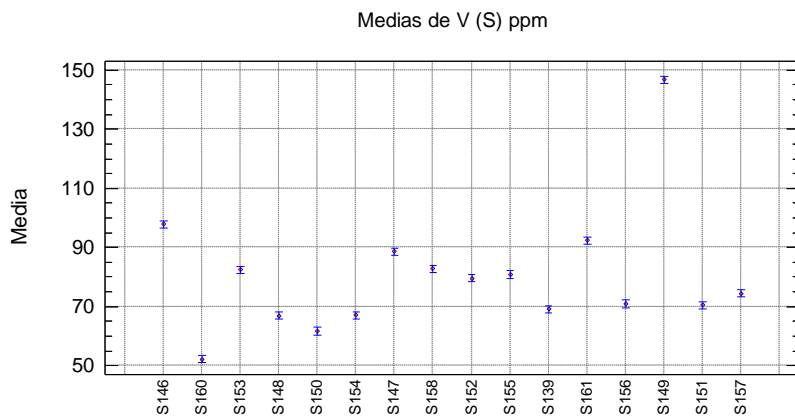
ANOVA en suelos: Cobre



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1975.63	15	131.709	140.44	0.0000
Intra grupos	30.0096	32	0.937801		
Total (Corr.)	2005.64	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
S155	3	3.19593	X
S154	3	4.73011	X
S148	3	7.54053	X
S150	3	8.04521	X
S152	3	8.9899	X
S158	3	11.4061	X
S147	3	11.6396	X
S157	3	12.5245	XX
S161	3	12.6961	XXX
S149	3	13.8402	XX
S156	3	14.1368	X
S146	3	16.0596	X
S151	3	17.2302	X
S139	3	18.8557	X
S160	3	19.2009	X
S153	3	30.8163	X

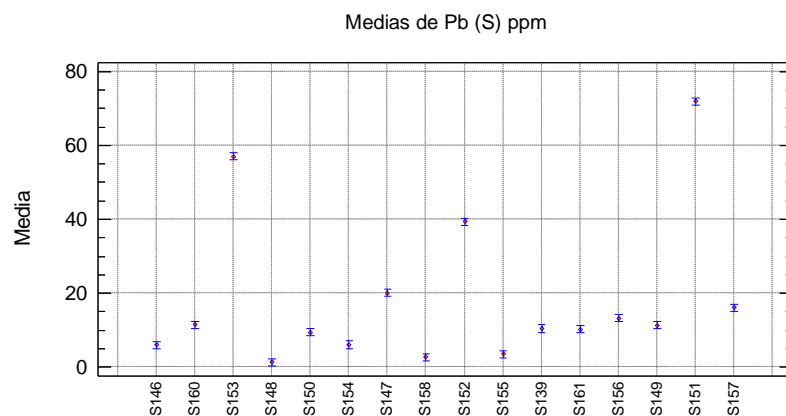
ANOVA en suelos: Vanadio



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	20405.6	15	1360.37	628.22	0.0000
Intra grupos	69.2945	32	2.16545		
Total (Corr.)	20474.9	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
S160	3	52.1231	X
S150	3	61.6792	X
S148	3	66.8487	X
S154	3	66.9939	X
S139	3	69.1312	XX
S151	3	70.4712	X
S156	3	70.8957	X
S157	3	74.411	X
S152	3	79.5527	X
S155	3	80.8459	XX
S153	3	82.4843	X
S158	3	82.8218	X
S147	3	88.6563	X
S161	3	92.3048	X
S146	3	97.8437	X
S149	3	146.821	X

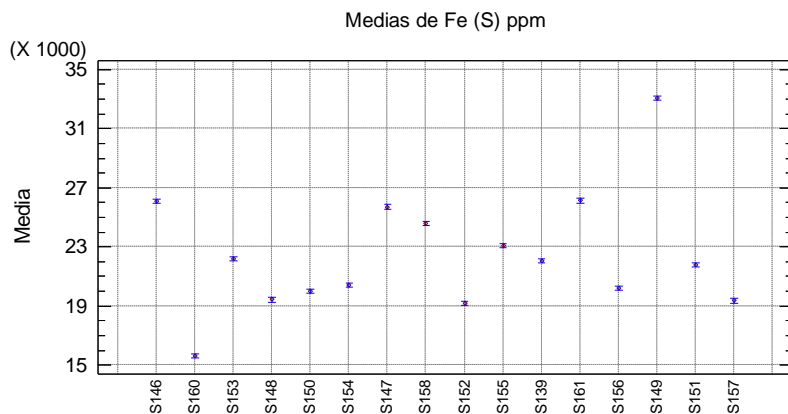
ANOVA en suelos: Plomo



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	18628.8	15	1241.92	898.31	0.0000
Intra grupos	44.2403	32	1.38251		
Total (Corr.)	18673.0	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
S148	3	1.36168	X
S158	3	2.72743	XX
S155	3	3.51329	X
S146	3	5.96885	X
S154	3	6.05274	X
S150	3	9.38923	X
S161	3	10.1906	XX
S139	3	10.4211	XX
S149	3	11.3664	XX
S160	3	11.4177	XX
S156	3	13.2731	X
S157	3	16.1527	X
S147	3	20.1439	X
S152	3	39.335	X
S153	3	57.0096	X
S151	3	71.9936	X

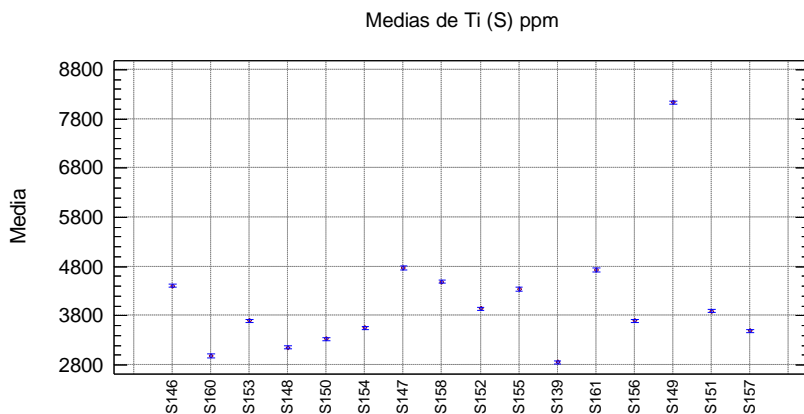
ANOVA en suelos: Hierro



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	7.40796E8	15	4.93864E7	1647.58	0.0000
Intra grupos	959203.	32	29975.1		
Total (Corr.)	7.41755E8	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
S160	3	15629.0	X
S152	3	19199.1	X
S157	3	19358.4	X
S148	3	19426.3	X
S150	3	20028.7	X
S156	3	20205.1	XX
S154	3	20434.7	X
S151	3	21783.4	X
S139	3	22072.5	X
S153	3	22215.7	X
S155	3	23079.9	X
S158	3	24581.9	X
S147	3	25713.0	X
S146	3	26077.4	X
S161	3	26134.2	X
S149	3	33090.1	X

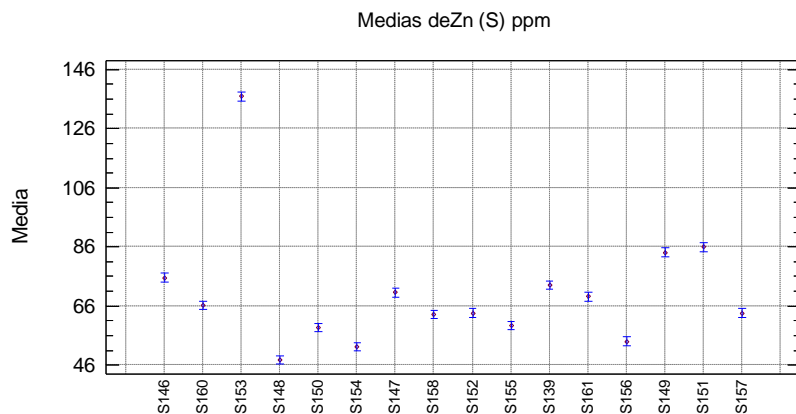
ANOVA en suelos: Titanio



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	6.83312E7	15	4.55542E6	3014.66	0.0000
Intra grupos	48354.9	32	1511.09		
Total (Corr.)	6.83796E7	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
S139	3	2854.7	X
S160	3	2986.57	X
S148	3	3158.22	X
S150	3	3327.54	X
S157	3	3492.36	X
S154	3	3559.67	X
S153	3	3698.14	X
S156	3	3699.47	X
S151	3	3898.73	X
S152	3	3946.12	X
S155	3	4341.13	X
S146	3	4408.59	X
S158	3	4492.68	X
S161	3	4732.26	X
S147	3	4772.0	X
S149	3	8136.99	X

ANOVA en suelos: Zinc



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	19260.1	15	1284.0	395.70	0.0000
Intra grupos	103.838	32	3.24493		
Total (Corr.)	19363.9	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
S148	3	47.7851	X
S154	3	52.1911	X
S156	3	54.0052	X
S150	3	58.7189	X
S155	3	59.3771	X
S158	3	63.1543	X
S152	3	63.5497	XX
S157	3	63.6354	XX
S160	3	66.2566	XX
S161	3	69.1656	XX
S147	3	70.509	XX
S139	3	73.0982	XX
S146	3	75.5963	X
S149	3	84.114	X
S151	3	85.9415	X
S153	3	136.905	X

Análisis de Conglomerados
Pb, Cu y Zn en suelos

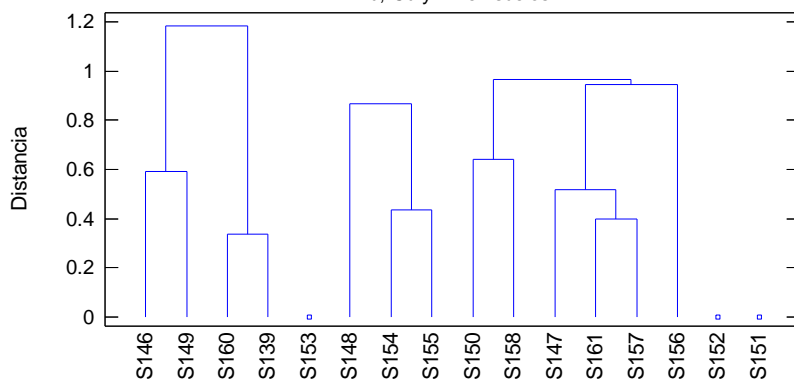
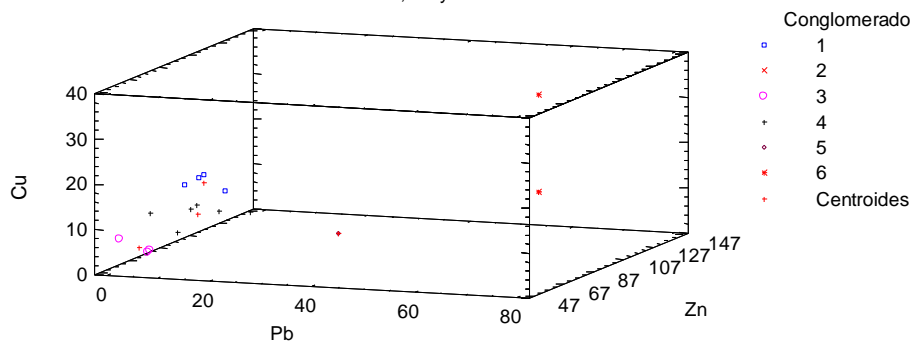
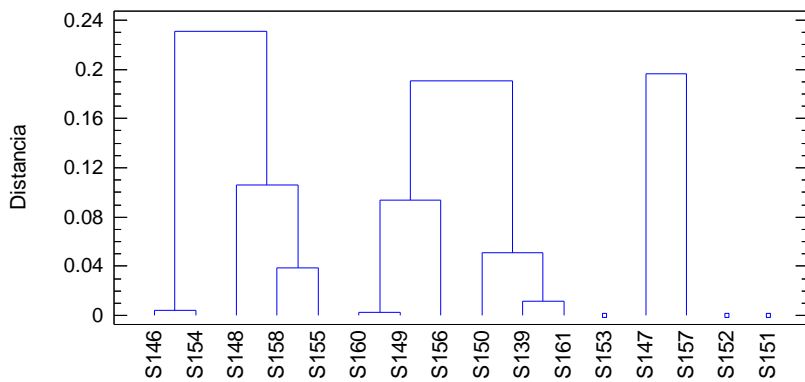


Diagrama de Dispersión de Conglomerados
Pb, Cu y Zn en suelos



Análisis de Conglomerados
Pb en suelos



Factores de Enriquecimiento y porcentaje de Plomo Antropogénico en suelos:

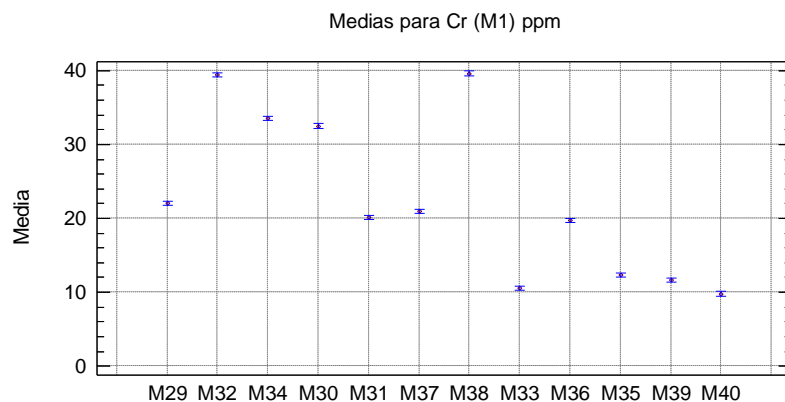
Nombre	Clave	En base a Fe		En Base a Ti	
Acazulco	S146	0.3	-200.6	0.3	-211.0
Santin	S160	1.1	5.8	0.9	-10.1
Tollocan	S153	3.7	73.2	3.7	72.7
Pedregal	S148	0.1	-881.7	0.1	-876.6
Ciervita	S150	0.7	-46.8	0.7	-49.2
La Pilita	S154	0.4	-132.3	0.4	-147.6
Ameyalco	S147	1.1	12.2	1.0	0.3
Cacalomacan	S158	0.2	-520.2	0.1	-593.6
Reforma	S152	3.0	66.4	2.4	57.8
Negrete	S155	0.2	-352.0	0.2	-420.3
Hípico	S139	0.7	-45.7	0.9	-15.3
San Miguel	S161	0.6	-76.5	0.5	-95.5
San Antonio	S156	1.0	-4.7	0.9	-17.4
San Diego	S149	0.5	-100.3	0.3	-201.4
Alameda	S151	4.8	79.2	4.4	77.2
Lomas Altas	S157	1.2	17.5	1.1	9.0

V. Análisis multielemental musgos (M1)

M1		Cu (mg/Kg)		Pb (mg/Kg)		Zn (mg/Kg)	
Nombre	Clave	X	s	x	s	x	S
Negrete	M29	19.23	0.25	45.75	0.61	86.03	0.54
Alameda	M32	49.13	0.88	143.88	2.40	168.59	1.54
Reforma	M34	52.14	1.11	116.23	0.50	173.63	3.69
Hípico	M30	32.53	0.77	23.39	0.54	152.85	0.60
La Pila	M31	29.07	0.98	34.48	1.07	154.94	0.81
Santin	M37	25.99	0.64	16.83	0.50	169.25	4.14
Tollocan	M38	68.99	0.94	65.50	0.39	324.71	2.58
Lomas Altas	M33	19.34	0.30	11.92	0.43	91.17	1.53
San Miguel	M36	28.15	0.68	29.00	0.20	109.32	1.12
San Antonio	M35	18.41	0.10	18.92	0.33	69.68	0.81
Cacalomacan	M39	12.66	0.34	9.49	0.99	72.66	0.61
Ciervita	M40	15.26	0.53	9.88	0.33	71.27	0.20

M1		Cr (mg/Kg)		V (mg/Kg)		Fe (mg/Kg)		Ti (mg/Kg)	
Nombre	Clave	X	s	x	s	x	s	x	S
Negrete	M29	22.05	0.09	40.65	0.50	9946.74	91.66	691.13	6.47
Alameda	M32	39.39	0.65	53.54	0.93	12320.08	85.17	716.49	5.35
Reforma	M34	33.54	0.64	50.78	1.25	7329.72	65.74	568.52	5.81
Hípico	M30	32.51	0.12	24.43	0.48	6645.34	96.87	541.77	7.77
La Pila	M31	20.13	0.29	36.29	0.69	8501.89	86.04	662.75	5.31
Santin	M37	21.00	0.48	36.91	0.95	8780.99	39.48	696.86	4.91
Tollocan	M38	39.64	0.41	79.37	0.47	9904.59	107.44	652.97	7.82
Lomas Altas	M33	10.55	0.17	20.20	0.65	3365.53	77.24	238.50	7.62
San Miguel	M36	19.70	0.24	34.92	1.01	8425.50	198.42	816.19	18.79
San Antonio	M35	12.34	0.16	22.73	0.41	4987.39	25.85	478.82	1.86
Cacalomacan	M39	11.68	0.09	17.55	0.57	5822.61	41.99	545.86	3.75
Ciervita	M40	9.80	0.07	13.41	0.35	3818.85	61.05	372.86	5.52

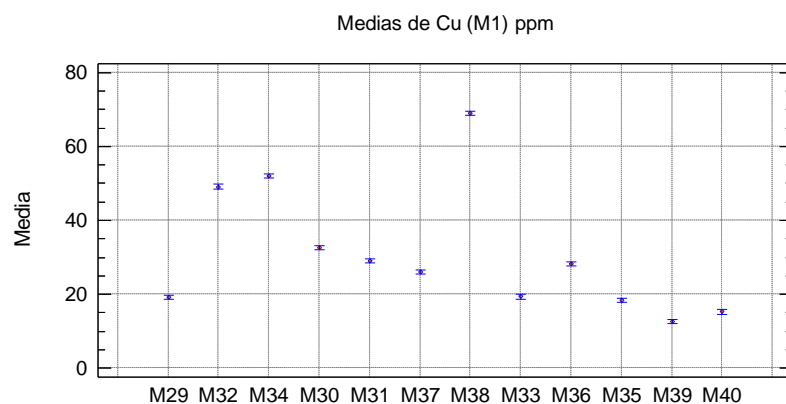
ANOVA en musgos M1: Cromo



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4023.34	11	365.759	3004.64	0.0000
Intra grupos	2.92155	24	0.121731		
Total (Corr.)	4026.27	35			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M40	3	9.8007	X
M33	3	10.5472	X
M39	3	11.6847	X
M35	3	12.3424	X
M36	3	19.7033	X
M31	3	20.1271	X
M37	3	20.9955	X
M29	3	22.0464	X
M30	3	32.5089	X
M34	3	33.544	X
M32	3	39.3922	X
M38	3	39.6425	X

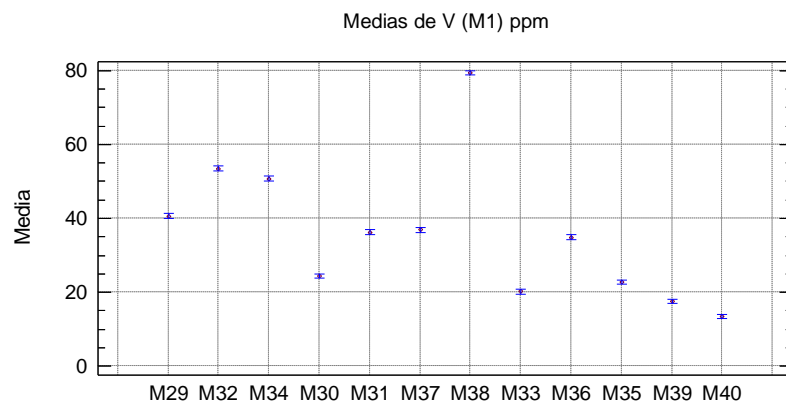
ANOVA en musgos M1: Cobre



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	9823.92	11	893.084	1828.04	0.0000
Intra grupos	11.7251	24	0.488548		
Total (Corr.)	9835.65	35			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M39	3	12.6615	X
M40	3	15.2648	X
M35	3	18.4059	X
M29	3	19.2298	X
M33	3	19.3429	X
M37	3	25.9852	X
M36	3	28.1521	X
M31	3	29.0732	X
M30	3	32.5333	X
M32	3	49.1316	X
M34	3	52.1352	X
M38	3	68.9872	X

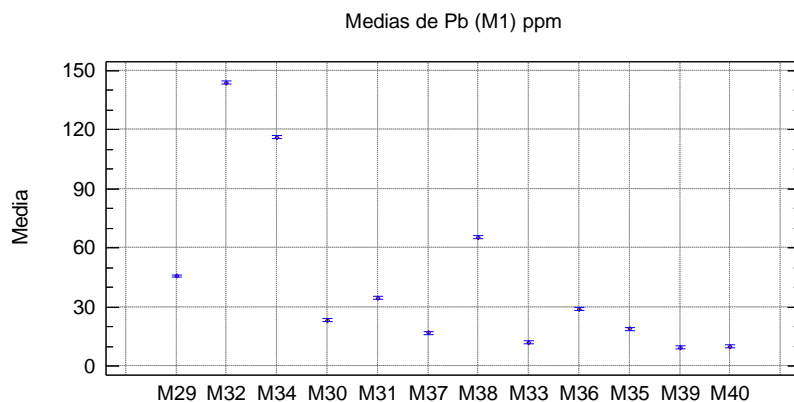
ANOVA en musgos M1: Vanadio



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11521.4	11	1047.4	1922.88	0.0000
Intra grupos	13.0729	24	0.544706		
Total (Corr.)	11534.5	35			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M40	3	13.4083	X
M39	3	17.5512	X
M33	3	20.1995	X
M35	3	22.7279	X
M30	3	24.4298	X
M36	3	34.9161	X
M31	3	36.2875	X
M37	3	36.91	X
M29	3	40.6454	X
M34	3	50.7785	X
M32	3	53.537	X
M38	3	79.3656	X

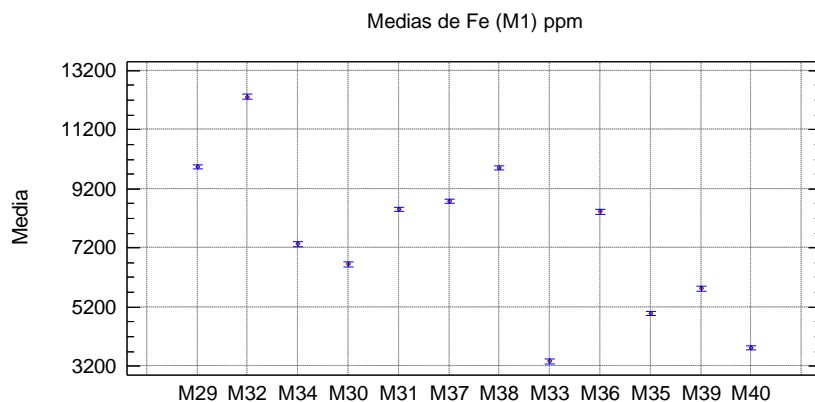
ANOVA en musgos M1: Plomo



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	63451.5	11	5768.32	7175.61	0.0000
Intra grupos	19.2931	24	0.803879		
Total (Corr.)	63470.8	35			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M39	3	9.48512	X
M40	3	9.87836	X
M33	3	11.917	X
M37	3	16.8283	X
M35	3	18.9228	X
M30	3	23.3886	X
M36	3	28.9996	X
M31	3	34.4817	X
M29	3	45.7483	X
M38	3	65.5005	X
M34	3	116.229	X
M32	3	143.882	X

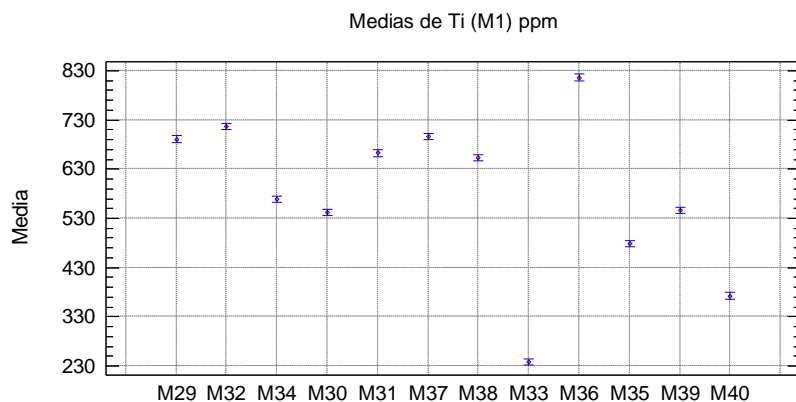
ANOVA en musgos M1: Hierro



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.37096E8	11	2.15542E7	2551.76	0.0000
Intra grupos	202723.	24	8446.8		
Total (Corr.)	2.37299E8	35			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M33	3	3365.53	X
M40	3	3818.85	X
M35	3	4987.39	X
M39	3	5822.61	X
M30	3	6645.34	X
M34	3	7329.72	X
M36	3	8425.5	X
M31	3	8501.89	X
M37	3	8780.99	X
M38	3	9904.59	X
M29	3	9946.74	X
M32	3	12320.1	X

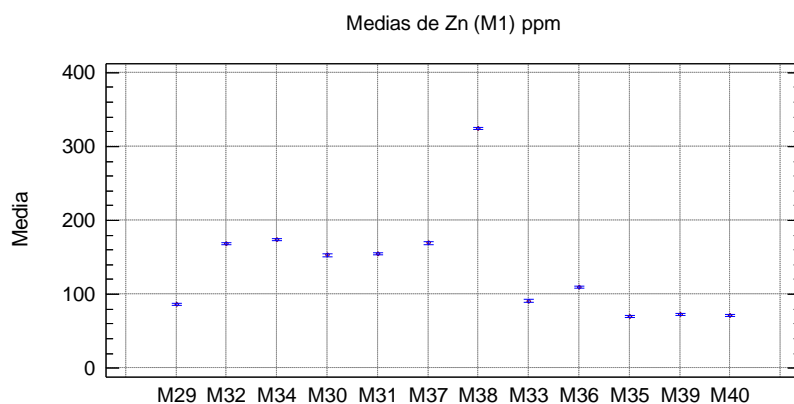
ANOVA en musgos M1: Titanio



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	855218.	11	77747.1	1265.24	0.0000
Intra grupos	1474.77	24	61.4486		
Total (Corr.)	856693.	35			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M33	3	238.502	X
M40	3	372.865	X
M35	3	478.818	X
M30	3	541.768	X
M39	3	545.856	X
M34	3	568.52	X
M38	3	652.972	X
M31	3	662.754	X
M29	3	691.126	X
M37	3	696.858	X
M32	3	716.487	X
M36	3	816.191	X

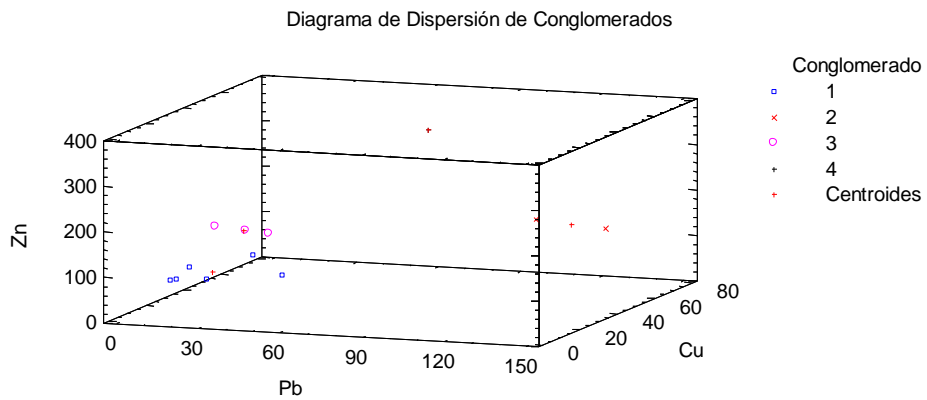
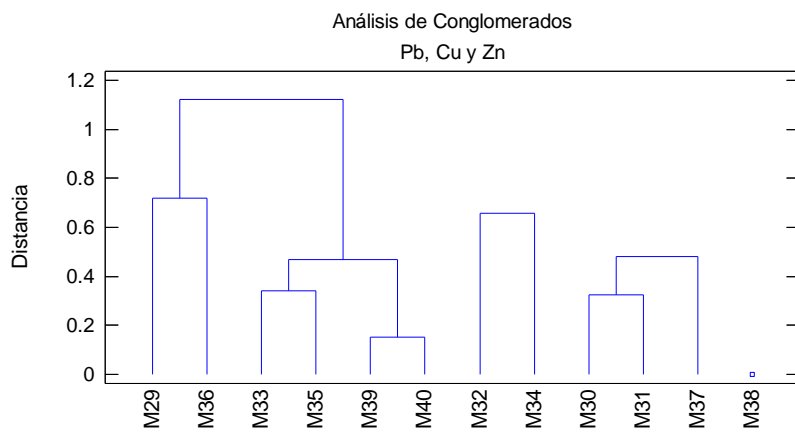
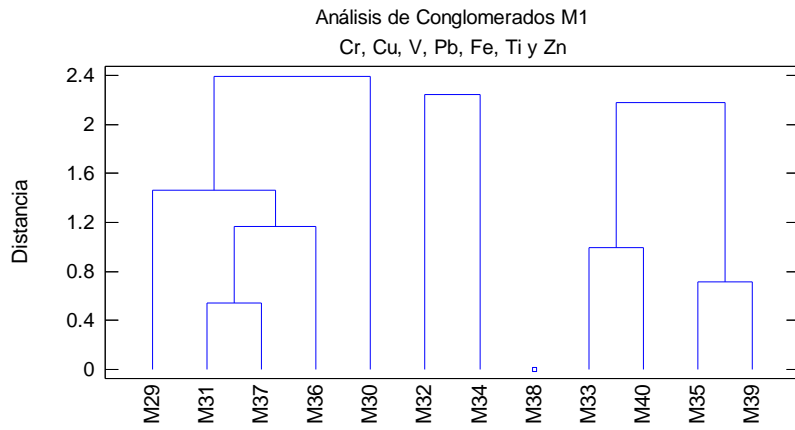
ANOVA en musgos M1: Zinc



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	172930.	11	15721.0	4124.17	0.0000
Intra grupos	91.4857	24	3.8119		
Total (Corr.)	173022.	35			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M35	3	69.6836	X
M40	3	71.2732	X
M39	3	72.6556	X
M29	3	86.0286	X
M33	3	91.1694	X
M36	3	109.322	X
M30	3	152.846	X
M31	3	154.935	X
M32	3	168.589	X
M37	3	169.247	X
M34	3	173.633	X
M38	3	324.709	X

Análisis de Conglomerados



Factores de Enriquecimiento M1

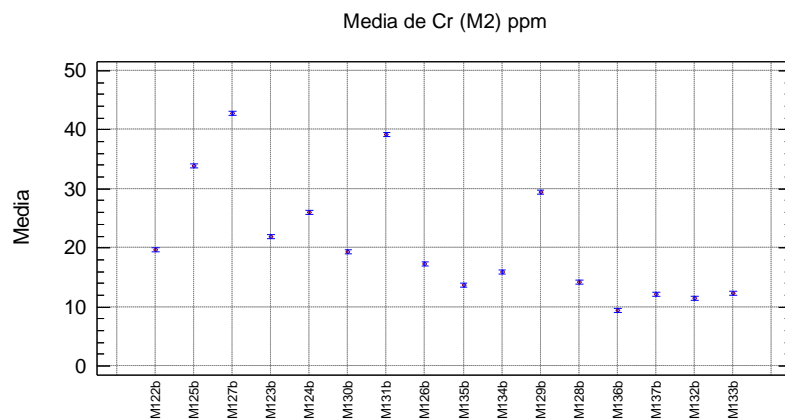
M1		Base al Fe		Base al Ti	
Nombre	Clave	EF	APb	EF	APb
Negrete	M29	10.32	90.31	15.72	93.64
Alameda	M32	26.20	96.18	47.69	97.90
Reforma	M34	35.58	97.19	48.55	97.94
Hípico	M30	7.90	87.34	10.25	90.25
La Pila	M31	9.10	89.01	12.36	91.91
Santin	M37	4.30	76.74	5.74	82.56
Tollocan	M38	14.84	93.26	23.82	95.80
Lomas Altas	M33	7.94	87.41	11.87	91.57
San Miguel	M36	7.72	87.05	8.44	88.15
San Antonio	M35	8.51	88.25	9.39	89.35
Cacalomacan	M39	3.66	72.64	4.13	75.77
Ciervita	M40	5.80	82.77	6.29	84.11

VI. Análisis multielemental musgos M2

M2		Cu (mg/Kg)		Pb (mg/Kg)		Zn (mg/Kg)	
Nombre	Clave	X	s	x	s	x	s
Negrete	M122b	19.53	0.40	40.53	0.38	94.36	1.28
Alameda	M125b	36.75	0.97	74.58	1.32	147.49	3.28
Reforma	M127b	50.31	0.14	99.93	1.77	156.27	2.32
Hípico	M123b	26.17	0.77	25.57	0.50	159.46	4.09
La Pila	M124b	34.45	0.95	29.73	1.10	164.57	4.78
Santin	M130b	29.29	0.44	19.80	0.24	209.62	2.58
Tollocan	M131b	70.44	0.88	69.15	0.91	305.87	3.71
Lomas Altas	M126b	21.19	0.76	14.30	0.43	90.97	0.56
Acazulco	M135b	16.01	0.18	12.89	0.29	76.72	0.66
Pedregal	M134b	19.38	0.20	41.50	0.75	135.22	1.33
San Miguel	M129b	39.95	0.88	45.59	0.48	159.39	5.17
San Antonio	M128b	21.29	1.52	20.68	0.34	71.65	1.91
Ameyalco	M136b	17.08	0.35	20.72	0.38	77.51	0.67
San Diego	M137b	17.13	0.46	18.25	0.10	73.03	0.70
Cacalomacan	M132b	14.07	0.58	9.47	0.50	66.20	0.69
Ciervita	M133b	14.41	0.36	10.78	0.30	67.27	0.65

M2		Cr (mg/Kg)		V (mg/Kg)		Fe (mg/Kg)		Ti (mg/Kg)	
Nombre	Clave	X	s	x	s	x	s	x	S
Negrete	M122b	19.67	0.22	37.04	1.15	9743.64	304.43	749.06	22.11
Alameda	M125b	33.82	0.76	35.18	0.61	9858.47	153.01	623.48	8.22
Reforma	M127b	42.85	0.58	61.66	0.50	8854.09	130.41	659.92	6.51
Hípico	M123b	21.98	0.59	25.79	0.41	6880.31	179.64	583.14	14.72
La Pila	M124b	26.06	0.36	39.80	1.08	9459.93	141.90	716.21	8.89
Santin	M130b	19.28	0.20	40.53	0.19	8008.89	62.06	616.06	3.53
Tollocan	M131b	39.14	0.46	73.04	1.01	10525.47	49.59	676.43	3.08
Lomas Altas	M126b	17.24	0.15	25.91	0.67	4479.87	19.31	426.69	1.83
Acazulco	M135b	13.67	0.11	19.11	0.33	6601.16	3.26	666.13	0.98
Pedregal	M134b	15.85	0.13	21.21	0.39	4132.39	24.79	406.48	2.76
San Miguel	M129b	29.43	0.90	59.33	1.23	12045.24	57.52	837.70	1.62
San Antonio	M128b	14.30	0.31	26.33	1.40	6665.52	145.50	541.87	9.50
Ameyalco	M136b	9.50	0.10	24.43	0.71	4359.29	63.32	431.06	4.07
San Diego	M137b	12.17	0.14	32.83	0.86	5855.44	39.18	517.31	3.62
Cacalomacan	M132b	11.56	0.08	18.43	0.62	6439.42	65.10	585.15	5.84
Ciervita	M133b	12.27	0.08	20.06	0.71	5504.91	54.49	543.60	5.30

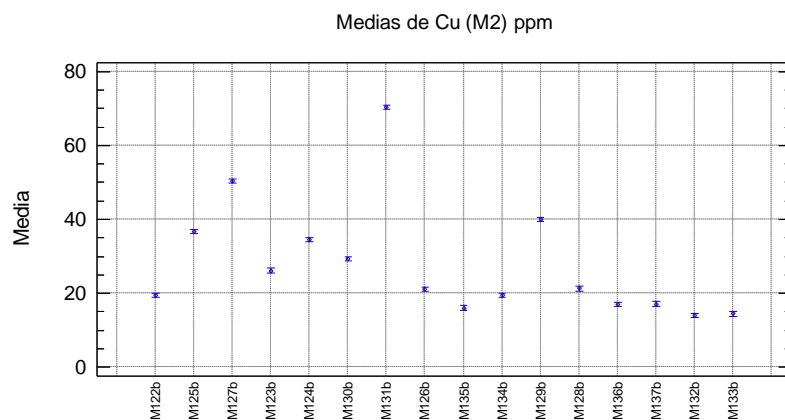
ANOVA Musgos M2: Cromo



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4762.47	15	317.498	1886.22	0.0000
Intra grupos	5.38639	32	0.168325		
Total (Corr.)	4767.85	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M136b	3	9.50097	X
M132b	3	11.5628	X
M137b	3	12.168	XX
M133b	3	12.2666	X
M135b	3	13.6653	X
M128b	3	14.2976	X
M134b	3	15.8529	X
M126b	3	17.2436	X
M130b	3	19.2753	X
M122b	3	19.6714	X
M123b	3	21.9833	X
M124b	3	26.0552	X
M129b	3	29.4259	X
M125b	3	33.8156	X
M131b	3	39.1445	X
M127b	3	42.8486	X

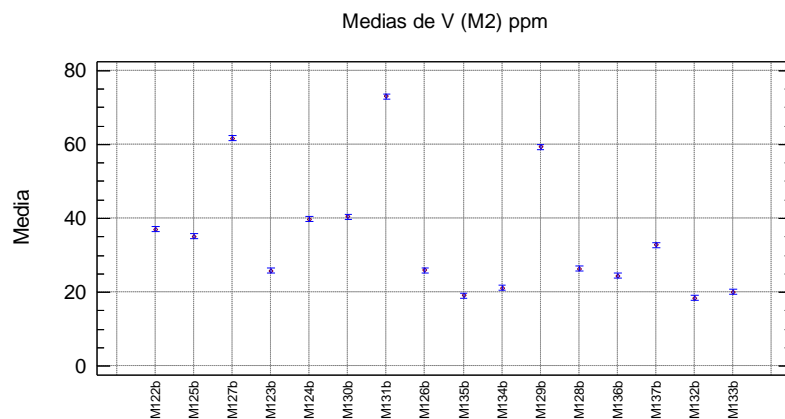
ANOVA Musgos M2: Cobre



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	10686.2	15	712.415	1399.79	0.0000
Intra grupos	16.2862	32	0.508943		
Total (Corr.)	10702.5	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M132b	3	14.0716	X
M133b	3	14.4075	X
M135b	3	16.0093	X
M136b	3	17.0819	X
M137b	3	17.127	X
M134b	3	19.3834	X
M122b	3	19.5256	X
M126b	3	21.1874	X
M128b	3	21.2912	X
M123b	3	26.1724	X
M130b	3	29.285	X
M124b	3	34.4477	X
M125b	3	36.7466	X
M129b	3	39.9495	X
M127b	3	50.3137	X
M131b	3	70.4369	X

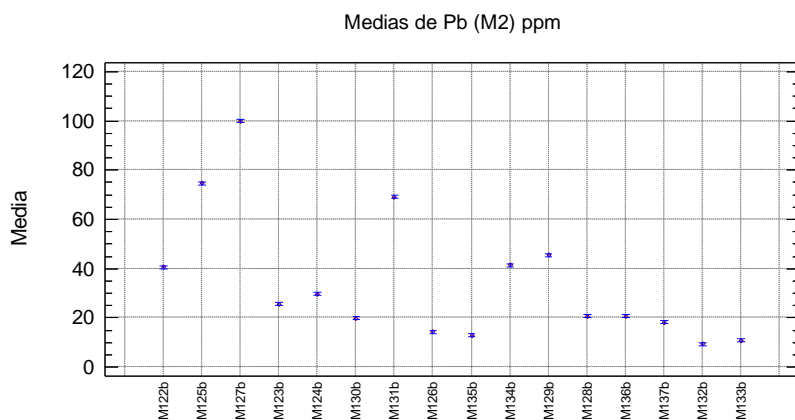
ANOVA Musgos M2: Vanadio



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	12321.4	15	821.428	1235.87	0.0000
Intra grupos	21.269	32	0.664657		
Total (Corr.)	12342.7	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M132b	3	18.4328	X
M135b	3	19.1097	XX
M133b	3	20.0573	XX
M134b	3	21.2054	X
M136b	3	24.4283	X
M123b	3	25.788	X
M126b	3	25.9111	X
M128b	3	26.3265	X
M137b	3	32.8311	X
M125b	3	35.1803	X
M122b	3	37.0442	X
M124b	3	39.7956	X
M130b	3	40.53	X
M129b	3	59.3251	X
M127b	3	61.663	X
M131b	3	73.04	X

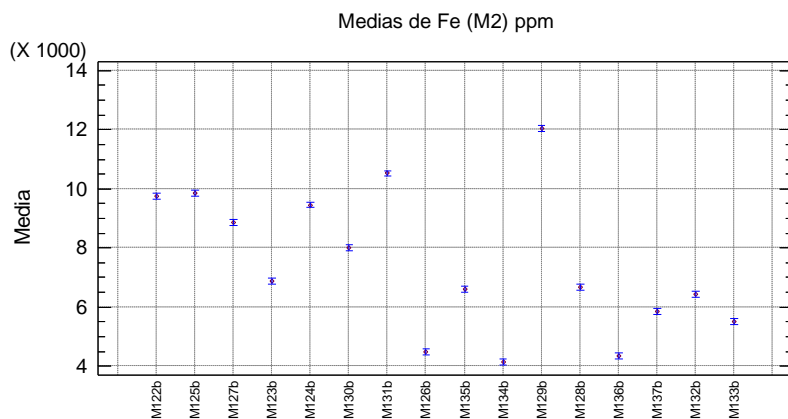
ANOVA Musgos M2: Plomo



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	30973.3	15	2064.88	3652.48	0.0000
Intra grupos	18.0908	32	0.565338		
Total (Corr.)	30991.4	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M132b	3	9.46514	X
M133b	3	10.779	X
M135b	3	12.8914	X
M126b	3	14.2989	X
M137b	3	18.2501	X
M130b	3	19.7969	X
M128b	3	20.6762	X
M136b	3	20.7221	X
M123b	3	25.5697	X
M124b	3	29.7263	X
M122b	3	40.526	X
M134b	3	41.5005	X
M129b	3	45.5873	X
M131b	3	69.151	X
M125b	3	74.5847	X
M127b	3	99.9269	X

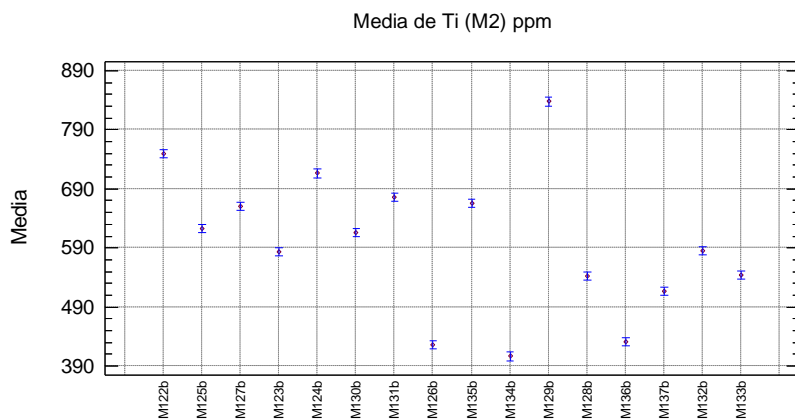
ANOVA Musgos M2: Hierro



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.59037E8	15	1.72691E7	1201.11	0.0000
Intra grupos	460083.	32	14377.6		
Total (Corr.)	2.59497E8	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M134b	3	4132.39	X
M136b	3	4359.29	X
M126b	3	4479.87	X
M133b	3	5504.91	X
M137b	3	5855.44	X
M132b	3	6439.42	X
M135b	3	6601.16	XX
M128b	3	6665.52	X
M123b	3	6880.31	X
M130b	3	8008.89	X
M127b	3	8854.09	X
M124b	3	9459.93	X
M122b	3	9743.64	X
M125b	3	9858.47	X
M131b	3	10525.5	X
M129b	3	12045.2	X

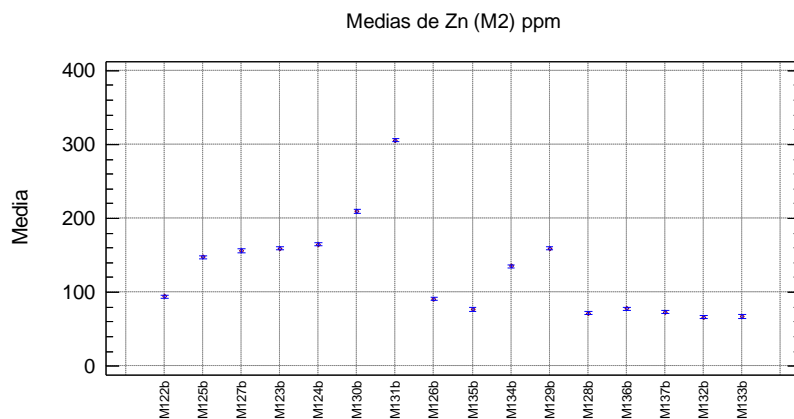
ANOVA Musgos M2: Titanio



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	650231.	15	43348.7	623.06	0.0000
Intra grupos	2226.37	32	69.574		
Total (Corr.)	652457.	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M134b	3	406.485	X
M126b	3	426.688	X
M136b	3	431.064	X
M137b	3	517.312	X
M128b	3	541.868	X
M133b	3	543.602	X
M123b	3	583.145	X
M132b	3	585.146	X
M130b	3	616.065	X
M125b	3	623.483	X
M127b	3	659.923	X
M135b	3	666.131	XX
M131b	3	676.431	X
M124b	3	716.214	X
M122b	3	749.064	X
M129b	3	837.698	X

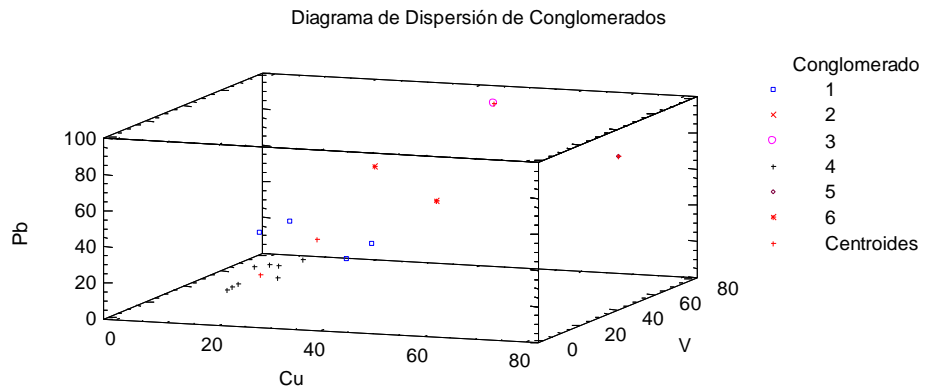
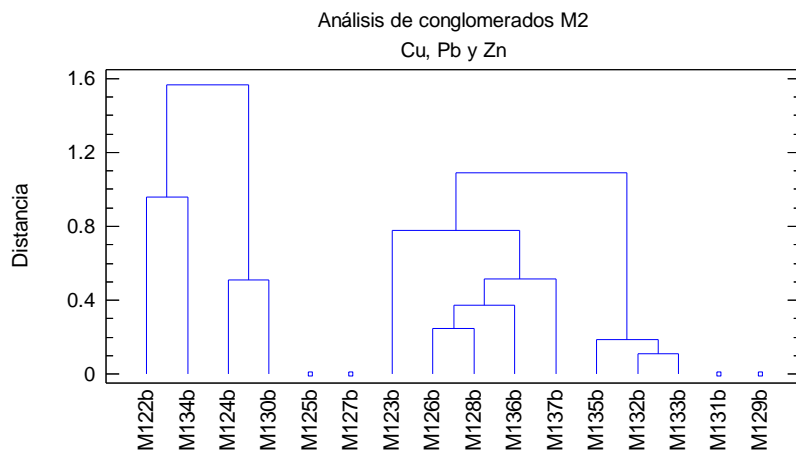
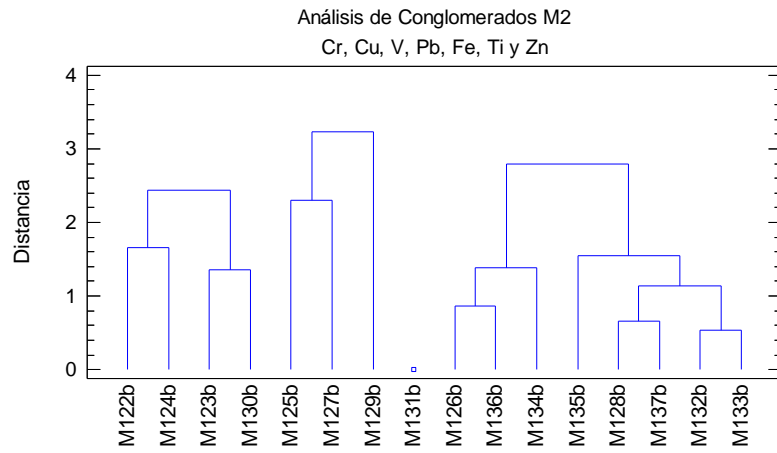
ANOVA Musgos M2: Zinc



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	192671.	15	12844.7	1828.26	0.0000
Intra grupos	224.821	32	7.02566		
Total (Corr.)	192895.	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M132b	3	66.2046	X
M133b	3	67.2694	XX
M128b	3	71.6496	XX
M137b	3	73.0306	XX
M135b	3	76.7228	XX
M136b	3	77.5129	X
M126b	3	90.974	X
M122b	3	94.3575	X
M134b	3	135.221	X
M125b	3	147.488	X
M127b	3	156.274	X
M129b	3	159.389	X
M123b	3	159.457	X
M124b	3	164.575	X
M130b	3	209.618	X
M131b	3	305.868	X

Análisis de Conglomerados



Factores de enriquecimiento M2

M2		Base al Fe		Base al Ti	
Nombre	Clave	EF	APb	EF	APb
Negrete	M122b	9.33	89.28	12.85	92.22
Alameda	M125b	16.98	94.11	28.41	96.48
Reforma	M127b	25.32	96.05	35.96	97.22
Hípico	M123b	8.34	88.01	10.41	90.40
La Pila	M124b	7.05	85.82	9.86	89.86
Santin	M130b	5.55	81.97	7.63	86.90
Tollocan	M131b	14.74	93.22	24.28	95.88
Lomas Altas	M126b	7.16	86.04	7.96	87.44
Acazulco	M135b	4.38	77.18	4.60	78.24
Pedregal	M134b	22.53	95.56	24.25	95.88
San Miguel	M129b	8.49	88.22	12.92	92.26
San Antonio	M128b	6.96	85.63	9.06	88.97
Ameyalco	M136b	10.67	90.62	11.42	91.24
San Diego	M137b	6.99	85.70	8.38	88.06
Cacalomacan	M132b	3.30	69.68	3.84	73.97
Ciervita	M133b	4.39	77.24	4.71	78.77

VII. Análisis multielemental entre muestreos de musgos: diferencias significativas

Nombre	Cu		Pb		Zn	
	HOMO	Prueba T i	HOMO	Prueba T i	HOMO	Prueba T i
Negrete	1	1	1	0	1	2
Alameda	1	0	1	0	1	0
Reforma	1	0	1	0	1	0
Hípico	1	0	1	2	1	2
La Pila	1	2	1	0	1	2
Santin	1	2	1	2	1	2
Tollocan	1	1	1	2	1	0
Lomas Altas	1	2	1	2	1	1
San Miguel	1	2	1	2	1	2
San Antonio	1	2	1	2	1	1
Cacalomacan	1	2	1	1	1	0
Ciervita	1	1	1	2	1	0

Nombre	Cr		V		Fe		Ti	
	HOMO	Prueba T i	HOMO	Prueba T i	HOMO	Prueba T i	HOMO	Prueba T i
Negrete	1	0	1	0	1	1	1	2
Alameda	1	0	1	0	1	0	1	0
Reforma	1	2	1	2	1	2	1	2
Hípico	1	0	1	2	1	1	1	2
La Pila	1	2	1	2	1	2	1	2
Santin	1	0	1	2	1	0	1	0
Tollocan	1	1	1	0	1	2	1	2
Lomas Altas	1	2	1	2	1	2	1	2
San Miguel	1	2	1	2	1	2	1	2
San Antonio	1	2	1	2	1	2	1	2
Cacalomacan	1	1	1	1	1	2	1	2
Ciervita	1	2	1	2	1	2	1	2

Prueba de Homocedasticidad: 1 Homocedástico, 0 Heterocedástico

Prueba T: 0 M2 significativamente menor que M1, 1 sin diferencia significativas, 2 M2 significativamente mayor que M1.

VIII. Análisis entre suelos y musgos:

Prueba T S vs MI

Sitio	Cu		Pb		Zn	
	Homo	Prueba T	Homo	Prueba T	Homo	Prueba T
Santin	1	2	1	2	1	2
Tollocan	1	2	1	2	1	2
Ciervita	1	2	1	1	1	2
La Pilita	1	2	1	2	1	2
Cacalomacan	1	2	1	2	1	2
Reforma	1	2	1	2	1	2
Negrete	1	2	1	2	1	2
Hípico	1	2	1	2	1	2
San Miguel	1	2	1	2	1	2
San Antonio	1	2	1	2	1	2
Alameda	1	2	1	2	1	2
Lomas Altas	1	2	1	0	1	2

Sitio	Cr		V		Fe		Ti	
	Homo	Prueba T	Homo	Prueba T	Homo	Prueba T	Homo	Prueba T
Santin	1	0	1	0	1	0	1	0
Tollocan	1	0	1	0	1	0	1	0
Ciervita	1	0	1	0	1	0	1	0
La Pilita	1	0	1	0	1	0	1	0
Cacalomacan	1	0	1	0	1	0	1	0
Reforma	1	0	1	0	1	0	1	0
Negrete	1	0	1	0	1	0	1	0
Hípico	1	0	1	0	1	0	1	0
San Miguel	1	0	1	0	1	0	1	0
San Antonio	1	0	1	0	1	0	0	0
Alameda	1	0	1	0	1	0	1	0
Lomas Altas	1	0	1	0	1	0	1	0

Prueba de Homocedasticidad: 1 Homocedástico, 0 Heterocedástico

Prueba T: 0 Musgo significativamente menor que suelo, 1 sin diferencia significativas, 2 Musgo significativamente mayor que suelo.

Prueba T S vs M2

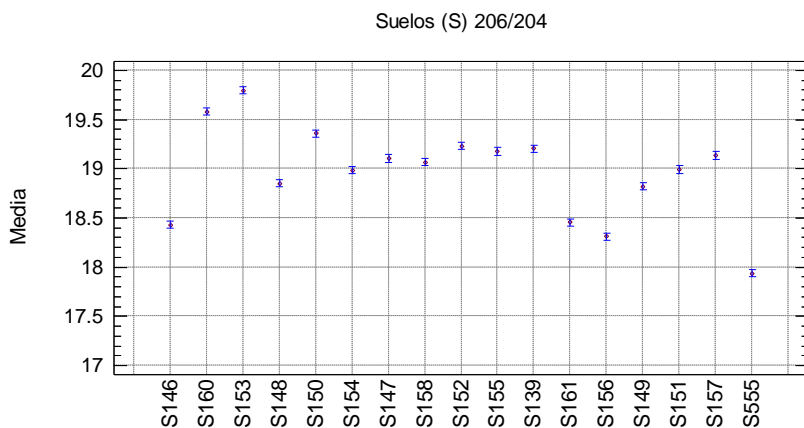
Sitio	Cu		Pb		Zn	
	Homo	Prueba T	Homo	Prueba T	Homo	Prueba T
Acazulco	1	1	1	2	1	2
Santin	1	2	1	2	1	2
Tollocan	1	2	1	2	1	2
Pedregal	1	2	1	2	1	2
Ciervita	1	2	1	2	1	2
La Pilita	1	2	1	2	1	2
Ameyalco	1	2	1	1	1	2
Cacalomacan	1	2	1	2	1	2
Reforma	1	2	1	2	1	2
Negrete	1	2	1	2	1	2
Hípico	1	2	1	2	1	2
San Miguel	1	2	1	2	1	2
San Antonio	1	2	1	2	1	2
San Diego	1	2	1	2	1	0
Alameda	1	2	1	1	1	2
Lomas Altas	1	2	1	0	1	2

Sitio	Cr		V		Fe		Ti	
	Homo	Prueba T	Homo	Prueba T	Homo	Prueba T	Homo	Prueba T
Acazulco	1	0	1	0	0	0	1	0
Santin	1	0	1	0	1	0	1	0
Tollocan	1	0	1	0	1	0	1	0
Pedregal	1	0	1	0	1	0	1	0
Ciervita	1	0	1	0	1	0	1	0
La Pilita	1	0	1	0	1	0	1	0
Ameyalco	1	0	1	0	1	0	1	0
Cacalomacan	1	0	1	0	1	0	1	0
Reforma	1	1	1	0	1	0	1	0
Negrete	1	0	1	0	1	0	1	0
Hípico	1	0	1	0	1	0	1	0
San Miguel	1	0	1	0	1	0	0	0
San Antonio	1	0	1	0	1	0	1	0
San Diego	1	0	1	0	1	0	1	0
Alameda	1	0	1	0	1	0	1	0
Lomas Altas	1	0	1	0	1	0	1	0

Prueba de Homocedasticidad: 1 Homocedástico, 0 Heterocedástico. Prueba T: 0 Musgo significativamente menor que suelo, 1 sin diferencia significativas, 2 Musgo significativamente mayor que suelo.

Nombre	Clave	206/204		206/207		206/208		207/204		208/204		207/208	
		X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S
Acazolco	S146	18.432	0.021	1.186	4.3E-05	0.473	1.4E-05	15.546	0.018	38.938	0.045	0.399	1.2E-05
Santin	S160	19.582	0.015	1.187	6.6E-05	0.479	1.8E-05	16.495	0.013	40.851	0.032	0.404	1.5E-05
Tollocan	S153	19.796	0.027	1.191	3.5E-05	0.489	1.5E-05	16.615	0.023	40.473	0.056	0.411	1.3E-05
Pedregal	S148	18.853	0.102	1.173	8.5E-05	0.479	1.5E-05	16.066	0.087	39.397	0.214	0.408	1.2E-05
Ciervita	S150	19.358	0.025	1.185	1.3E-04	0.485	2.2E-05	16.332	0.021	39.899	0.052	0.409	1.9E-05
La Pilita	S154	18.985	0.043	1.217	1.4E-04	0.492	3.1E-05	15.598	0.035	38.580	0.087	0.404	2.6E-05
Ameyalco	S147	19.104	0.034	1.221	7.3E-05	0.490	1.3E-05	15.645	0.028	39.001	0.070	0.401	1.1E-05
Cacalomacan	S158	19.068	0.124	1.199	2.6E-04	0.484	3.5E-05	15.908	0.104	39.388	0.256	0.404	3.0E-05
Reforma	S152	19.232	0.025	1.203	7.3E-05	0.486	3.1E-05	15.981	0.021	39.568	0.052	0.404	2.6E-05
Negrete	S155	19.179	0.037	1.212	8.4E-05	0.490	1.6E-05	15.822	0.031	39.175	0.076	0.404	1.3E-05
Hípico	S139	19.204	0.026	1.201	1.0E-04	0.489	1.9E-05	15.996	0.022	39.287	0.054	0.407	1.6E-05
San Miguel	S161	18.457	0.026	1.185	9.0E-05	0.476	2.0E-05	15.581	0.022	38.795	0.055	0.402	1.7E-05
San Antonio	S156	18.311	0.023	1.176	6.0E-05	0.477	2.2E-05	15.571	0.019	38.401	0.048	0.405	1.9E-05
San Diego	S149	18.823	0.024	1.208	1.4E-04	0.482	2.2E-05	15.583	0.020	39.072	0.051	0.399	1.8E-05
Alameda	S151	18.994	0.012	1.234	5.3E-05	0.487	1.6E-05	15.389	0.009	39.014	0.024	0.394	1.3E-05
Lomas Altas	S157	19.136	0.013	1.191	3.1E-05	0.484	1.0E-05	16.066	0.011	39.554	0.027	0.406	8.7E-06

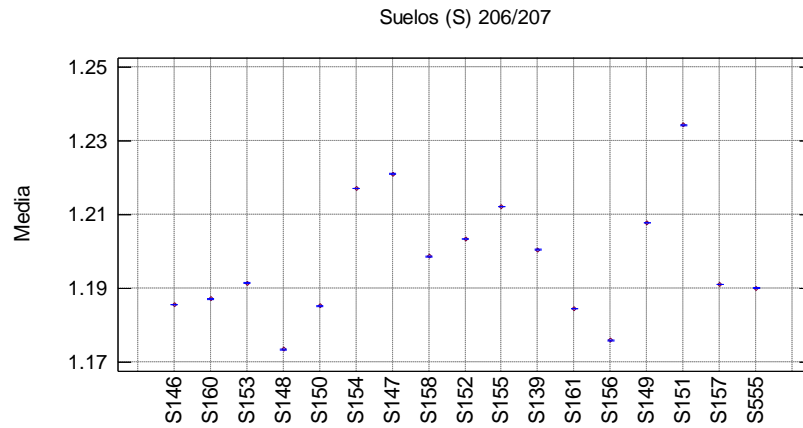
ANOVA RI en suelos: 206Pb/204P



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	10.5517	16	0.659479	313.42	0.0000
Intra grupos	0.0715396	34	0.00210411		
Total (Corr.)	10.6232	50			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
S555	3	17.9383	X
S156	3	18.3109	X
S146	3	18.4317	X
S161	3	18.4565	X
S149	3	18.8225	X
S148	3	18.8527	X
S154	3	18.9848	X
S151	3	18.9939	XX
S158	3	19.0681	XX
S147	3	19.1037	XX
S157	3	19.1356	XXX
S155	3	19.1791	XXX
S139	3	19.2037	XX
S152	3	19.232	X
S150	3	19.358	X
S160	3	19.582	X
S153	3	19.7957	X

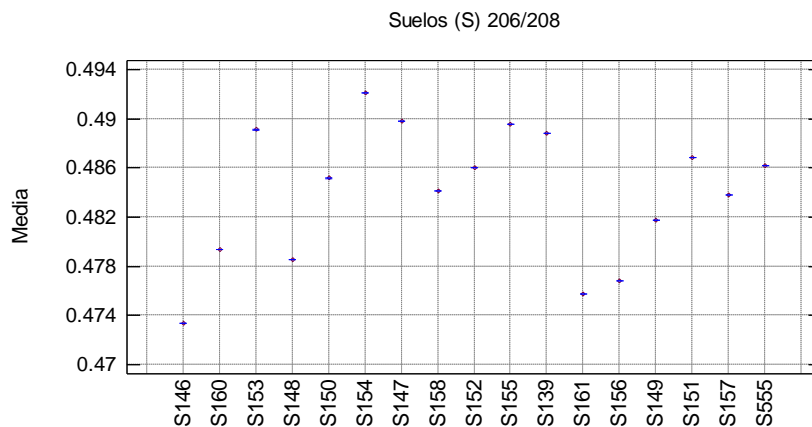
ANOVA RI en suelos: 206Pb/207Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0131998	16	0.000824985	78571.93	0.0000
Intra grupos	3.56991E-7	34	1.04997E-8		
Total (Corr.)	0.0132001	50			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
S555	3	17.9383	X
S156	3	18.3109	X
S146	3	18.4317	X
S161	3	18.4565	X
S149	3	18.8225	X
S148	3	18.8527	X
S154	3	18.9848	X
S151	3	18.9939	XX
S158	3	19.0681	XX
S147	3	19.1037	XX
S157	3	19.1356	XXX
S155	3	19.1791	XXX
S139	3	19.2037	XX
S152	3	19.232	X
S150	3	19.358	X
S160	3	19.582	X
S153	3	19.7957	X

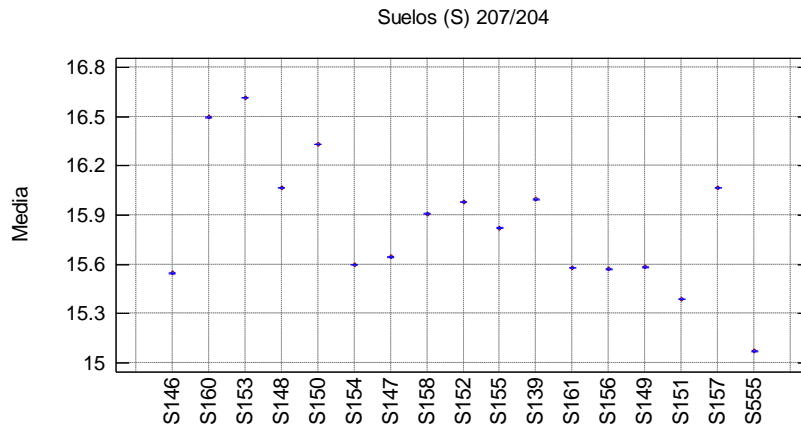
ANOVA RI en suelos: 206Pb/208Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.00146137	16	0.0000913353	214004.74	0.0000
Intra grupos	1.45109E-8	34	4.26791E-10		
Total (Corr.)	0.00146138	50			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
S146	3	0.473363	X
S161	3	0.475748	X
S156	3	0.476829	X
S148	3	0.478532	X
S160	3	0.479354	X
S149	3	0.481745	X
S157	3	0.483788	X
S158	3	0.484114	X
S150	3	0.485171	X
S152	3	0.486044	X
S555	3	0.486188	X
S151	3	0.486844	X
S139	3	0.488802	X
S153	3	0.489105	X
S155	3	0.489577	X
S147	3	0.489821	X
S154	3	0.492083	X

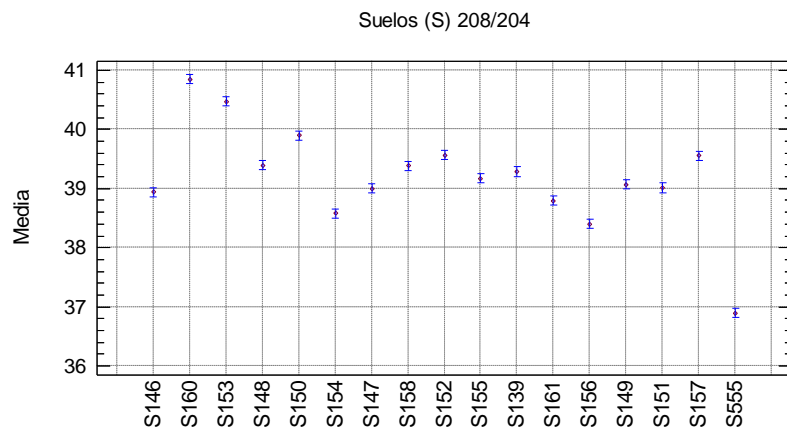
ANOVA RI en suelos: 207Pb/204Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	7.80478	16	0.487798	118813.89	0.0000
Intra grupos	0.000139589	34	0.00000410557		
Total (Corr.)	7.80491	50			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
S555	3	15.0729	X
S151	3	15.3888	X
S146	3	15.5463	X
S156	3	15.5715	X
S161	3	15.5807	X
S149	3	15.5834	X
S154	3	15.5975	X
S147	3	15.6455	X
S155	3	15.8219	X
S158	3	15.9077	X
S152	3	15.9812	X
S139	3	15.9959	X
S148	3	16.0657	X
S157	3	16.0658	X
S150	3	16.3319	X
S160	3	16.4946	X
S153	3	16.6146	X

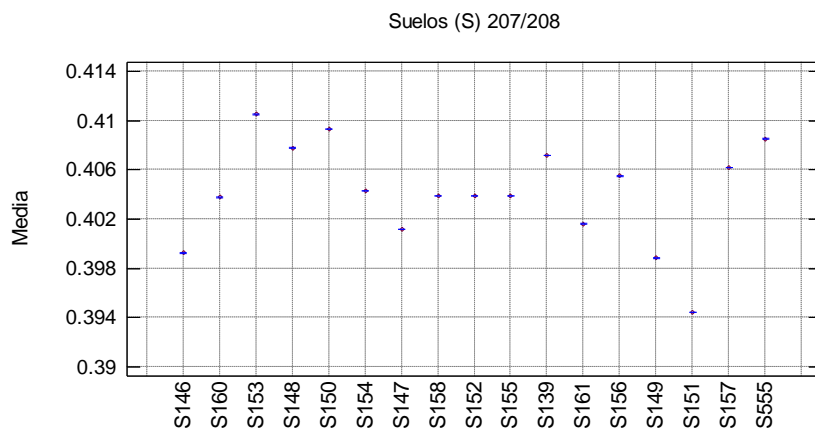
ANOVA RI en suelos: 208Pb/204Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	35.4971	16	2.21857	246.04	0.0000
Intra grupos	0.306587	34	0.00901727		
Total (Corr.)	35.8037	50			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
S555	3	36.8958	X
S156	3	38.4014	X
S154	3	38.5804	X
S161	3	38.7947	X
S146	3	38.9378	XX
S147	3	39.0014	X
S151	3	39.0143	X
S149	3	39.0715	XX
S155	3	39.1749	XX
S139	3	39.2873	XX
S158	3	39.3875	X
S148	3	39.397	XX
S157	3	39.5537	XX
S152	3	39.5684	X
S150	3	39.8993	X
S153	3	40.4732	X
S160	3	40.8509	X

ANOVA RI en suelos: 207Pb/208Pb

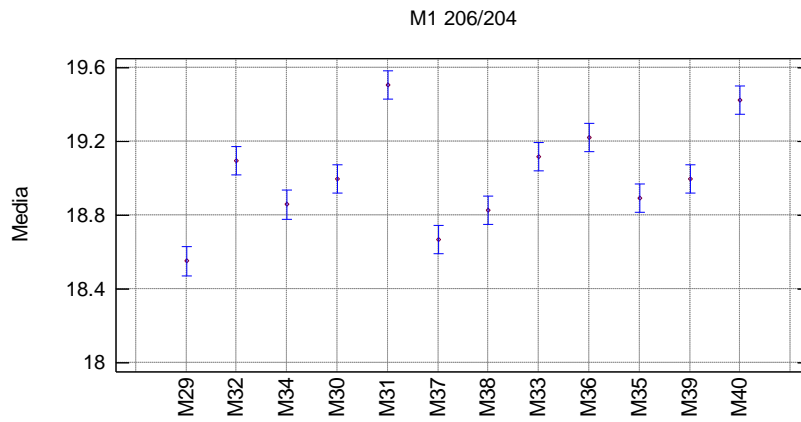


Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.000830043	16	0.0000518777	174838.92	0.0000
Intra grupos	1.00884E-8	34	2.96717E-10		
Total (Corr.)	0.000830053	50			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
S151	3	0.39444	X
S149	3	0.398844	X
S146	3	0.399258	X
S147	3	0.401152	X
S161	3	0.401619	X
S160	3	0.403776	X
S158	3	0.403877	X
S155	3	0.403879	X
S152	3	0.403887	X
S154	3	0.404286	X
S156	3	0.405493	X
S157	3	0.406178	X
S139	3	0.407153	X
S148	3	0.407789	X
S555	3	0.408527	X
S150	3	0.409328	X
S153	3	0.410508	X

M1		206/204		206/207		206/208		207/204		208/204		207/208	
Nombre	Clave	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s
Negrete	M29	18.551	0.008	1.179	2.6E-05	0.478	5.2E-06	15.729	0.007	38.821	0.018	0.405	9.5E-06
Alameda	M32	19.095	0.004	1.192	3.1E-05	0.482	1.3E-05	16.019	0.003	39.633	0.008	0.404	1.7E-06
Reforma	M34	18.858	0.014	1.208	1.3E-05	0.487	6.5E-06	15.610	0.012	38.755	0.029	0.403	3.8E-06
Hípico	M30	18.999	0.004	1.190	2.4E-05	0.480	5.9E-06	15.967	0.003	39.547	0.009	0.404	7.3E-06
La Pila	M31	19.505	0.021	1.199	2.7E-05	0.479	7.5E-06	16.267	0.017	40.729	0.044	0.399	1.1E-05
Santin	M37	18.668	0.203	1.180	3.3E-04	0.485	9.8E-05	15.824	0.172	38.504	0.419	0.411	9.7E-05
Tollocan	M38	18.828	0.013	1.180	2.4E-05	0.483	6.1E-06	15.953	0.011	38.958	0.027	0.409	8.5E-06
Lomas Altas	M33	19.119	0.073	1.233	3.5E-04	0.498	8.1E-05	15.507	0.059	38.391	0.146	0.404	1.1E-04
San Miguel	M36	19.221	0.097	1.206	1.2E-04	0.485	4.9E-05	15.940	0.081	39.621	0.201	0.402	2.7E-05
San Antonio	M35	18.892	0.056	1.177	2.8E-04	0.478	1.2E-04	16.052	0.048	39.539	0.118	0.406	7.2E-05
Cacalomacan	M39	18.998	0.050	1.193	5.2E-05	0.486	1.5E-05	15.924	0.042	39.082	0.102	0.407	1.7E-05
Ciervita	M40	19.424	0.197	1.196	4.8E-04	0.477	1.0E-04	16.245	0.165	40.723	0.414	0.399	1.5E-04

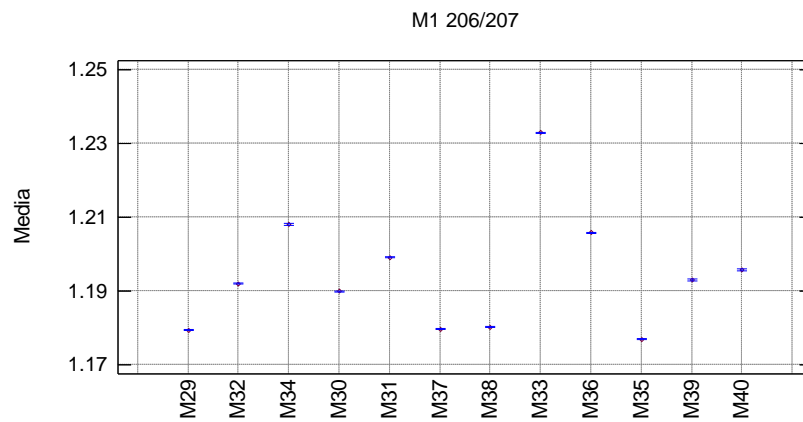
ANOVA Musgos M1: 206Pb/204Pb



<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2.63482	11	0.23953	28.32	0.0000
Intra grupos	0.202964	24	0.00845682		
Total (Corr.)	2.83779	35			

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
M29	3	18.5512	X
M37	3	18.668	X
M38	3	18.8284	X
M34	3	18.858	XX
M35	3	18.8922	XX
M39	3	18.9983	XX
M30	3	18.999	XX
M32	3	19.0953	XX
M33	3	19.1191	XX
M36	3	19.2207	X
M40	3	19.4245	X
M31	3	19.5054	X

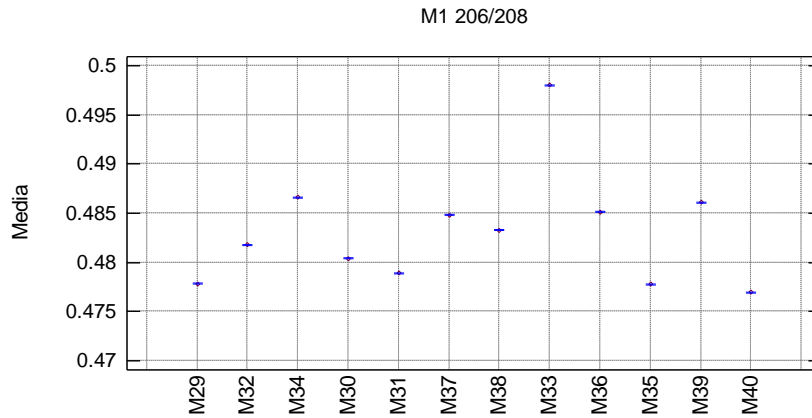
ANOVA Musgos M1: 206Pb/207Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.00840226	11	0.000763842	16422.18	0.0000
Intra grupos	0.00000111631	24	4.65128E-8		
Total (Corr.)	0.00840338	35			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M35	3	1.17692	X
M29	3	1.17941	X
M37	3	1.17975	X
M38	3	1.18022	X
M30	3	1.18989	X
M32	3	1.192	X
M39	3	1.19306	X
M40	3	1.19575	X
M31	3	1.1991	X
M36	3	1.20581	X
M34	3	1.20809	X
M33	3	1.23294	X

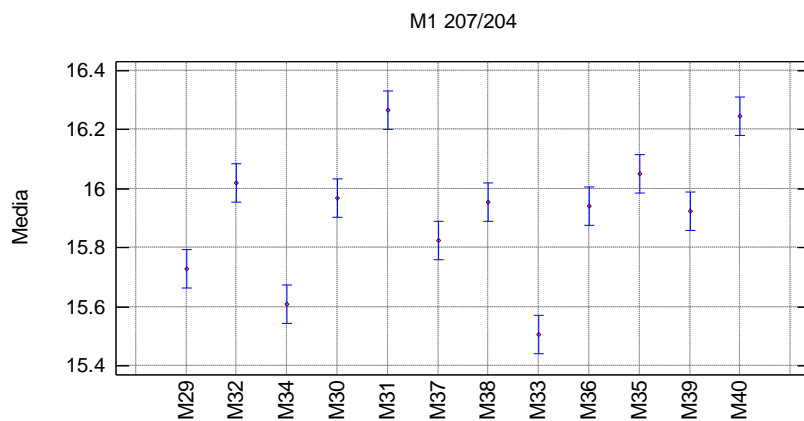
ANOVA Musgos M1: 206Pb/208Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.00111013	11	0.000100921	26831.46	0.0000
Intra grupos	9.02712E-8	24	3.7613E-9		
Total (Corr.)	0.00111022	35			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M40	3	0.47699	X
M35	3	0.47781	X
M29	3	0.47786	X
M31	3	0.478913	X
M30	3	0.480415	X
M32	3	0.481802	X
M38	3	0.483296	X
M37	3	0.484832	X
M36	3	0.485111	X
M39	3	0.486115	X
M34	3	0.486593	X
M33	3	0.498016	X

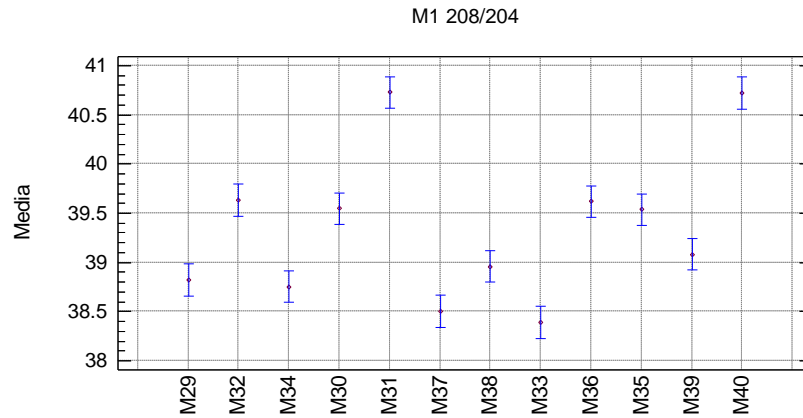
ANOVA Musgos M1: 207Pb/204Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.70751	11	0.155228	26.04	0.0000
Intra grupos	0.143084	24	0.00596182		
Total (Corr.)	1.85059	35			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M33	3	15.5069	X
M34	3	15.6098	XX
M29	3	15.7293	XX
M37	3	15.8238	XX
M39	3	15.924	XX
M36	3	15.9401	XX
M38	3	15.9533	XX
M30	3	15.967	X
M32	3	16.0195	X
M35	3	16.0522	X
M40	3	16.2446	X
M31	3	16.2667	X

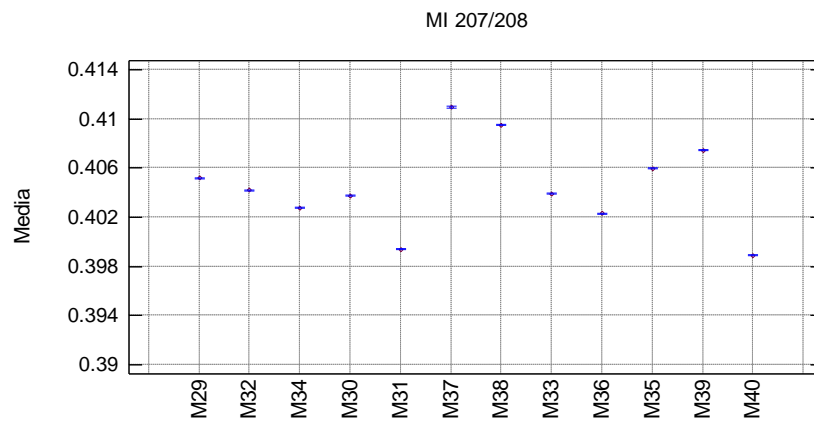
ANOVA Musgos M1: 208Pb/204Pb



<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	19.5223	11	1.77476	48.82	0.0000
Intra grupos	0.872527	24	0.0363553		
Total (Corr.)	20.3949	35			

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
M33	3	38.3906	X
M37	3	38.5041	XX
M34	3	38.7552	XX
M29	3	38.8215	XXX
M38	3	38.9584	XX
M39	3	39.0819	X
M35	3	39.5391	X
M30	3	39.5471	X
M36	3	39.6212	X
M32	3	39.633	X
M40	3	40.723	X
M31	3	40.7286	X

ANOVA Musgos MI: 206Pb/208Pb

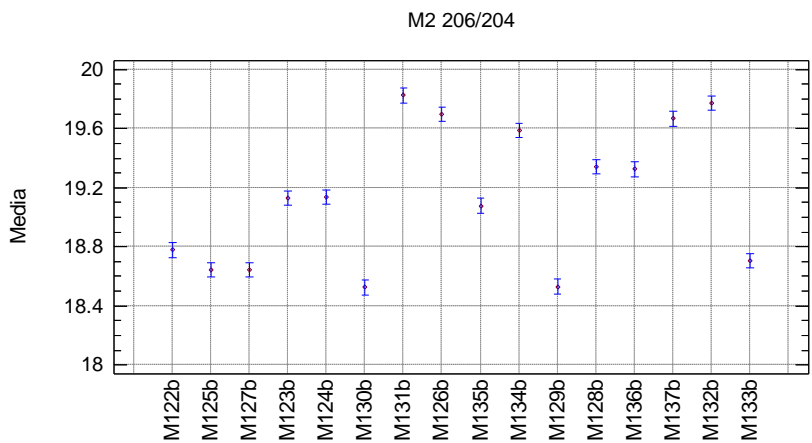


Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.000432611	11	0.0000393283	9420.81	0.0000
Intra grupos	1.00191E-7	24	4.17462E-9		
Total (Corr.)	0.000432711	35			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M40	3	0.398905	X
M31	3	0.399393	X
M36	3	0.402311	X
M34	3	0.402779	X
M30	3	0.403748	X
M33	3	0.403925	X
M32	3	0.404195	X
M29	3	0.40517	X
M35	3	0.405982	X
M39	3	0.407451	X
M38	3	0.409495	X
M37	3	0.410963	X

M2		206/204		206/207		206/208		207/204		208/204		207/208	
Nombre	Clave	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s
Negrete	M122b	18.779	0.005	1.200	2.0E-05	0.485	5.4E-06	15.650	0.004	38.751	0.010	0.404	7.1E-06
Alameda	M125b	18.642	0.021	1.190	1.0E-04	0.482	1.9E-05	15.672	0.018	38.715	0.045	0.405	3.1E-05
Reforma	M127b	18.642	0.021	1.190	1.0E-04	0.482	1.9E-05	15.672	0.018	38.715	0.045	0.405	3.1E-05
Hípico	M123b	19.128	0.014	1.189	4.1E-05	0.481	1.5E-05	16.081	0.012	39.756	0.029	0.404	1.2E-05
La Pila	M124b	19.136	0.012	1.211	2.4E-05	0.487	5.5E-06	15.804	0.010	39.297	0.025	0.402	7.0E-06
Santín	M130b	18.525	0.103	1.215	4.5E-04	0.492	7.7E-05	15.251	0.085	37.670	0.210	0.405	1.5E-04
Tollocan	M131b	19.825	0.003	1.188	3.0E-05	0.486	1.1E-05	16.687	0.003	40.819	0.007	0.409	5.3E-06
Lomas Altas	M126b	19.698	0.123	1.195	3.8E-04	0.483	8.3E-05	16.490	0.103	40.766	0.254	0.404	1.1E-04
Acazulco	M135b	19.078	0.032	1.189	1.7E-04	0.484	2.3E-05	16.044	0.027	39.408	0.066	0.407	5.5E-05
Pedregal	M134b	19.590	0.020	1.192	1.1E-04	0.486	2.8E-05	16.440	0.017	40.313	0.042	0.408	3.3E-05
San Miguel	M129b	18.530	0.041	1.162	9.6E-05	0.478	3.4E-05	15.947	0.035	38.768	0.086	0.411	2.2E-05
San Antonio	M128b	19.343	0.140	1.198	3.2E-04	0.490	8.4E-05	16.141	0.117	39.509	0.286	0.409	9.8E-05
Ameyalco	M136b	19.326	0.017	1.211	2.6E-05	0.491	1.1E-05	15.965	0.014	39.394	0.035	0.405	9.1E-06
San Diego	M137b	19.667	0.037	1.200	4.6E-04	0.483	1.3E-04	16.385	0.031	40.731	0.076	0.402	1.1E-04
Cacalomacan	M132b	19.775	0.031	1.207	1.6E-04	0.489	6.1E-05	16.387	0.026	40.473	0.063	0.405	2.1E-05
Ciervita	M133b	18.704	0.058	1.215	3.7E-04	0.483	7.2E-05	15.398	0.048	38.742	0.119	0.397	1.2E-04

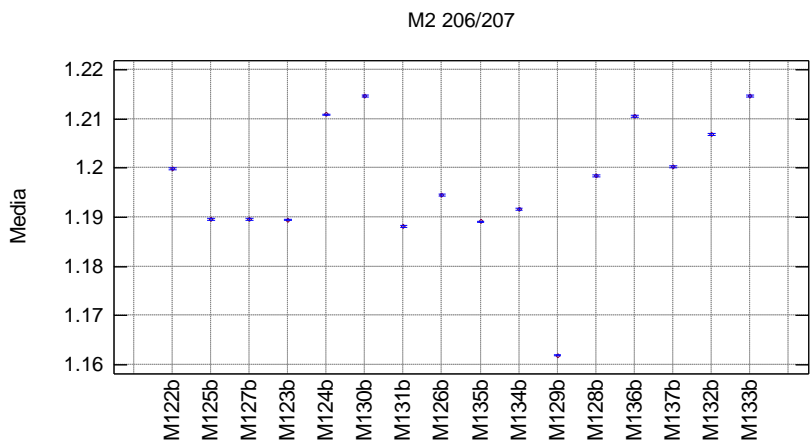
ANOVA RI M2: 206Pb/204Pb



<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	9.93434	15	0.662289	189.81	0.0000
Intra grupos	0.111655	32	0.00348922		
Total (Corr.)	10.046	47			

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
M130b	3	18.5246	X
M129b	3	18.5301	X
M127b	3	18.6421	X
M125b	3	18.6421	X
M133b	3	18.704	XX
M122b	3	18.7785	X
M135b	3	19.0778	X
M123b	3	19.1283	X
M124b	3	19.1359	X
M136b	3	19.3263	X
M128b	3	19.3432	X
M134b	3	19.5905	X
M137b	3	19.6674	XX
M126b	3	19.6984	XX
M132b	3	19.7749	XX
M131b	3	19.8253	X

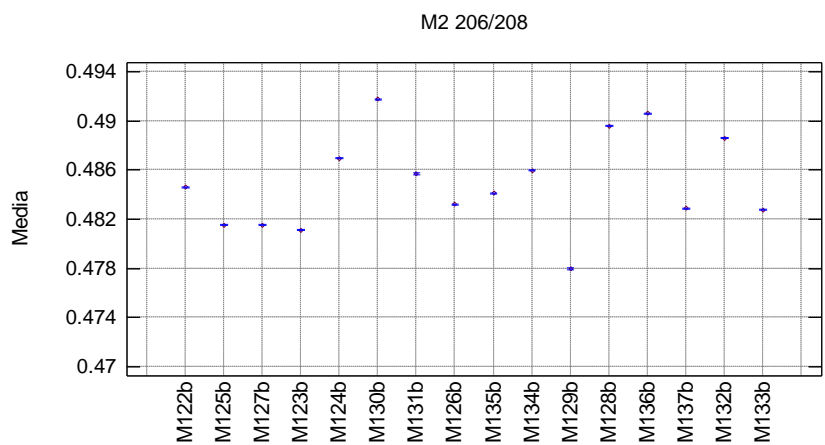
ANOVA RI M2: 206Pb/207Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0080622	15	0.00053748	9637.69	0.0000
Intra grupos	0.00000178459	32	5.57685E-8		
Total (Corr.)	0.00806398	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M129b	3	1.16197	X
M131b	3	1.18808	X
M135b	3	1.18908	X
M123b	3	1.18948	X
M127b	3	1.1895	X
M125b	3	1.1895	X
M134b	3	1.19161	X
M126b	3	1.19458	X
M128b	3	1.19837	X
M122b	3	1.19993	X
M137b	3	1.20032	X
M132b	3	1.20677	X
M136b	3	1.21053	X
M124b	3	1.21084	X
M130b	3	1.21462	X
M133b	3	1.21467	X

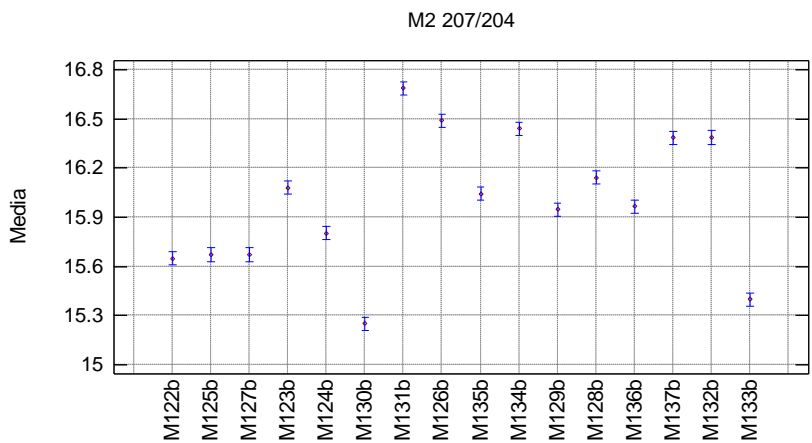
ANOVA RI M2: 206Pb/208Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.000654678	15	0.0000436452	13750.51	0.0000
Intra grupos	1.01571E-7	32	3.17408E-9		
Total (Corr.)	0.00065478	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M129b	3	0.47797	X
M123b	3	0.481138	X
M125b	3	0.481517	X
M127b	3	0.481517	X
M133b	3	0.482779	X
M137b	3	0.482862	X
M126b	3	0.483202	X
M135b	3	0.484111	X
M122b	3	0.484589	X
M131b	3	0.48569	X
M134b	3	0.485954	X
M124b	3	0.486961	X
M132b	3	0.48859	X
M128b	3	0.489589	X
M136b	3	0.490586	X
M130b	3	0.491756	X

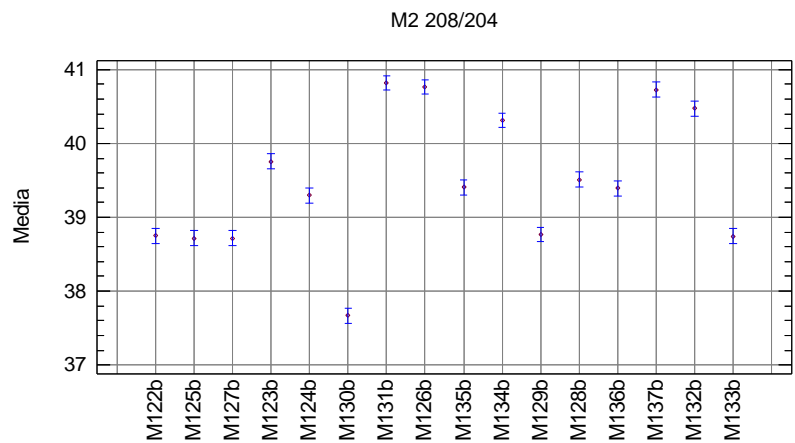
ANOVA RI M2: 207Pb/204Pb



<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	7.60292	15	0.506862	208.87	0.0000
Intra grupos	0.0776549	32	0.00242672		
Total (Corr.)	7.68058	47			

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
M130b	3	15.2514	X
M133b	3	15.3984	X
M122b	3	15.6496	X
M127b	3	15.6722	X
M125b	3	15.6722	X
M124b	3	15.8038	X
M129b	3	15.9472	X
M136b	3	15.9651	XX
M135b	3	16.0441	XX
M123b	3	16.0812	XX
M128b	3	16.1412	X
M137b	3	16.3851	X
M132b	3	16.3866	X
M134b	3	16.4403	XX
M126b	3	16.4898	X
M131b	3	16.6868	X

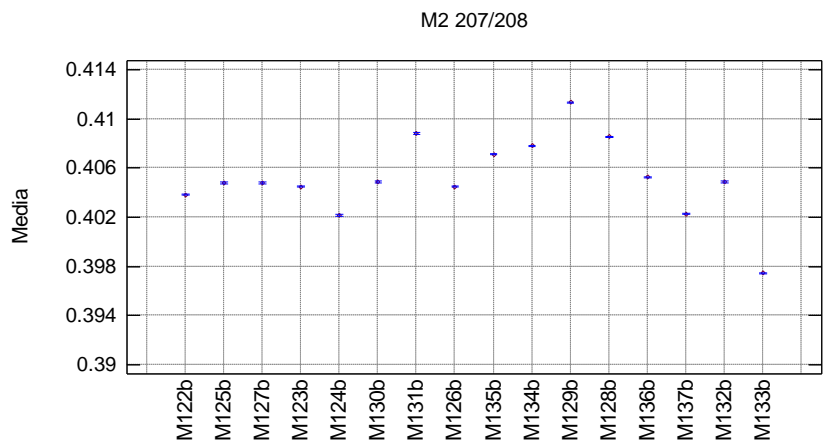
ANOVA RI M2: 208Pb/204Pb



<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	38.5229	15	2.56819	174.73	0.0000
Intra grupos	0.470329	32	0.0146978		
Total (Corr.)	38.9932	47			

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
M130b	3	37.6703	X
M127b	3	38.7154	X
M125b	3	38.7154	X
M133b	3	38.7424	X
M122b	3	38.7514	X
M129b	3	38.7683	X
M124b	3	39.2966	X
M136b	3	39.3942	XX
M135b	3	39.4078	XX
M128b	3	39.509	X
M123b	3	39.7564	X
M134b	3	40.3134	X
M132b	3	40.4733	X
M137b	3	40.7309	X
M126b	3	40.7664	X
M131b	3	40.8188	X

ANOVA RI M2: 207Pb/208Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.000460644	15	0.0000307096	6394.31	0.0000
Intra grupos	1.53685E-7	32	4.80264E-9		
Total (Corr.)	0.000460798	47			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M133b	3	0.397456	X
M124b	3	0.402167	X
M137b	3	0.402278	X
M122b	3	0.403846	X
M123b	3	0.404493	X
M126b	3	0.404494	X
M127b	3	0.404805	X
M125b	3	0.404805	X
M130b	3	0.404864	X
M132b	3	0.404875	X
M136b	3	0.405264	X
M135b	3	0.407131	X
M134b	3	0.407812	X
M128b	3	0.408545	X
M131b	3	0.408802	X
M129b	3	0.411345	X

XII. Análisis isotópico entre musgos: Diferencias significativas

	206/204		206/207		206/208	
	HOMO	T	HOMO	T	HOMO	T
Negrete	1	0	1	0	1	0
Alameda	0	0	1	0	1	0
Reforma	1	0	0	0	1	0
Hípico	1	0	1	0	1	0
La Pila	1	0	1	0	1	0
Santin	1	1	1	0	1	0
Tollocan	1	0	1	0	1	0
Lomas Altas	1	0	1	0	1	0
San Miguel	1	0	1	0	1	0
San Antonio	1	0	1	0	1	0
Cacalomacan	1	0	1	0	1	0
Ciervita	1	0	1	0	1	0

	207/204		208/204		207/208	
	HOMO	T	HOMO	T	HOMO	T
Negrete	1	0	1	0	1	0
Alameda	0	0	0	0	0	0
Reforma	1	0	1	1	0	0
Hípico	1	0	1	0	1	0
La Pila	1	0	1	0	1	0
Santin	1	0	1	0	1	0
Tollocan	1	0	1	0	1	0
Lomas Altas	1	0	1	0	1	0
San Miguel	1	1	1	0	1	0
San Antonio	1	1	1	1	1	0
Cacalomacan	1	0	1	0	1	0
Ciervita	1	0	1	0	1	0

Prueba de Homocedasticidad: 1 Homocedástico, 0 Heterocedástico

Prueba T: 1 Sin Diferencia Significativa, 0 Significativamente diferente

XIII. Análisis isotópico entre suelos y musgos: Diferencias significativas

Diferencias significativas RI MI vs S

	206/204		206/207		206/208	
	HOMO	T	HOMO	T	HOMO	T
Negrete	0	0	1	0	1	0
Alameda	1	0	1	0	1	0
Reforma	1	0	0	0	0	0
Hípico	0	0	1	0	1	0
La Pila	1	0	0	0	1	0
Santin	0	1	0	0	0	0
Tollocan	1	0	1	0	1	0
Lomas Altas	0	1	0	0	0	0
San Miguel	1	0	1	0	1	0
San Antonio	1	0	0	1	0	0
Cacalomacan	1	1	0	0	1	0
Ciervita	0	1	1	0	0	0

	207/204		208/204		207/208	
	HOMO	T	HOMO	T	HOMO	T
Negrete	1	0	1	0	1	0
Alameda	1	0	1	0	0	0
Reforma	1	0	1	0	0	0
Hípico	0	1	0	1	1	0
La Pila	1	0	1	0	1	0
Santin	0	1	0	1	0	0
Tollocan	1	0	1	0	1	0
Lomas Altas	0	0	0	0	0	0
San Miguel	1	0	1	0	1	0
San Antonio	1	0	1	0	1	0
Cacalomacan	1	1	1	1	1	0
Ciervita	0	1	0	1	0	0

Prueba de Homocedasticidad: 1 Homocedástico, 0 Heterocedástico

Prueba T: 1 Sin Diferencia Significativa, 0 Significativamente diferente

Diferencias significativas RI M2 vs S

	206/204		206/207		206/208	
	Homo	T	Homo	T	Homo	T
Negrete	0	0	1	0	1	0
Alameda	1	0	1	0	1	0
Reforma	1	0	1	0	1	0
Hípico	1	0	1	0	1	0
La Pila	1	0	0	0	0	0
Santin	0	0	0	0	1	0
Tollocan	0	1	1	0	1	0
Lomas Altas	0	1	0	0	0	1
Acazulco	1	0	1	0	1	0
Pedregal	0	1	1	0	1	0
San Miguel	1	1	1	0	1	0
San Antonio	0	1	0	0	1	0
Ameyalco	1	0	1	0	1	0
San Diego	1	0	1	0	0	0
Cacalomacan	1	0	1	0	1	0
Ciervita	1	0	1	0	1	0

	207/204		208/207		207/208	
	Homo	T	Homo	T	Homo	T
Negrete	0	1	0	1	1	0
Alameda	1	0	1	0	1	0
Reforma	1	0	1	0	1	0
Hípico	1	0	1	0	1	0
La Pila	1	0	1	0	1	0
Santin	0	0	0	0	0	1
Tollocan	0	1	0	1	1	0
Lomas Altas	0	1	0	1	0	0
Acazulco	1	0	1	0	0	0
Pedregal	0	1	0	1	1	1
San Miguel	1	0	1	1	1	0
San Antonio	0	1	0	1	0	0
Ameyalco	1	0	1	0	1	0
San Diego	1	0	1	0	0	0
Cacalomacan	1	0	1	0	1	0
Ciervita	1	0	1	0	0	0

Prueba de Homocedasticidad: 1 Homocedástico, 0 Heterocedástico

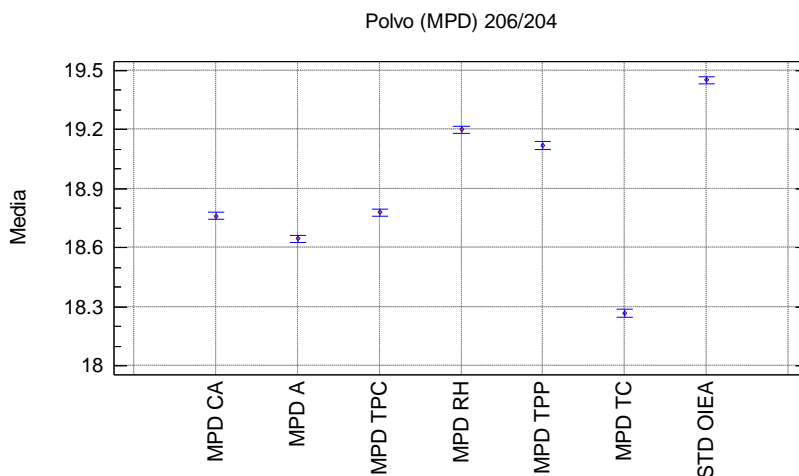
Prueba T: 1 Sin Diferencia Significativa, 0 Significativamente diferente

XIV. Análisis isotópico: Materia particulada depositada (polvo)

		206/204		206/207		206/208	
Sitio	Clave	X	S	X	S	X	S
Carmen Azotea	MPD CA	18.761	0.018	1.182	4.5E-05	0.483	1.4E-05
Alameda	MPD A	18.646	0.015	1.191	1.7E-05	0.485	7.0E-06
Parada Camión	MPD TPC	18.779	0.001	1.207	1.9E-05	0.485	5.2E-06
Reforma	MPD RH	19.200	0.002	1.204	2.0E-05	0.489	7.5E-06
Tollocan Paso Peatonal	MPD TPP	19.120	0.008	1.209	2.9E-05	0.489	8.9E-06
Tollocan Camellón	MPD TC	18.267	0.011	1.179	1.3E-05	0.479	5.3E-06

		207/204		208/204		207/208	
Sitio	Clave	X	S	X	S	X	S
Carmen Azotea	MPD CA	15.876	0.015	38.814	0.036	0.409	1.2E-05
Alameda	MPD A	15.661	0.013	38.441	0.032	0.407	5.8E-06
Parada Camión	MPD TPC	15.563	0.001	38.709	0.002	0.402	4.3E-06
Reforma	MPD RH	15.945	0.002	39.273	0.005	0.406	6.2E-06
Tollocan Paso Peatonal	MPD TPP	15.811	0.007	39.072	0.016	0.405	7.4E-06
Tollocan Camellón	MPD TC	15.494	0.009	38.113	0.023	0.407	4.5E-06

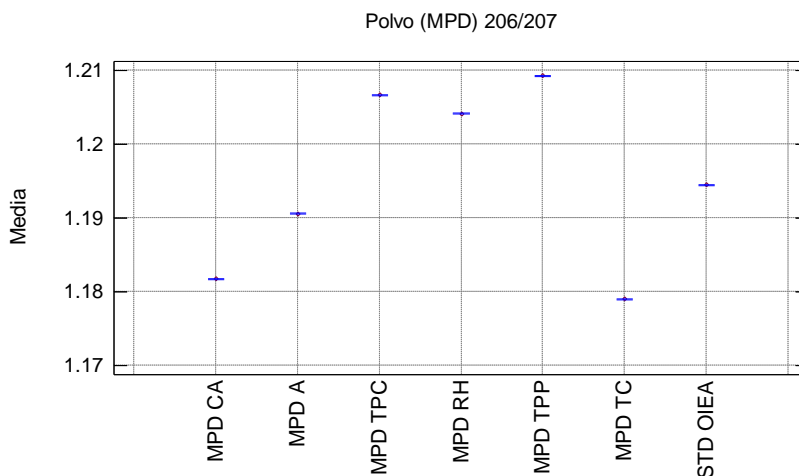
ANOVA MPD: 206Pb/204Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.82183	6	0.470305	1069.31	0.0000
Intra grupos	0.00615749	14	0.000439821		
Total (Corr.)	2.82799	20			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
MPD TC	3	18.2675	X
MPD A	3	18.6458	X
MPD CA	3	18.7614	X
MPD TPC	3	18.7788	X
MPD TPP	3	19.1196	X
MPD RH	3	19.2001	X
STD OIEA	3	19.4519	X

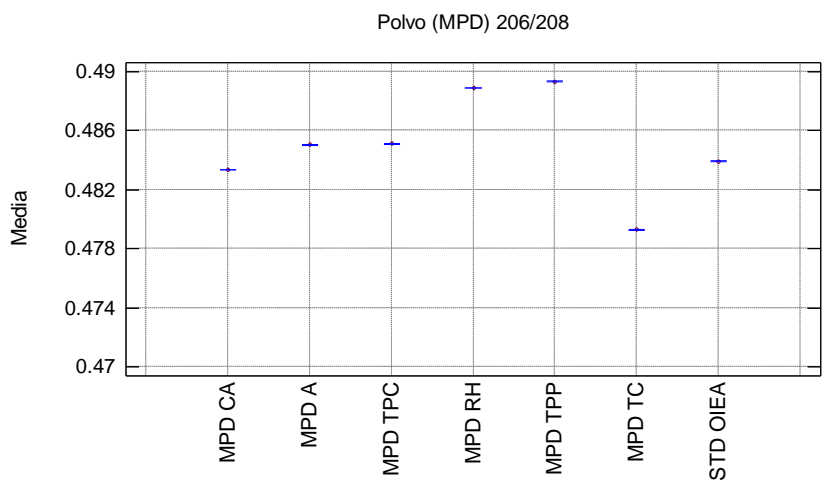
ANOVA MPD: 206Pb/207Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.00261999	6	0.000436665	39745.65	0.0000
Intra grupos	1.53811E-7	14	1.09865E-8		
Total (Corr.)	0.00262014	20			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
MPD TC	3	1.17902	X
MPD CA	3	1.18176	X
MPD A	3	1.19059	X
STD OIEA	3	1.19447	X
MPD RH	3	1.20412	X
MPD TPC	3	1.20667	X
MPD TPP	3	1.20928	X

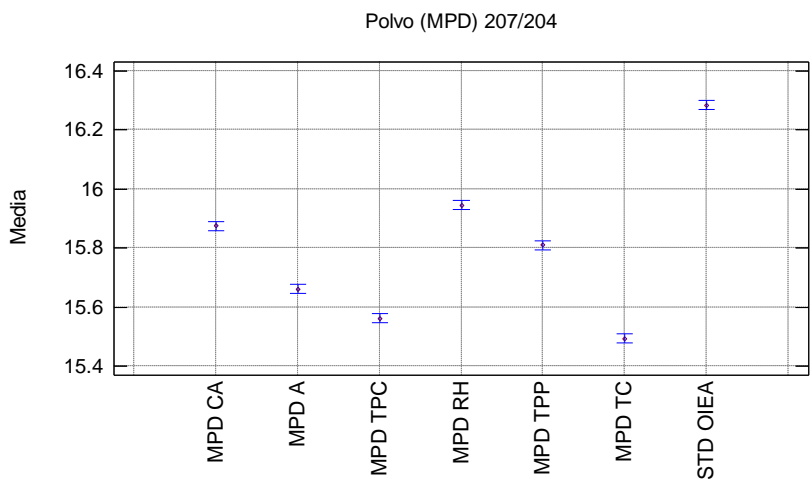
ANOVA MPD: 206Pb/208Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0002111	6	0.0000351834	54999.83	0.0000
Intra grupos	8.9558E-9	14	6.397E-10		
Total (Corr.)	0.000211109	20			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
MPD TC	3	0.479295	X
MPD CA	3	0.483362	X
STD OIEA	3	0.48392	X
MPD A	3	0.485046	X
MPD TPC	3	0.485121	X
MPD RH	3	0.488889	X
MPD TPP	3	0.489339	X

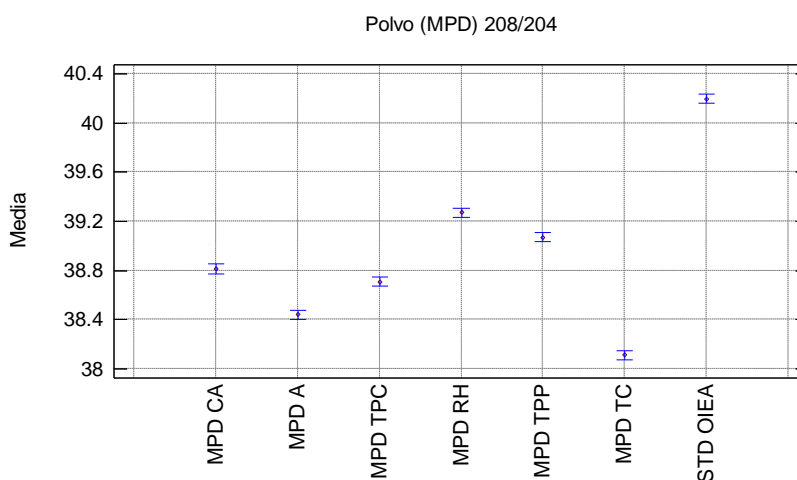
ANOVA MPD: 207Pb/204Pb



<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.29421	6	0.215701	695.66	0.0000
Intra grupos	0.00434094	14	0.000310067		
Total (Corr.)	1.29855	20			

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
MPD TC	3	15.4938	X
MPD TPC	3	15.5625	X
MPD A	3	15.6609	X
MPD TPP	3	15.8108	X
MPD CA	3	15.8758	X
MPD RH	3	15.9453	X
STD OIEA	3	16.2849	X

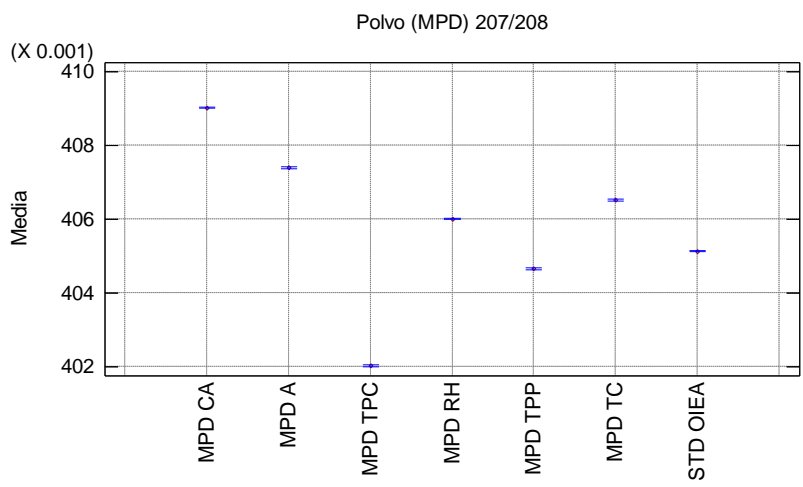
ANOVA MPD: 208Pb/204Pb



<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	8.12357	6	1.35393	721.93	0.0000
Intra grupos	0.0262561	14	0.00187544		
Total (Corr.)	8.14983	20			

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
MPD TC	3	38.1133	X
MPD A	3	38.4413	X
MPD TPC	3	38.7095	X
MPD CA	3	38.8145	X
MPD TPP	3	39.0723	X
MPD RH	3	39.273	X
STD OIEA	3	40.1965	X

ANOVA MPD: 207Pb/208Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0000882254	6	0.0000147042	32782.63	0.0000
Intra grupos	6.27952E-9	14	4.48537E-10		
Total (Corr.)	0.0000882317	20			

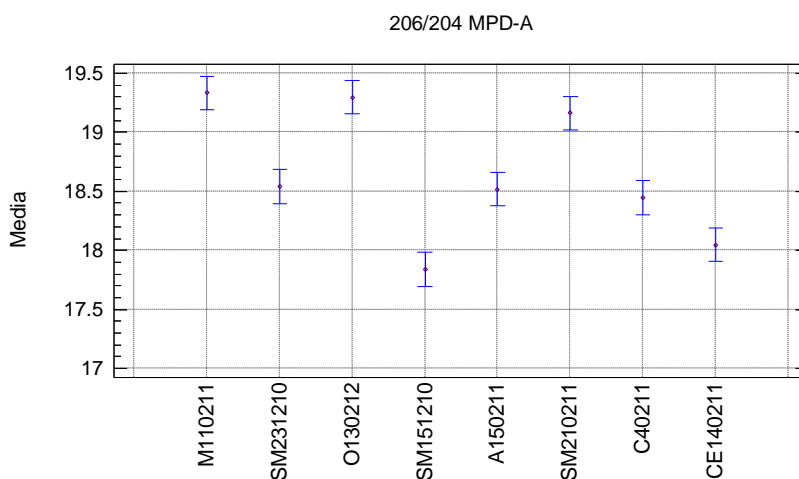
	Casos	Media	Grupos Homogéneos
MPD TPC	3	0.402034	X
MPD TPP	3	0.404655	X
STD OIEA	3	0.405132	X
MPD RH	3	0.406012	X
MPD TC	3	0.40652	X
MPD A	3	0.407398	X
MPD CA	3	0.409017	X

XV. Análisis isotópico: Aerosoles

		206/204		206/207		206/208	
Nombre	Clave	x	s	x	s	x	s
Metepec	M110211	19.334	0.091	1.195	2.2E-05	0.493	4.2E-05
San Mateo 2	SM231210	18.540	0.164	1.166	2.5E-04	0.488	6.5E-05
Oxtotitlan	O130112	19.297	0.114	1.203	6.9E-04	0.492	1.5E-04
San Mateo 1	SM151210	17.838	0.089	1.181	1.2E-04	0.484	3.1E-05
Aeropuerto	A150211	18.518	0.118	1.198	5.9E-04	0.489	2.0E-04
San Mateo 3	SM210211	19.163	0.065	1.192	1.7E-04	0.490	5.1E-05
Centro	C40211	18.446	0.023	1.196	4.5E-04	0.491	1.0E-04
Ceboruco	CE140211	18.047	0.380	1.195	6.0E-04	0.493	2.3E-04

		207/204		208/204		207/208	
Nombre	Clave	x	s	x	s	x	s
Metepec	M110211	16.185	0.076	39.185	0.184	0.413	3.6E-05
San Mateo 2	SM231210	15.896	0.140	38.004	0.335	0.418	8.8E-05
Oxtotitlan	O130112	16.038	0.095	39.256	0.232	0.409	2.1E-04
San Mateo 1	SM151210	15.099	0.076	36.827	0.185	0.410	3.4E-05
Aeropuerto	A150211	15.458	0.099	37.887	0.241	0.408	1.5E-04
San Mateo 3	SM210211	16.081	0.055	39.094	0.133	0.411	4.9E-05
Centro	C40211	15.422	0.020	37.565	0.046	0.411	1.3E-04
Ceboruco	CE140211	15.108	0.318	36.636	0.771	0.412	1.1E-04

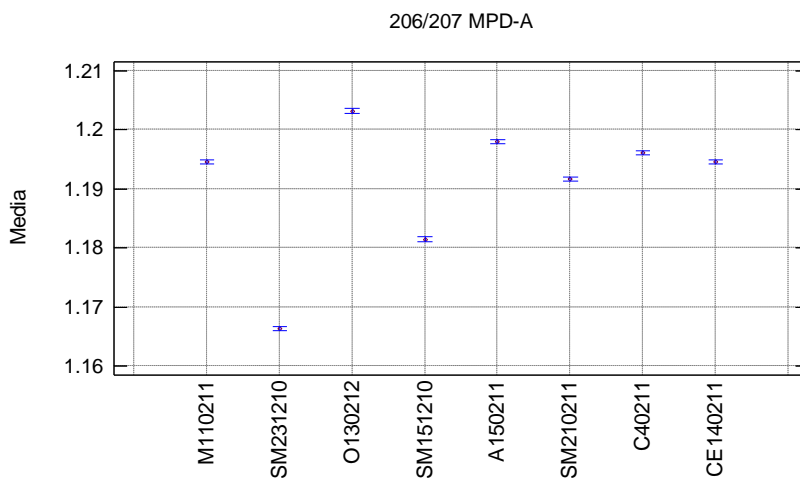
ANOVA Aerosoles: 206Pb/204Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	6.73066	7	0.961523	35.13	0.0000
Intra grupos	0.437913	16	0.0273696		
Total (Corr.)	7.16857	23			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
SM151210	3	17.8384	X
CE140211	3	18.0472	X
C40211	3	18.4465	X
A150211	3	18.5181	X
SM231210	3	18.5395	X
SM210211	3	19.163	X
O130212	3	19.2974	X
M110211	3	19.3342	X

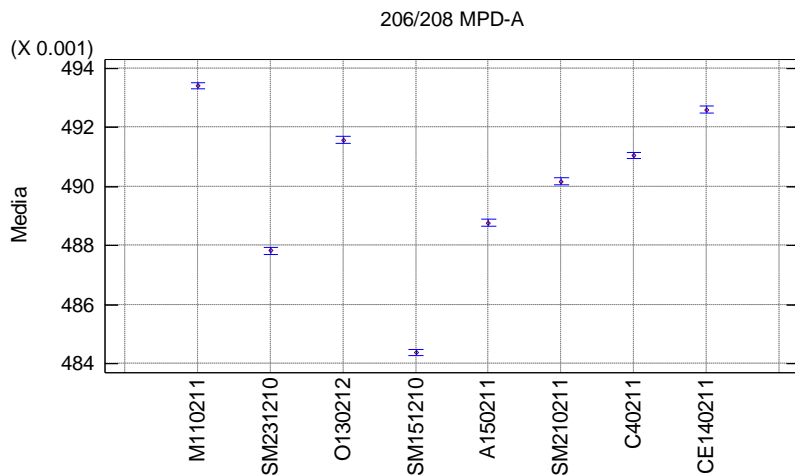
ANOVA Aerosoles: 206Pb/207Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.00285065	7	0.000407235	2173.71	0.0000
Intra grupos	0.00000299753	16	1.87346E-7		
Total (Corr.)	0.00285364	23			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
SM231210	3	1.1663	X
SM151210	3	1.18146	X
SM210211	3	1.19165	X
CE140211	3	1.19456	X
M110211	3	1.19458	X
C40211	3	1.19613	X
A150211	3	1.19799	X
O130212	3	1.2032	X

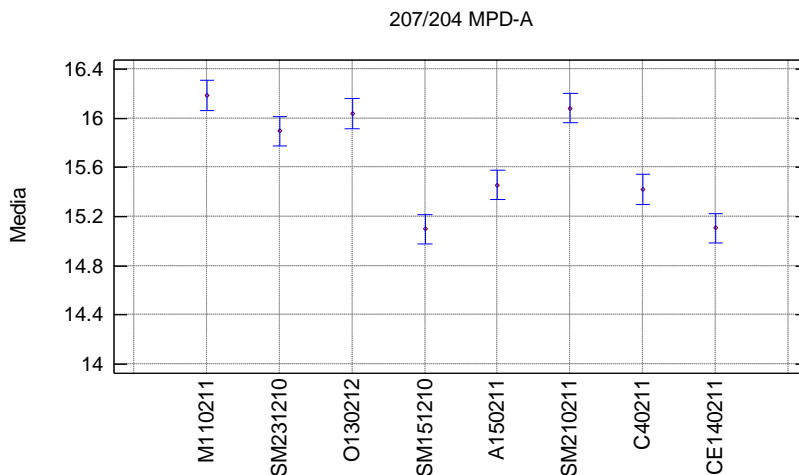
ANOVA Aerosoles: 206Pb/208P



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.000179517	7	0.0000256453	1497.18	0.0000
Intra grupos	2.74065E-7	16	1.71291E-8		
Total (Corr.)	0.000179791	23			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
SM151210	3	0.484381	X
SM231210	3	0.487829	X
A150211	3	0.488772	X
SM210211	3	0.490181	X
C40211	3	0.491053	X
O130212	3	0.491574	X
CE140211	3	0.492609	X
M110211	3	0.493409	X

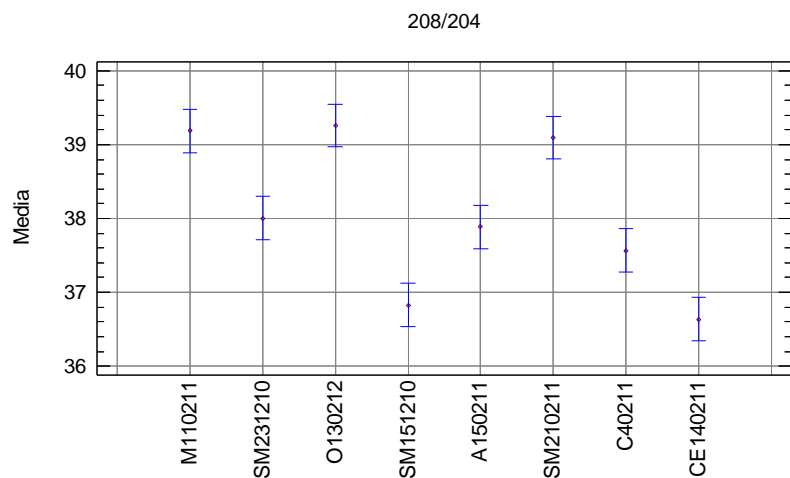
ANOVA Aerosoles: 207Pb/204Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4.10856	7	0.586937	30.42	0.0000
Intra grupos	0.308668	16	0.0192917		
Total (Corr.)	4.41722	23			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
SM151210	3	15.0986	X
CE140211	3	15.1079	X
C40211	3	15.4217	X
A150211	3	15.4577	X
SM231210	3	15.896	X
O130212	3	16.0385	XX
SM210211	3	16.0811	XX
M110211	3	16.1849	X

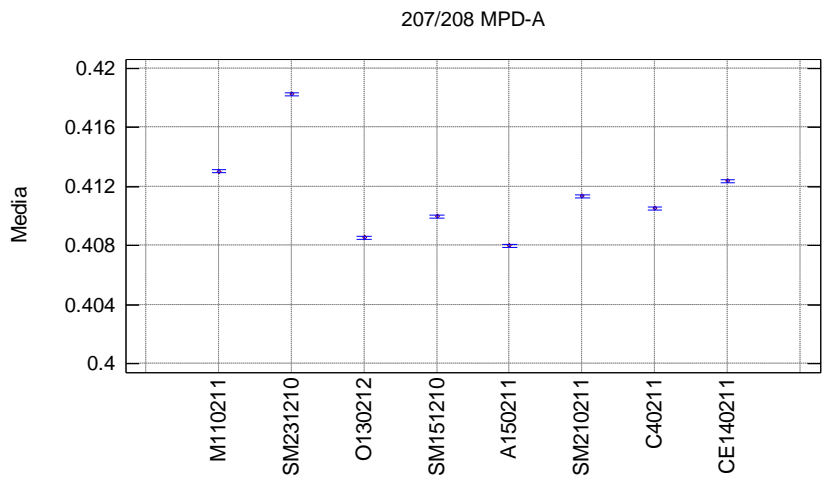
ANOVA Aerosoles: 208Pb/204Pb



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	22.7734	7	3.25335	28.72	0.0000
Intra grupos	1.81247	16	0.113279		
Total (Corr.)	24.5859	23			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CE140211	3	36.636	X
SM151210	3	36.8272	X
C40211	3	37.5651	X
A150211	3	37.8871	X
SM231210	3	38.0042	X
SM210211	3	39.0938	X
M110211	3	39.1849	X
O130212	3	39.2564	X

ANOVA Aerosoles: 208Pb/204Pb



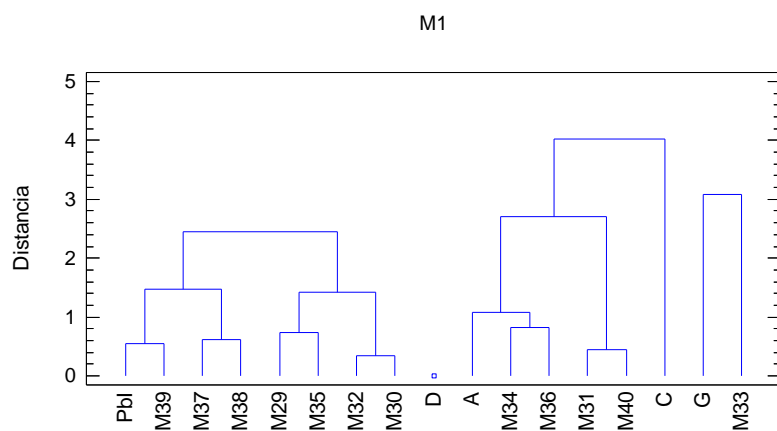
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.000219557	7	0.0000313653	2351.26	0.0000
Intra grupos	2.13436E-7	16	1.33397E-8		
Total (Corr.)	0.00021977	23			

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A150211	3	0.407993	X
O130212	3	0.408556	X
SM151210	3	0.409984	X
C40211	3	0.410534	X
SM210211	3	0.411345	X
CE140211	3	0.412378	X
M110211	3	0.41304	X
SM231210	3	0.418269	X

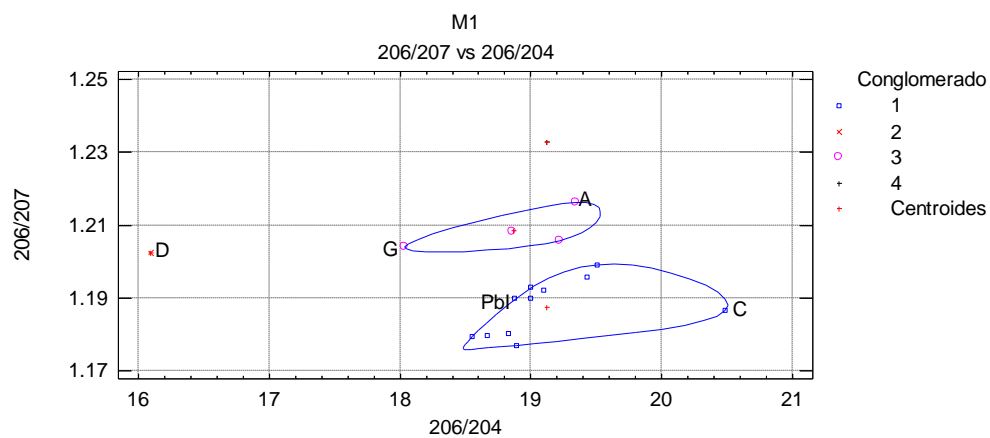
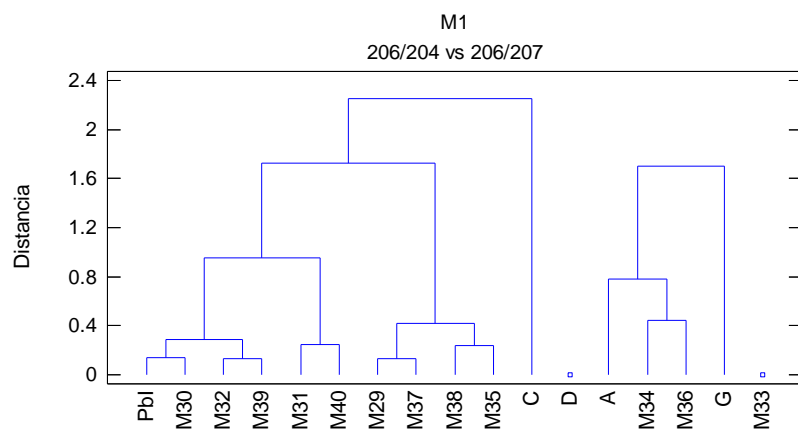
XVI. Análisis Isotópico: Conglomerados

Análisis de Conglomerados relaciones isotópicas para M1

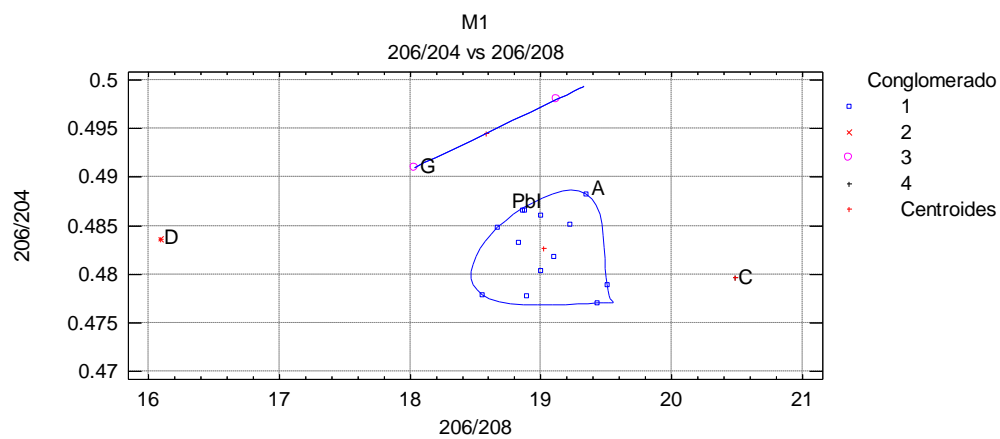
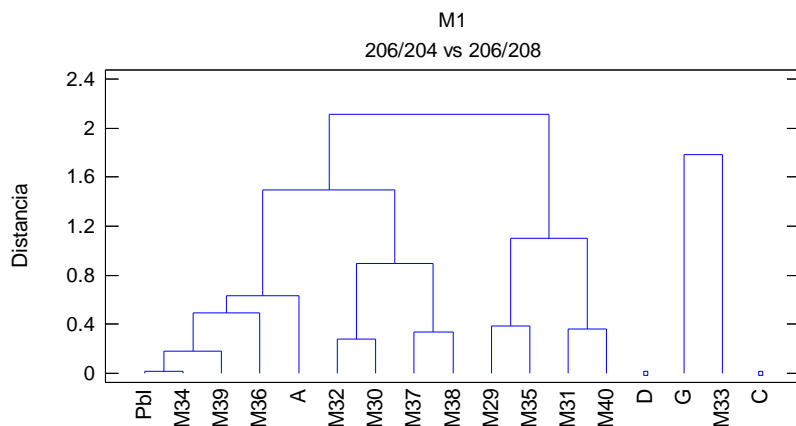
Dendograma considerando todas las relaciones isotópicas



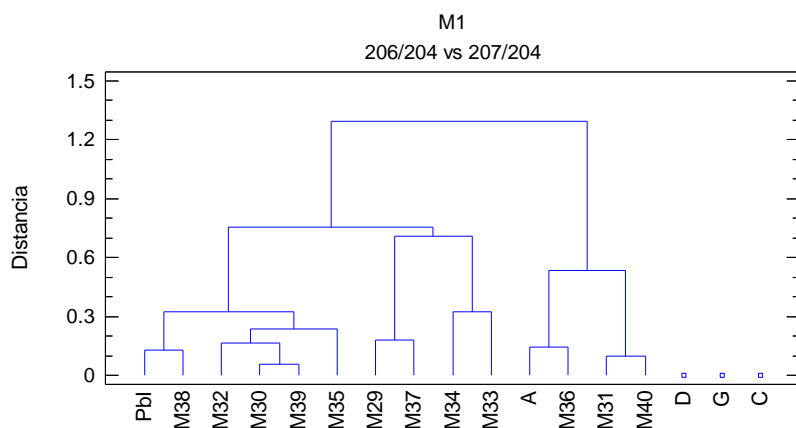
Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$:

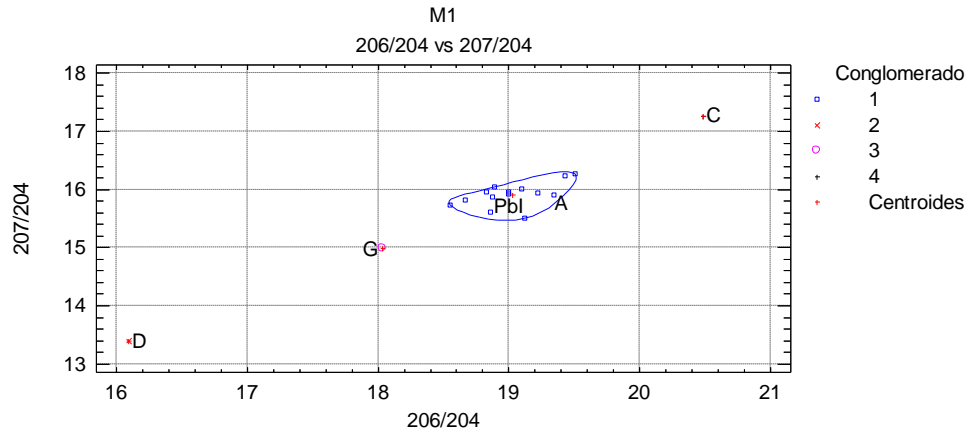


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$:

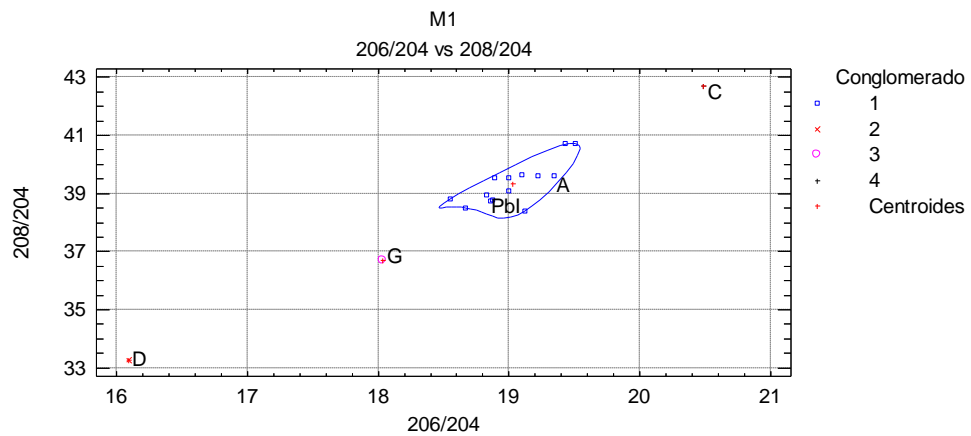
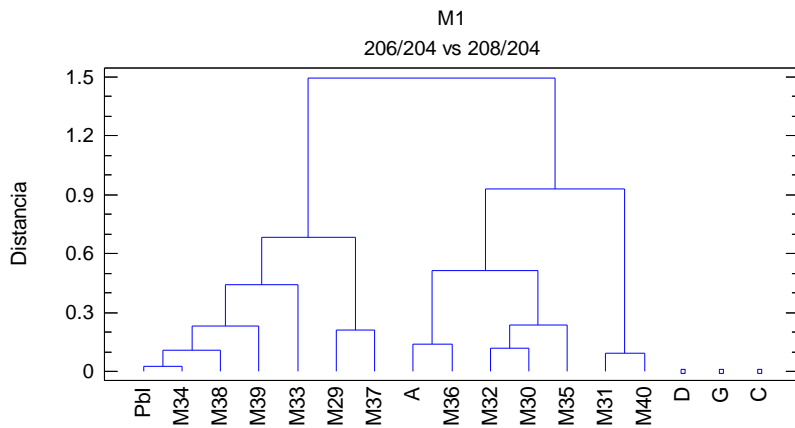


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

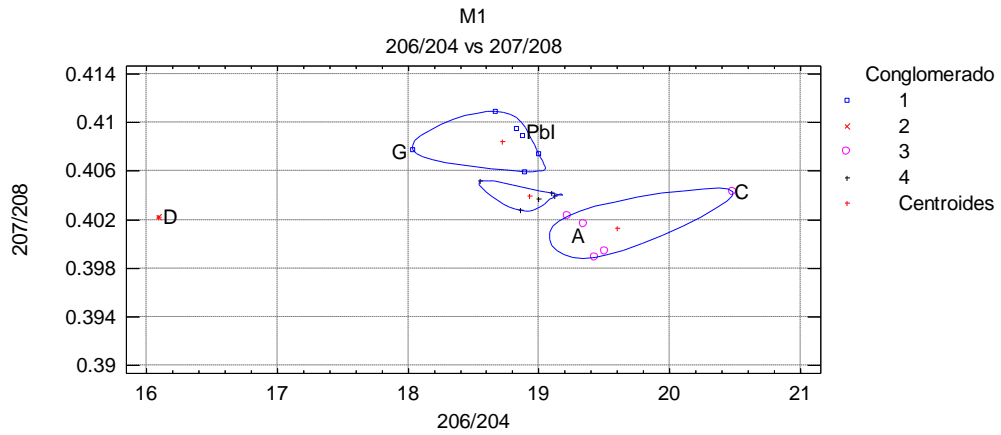
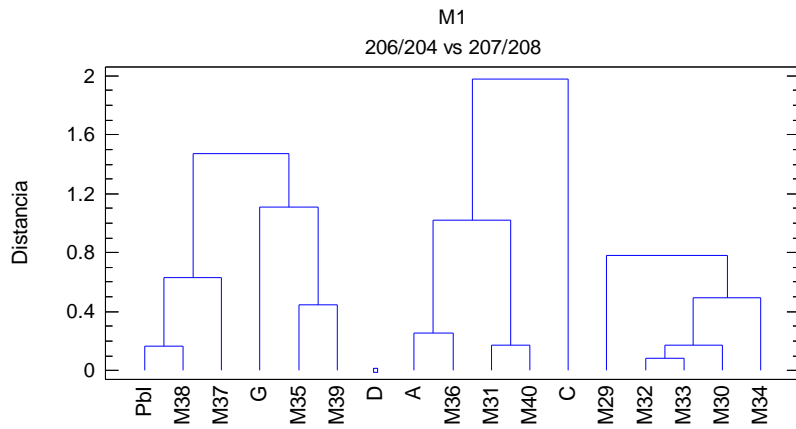




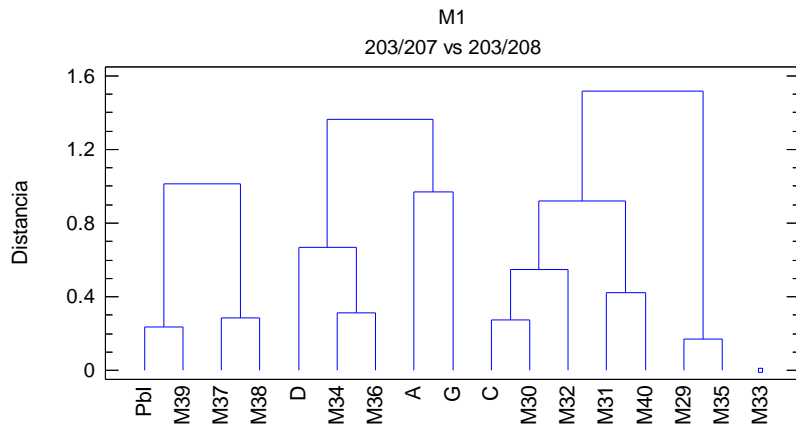
Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

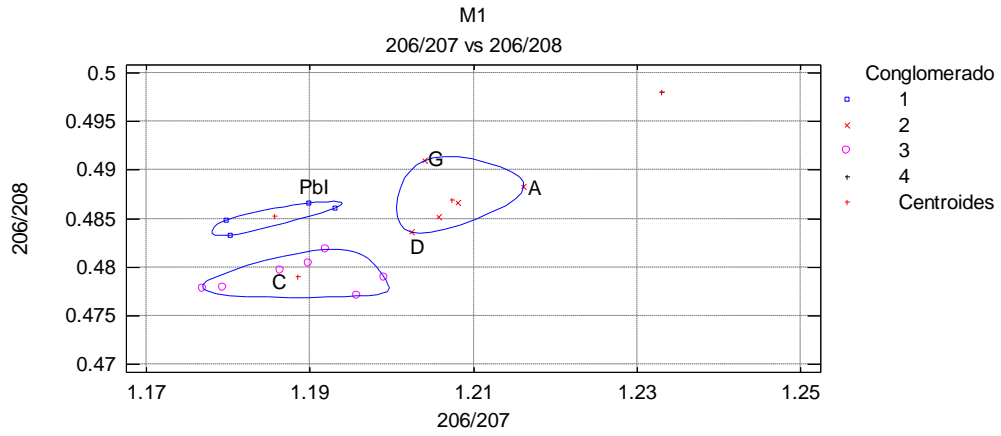


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

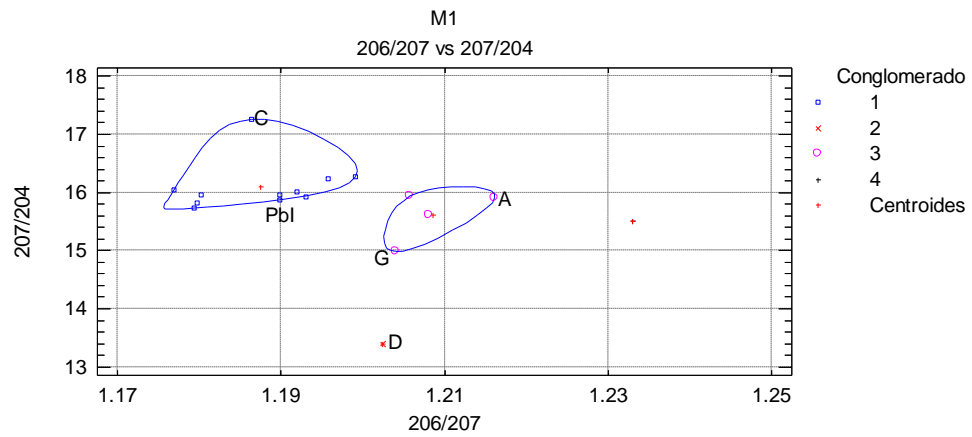
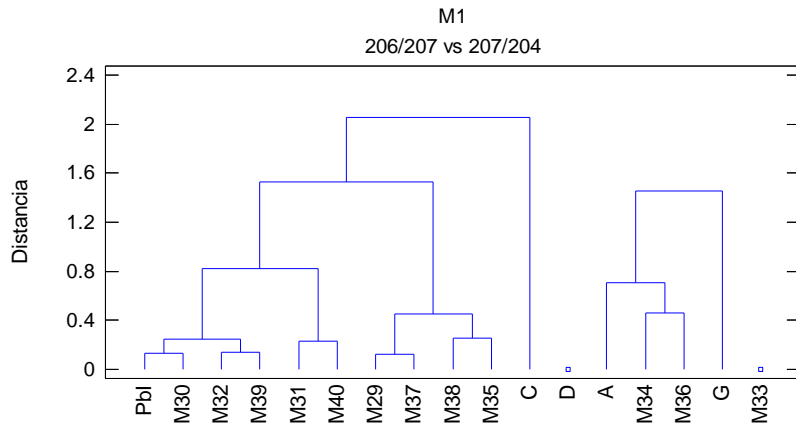


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

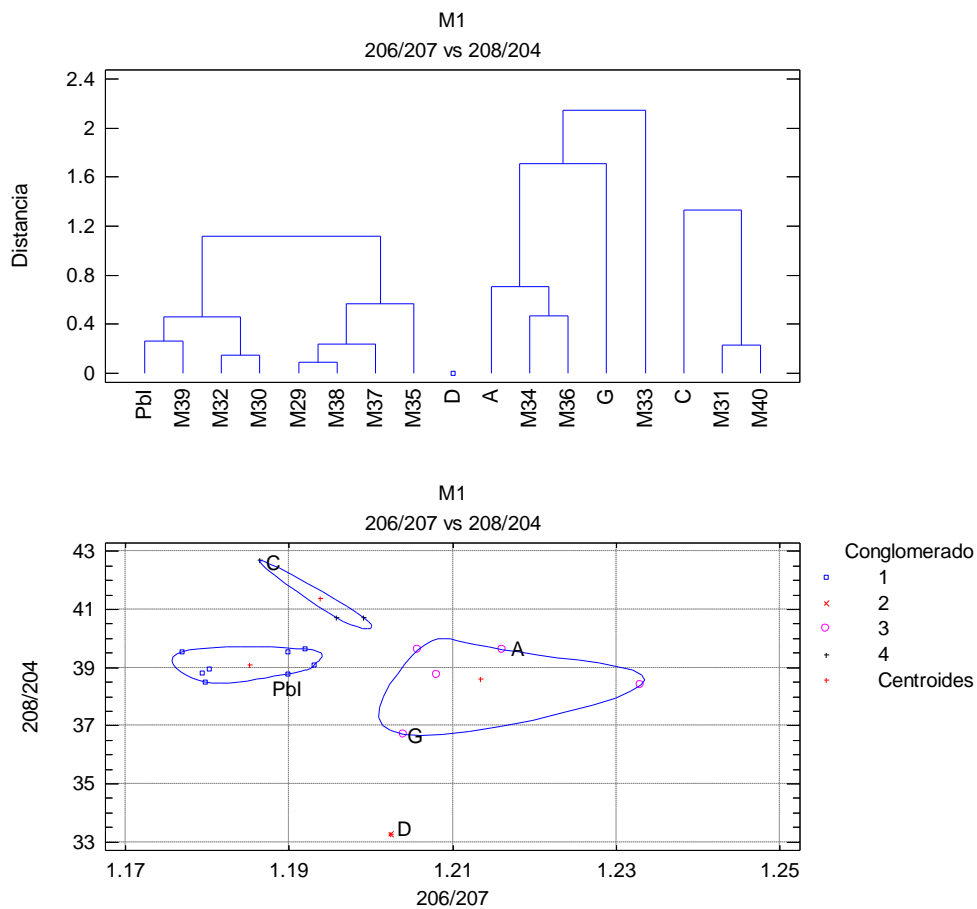




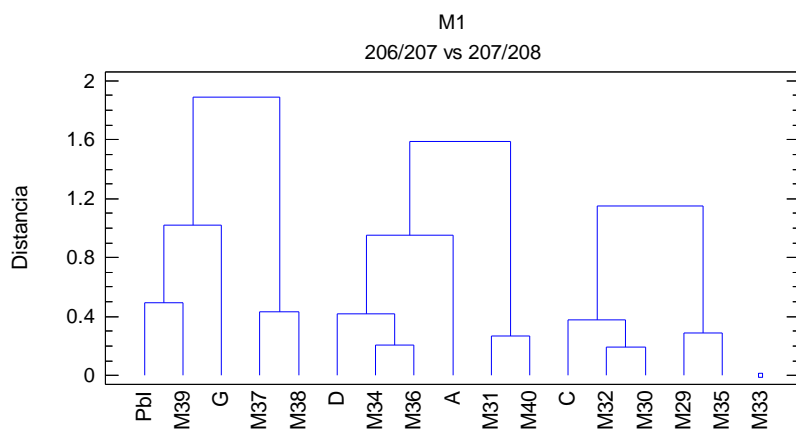
Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

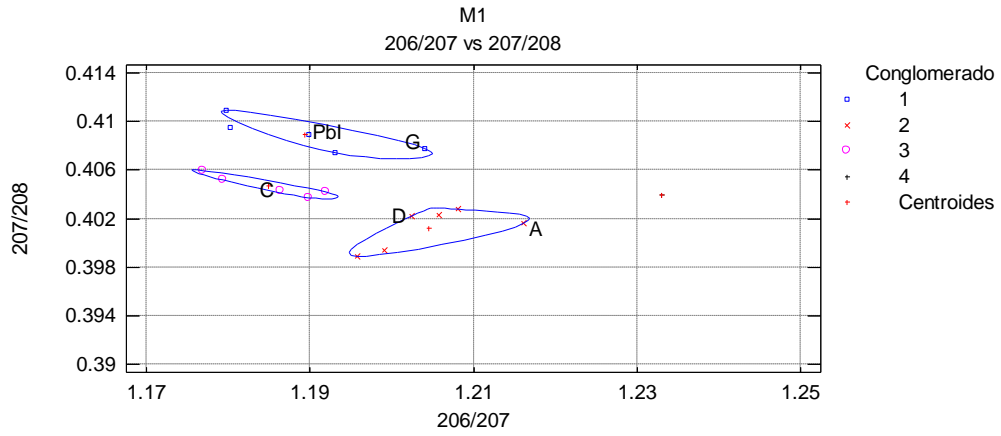


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

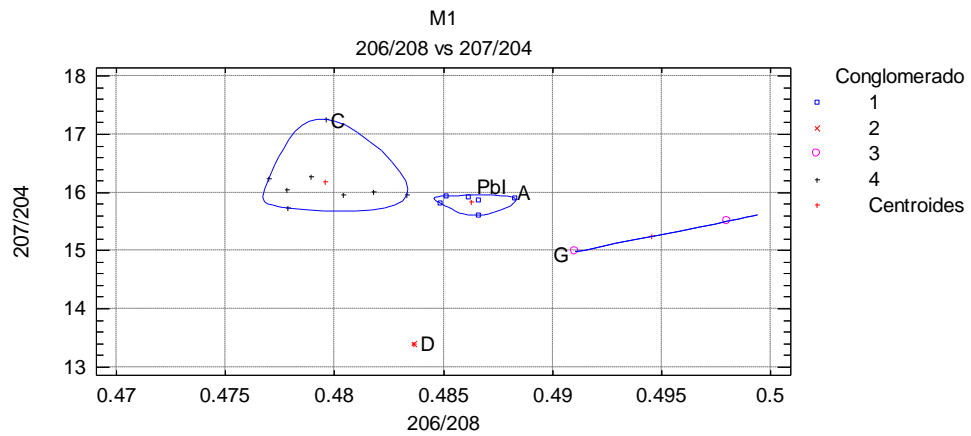
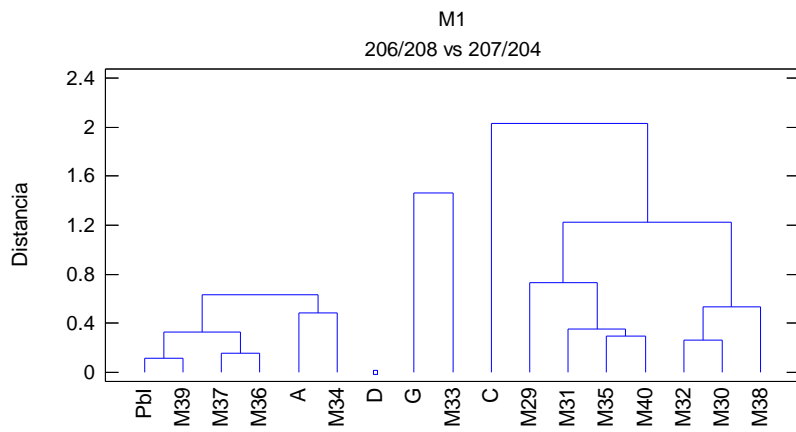


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

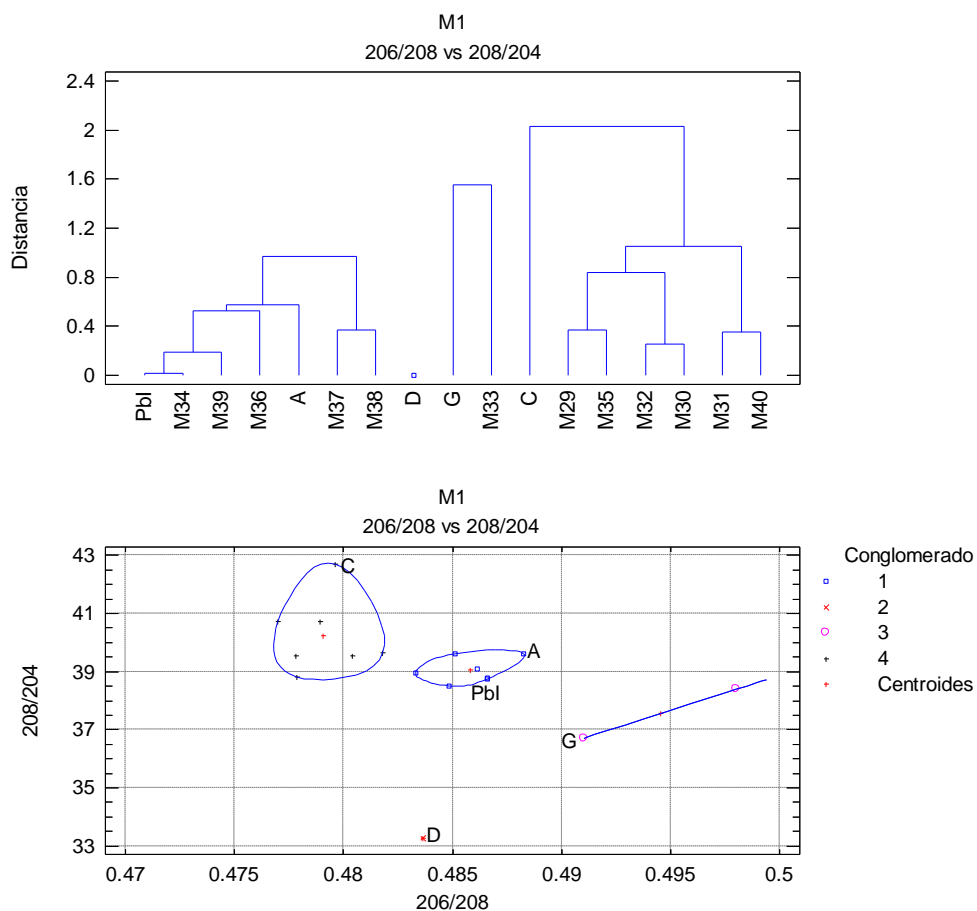




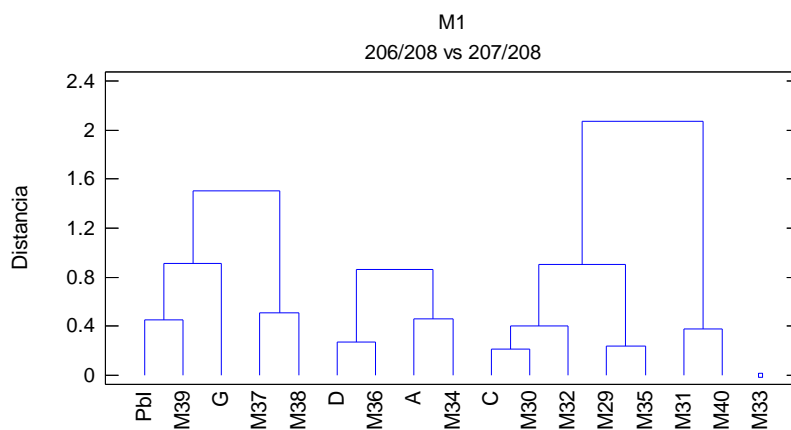
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

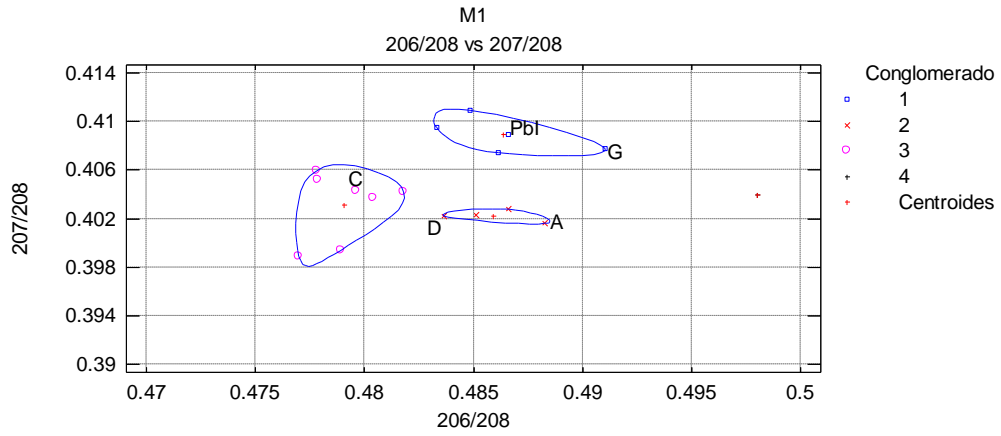


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

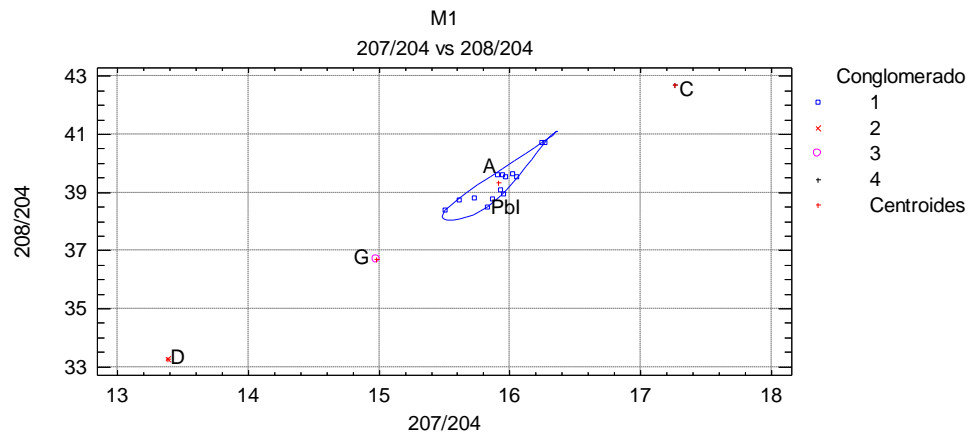
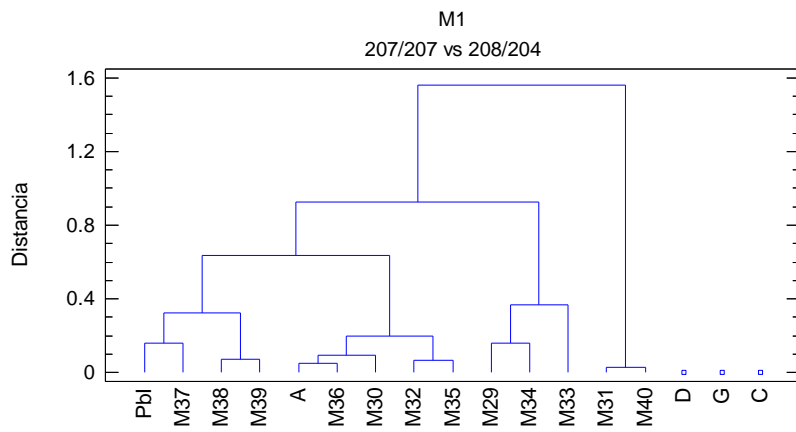


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

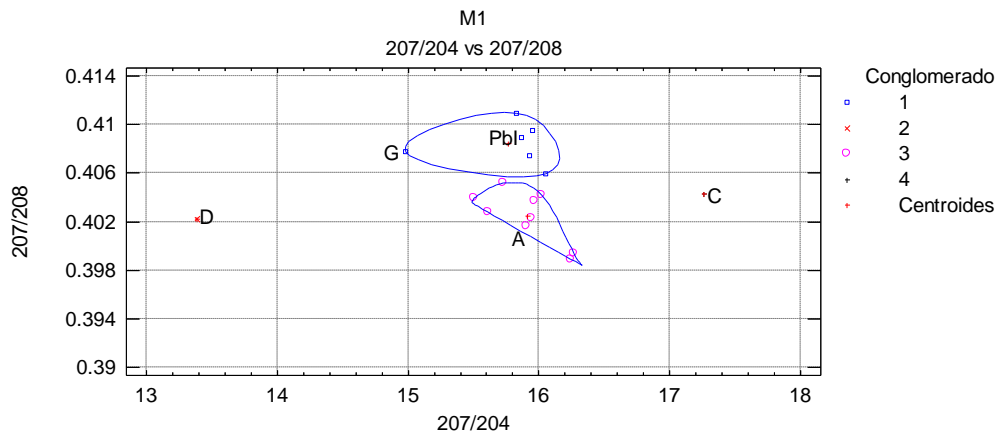
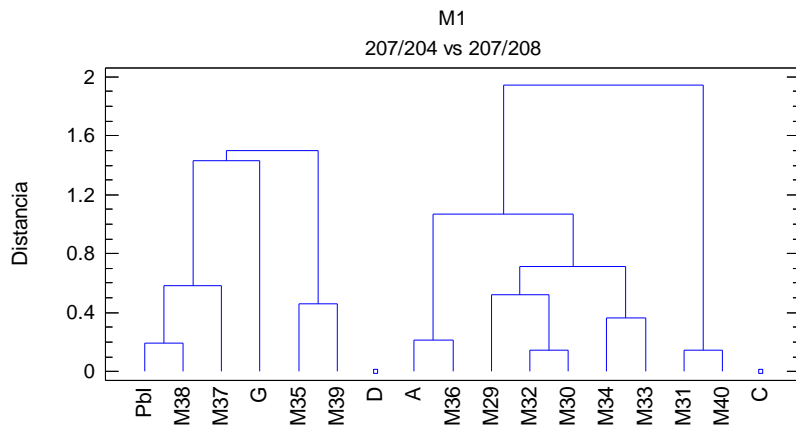




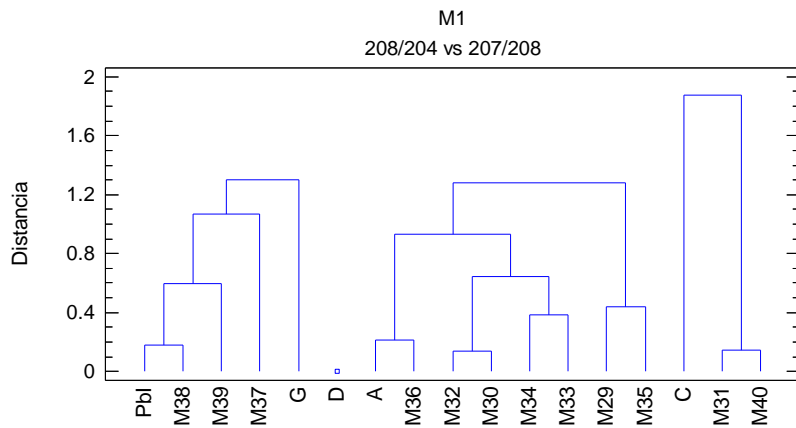
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

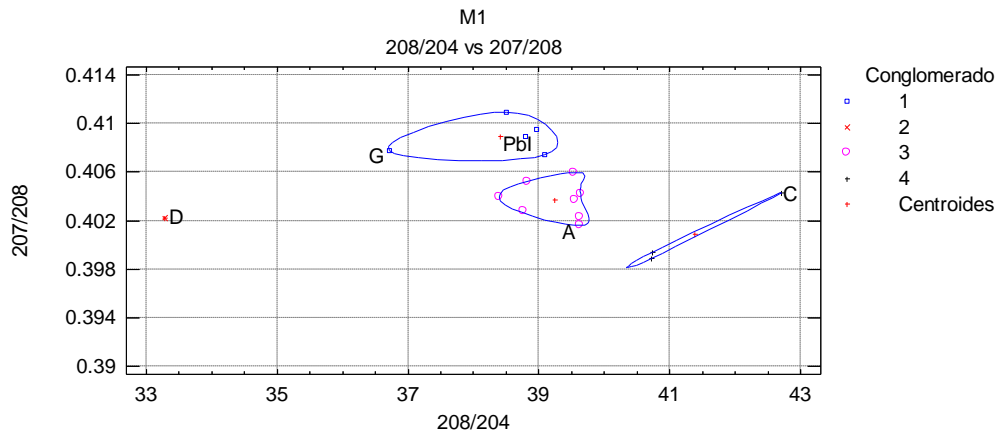


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$



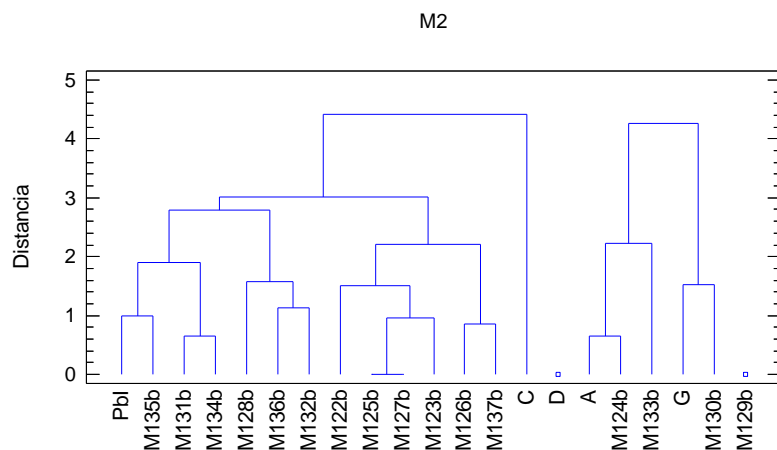
Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$



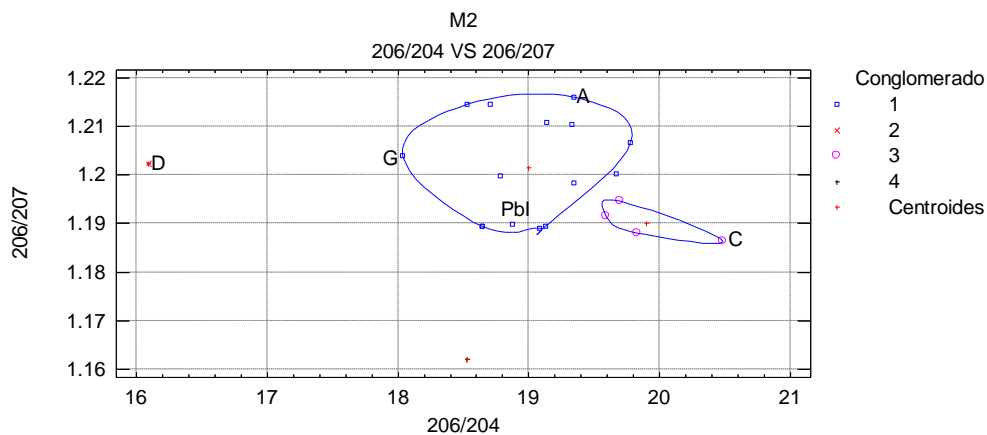
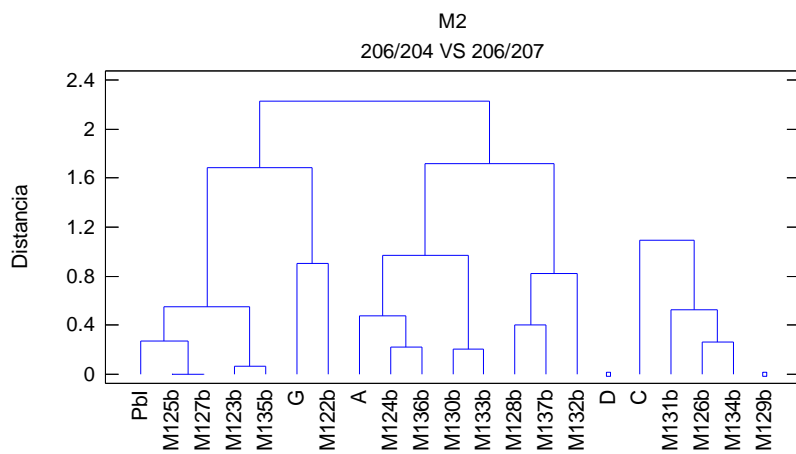


Análisis de conglomerados relaciones isotópicas para M2

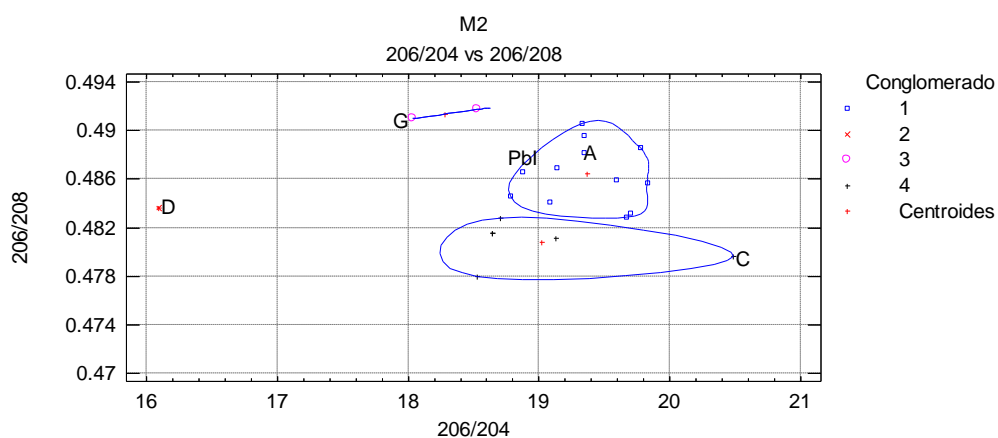
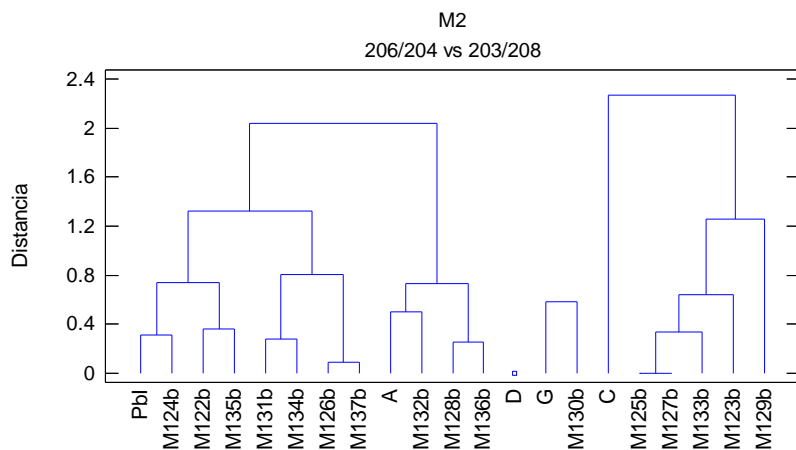
Dendograma considerando todas las relaciones isotópicas



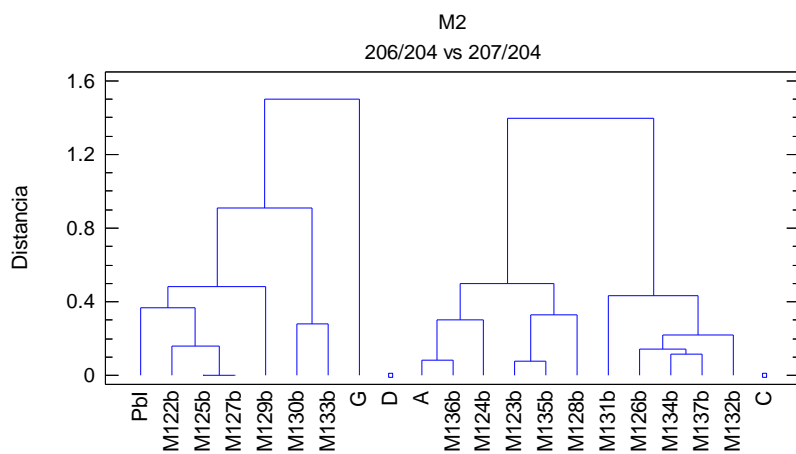
Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$:

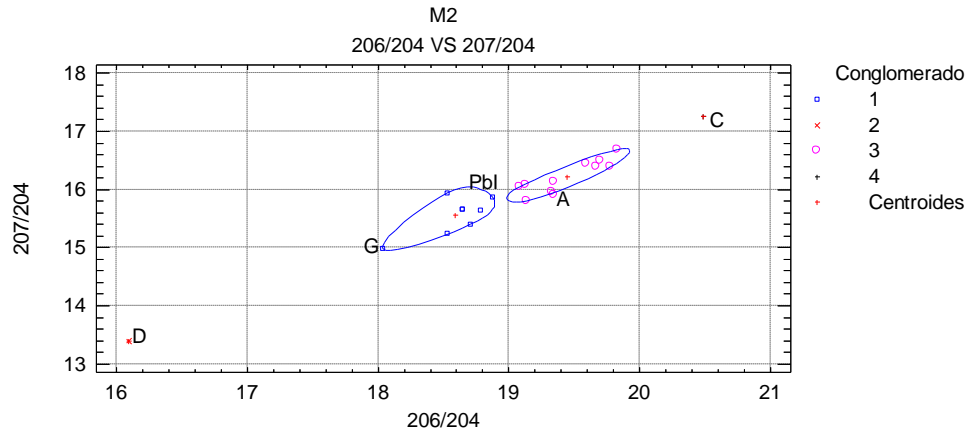


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$:

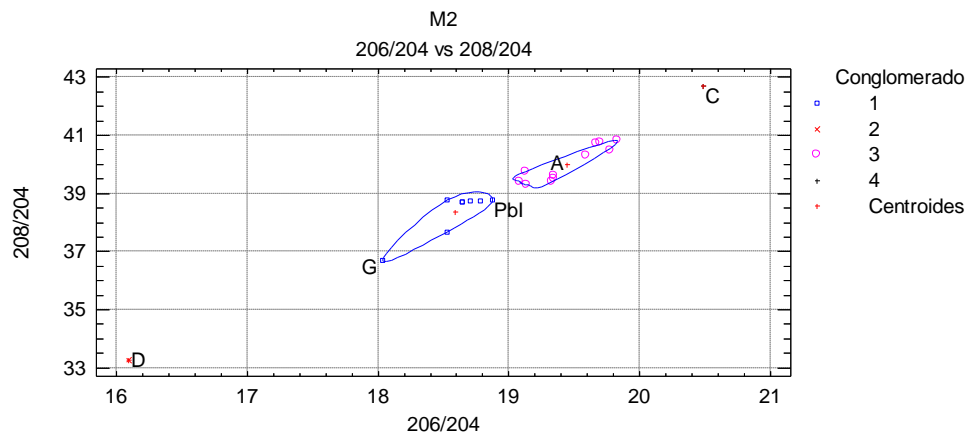
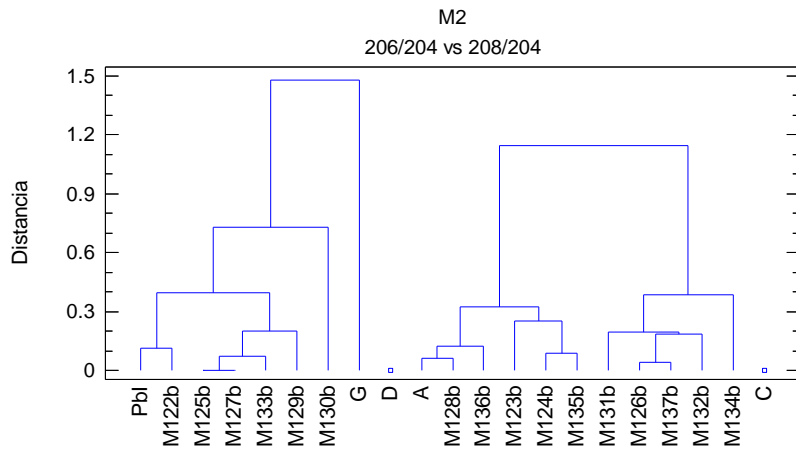


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

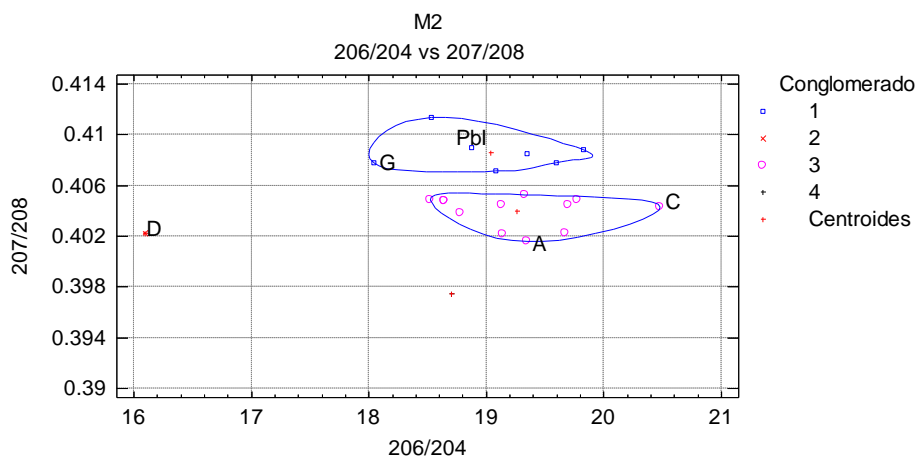
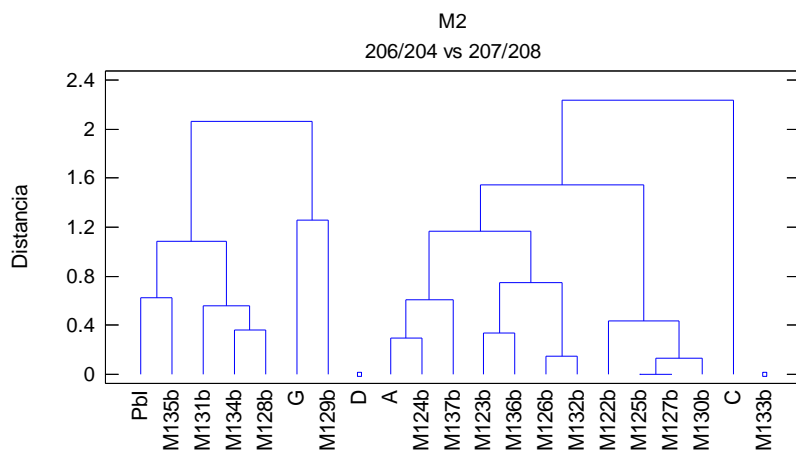




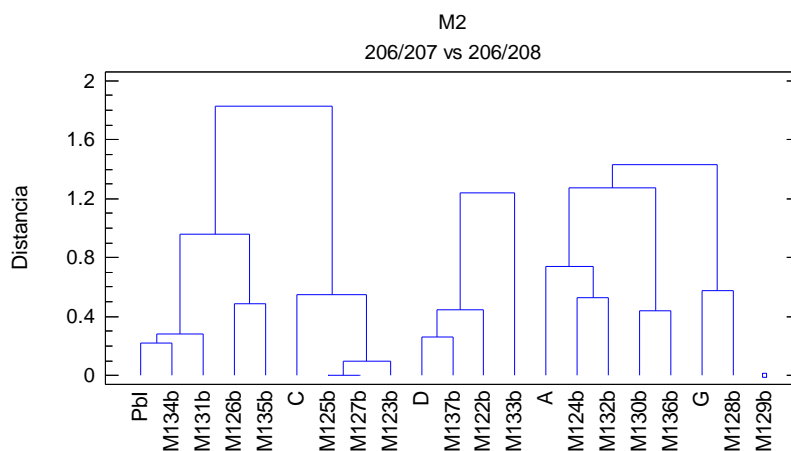
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

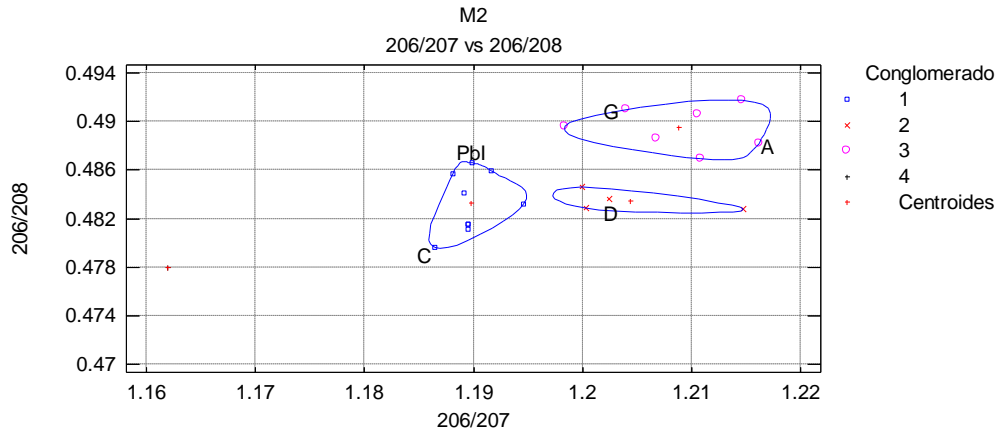


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

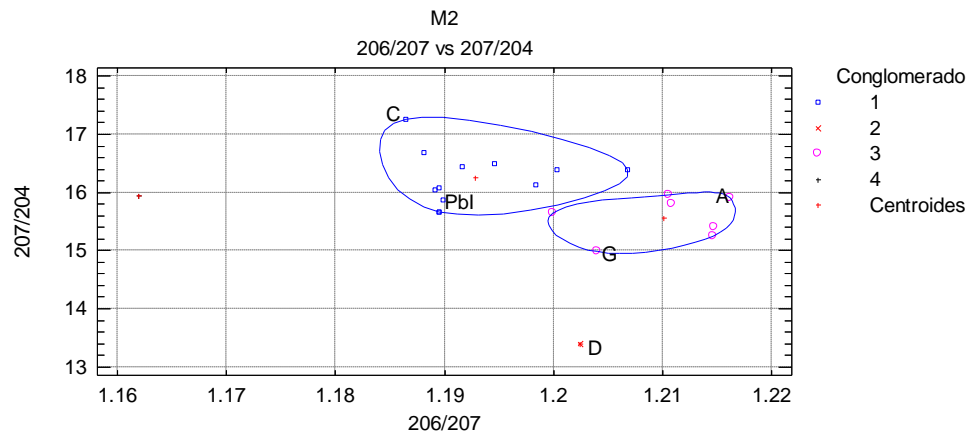
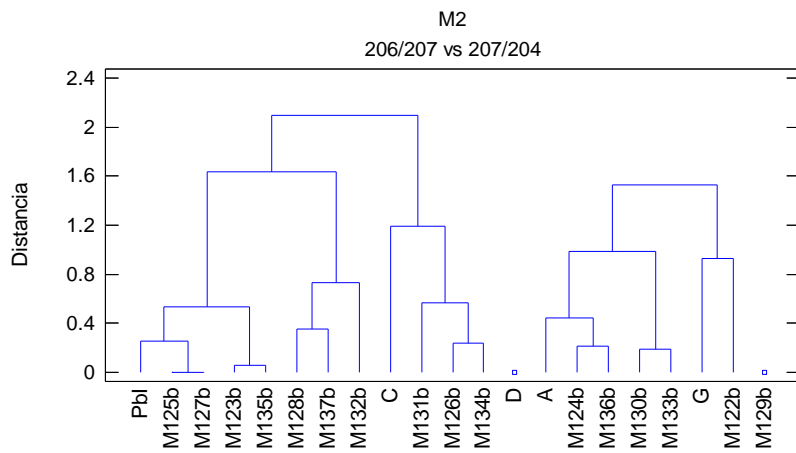


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

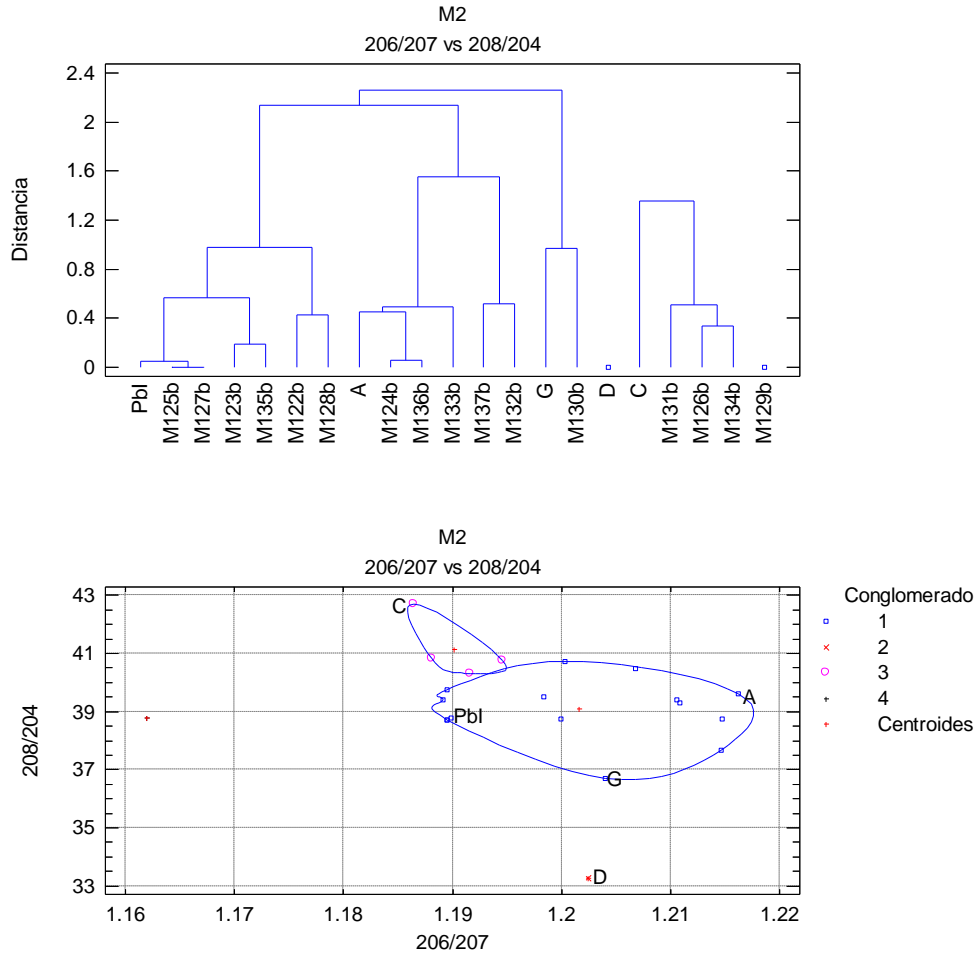




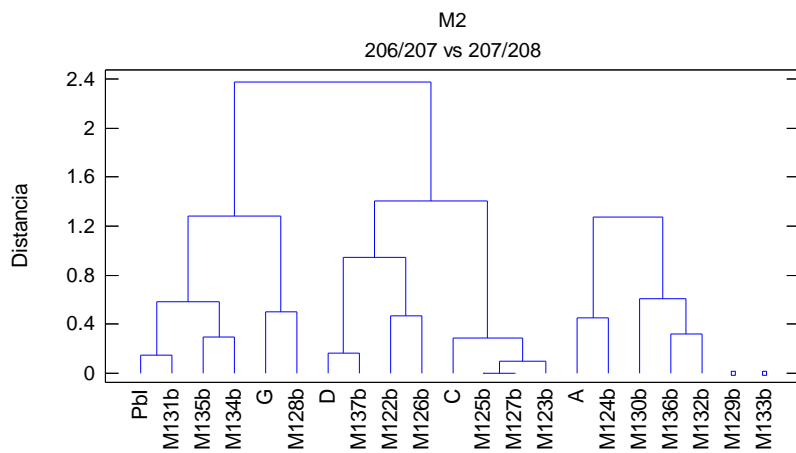
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

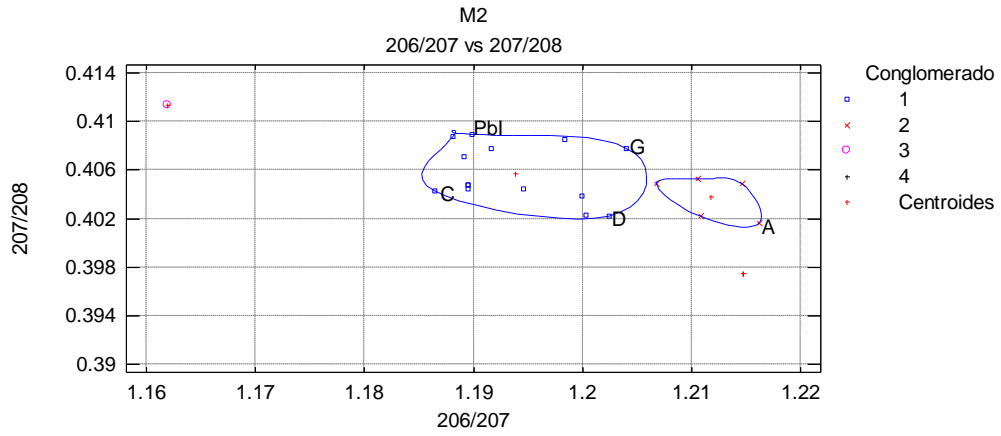


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

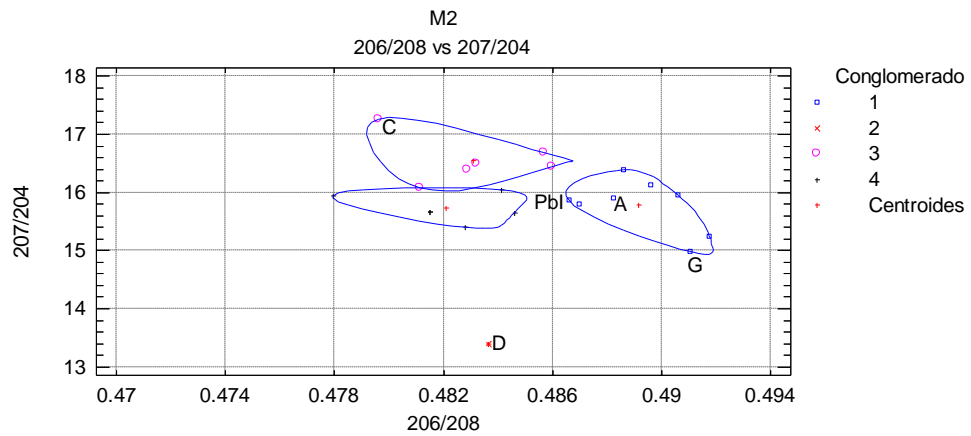
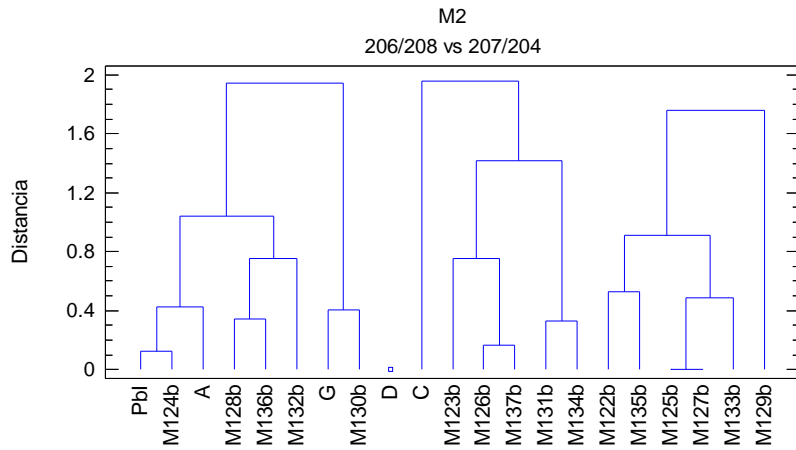


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

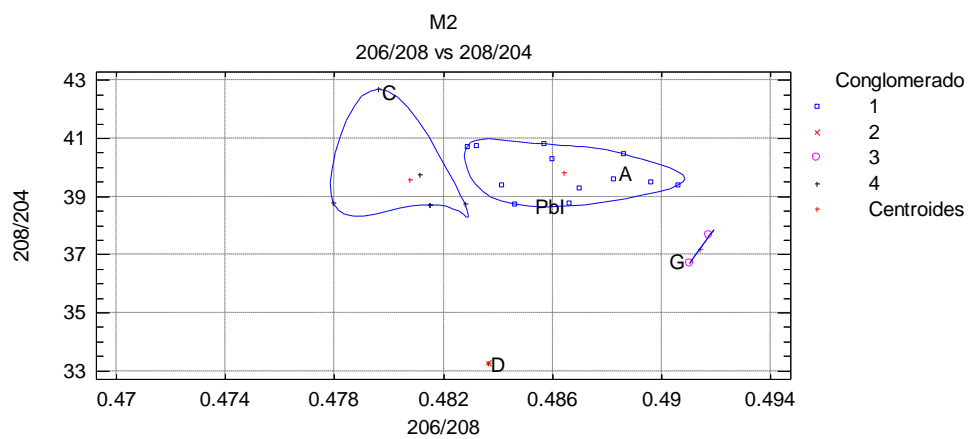
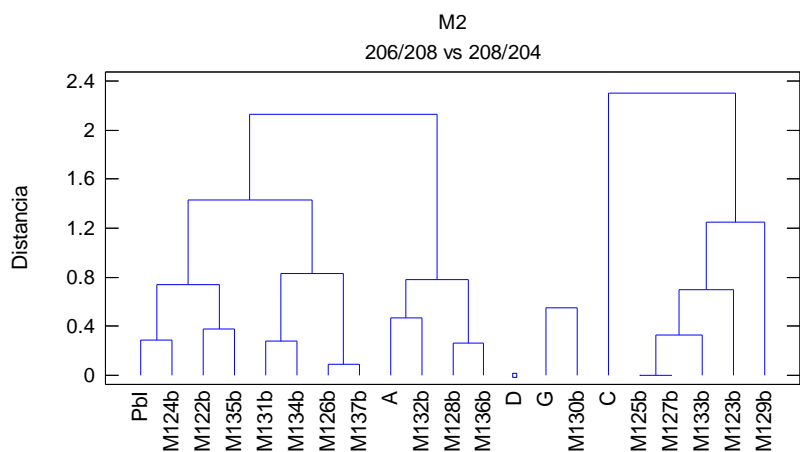




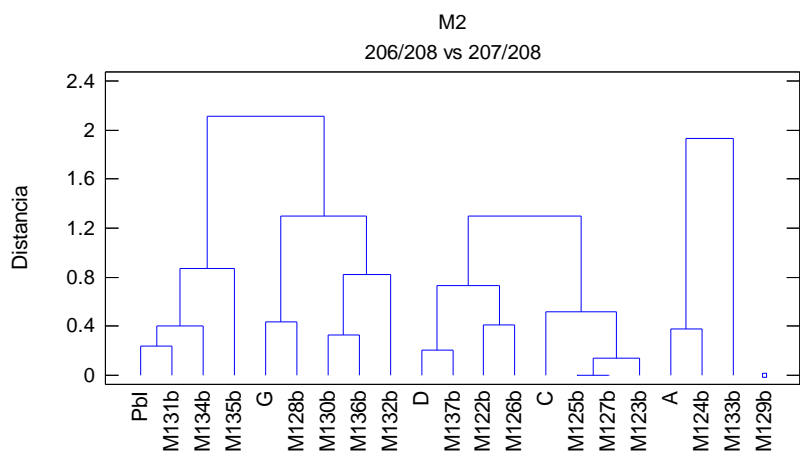
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

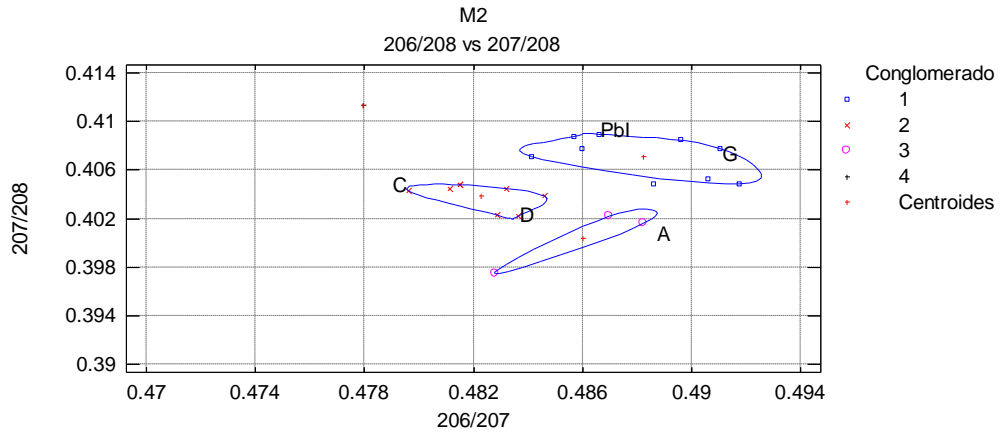


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

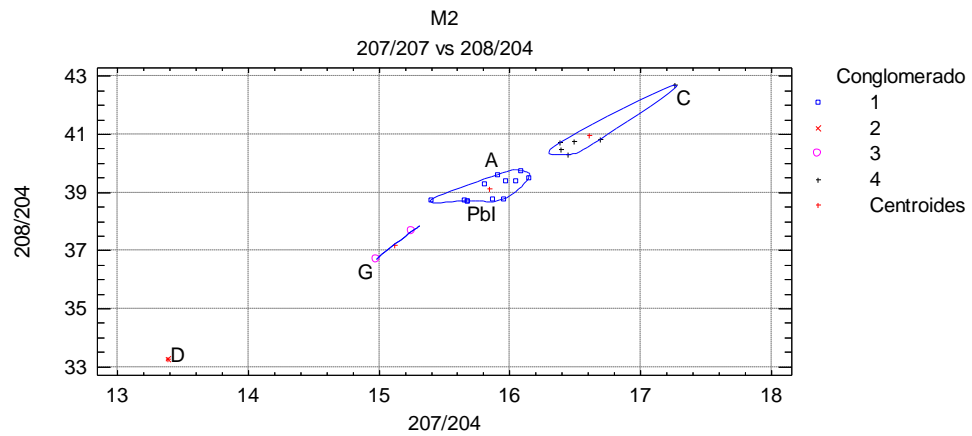
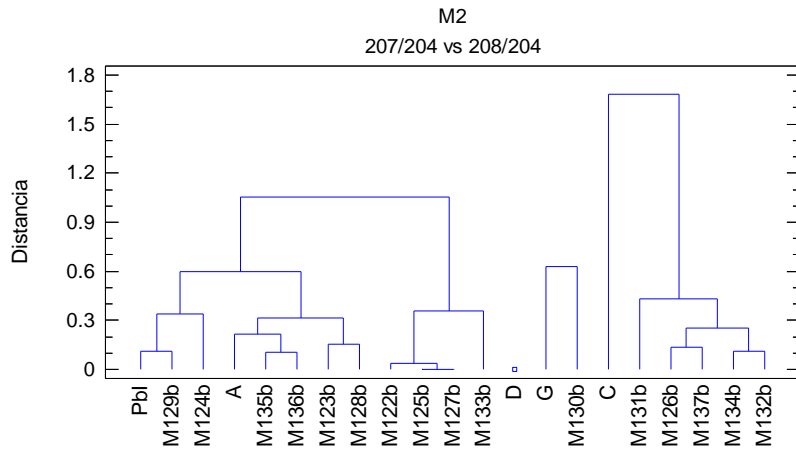


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

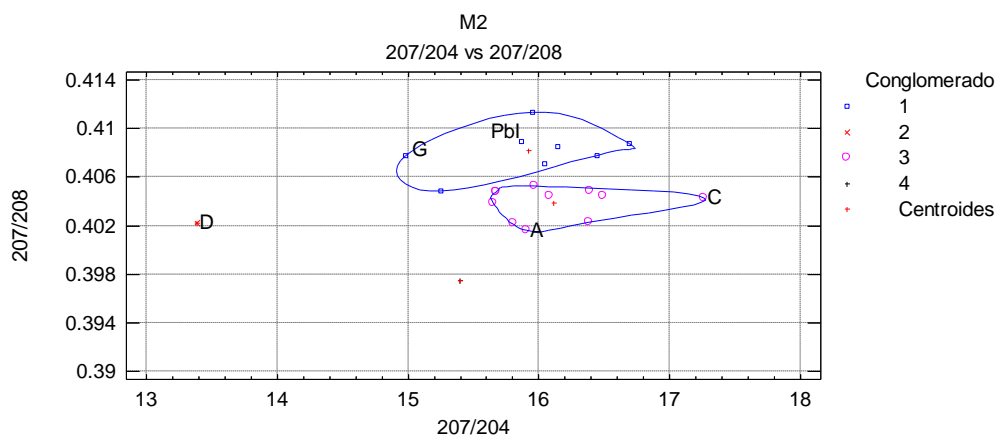
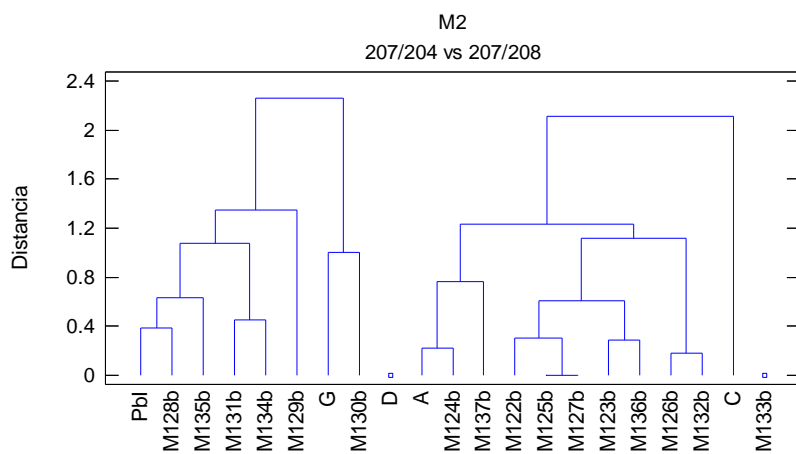




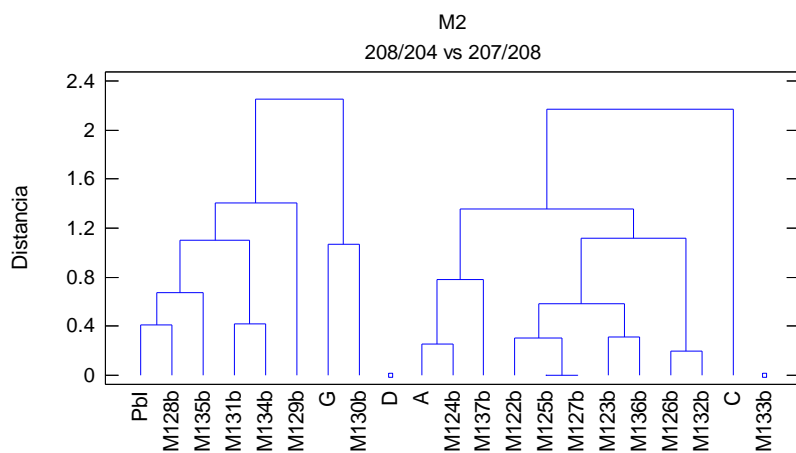
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

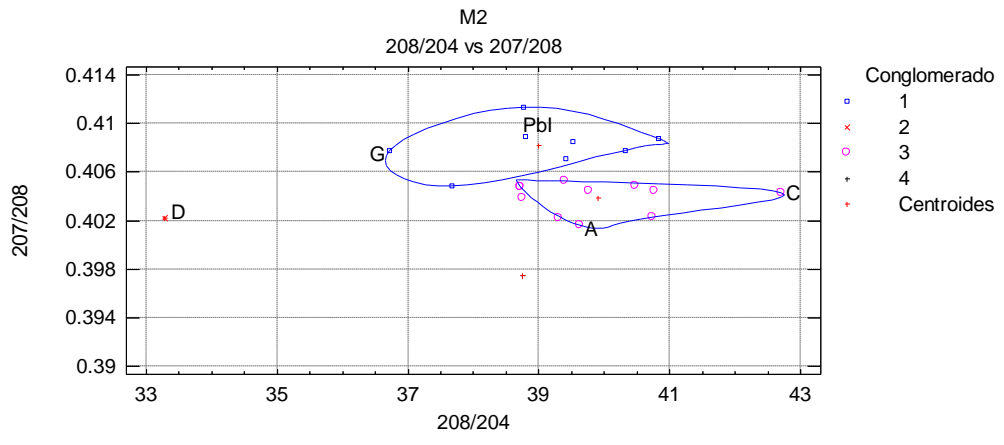


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$



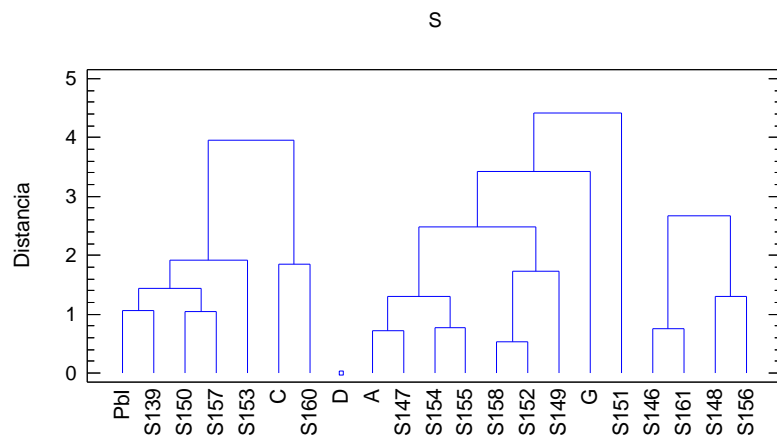
Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$



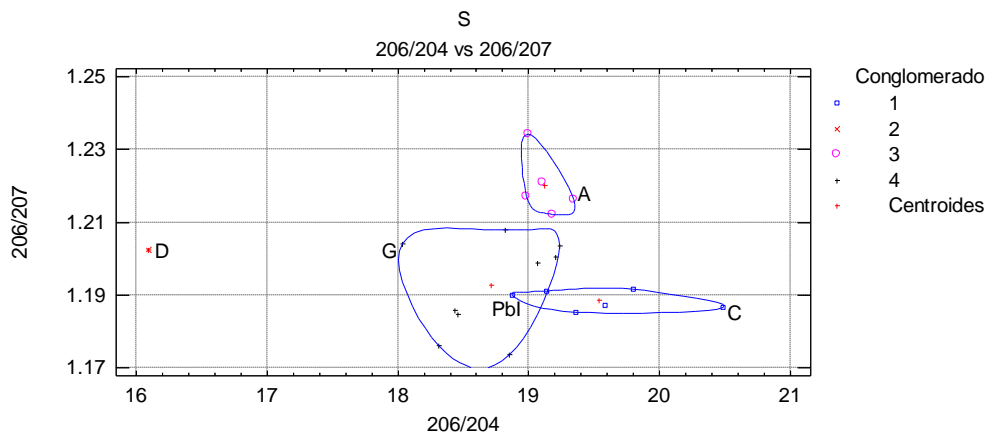
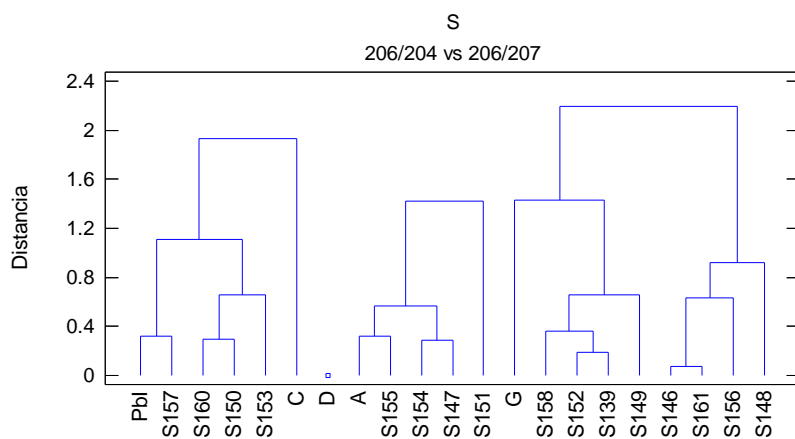


Análisis de conglomerados relaciones isotópicas para S

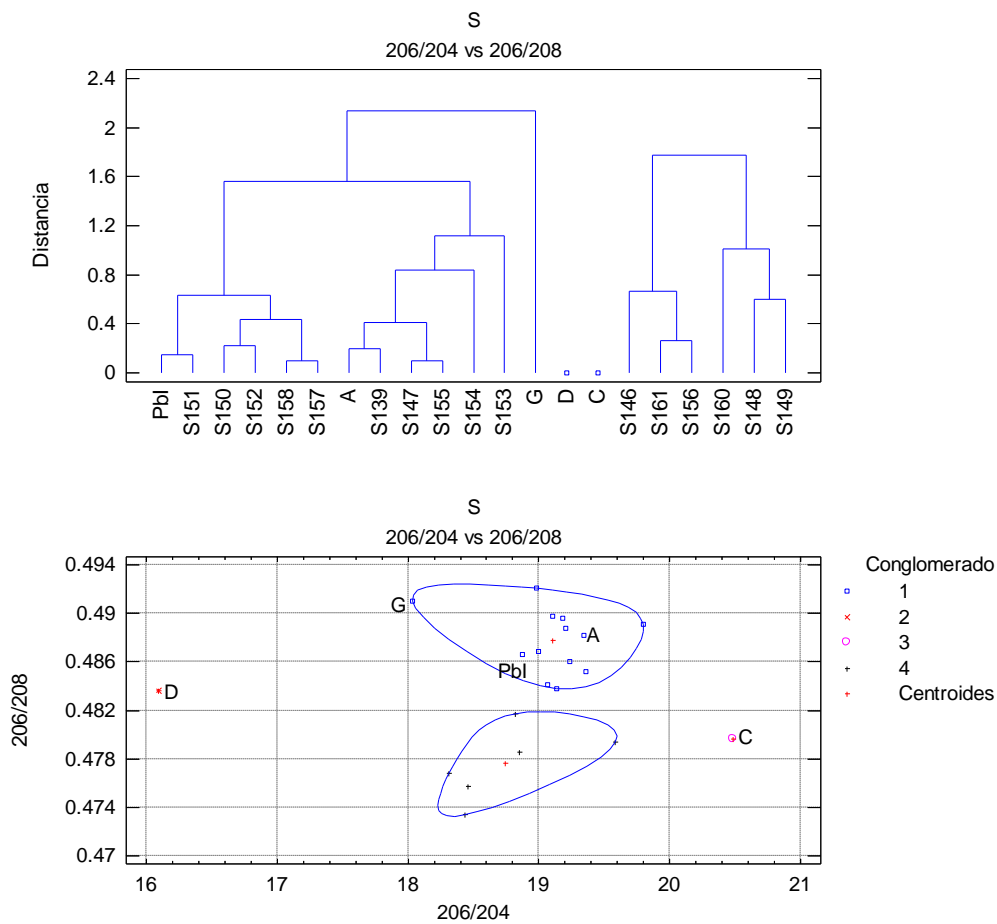
Dendograma considerando todas las relaciones isotópicas



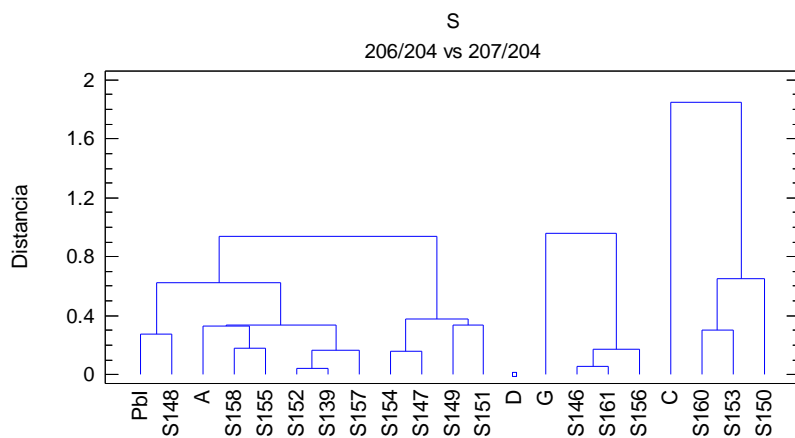
Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$:

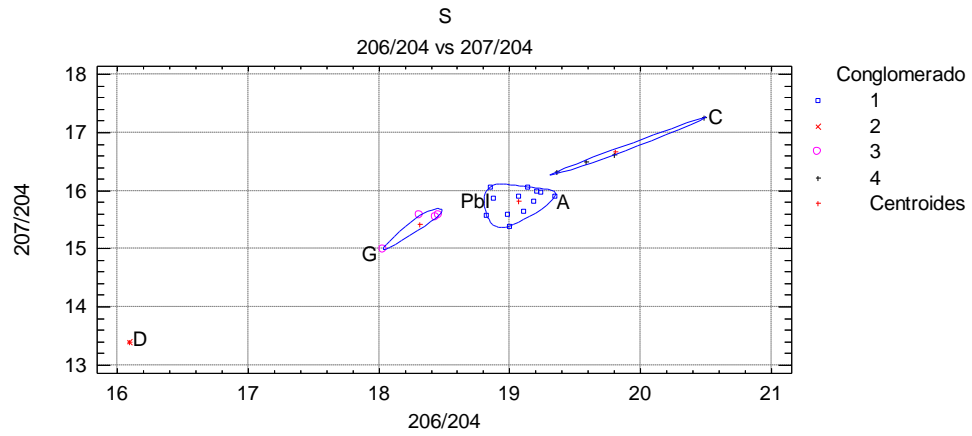


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$:

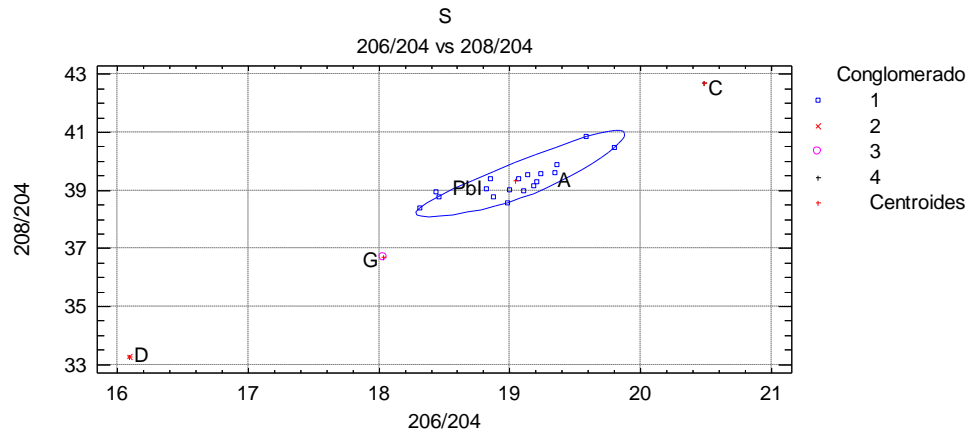
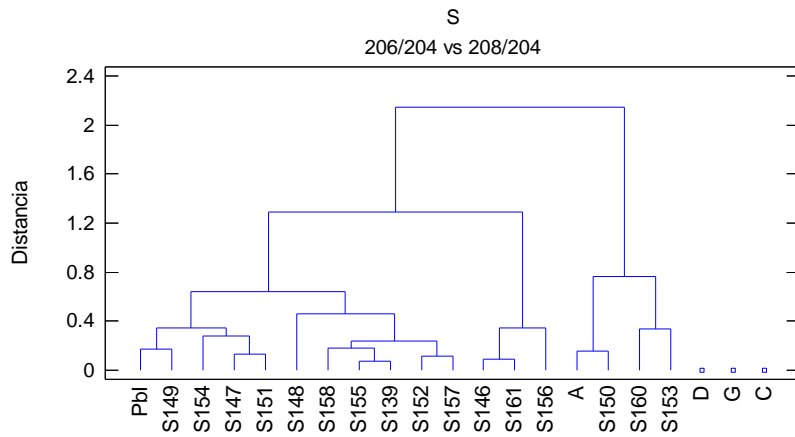


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$:

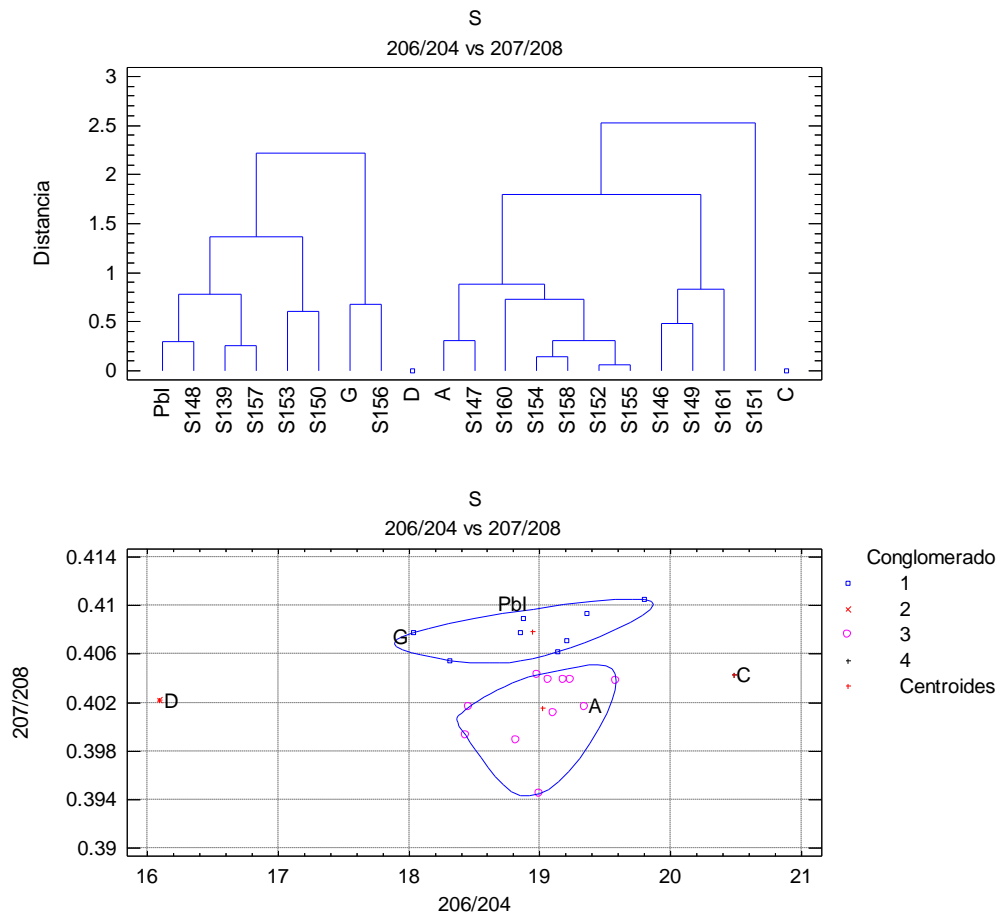




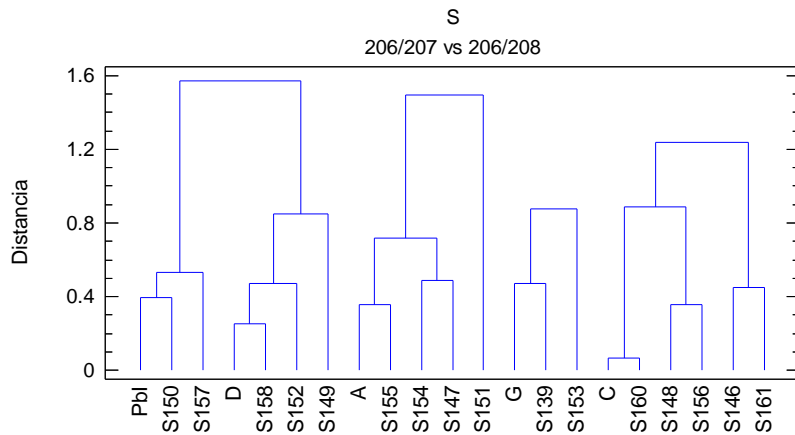
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$:

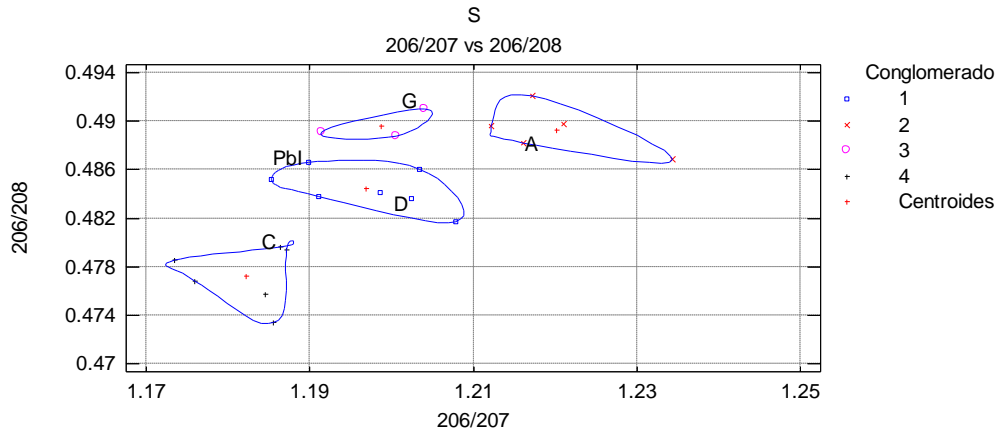


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$:

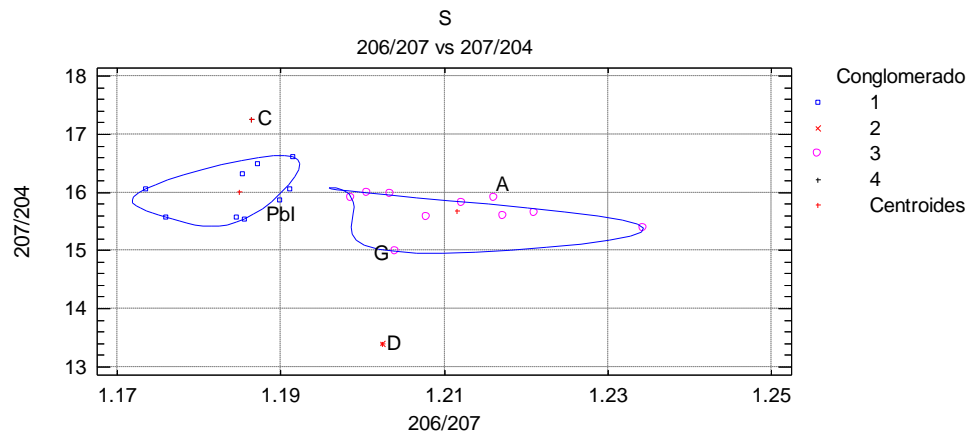
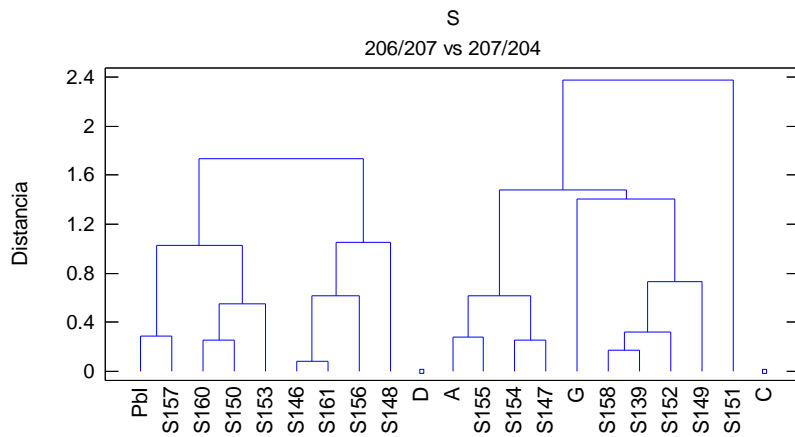


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$:

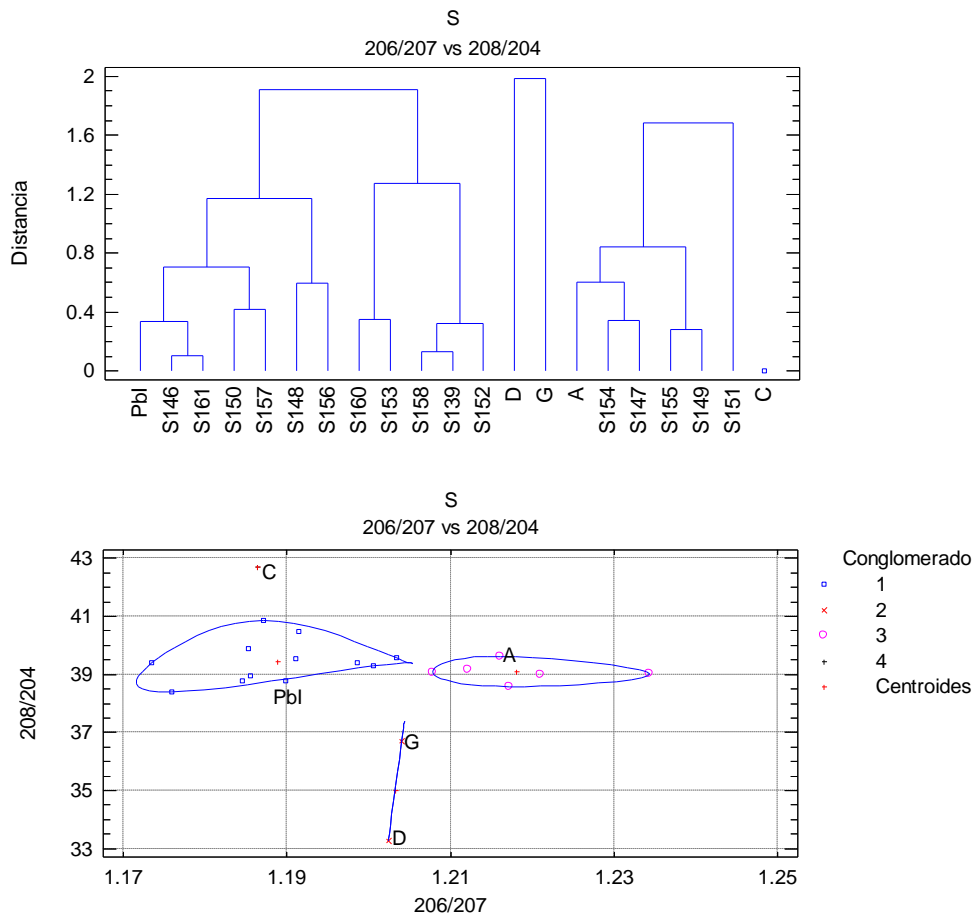




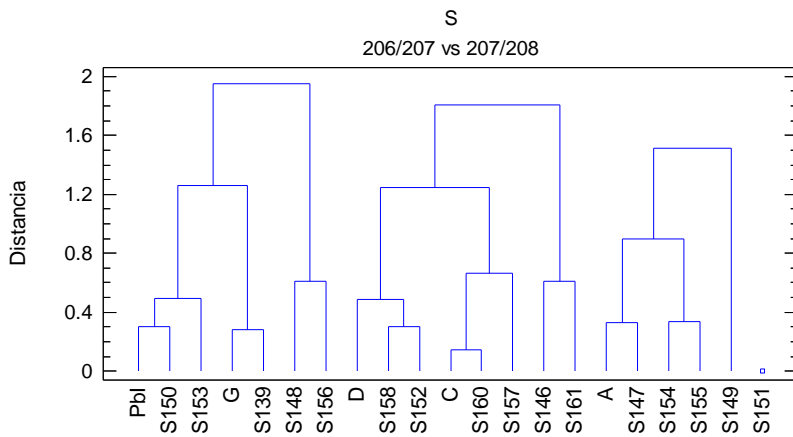
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$:

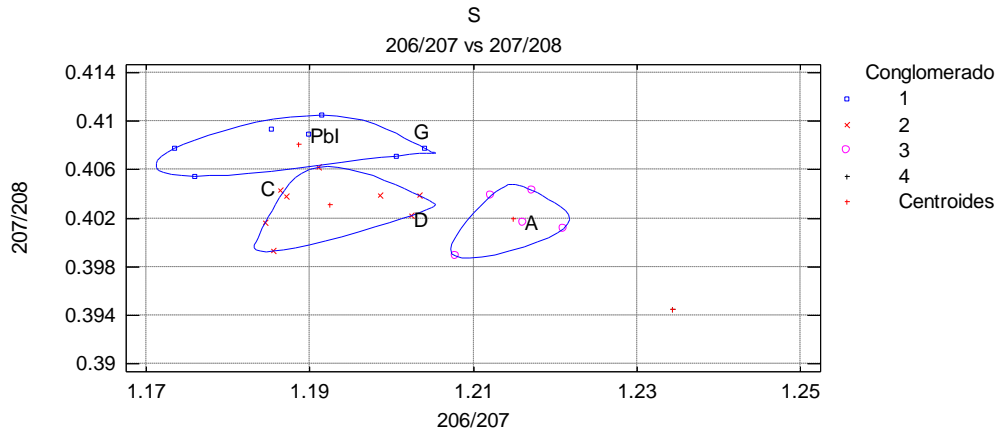


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$:

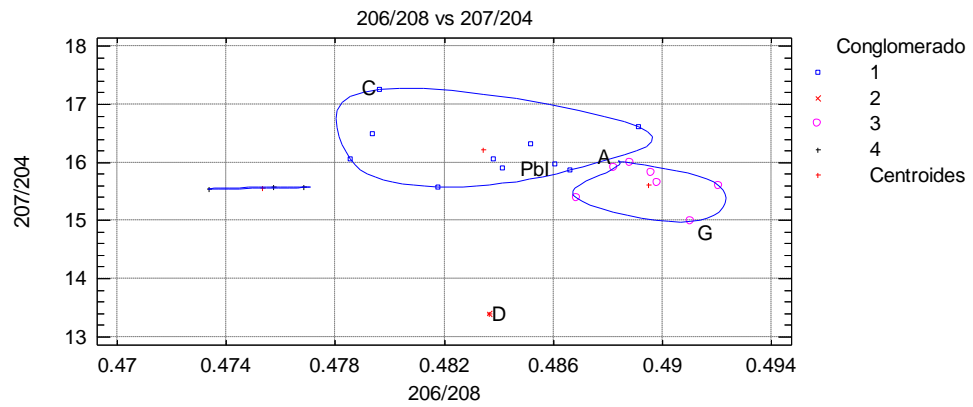
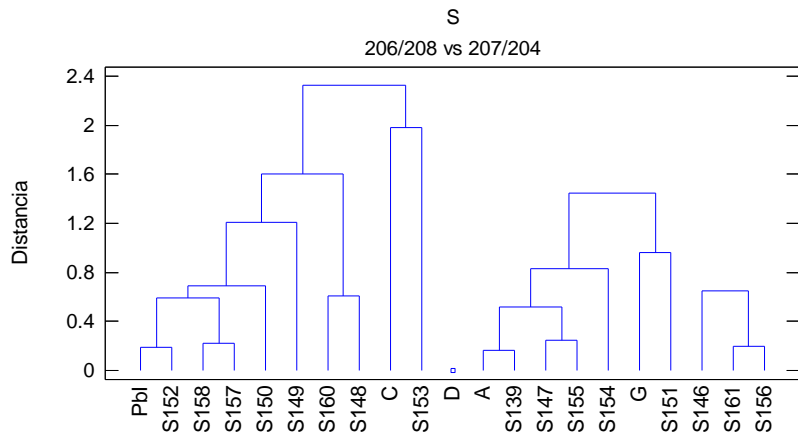


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$:

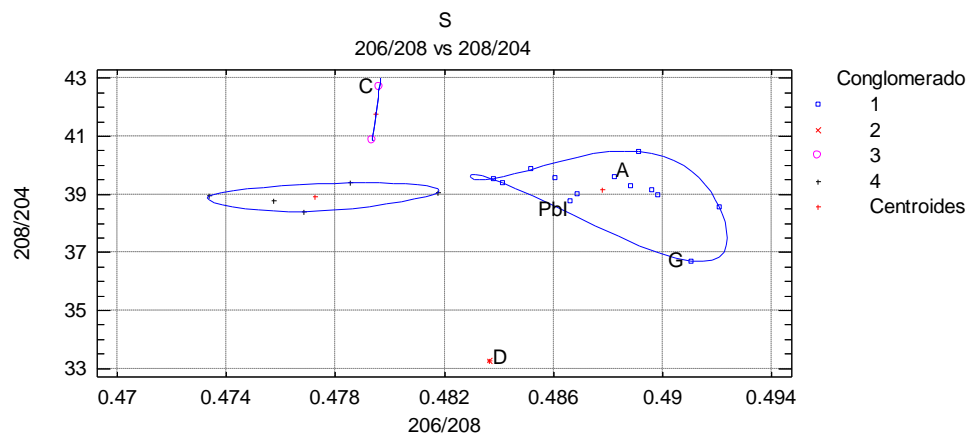
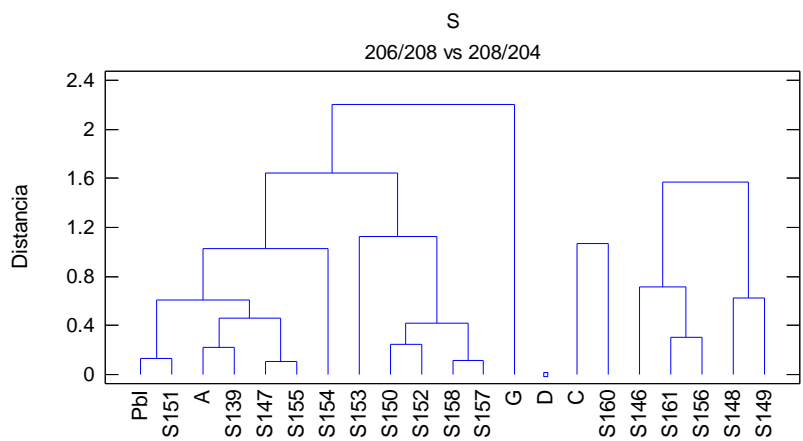




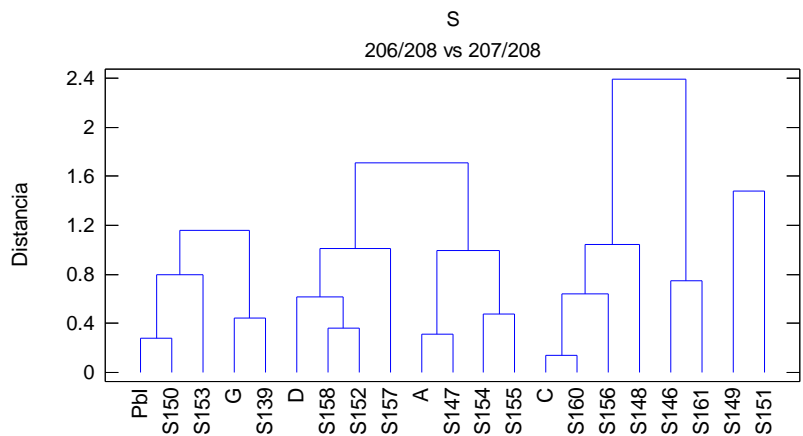
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$:

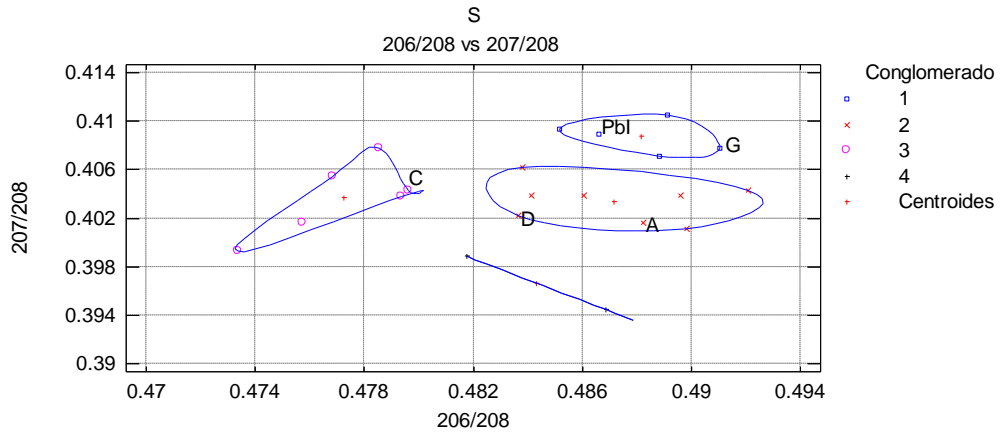


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$:

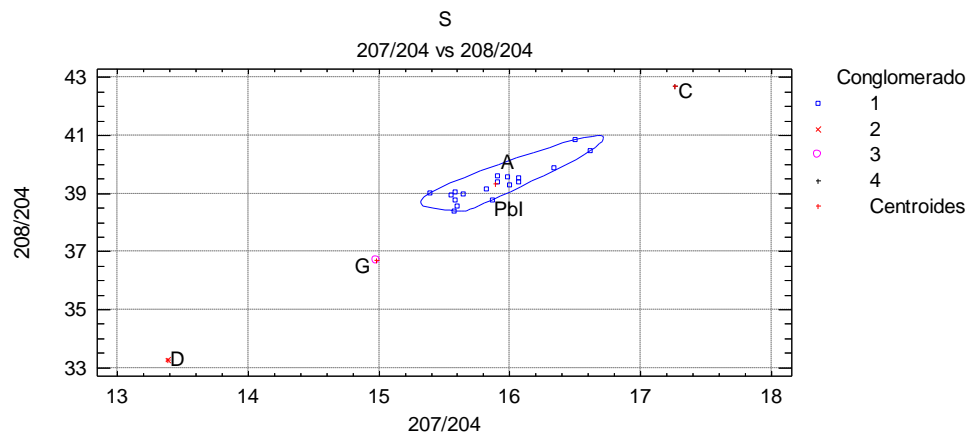
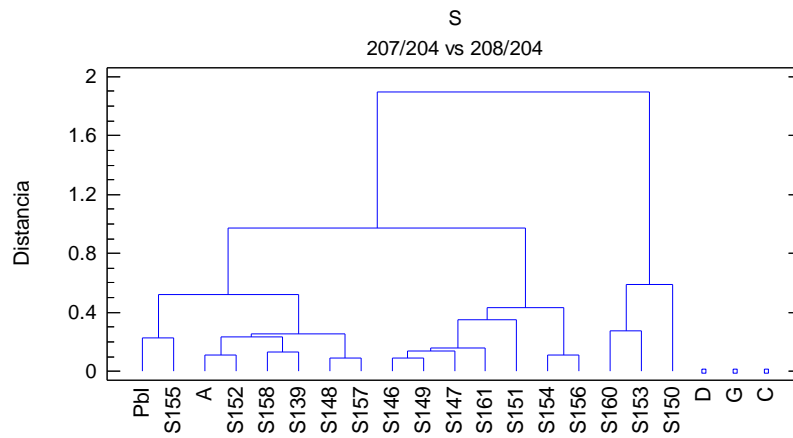


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$:

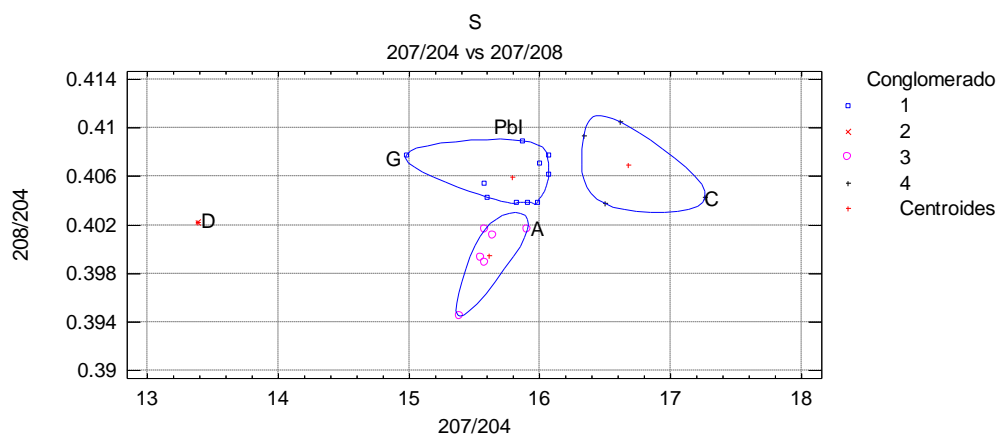
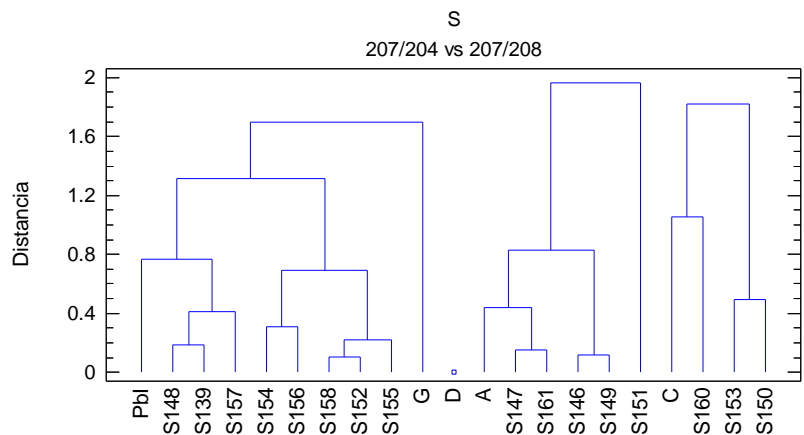




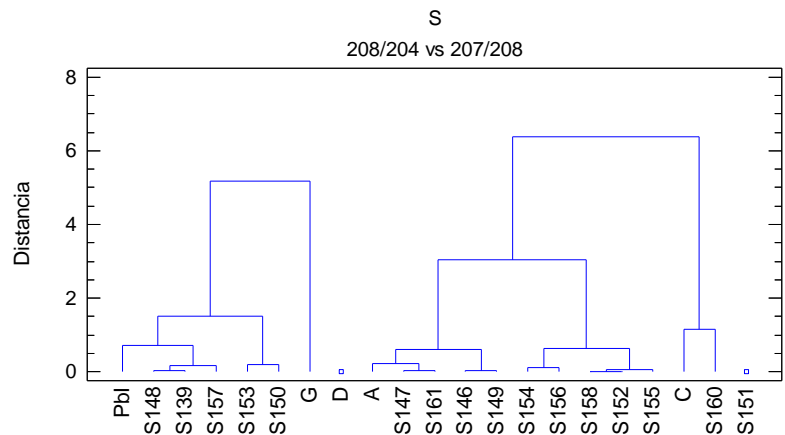
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$:

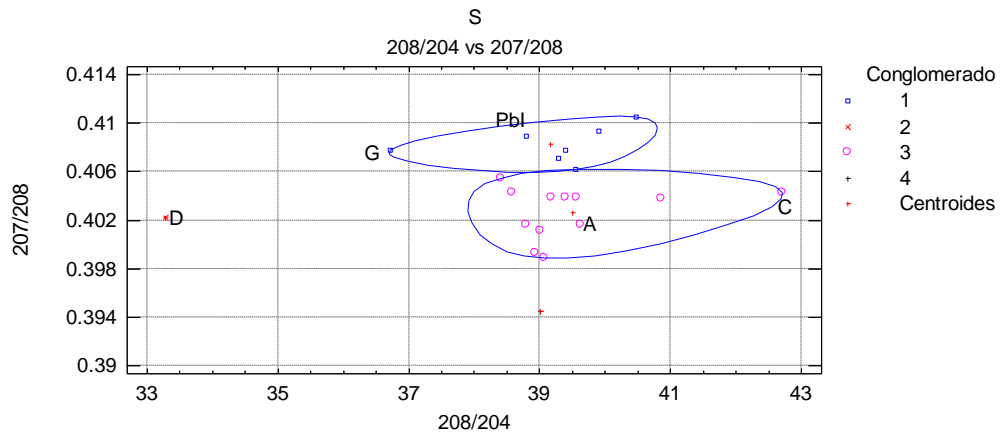


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$:



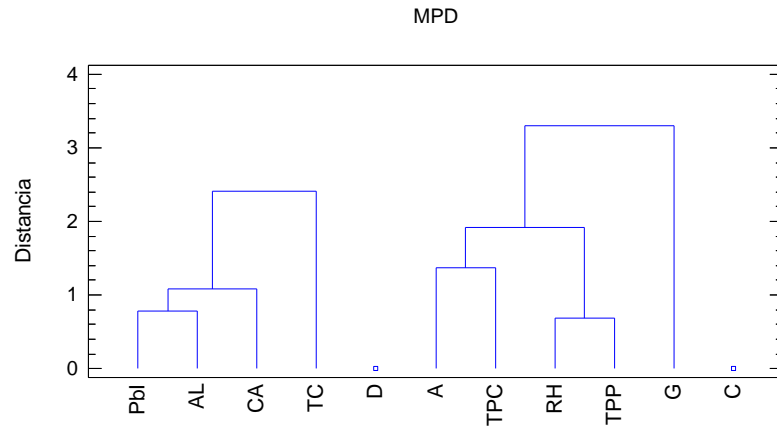
Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$:



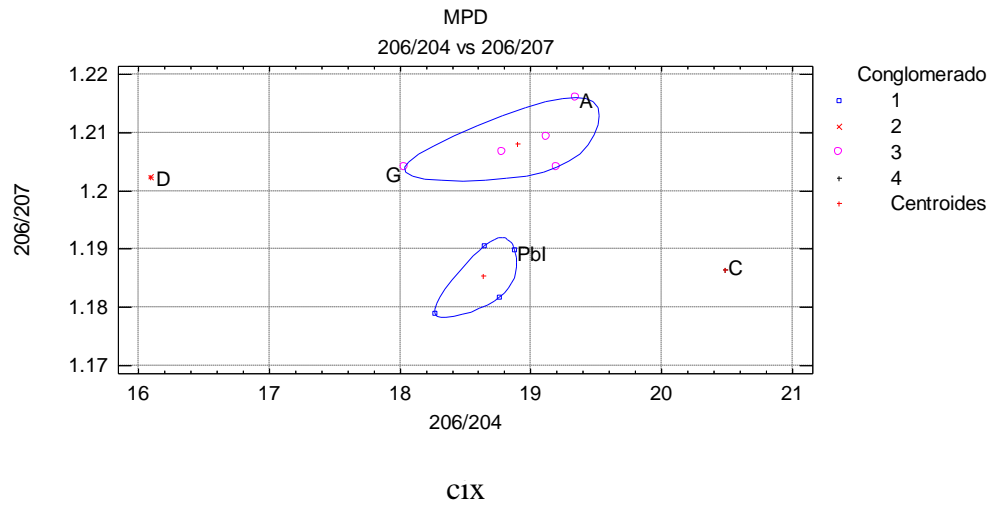
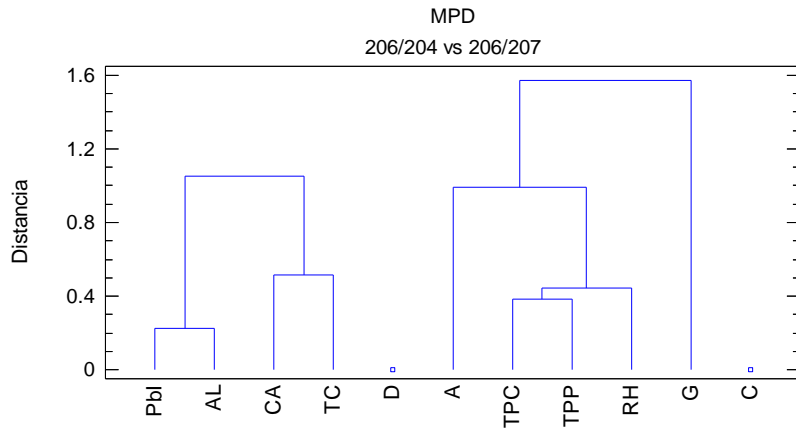


Análisis de conglomerados relaciones isotópicas para MPD

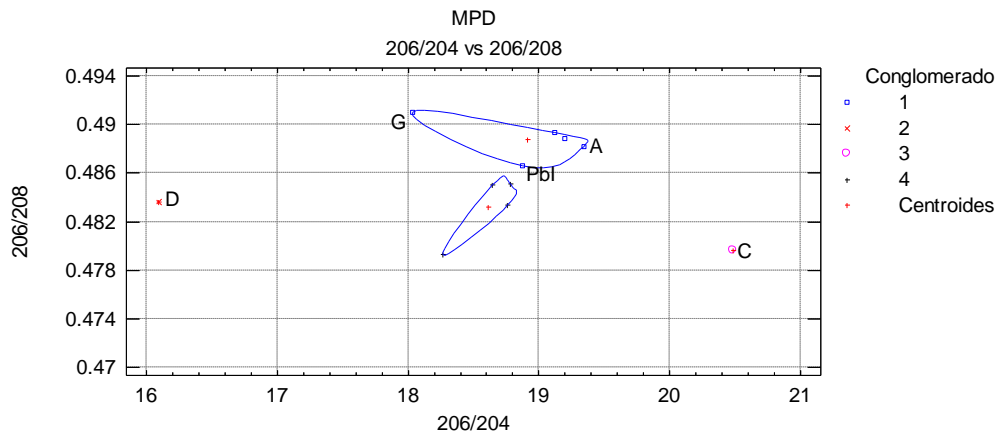
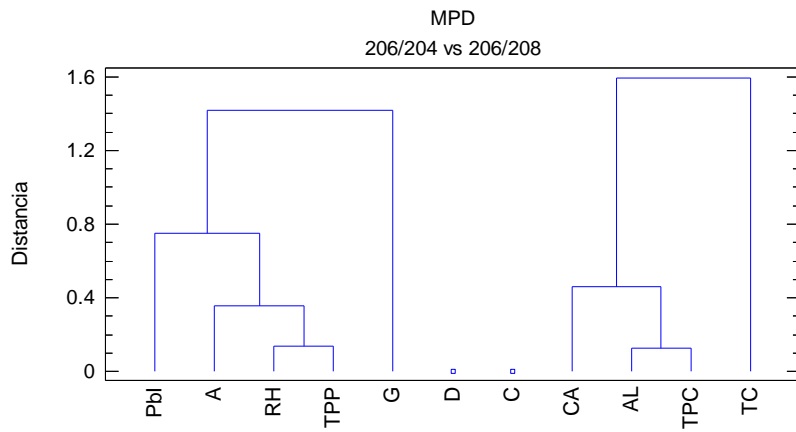
Dendograma considerando todas las relaciones isotópicas



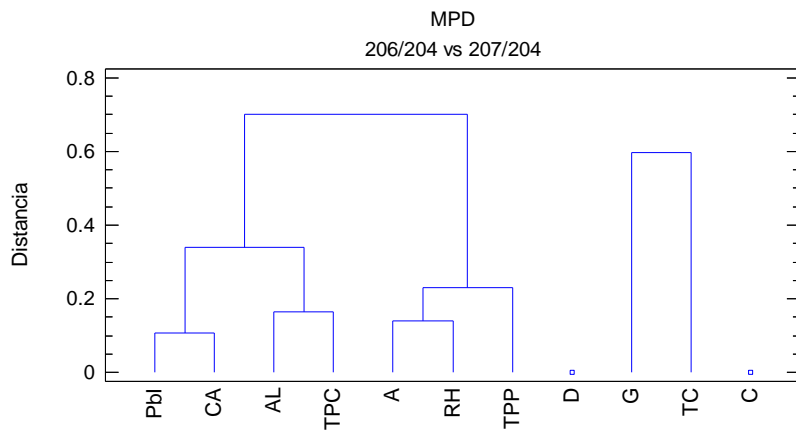
Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$:

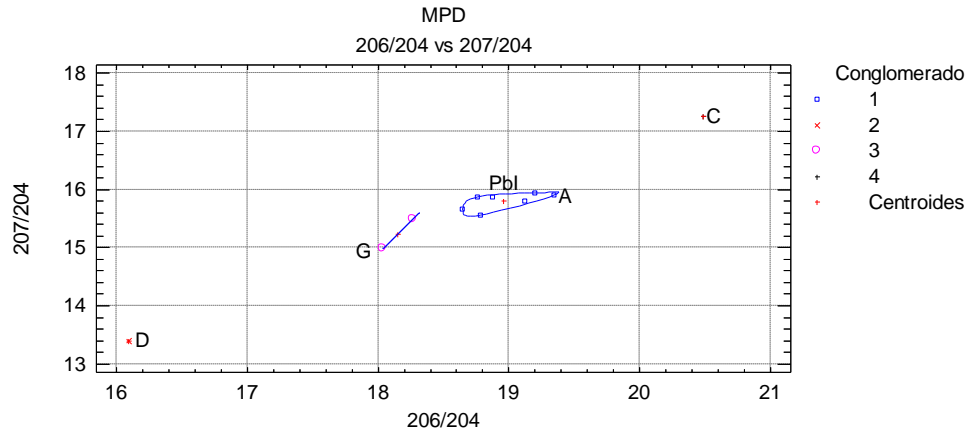


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$:

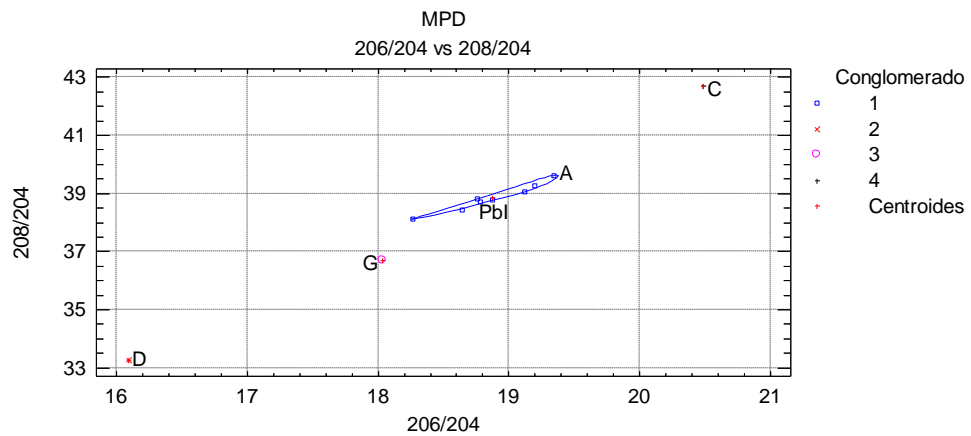
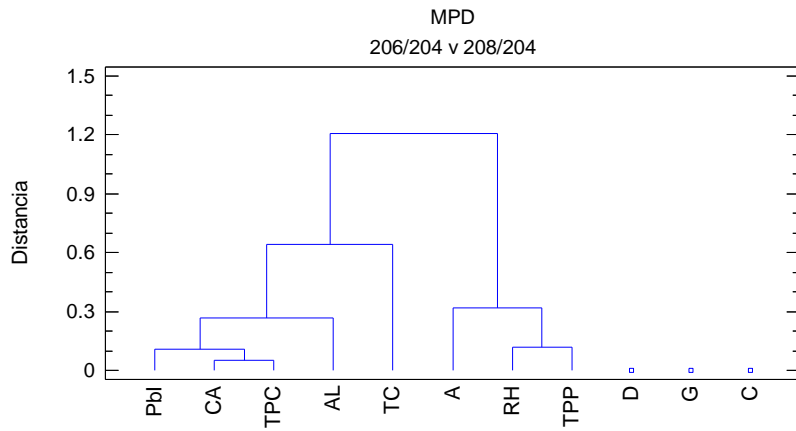


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$



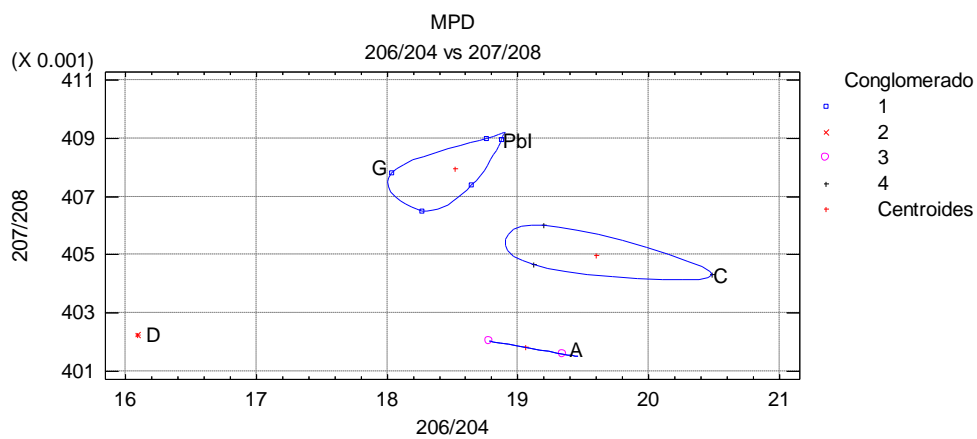
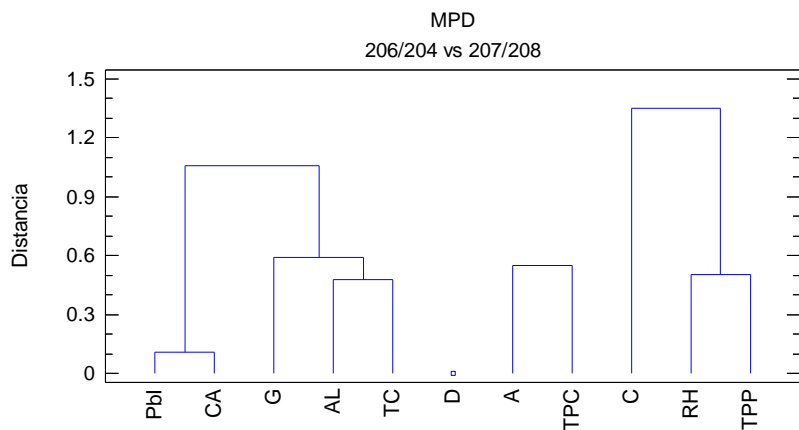


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

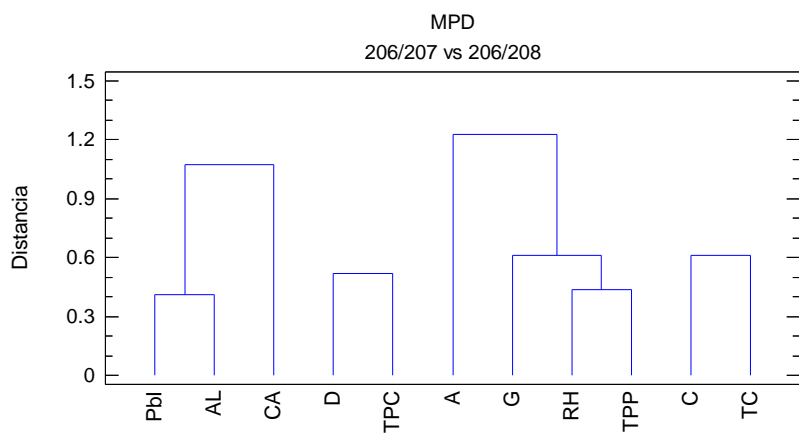


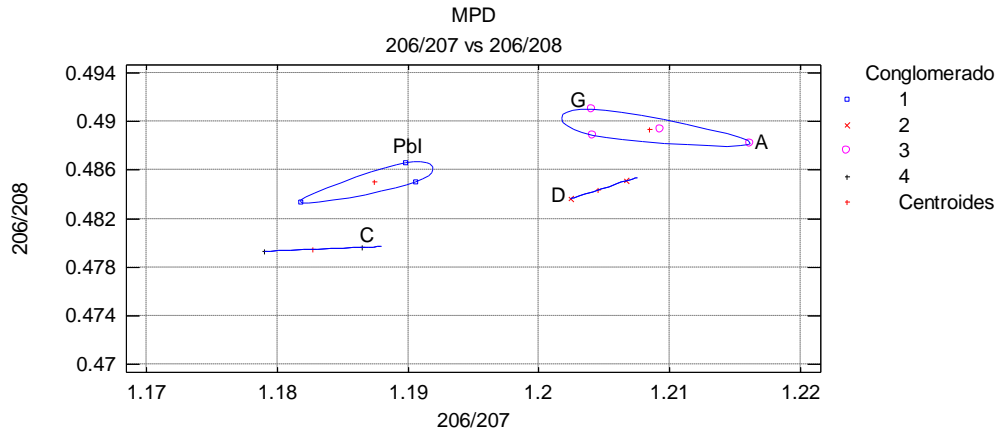
cxi

Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

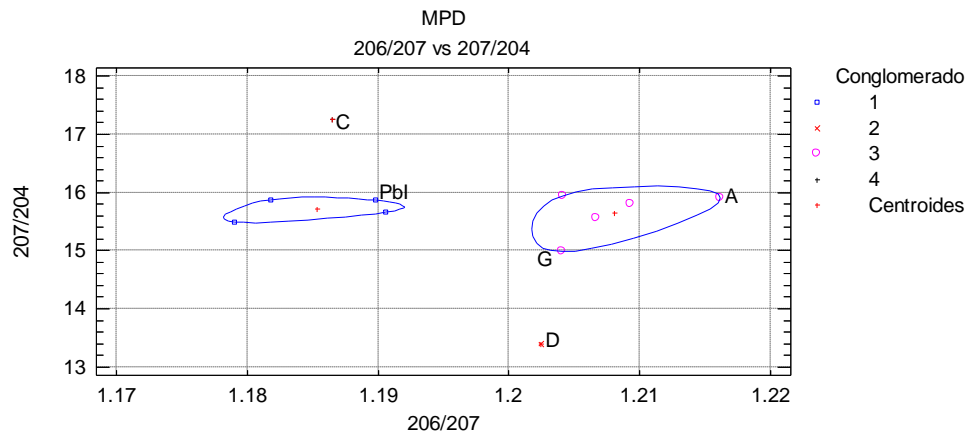
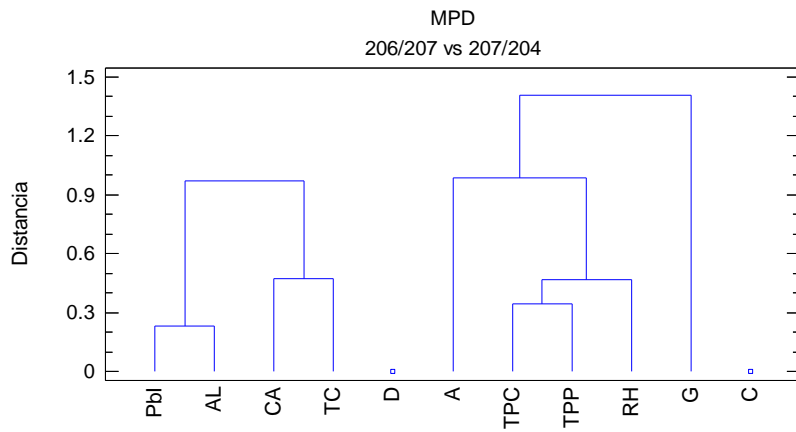


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

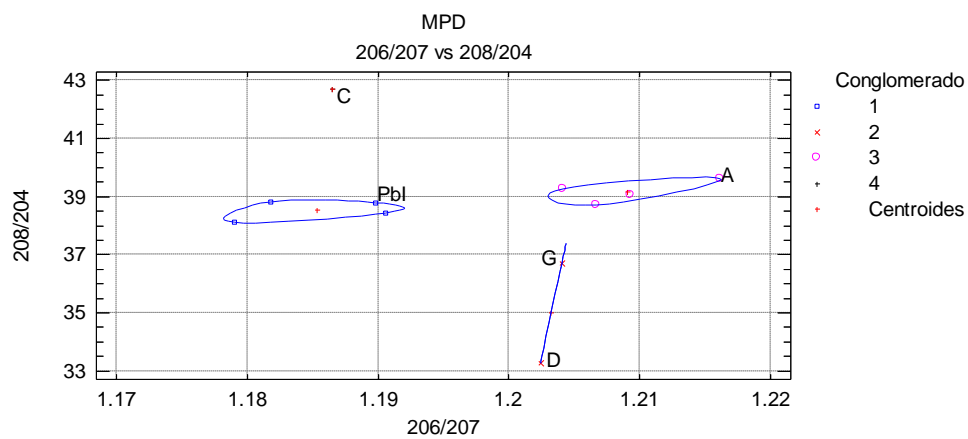
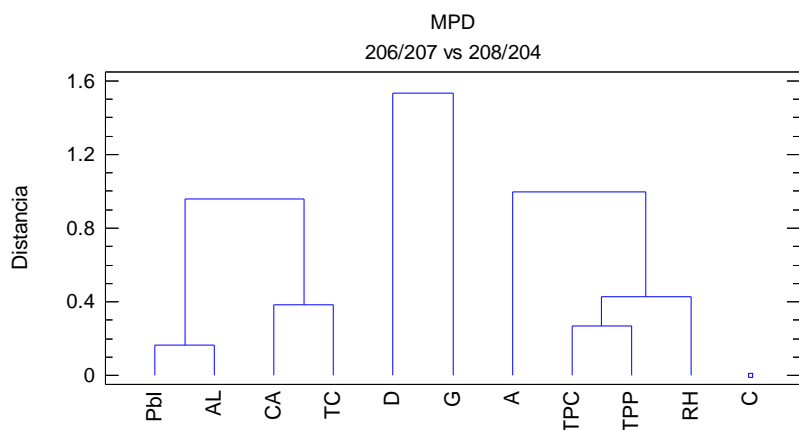




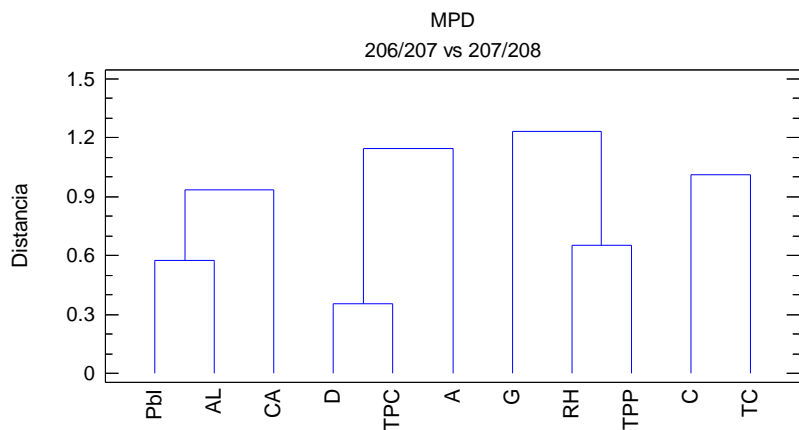
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

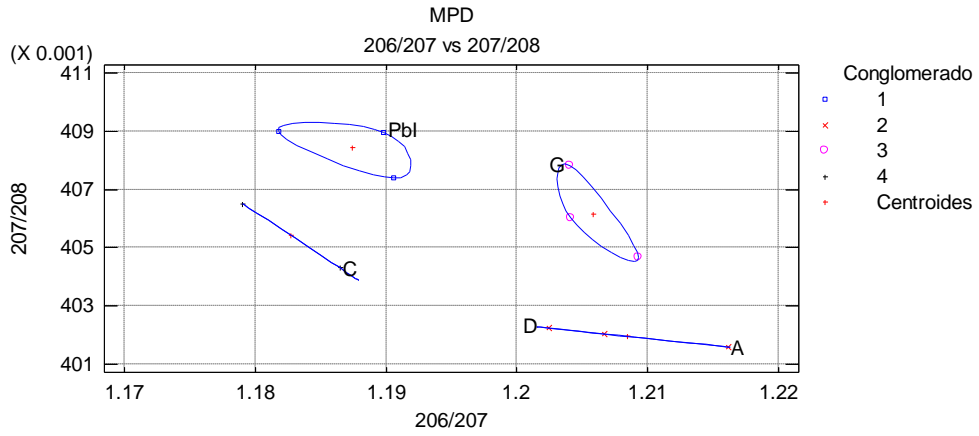


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

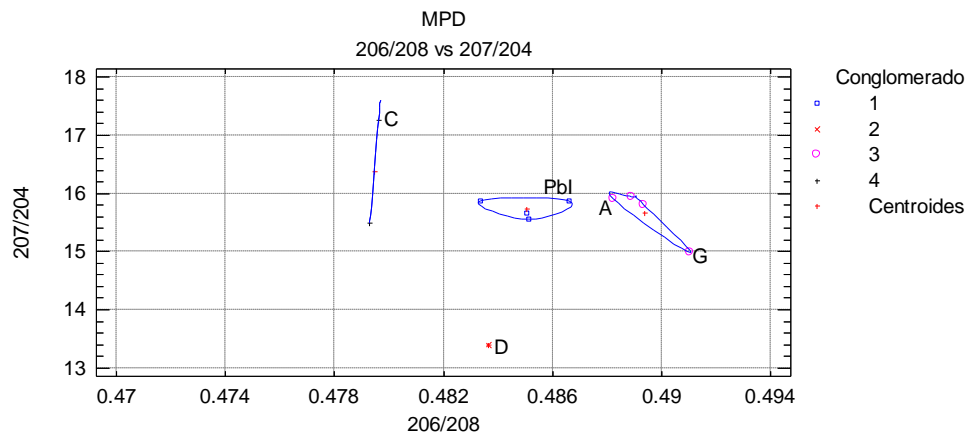
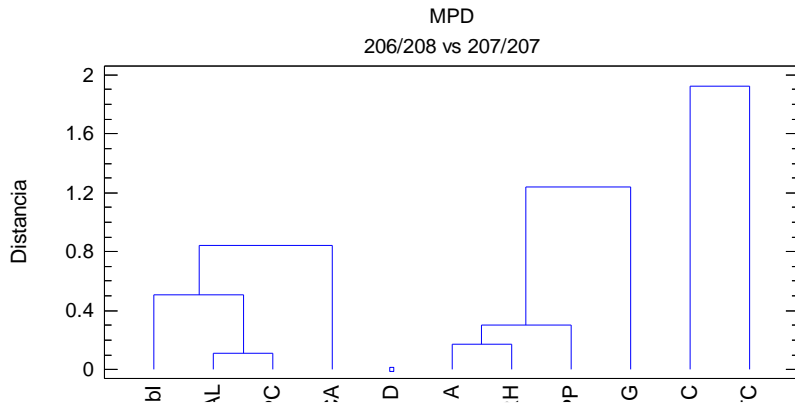


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

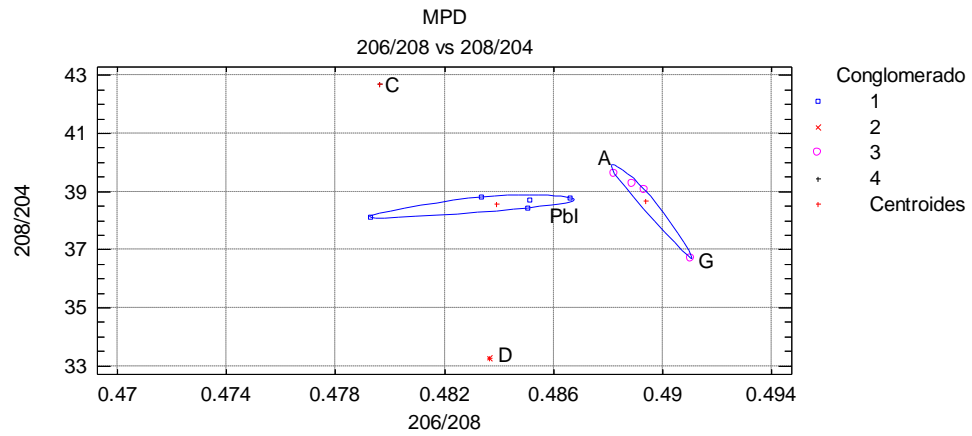
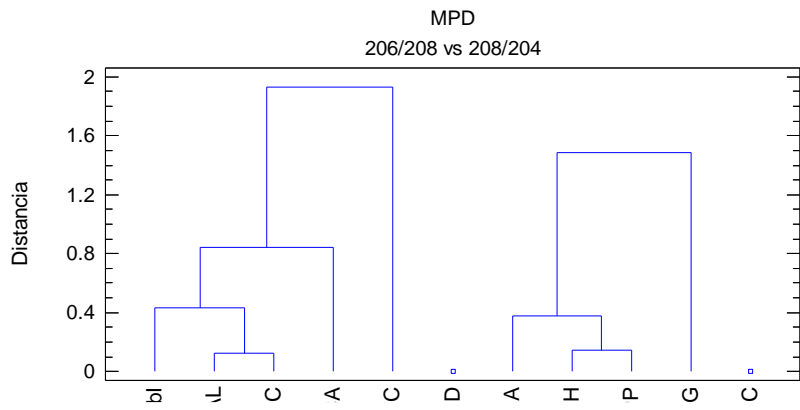




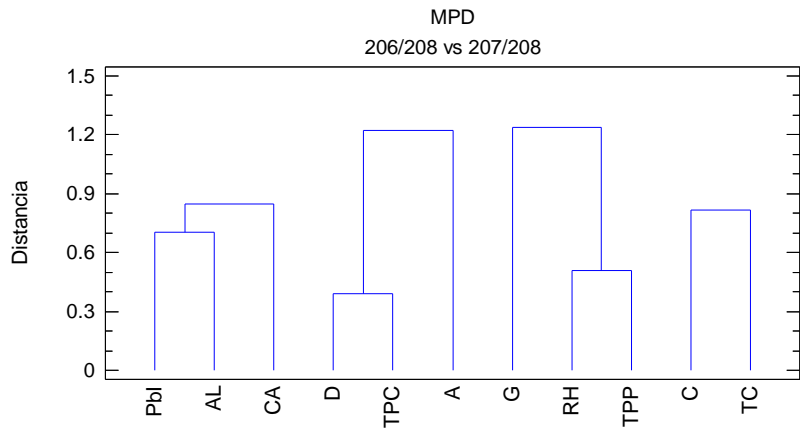
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

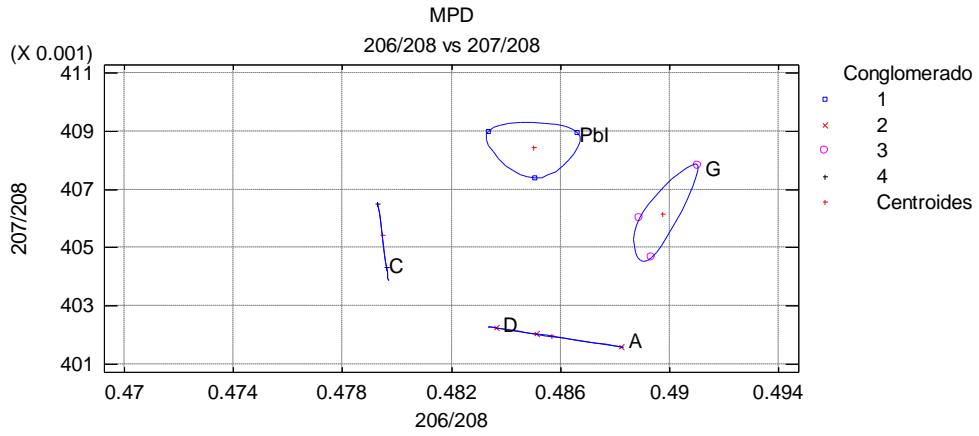


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

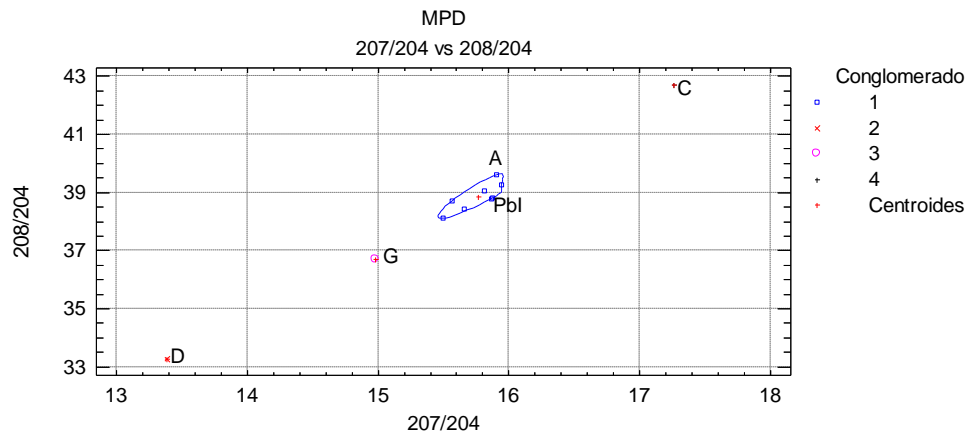
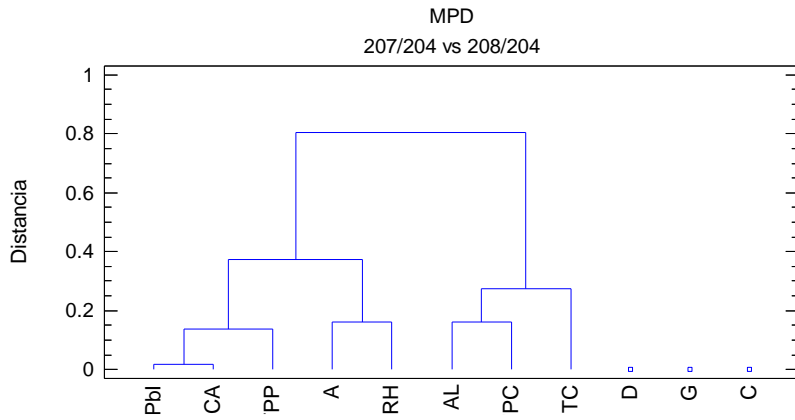


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

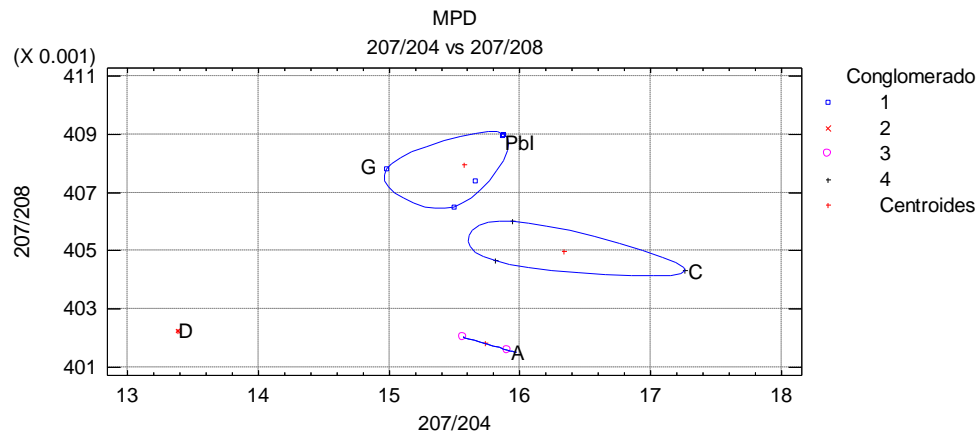
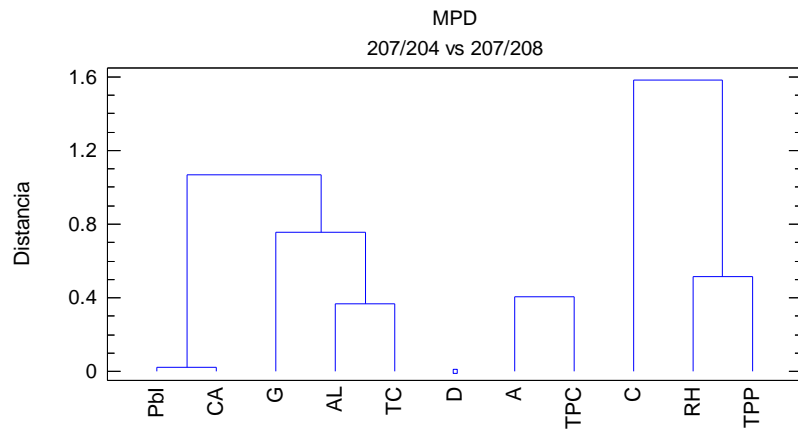




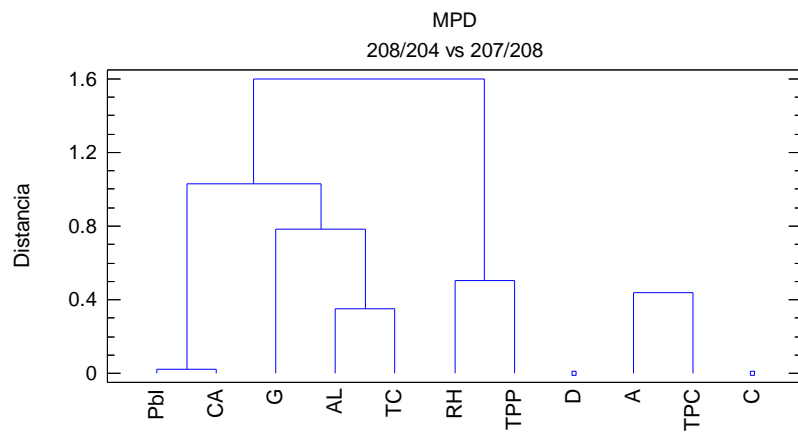
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

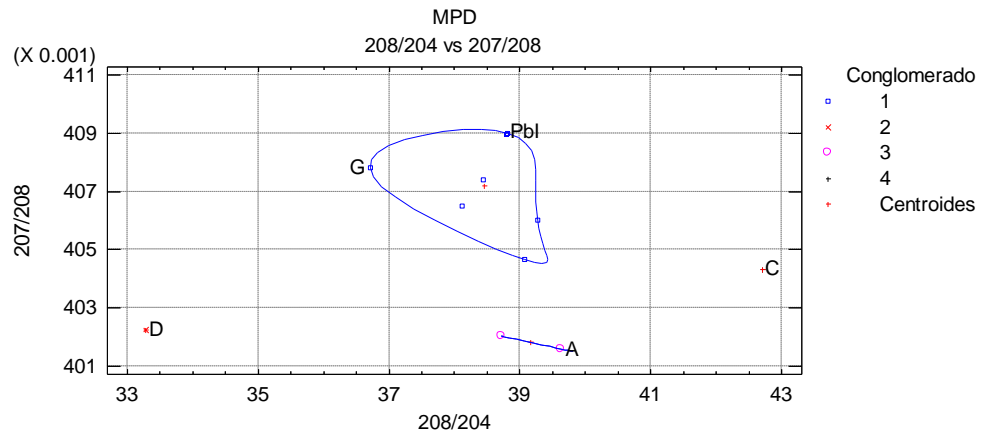


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$



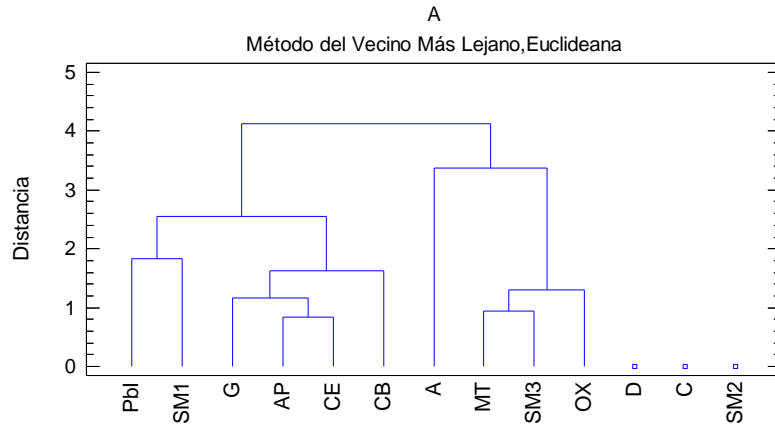
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$



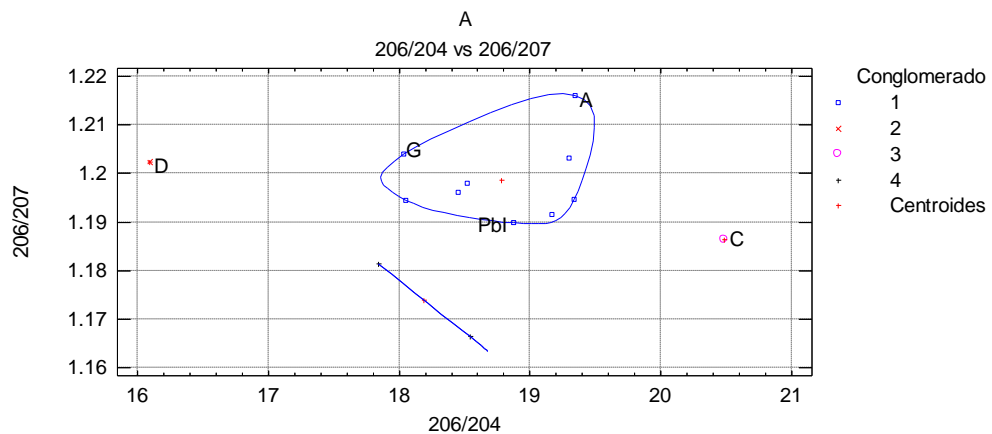
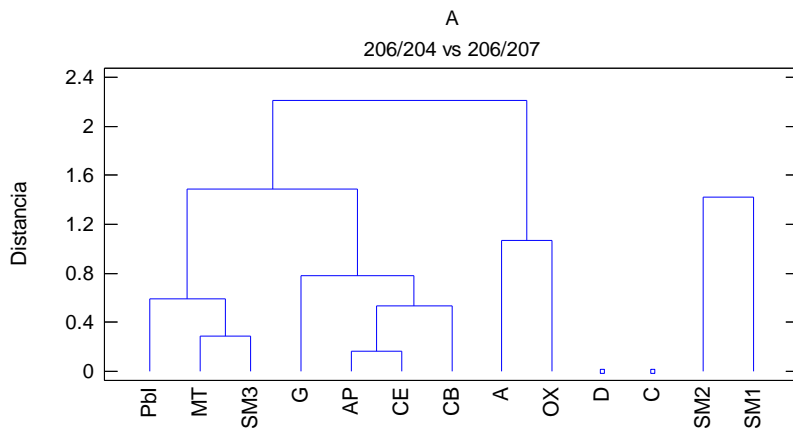


Análisis de conglomerados relaciones isotópicas para aerosoles:

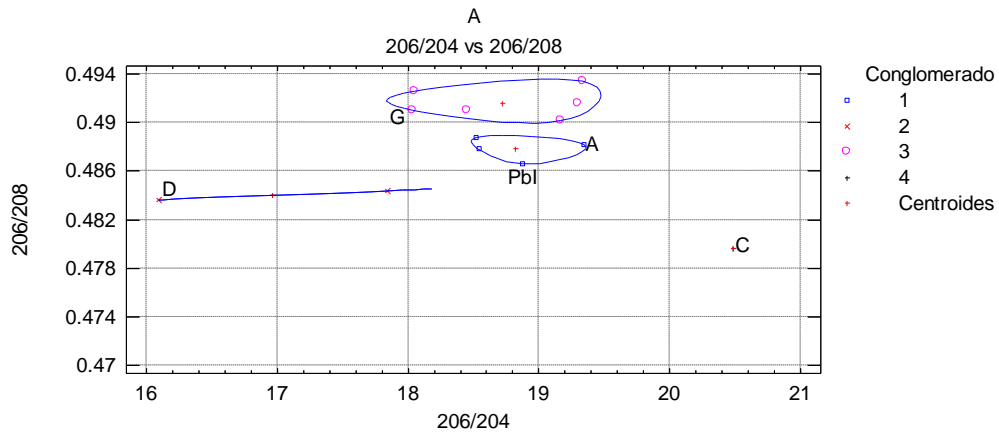
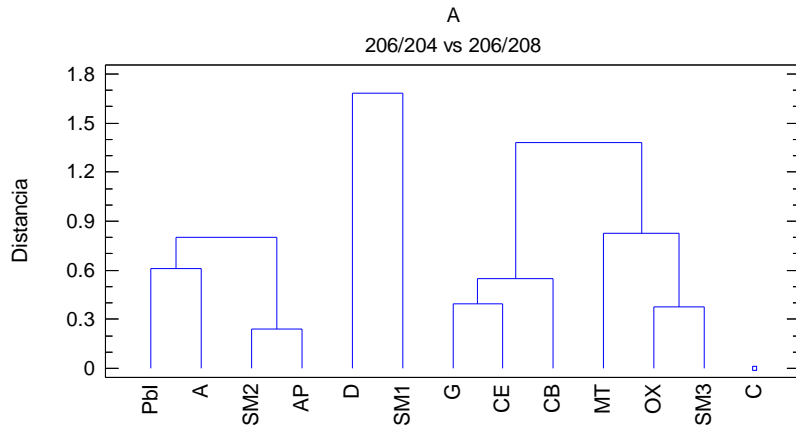
Dendograma considerando todas las relaciones isotópicas



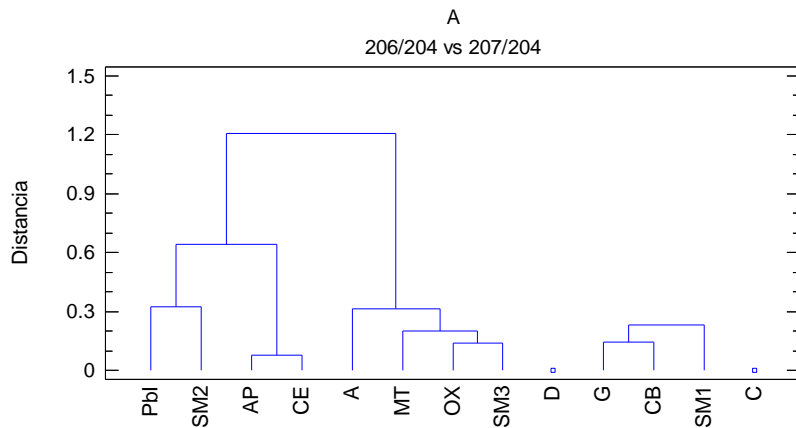
Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$:

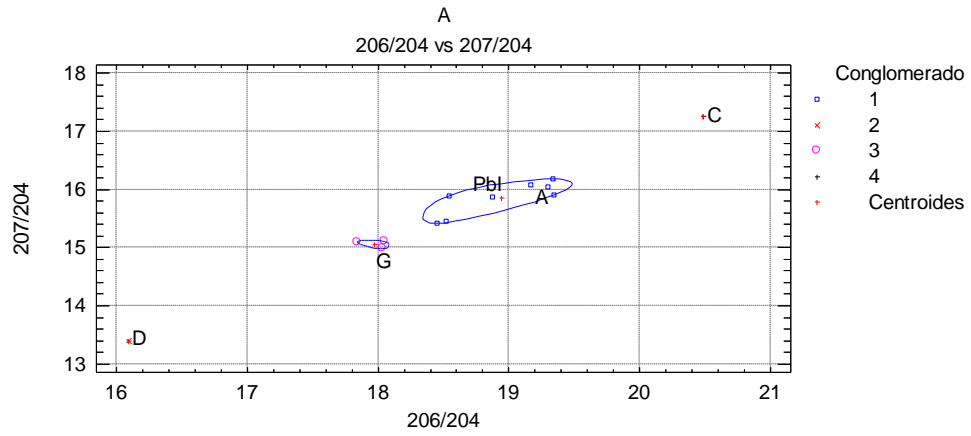


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$:

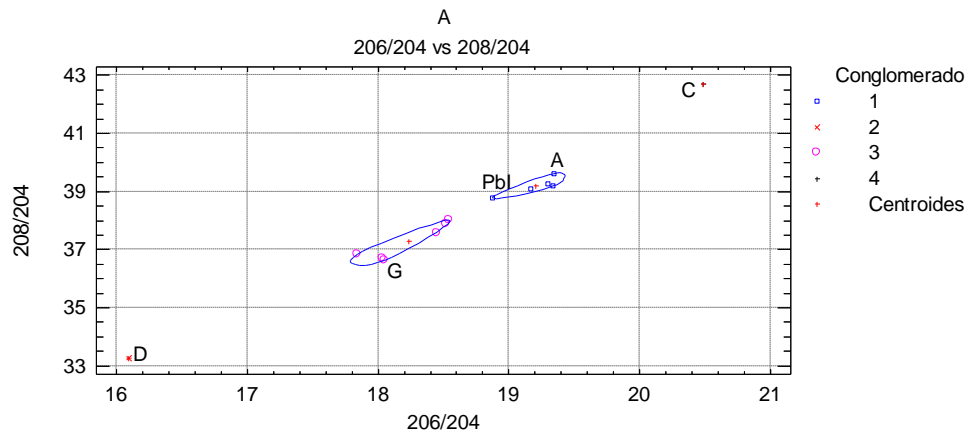
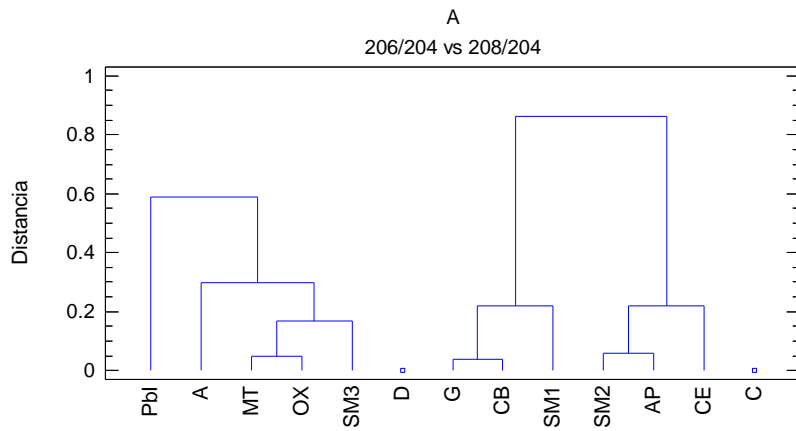


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

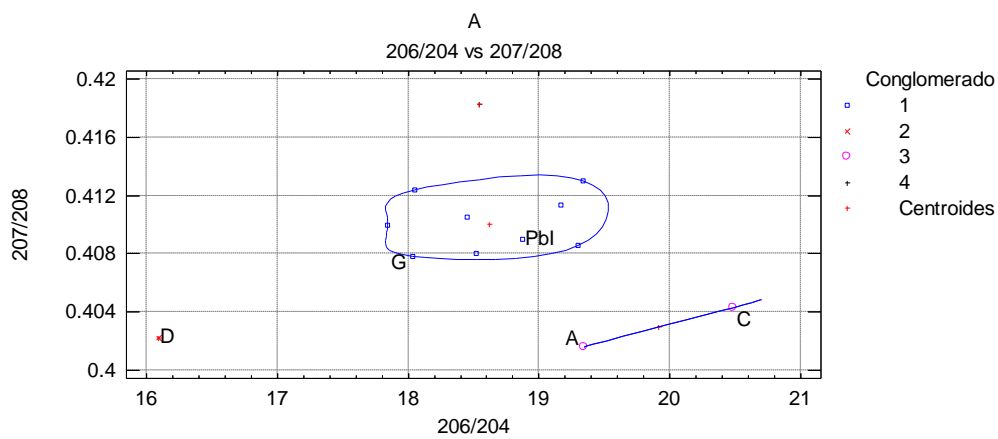
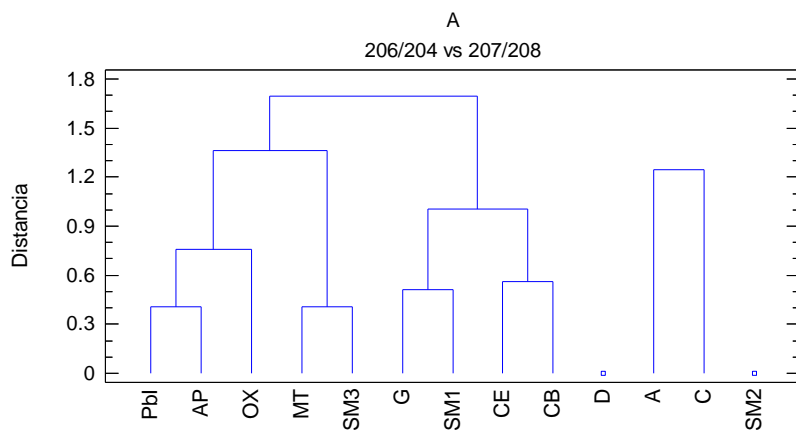




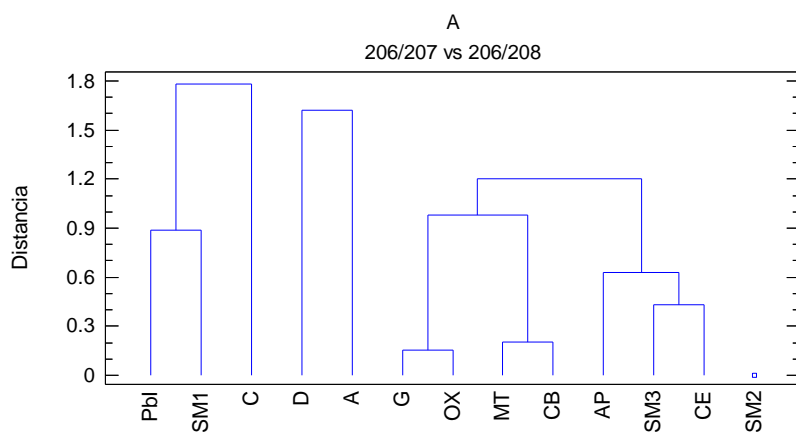
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

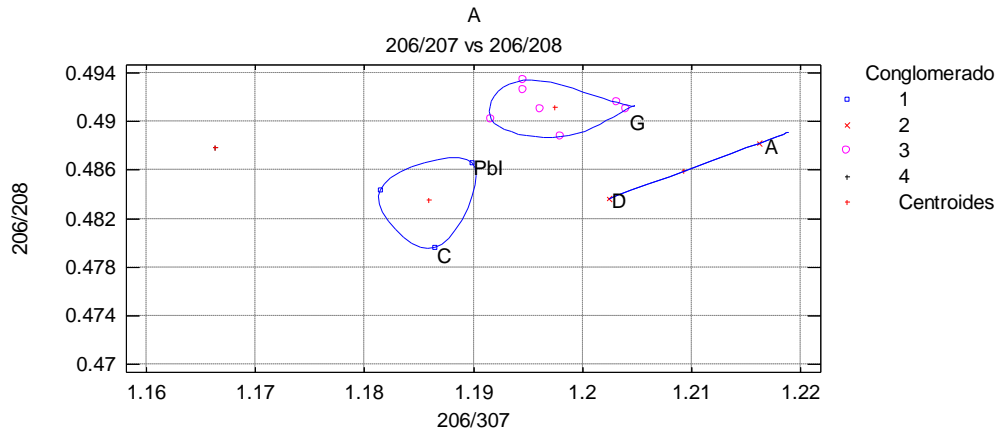


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

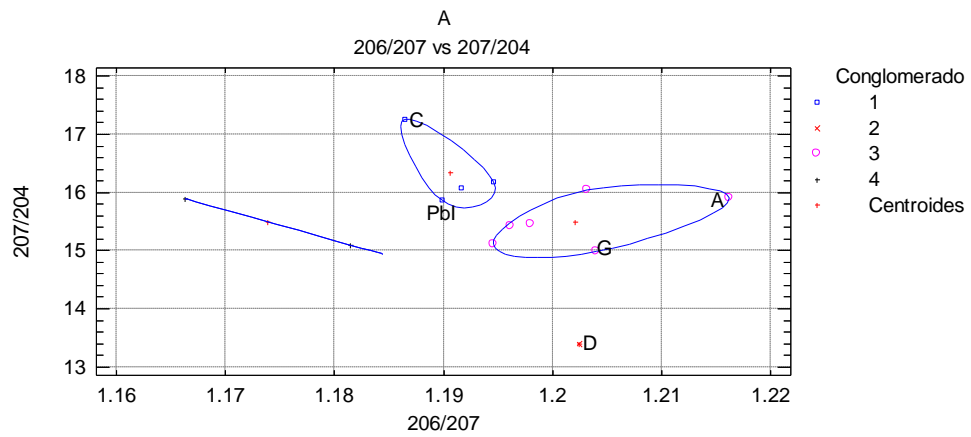
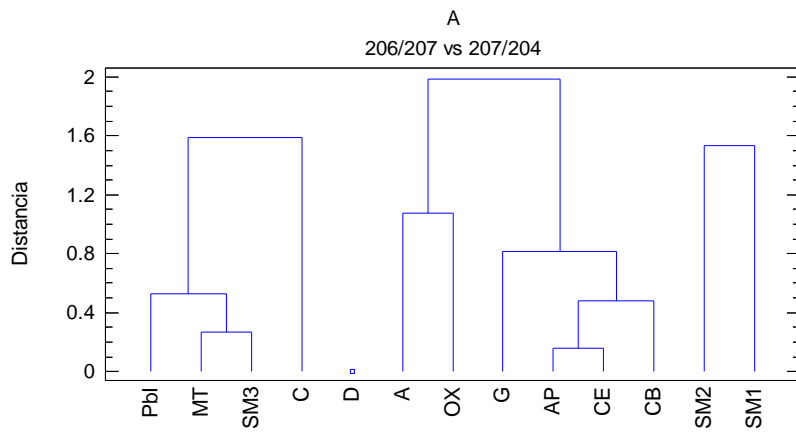


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

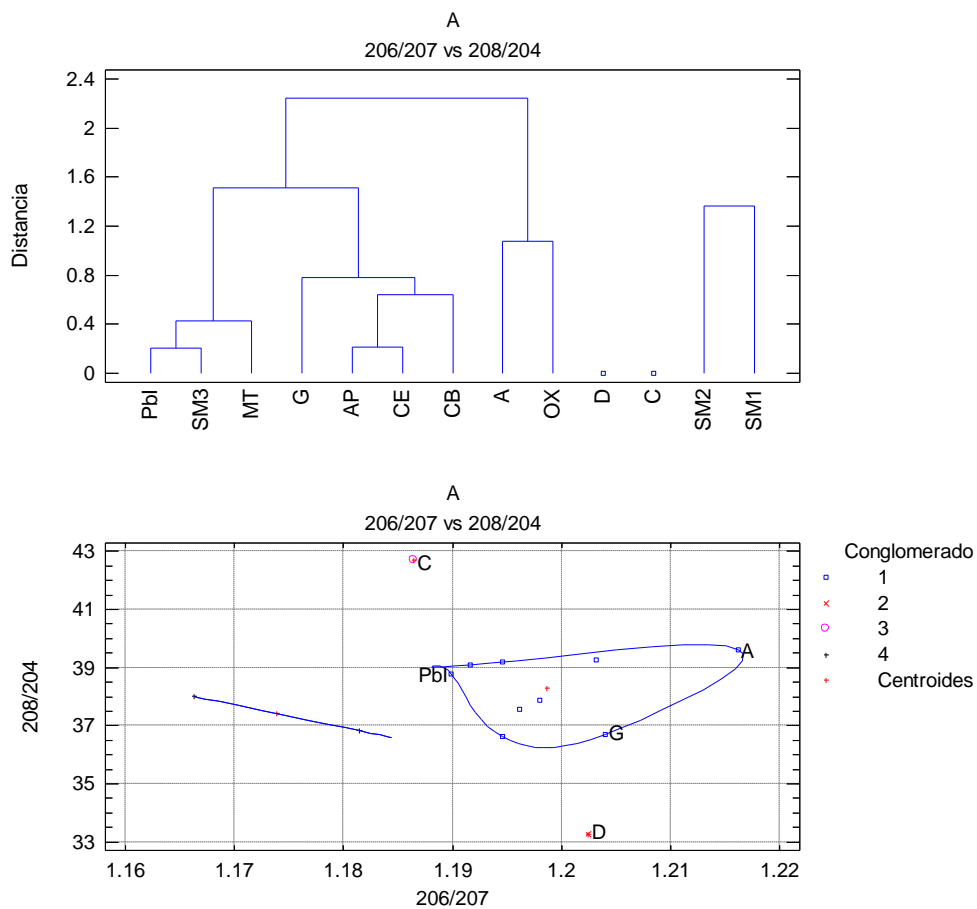




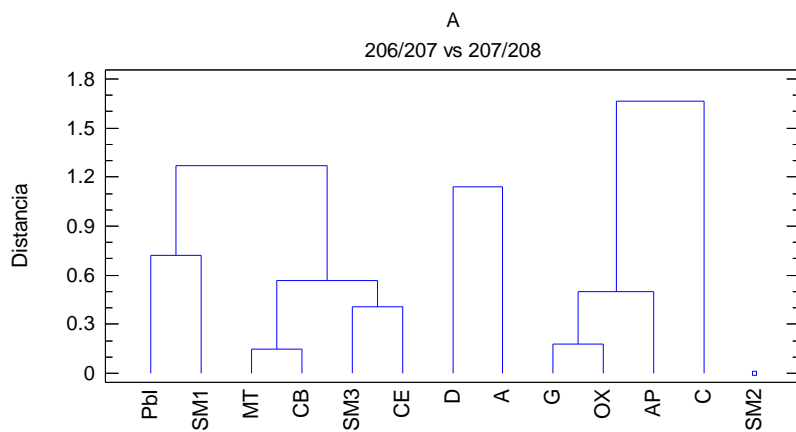
Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

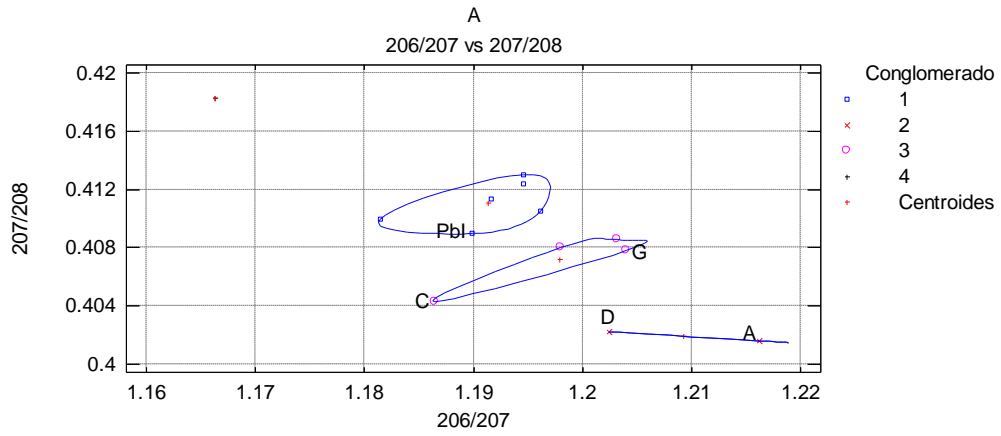


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

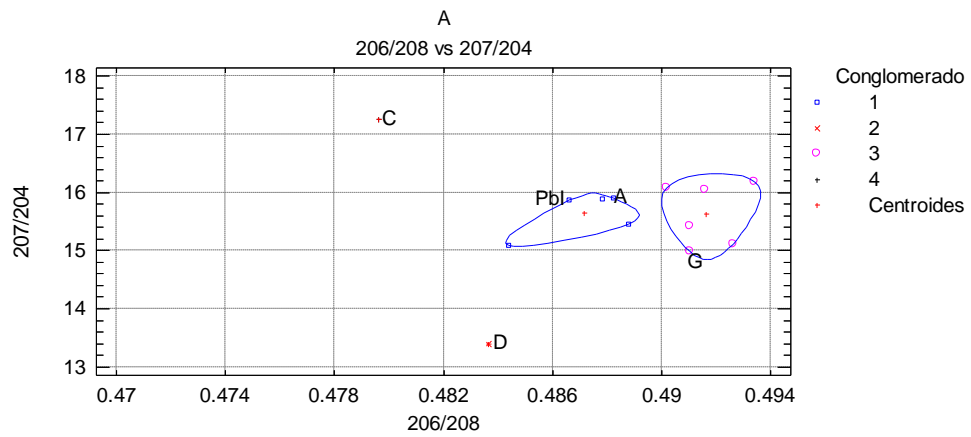
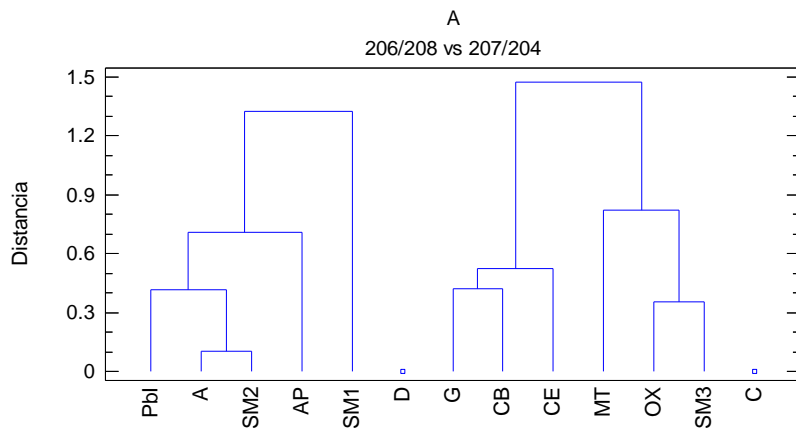


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

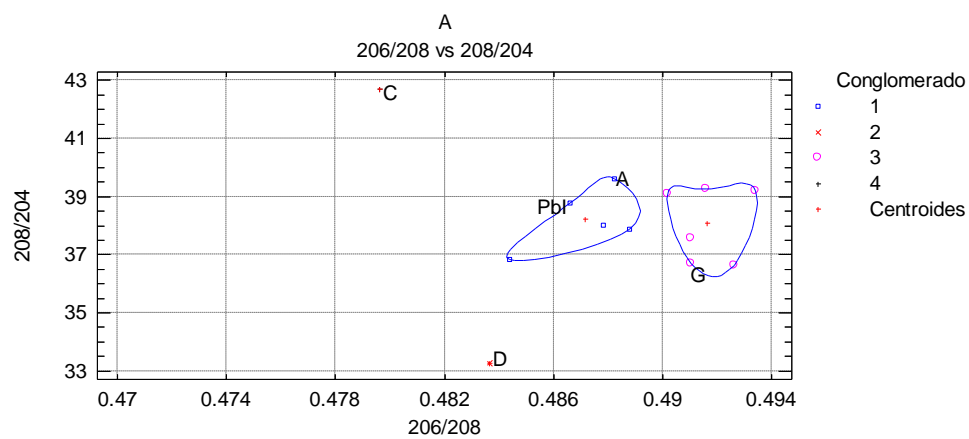
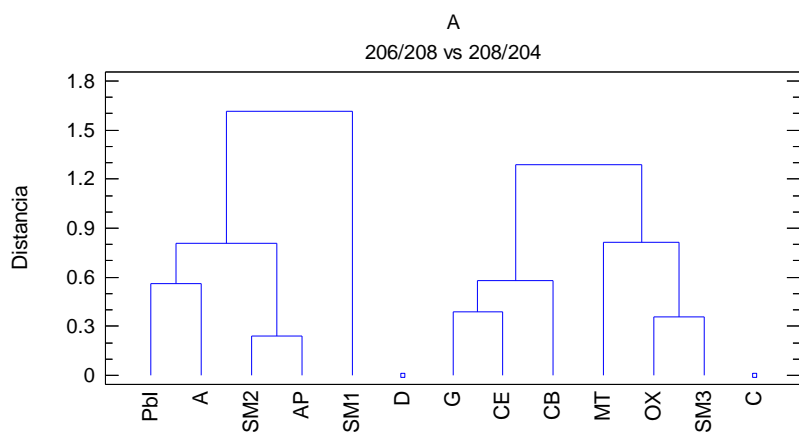




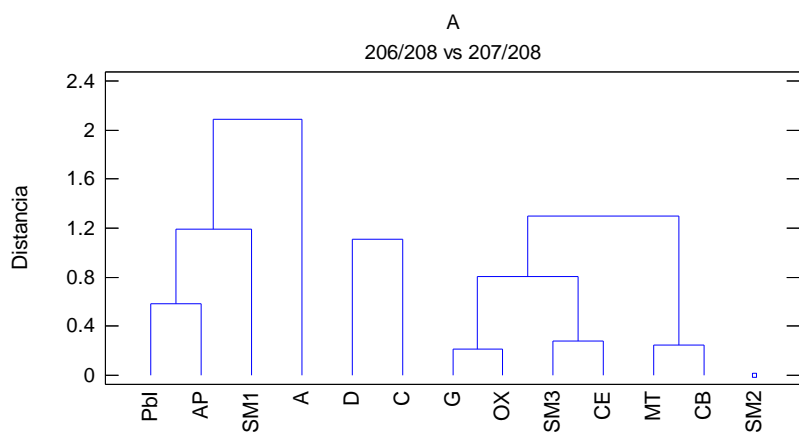
Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

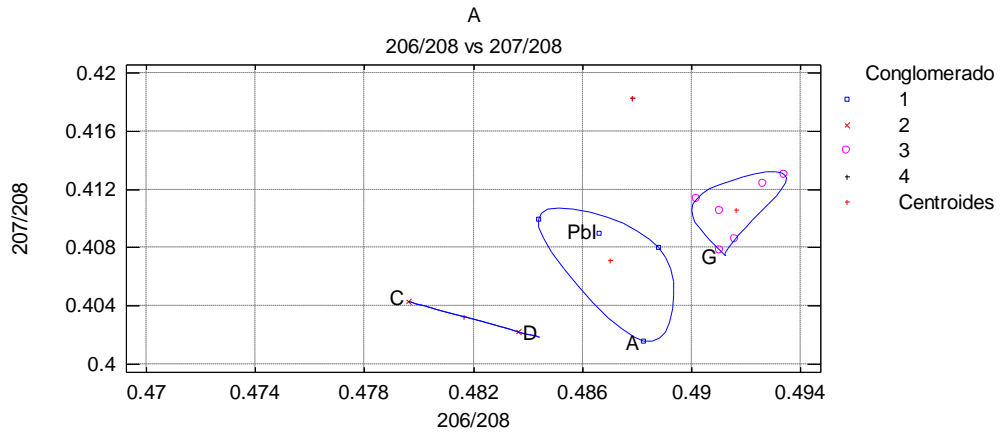


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

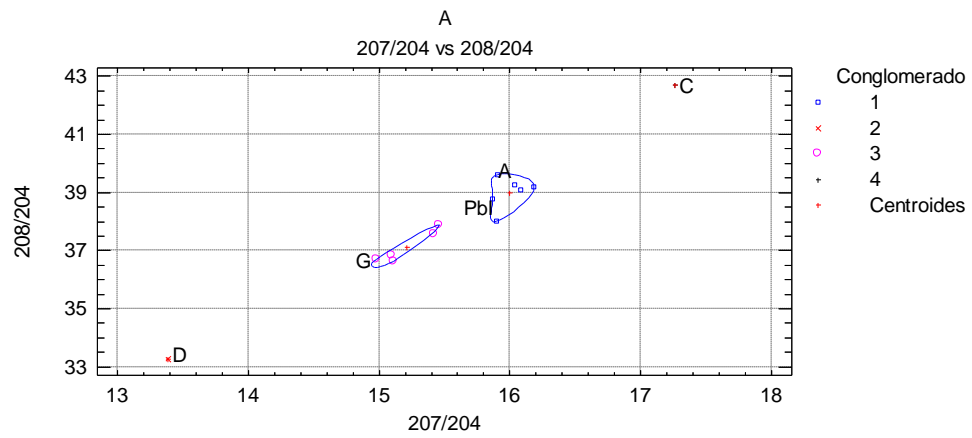
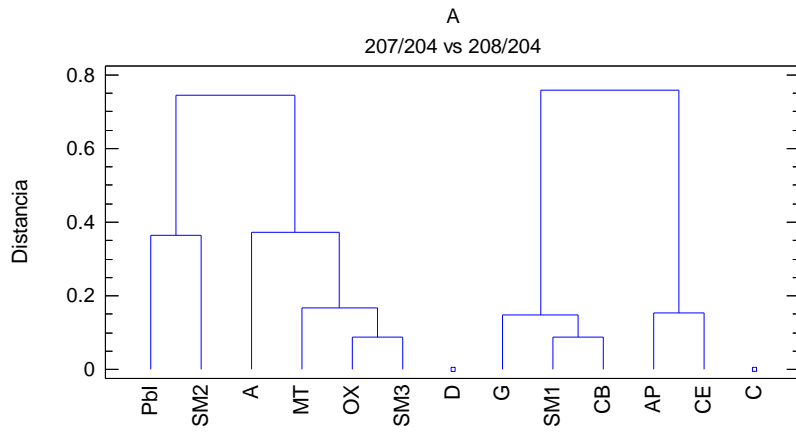


Dendrograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$

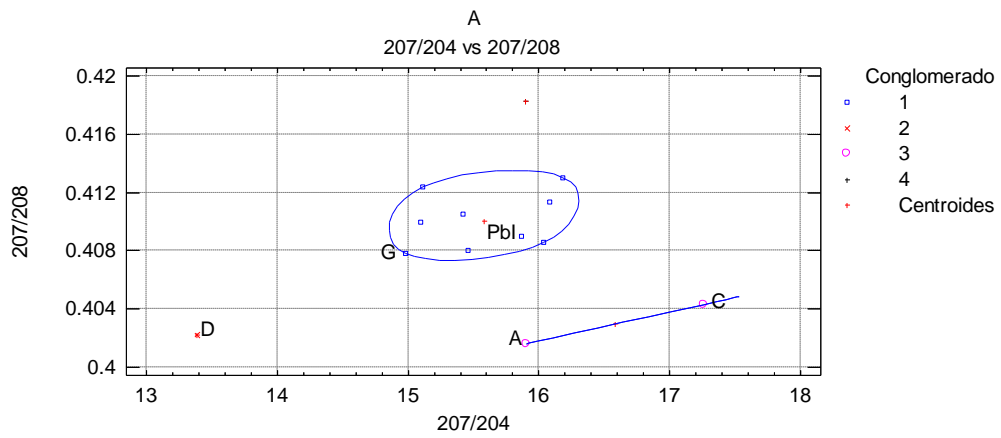
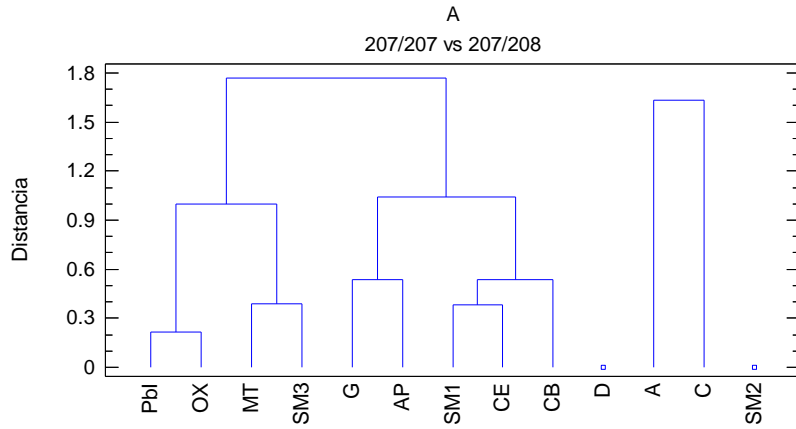




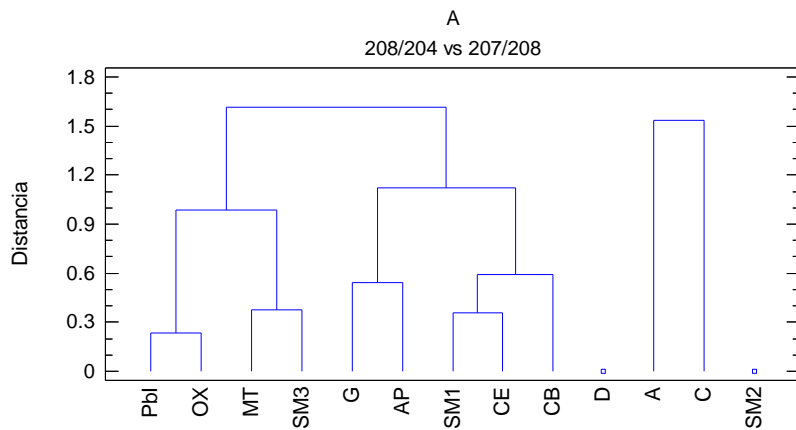
Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

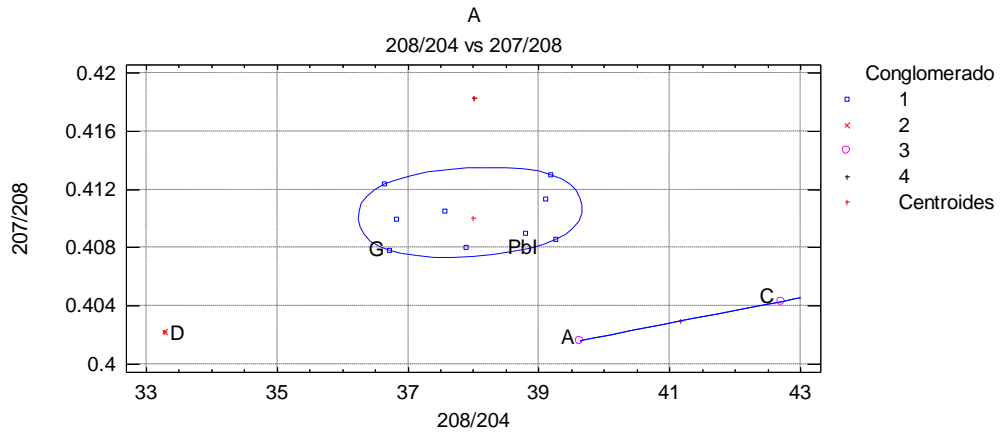


Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$



Dendograma y diagrama de dispersión para las relaciones $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$





XVII. Distancias y contaminante más cercano

X1	206Pb/204Pb
X2	206Pb/207Pb
X3	206Pb/208Pb
X4	207Pb/204Pb
X5	208Pb/204Pb
X6	207Pb/208Pb
I	Plomo Industrial
A	Agua Potable
G	Gasolina
D	Diésel
C	Carbón

Contaminante más cercano: MI

	X1,X2	X1,X3	X1,X4	X1,X5	X1,X6	X2,X3	X2,X4	X2,X5
Negrete	I	I	I	I	I	C	I	I
Alameda	I	I	I	A	I	I	A	A
Reforma	I	I	I	I	I	G	I	I
Hípico	I	I	I	A	I	C	A	A
La Pila	A	A	A	A	A	D	A	A
Santin	I	I	I	I	I	C	I	I
Tollocan	I	I	I	I	I	C	A	I
Lomas Altas	A	A	I	I	A	A	I	I
San Miguel	A	A	A	A	A	D	A	A
San Antonio	I	I	I	A	I	C	A	A
Cacalomacan	I	I	I	I	I	I	A	I
Ciervita	A	A	A	A	A	D	A	A

	X2,X6	X3,X4	X3,X5	X3,X6	X4,X5	X4,X6	X5,X6
Negrete	C	I	I	C	I	I	I
Alameda	I	A	A	C	A	A	A
Reforma	D	I	I	A	I	I	I
Hípico	C	A	A	C	A	A	A
La Pila	D	A	A	C	A	A	A
Santin	C	I	I	I	I	I	I
Tollocan	C	A	I	I	I	A	I
Lomas Altas	A	I	I	G	I	I	I
San Miguel	D	A	A	D	A	A	A
San Antonio	C	A	A	C	A	A	A
Cacalomacan	I	A	I	I	I	A	I
Ciervita	D	A	A	C	A	A	A

Contaminante más cercano: M2

	X1,X2	X1,X3	X1,X4	X1,X5	X1,X6	X2,X3	X2,X4	X2,X5
Negrete	I	I	I	I	I	D	I	I
Alameda	I	I	I	I	I	C	I	I
Reforma	I	I	I	I	I	C	I	I
Hípico	A	A	A	A	A	C	A	A
La Pila	A	A	A	A	A	A	I	A
Santin	I	I	G	G	I	A	G	G
Tollocan	A	A	C	A	A	I	C	A
Lomas Altas	A	A	A	A	A	I	A	A
Acazulco	I	I	I	A	I	I	A	A
Pedregal	A	A	A	A	A	I	A	A
San Miguel	I	I	I	I	I	C	A	I
San Antonio	A	A	A	A	A	G	A	A
Ameyalco	A	A	A	A	A	A	A	A
San Diego	A	A	A	A	A	D	A	A
Cacalomacan	A	A	A	A	A	G	A	A
Ciervita	I	I	I	I	I	A	G	I

	X2,X6	X3,X4	X3,X5	X3,X6	X4,X5	X4,X6	X5,X6
Negrete	D	I	I	D	I	I	I
Alameda	C	I	I	C	I	I	I
Reforma	C	I	I	C	I	I	I
Hípico	C	A	A	C	A	A	A
La Pila	A	I	A	A	A	I	A
Santin	A	G	G	G	G	G	G
Tollocan	I	C	A	I	A	C	A
Lomas Altas	I	A	A	D	A	A	A
Acazulco	I	A	A	I	A	A	A
Pedregal	I	A	A	I	A	A	A
San Miguel	C	A	I	C	I	A	I
San Antonio	G	A	A	G	A	A	A
Ameyalco	A	A	A	G	A	A	A
San Diego	D	A	A	D	A	A	A
Cacalomacan	G	A	A	A	A	A	A
Ciervita	A	G	I	D	I	G	I

Contaminante más cercano: Suelos

	X1,X2	X1,X3	X1,X4	X1,X5	X1,X6	X2,X3	X2,X4	X2,X5
Acazulco	G	G	I	I	G	C	I	I
Santin	A	A	A	A	A	C	A	A
Tollocan	A	A	A	A	A	I	C	A
Pedregal	I	I	I	A	I	C	A	A
Ciervita	A	A	A	A	A	I	A	A
La Pilita	I	I	I	I	I	A	I	I
Ameyalco	I	I	I	I	I	A	I	I
Cacalomacan	I	I	I	A	I	D	A	A
Reforma	A	A	A	A	A	D	A	A
Negrete	A	A	A	A	A	A	I	I
Hípico	A	A	A	A	A	G	A	A
San Miguel	I	I	I	I	G	C	I	I
San Antonio	G	G	I	I	G	C	I	I
San Diego	I	I	I	I	I	D	I	I
Alameda	I	I	I	I	I	A	G	I
Lomas Altas	A	A	A	A	A	I	A	A

	X2,X6	X3,X4	X3,X5	X3,X6	X4,X5	X4,X6	X5,X6
Acazulco	C	I	I	C	I	I	I
Santin	C	A	A	C	A	A	A
Tollocan	I	C	A	I	A	C	A
Pedregal	C	A	A	C	A	A	A
Ciervita	I	A	A	I	A	A	A
La Pilita	A	I	I	G	I	I	I
Ameyalco	A	I	I	A	I	I	I
Cacalomacan	D	A	A	D	A	A	A
Reforma	D	A	A	D	A	A	A
Negrete	A	I	I	A	I	I	I
Hípico	G	A	A	G	A	A	A
San Miguel	C	I	I	C	I	I	I
San Antonio	C	I	I	C	I	I	I
San Diego	D	I	I	D	I	I	I
Alameda	A	G	I	A	I	G	I
Lomas Altas	I	A	A	D	A	A	A

Contaminante más cercano: Polvo

	X1,X2	X1,X3	X1,X4	X1,X5	X1,X6	X2,X3	X2,X4	X2,X5
MPD CA	I	I	I	I	I	C	I	I
MPD A	I	I	I	I	I	I	I	I
MPD TPC	I	I	I	I	I	D	I	I
MPD RH	A	A	A	A	A	G	A	A
MPD TPP	A	A	A	I	A	G	I	I
MPD TC	G	G	G	I	G	C	I	I
STD OIEA	A	A	A	A	A	I	A	A

	X2,X6	X3,X4	X3.X5	X3,X6	X4,X5	X4.X6	X5.X6
MPD CA	C	I	I	I	I	I	I
MPD A	I	I	I	I	I	I	I
MPD TPC	D	I	I	D	I	I	I
MPD RH	G	A	A	G	A	A	A
MPD TPP	G	I	I	A	I	I	I
MPD TC	C	I	I	C	I	I	I
STD OIEA	I	A	A	D	A	A	A

Contaminante más cercano: Aerosoles

	X1,X2	X1,X3	X1,X4	X1,X5	X1,X6	X2,X3	X2,X4	X2,X5
M110211	A	A	A	A	A	I	A	I
SM231210	I	I	I	I	I	C	I	I
O130212	A	A	A	A	A	G	A	A
SM151210	G	G	G	G	G	C	G	G
A150211	I	I	I	I	I	G	I	I
SM210211	A	A	A	I	A	I	A	I
C40211	G	G	G	G	G	I	G	G
CE140211	G	G	G	G	G	I	G	G

	X2,X6	X3,X4	X3.X5	X3,X6	X4,X5	X4.X6	X5.X6
M110211	I	A	I	G	I	A	I
SM231210	C	A	I	I	I	A	I
O130212	G	A	A	G	A	A	A
SM151210	C	G	G	I	G	G	G
A150211	G	I	I	G	I	I	I
SM210211	I	A	I	G	I	A	I
C40211	I	G	G	G	G	G	G
CE140211	I	G	G	G	G	G	G

XVIII. Porcentajes de aporte para cada relación:

Suelos:

Sitio	206/207				206/208				207/208			
		X1		X2		X1		X2		X1		X2
Acazulco	C	1.03	A	-0.03	C	1.55	G	-0.55	A	1.32	I	-0.32
Santin	C	0.79	I	0.21	C	1.02	G	-0.02	C	0.75	D	0.25
Tollocan	I	0.87	D	0.13	A	0.69	G	0.31	I	1.21	A	-0.21
Pedregal	C	1.44	A	-0.44	C	1.10	G	-0.10	G	0.99	C	0.01
Ciervita	C	1.04	A	-0.04	I	0.52	D	0.48	I	1.05	A	-0.05
La Pilita	A	1.03	C	-0.03	G	1.09	C	-0.09	C	0.99	D	0.01
Ameyalco	A	1.16	C	-0.16	G	0.57	A	0.43	A	1.06	I	-0.06
Cacalomacan	D	0.70	I	0.30	D	0.84	I	0.16	C	0.79	D	0.21
Reforma	G	0.62	D	0.38	I	0.81	D	0.19	C	0.80	D	0.20
Negrete	A	0.67	G	0.33	A	0.52	G	0.48	C	0.80	D	0.20
Hípico	D	0.85	I	0.15	A	0.80	G	0.20	G	0.81	C	0.19
San Miguel	C	1.06	A	-0.06	C	1.34	G	-0.34	A	0.95	D	0.05
San Antonio	C	1.35	A	-0.35	C	1.24	G	-0.24	C	0.66	G	0.34
San Diego	G	0.69	A	0.31	D	0.53	C	0.47	A	1.37	I	-0.37
Alameda	A	1.61	C	-0.61	I	0.85	A	0.15	A	1.97	I	-0.97
Lomas Altas	I	0.90	D	0.10	D	0.95	I	0.05	G	0.53	C	0.47

Sitio	206/204				207/204				208/204			
		X1		X2		X1		X2		X1		X2
Acazulco	G	0.53	I	0.47	I	0.64	G	0.36	I	0.82	A	0.18
Santin	A	0.79	C	0.21	A	0.56	C	0.44	A	0.6	C	0.4
Tollocan	A	0.6	C	0.4	C	0.52	A	0.48	A	0.72	C	0.28
Pedregal	I	0.97	G	0.03	A	0.88	C	0.12	A	0.73	I	0.27
Ciervita	A	0.99	C	0.01	A	0.68	C	0.32	A	0.91	C	0.09
La Pilita	I	0.77	A	0.23	I	0.7	G	0.3	I	0.9	G	0.1
Ameyalco	I	0.51	A	0.49	I	0.75	G	0.25	I	0.75	A	0.25
Cacalomacan	I	0.59	A	0.41	A	1	C	0	A	0.72	I	0.28
Reforma	A	0.76	I	0.24	A	0.94	C	0.06	A	0.93	I	0.07
Negrete	A	0.65	I	0.35	I	0.95	G	0.05	I	0.54	A	0.46
Hípico	A	0.7	I	0.3	A	0.93	C	0.07	A	0.6	I	0.4
San Miguel	G	0.5	I	0.5	I	0.68	G	0.32	I	1	A	0
San Antonio	G	0.67	I	0.33	I	0.67	G	0.33	I	0.81	G	0.19
San Diego	I	0.94	G	0.06	I	0.68	G	0.32	I	0.66	A	0.34
Alameda	I	0.75	A	0.25	G	0.54	I	0.46	I	0.73	A	0.27
Lomas Altas	A	0.56	I	0.44	A	0.88	C	0.12	A	0.92	I	0.08

Musgos MI

Sitio	206/207				206/208				207/208			
		X1		X2		X1		X2		X1		X2
Negrete	C	1.24	A	-0.24	C	1.15	G	-0.15	C	0.75	G	0.25
Alameda	I	0.83	D	0.17	D	0.54	C	0.46	C	0.95	D	0.05
Reforma	G	0.67	A	0.33	I	1.00	D	0.00	D	0.74	C	0.26
Hípico	I	1.00	D	0.00	C	0.80	D	0.20	C	0.73	D	0.27
La Pila	D	0.74	I	0.26	C	1.06	G	-0.06	A	1.30	I	-0.30
Santin	C	1.23	A	-0.23	D	0.60	I	0.40	I	1.27	A	-0.27
Tollocan	C	1.21	A	-0.21	D	0.91	C	0.09	I	1.07	A	-0.07
Lomas Altas	A	1.57	C	-0.57	G	1.61	C	-0.61	C	0.82	D	0.18
San Miguel	G	0.85	A	0.15	D	0.50	I	0.50	D	0.96	C	0.04
San Antonio	C	1.32	A	-0.32	C	1.16	G	-0.16	C	0.52	G	0.48
Cacalomacan	I	0.74	D	0.26	I	0.83	D	0.17	G	0.90	C	0.10
Ciervita	I	0.53	D	0.47	C	1.23	G	-0.23	A	1.36	I	-0.36

Sitio	206/204				207/204				208/204			
		X1		X2		X1		X2		X1		X2
Negrete	I	0.61	G	0.39	I	0.85	G	0.15	I	0.96	A	0.04
Alameda	I	0.53	A	0.47	A	0.91	C	0.09	A	1.00	C	0.00
Reforma	I	0.98	G	0.02	I	0.71	G	0.29	I	0.98	G	0.02
Hípico	I	0.74	A	0.26	A	0.95	C	0.05	A	0.91	I	0.09
La Pila	A	0.86	C	0.14	A	0.73	C	0.27	A	0.64	C	0.36
Santin	I	0.75	G	0.25	I	0.95	G	0.05	I	0.86	G	0.14
Tollocan	I	0.94	G	0.06	A	0.96	C	0.04	I	0.80	A	0.20
Lomas Altas	A	0.52	I	0.48	I	0.60	G	0.40	I	0.81	G	0.19
San Miguel	A	0.74	I	0.26	A	0.97	C	0.03	A	1.00	I	0.00
San Antonio	I	0.97	A	0.03	A	0.89	C	0.11	A	0.90	I	0.10
Cacalomacan	I	0.74	A	0.26	A	0.98	C	0.02	I	0.65	A	0.35
Ciervita	A	0.93	C	0.07	A	0.75	C	0.25	A	0.64	C	0.36

Musgos M2

sitio	206/207				206/208				207/208			
		X1		X2		X1		X2		X1		X2
Negrete	D	0.80	I	0.20	D	0.68	I	0.32	C	0.78	D	0.22
Alameda	I	0.90	C	0.10	C	0.53	D	0.47	C	0.86	G	0.14
Reforma	I	0.90	C	0.10	C	0.53	D	0.47	C	0.86	G	0.14
Hípico	I	0.90	C	0.10	C	0.62	D	0.38	C	0.95	G	0.05
La Pila	A	0.56	G	0.44	I	0.78	A	0.22	D	0.90	A	0.10
Santin	A	0.87	G	0.13	G	1.06	C	-0.06	C	0.84	G	0.16
Tollocan	C	0.52	I	0.48	I	0.69	D	0.31	I	0.86	G	0.14
Lomas Altas	I	0.62	D	0.38	D	0.89	C	0.11	C	0.95	G	0.05
Acazulco	I	0.78	C	0.22	D	0.84	I	0.16	G	0.81	C	0.19
Pedregal	I	0.86	D	0.14	I	0.78	D	0.22	G	1.00	I	0.00
San Miguel	C	1.82	A	-0.82	C	1.14	G	-0.14	I	1.32	A	-0.32
San Antonio	D	0.68	I	0.32	A	0.52	G	0.48	I	0.63	G	0.37
Ameyalco	A	0.54	G	0.46	G	0.84	A	0.16	C	0.73	G	0.27
San Diego	D	0.83	I	0.17	D	0.81	C	0.19	D	0.98	C	0.02
Cacalomacan	G	0.77	A	0.23	A	0.87	G	0.13	C	0.84	G	0.16
Ciervita	A	0.88	G	0.12	D	0.78	C	0.22	A	1.56	I	-0.56

Sitio	206/204				207/204				208/204			
		X1		X2		X1		X2		X1		X2
Negrete	I	0.88	G	0.12	I	0.76	G	0.24	I	0.98	G	0.02
Alameda	I	0.72	G	0.28	I	0.78	G	0.22	I	0.96	G	0.04
Reforma	I	0.72	G	0.28	I	0.78	G	0.22	I	0.96	G	0.04
Hípico	A	0.54	I	0.46	A	0.87	C	0.13	A	0.96	C	0.04
La Pila	A	0.56	I	0.44	I	0.93	G	0.07	A	0.61	I	0.39
Santin	I	0.58	G	0.42	G	0.69	I	0.31	G	0.54	I	0.46
Tollocan	A	0.58	C	0.42	C	0.58	A	0.42	A	0.61	C	0.39
Lomas Altas	A	0.69	C	0.31	A	0.57	C	0.43	A	0.63	C	0.37
Acazulco	I	0.57	A	0.43	A	0.90	C	0.10	A	0.74	I	0.26
Pedregal	A	0.78	C	0.22	A	0.60	C	0.40	A	0.78	C	0.22
San Miguel	I	0.59	G	0.41	A	0.97	C	0.03	I	0.99	G	0.01
San Antonio	A	1.00	C	0.00	A	0.82	C	0.18	A	0.86	I	0.14
Ameyalco	A	0.97	I	0.03	A	0.95	C	0.05	A	0.73	I	0.27
San Diego	A	0.71	C	0.29	A	0.65	C	0.35	A	0.64	C	0.36
Cacalomacan	A	0.62	C	0.38	A	0.64	C	0.36	A	0.72	C	0.28
Ciervita	I	0.79	G	0.21	G	0.53	I	0.47	I	0.98	G	0.02

Polvo

sitio	206/207				206/208				207/208			
		X1		X2		X1		X2		X1		X2
MPD CA	C	1.16	A	-0.16	D	0.93	C	0.07	I	1.01	A	-0.01
MPD A	I	0.94	D	0.06	D	0.53	I	0.47	G	0.88	C	0.12
MPD TPC	G	0.78	A	0.22	D	0.50	I	0.50	D	0.69	A	0.31
MPD RH	G	0.99	A	0.01	A	0.77	G	0.23	C	0.51	G	0.49
MPD TPP	G	0.57	A	0.43	A	0.61	G	0.39	C	0.90	G	0.10
MPD TC	C	1.25	A	-0.25	C	1.03	G	-0.03	G	0.63	C	0.37

sitio	206/204				207/204				208/204			
		X1		X2		X1		X2		X1		X2
MPD CA	I	0.86	G	0.14	I	0.71	A	0.29	I	0.97	A	0.03
MPD A	I	0.73	G	0.27	I	0.77	G	0.23	I	0.83	G	0.17
MPD TPC	I	0.88	G	0.12	I	0.66	G	0.34	I	0.96	G	0.04
MPD RH	A	0.70	I	0.30	A	0.97	C	0.03	A	0.58	I	0.42
MPD TPP	A	0.52	I	0.48	I	0.94	G	0.06	I	0.66	A	0.34
MPD TC	G	0.73	I	0.27	I	0.58	G	0.42	I	0.67	G	0.33

Aerosoles

Sitio	206/207				206/208				207/208			
		X1		X2		X1		X2		X1		X2
Meteppec	I	0.62	D	0.38	G	1.21	C	-0.21	I	1.55	A	-0.55
San Mateo 2	C	1.68	A	-0.68	A	0.75	I	0.25	I	2.26	A	-1.26
Oxtotitlan	D	0.52	G	0.48	G	1.05	C	-0.05	I	0.64	G	0.36
San Mateo 1	C	1.17	A	-0.17	D	0.75	I	0.25	I	1.14	A	-0.14
Aeropuerto	D	0.65	I	0.35	A	0.81	G	0.19	G	0.84	I	0.16
San Mateo 3	I	0.86	D	0.14	G	0.70	A	0.30	I	1.32	A	-0.32
Centro	D	0.50	I	0.50	G	1.00	C	0.00	I	1.21	A	-0.21
Ceboruco	I	0.62	D	0.38	G	1.14	C	-0.14	I	1.46	A	-0.46

Sitio	206/204				207/204				208/204			
		X1		X2		X1		X2		X1		X2
Meteppec	A	0.98	I	0.02	A	0.79	C	0.21	I	0.53	A	0.47
San Mateo 2	I	0.60	G	0.40	A	0.81	I	0.19	I	0.62	G	0.38
Oxtotitlan	A	0.90	I	0.10	A	0.90	C	0.10	A	0.56	I	0.44
San Mateo 1	G	0.90	D	0.10	G	0.87	I	0.13	G	0.95	I	0.05
Aeropuerto	I	0.57	G	0.43	I	0.54	G	0.46	I	0.56	G	0.44
San Mateo 3	A	0.62	I	0.38	A	0.87	C	0.13	I	0.64	A	0.36
Centro	G	0.51	I	0.49	G	0.50	I	0.50	G	0.59	I	0.41
Ceboruco	G	0.99	I	0.01	G	0.86	I	0.14	G	0.98	D	0.02