

**USO POTENCIAL DE LOS SEDIMENTOS RETENIDOS EN
SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS DE
ESCORRENTÍA COMO MATERIAL PRODUCTIVO DE ACUERDO
CON SU CALIDAD.**



Autor:
MARÍA ALEJANDRA PIMIENTO AVELLA

Director
PhD ANDRES TORRES
PhD JAIME A. LARA-BORRERO

Maestría en Hidrosistemas
Pontificia Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia
2017

AGRADECIMIENTOS

A los Doctores Andrés Torres y Jaime Lara, por guiarme en el desarrollo de este proyecto de investigación.

A Verónica D. y Diego P. por su apoyo incondicional durante el montaje y toma de muestras realizadas durante este proyecto.

A mi familia por estar siempre atentos y dispuestos a ayudar.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
2.1. Sitio De Estudio	10
2.2. Toma De Muestras	11
2.3. Calidad De Los Sedimentos	14
2.3.1.Análisis de características físicas.....	15
2.3.2.Análisis de características químicas	16
2.3.3.Características hidrológicas	23
2.4. Posibles usos	25
2.4.1.Como material de construcción.....	26
2.5. Análisis Computacional	26
3. TRAMPAS DE SEDIMENTOS	27
3.1. Trampas de sedimentos disponibles en el mercado	27
3.2. Diseño de la trampa de sedimentos.....	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1. Análisis De Resultados	30
4.1.1.Características Físicas.....	30
4.1.2.Características Químicas	33
4.1.3.Relación características Físicas y Químicas	38
4.1.4.Características hidrológicas.....	38
4.1.5.Escenarios hidrológicos	40
4.1.6.Análisis de robustez.....	42
4.2. Posibles Usos.....	42
4.2.1.Como material para uso agrícola	42
4.2.2.Como material de construcción, remediación de suelos	43
4.2.3.Otros Usos.....	44
4.2.4.Posibles usos según los escenarios hidrológicos.....	45
5. CONCLUSIONES.....	47
6. BIBLIOGRAFÍA.....	50
7. ANEXOS.....	54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cuencas del campus de la Pontificia Universidad Javeriana.....	10
Figura 2 Humedal Construido PUJ. A la derecha desarenador occidental, a la izquierda desarenador oriental (Señalados por círculos).....	11
Figura 3: Ubicación de las trampas, a) desarenador oriental. b) desarenador oriental. En rojo trampas de capacidad 8 oz y en amarillo trampas de capacidad de 1.5 oz.	12
Figura 4 Crecimiento de algas en las trampas. Desarenador Oriental a) Crecimiento de algas, b) Cobertura con polisombra	13
Figura 5 Vasos de precipitado con las muestras recolectadas para los dos desarenadores. Fecha de extracción mayo 25 de 2016.....	14
Figura 6 Proceso de análisis de las muestras.....	14
Figura 7 Analizador de tamaño de partícula, marca Malvern, referencia Mastersizer 3000E	15
Figura 8 Presentación de resultados arrojados por el analizador de tamaño de partícula para la muestra 1 de la campaña 1, correspondiente al desarenador occidental del 13 de abr al 27 abr del 2016.	16
Figura 9 Curva granulométrica acumulada para la muestra 1 de la campaña 1, correspondiente al desarenador occidental.....	16
Figura 10 Preparación de las muestras para el análisis de características químicas a) filtrado, b) secado	17
Figura 11. Digestión de sedimentos a) Equipo de Microondas. b) Curva de calibración. c) Muestras digeridas.....	18
Figura 12 Espectrofotómetro de emisión atómica. Marca Shimadzu. Referencia ICP-E 9800	19
Figura 13 Foto del resultado del análisis semicualitativo por espectrofotómetro de emisión atómica para el blanco (agua desionizada).....	19
Figura 14 Concentraciones en mg/l de los elementos con mayor presencia en las muestras y de los metales pesados determinados mediante el análisis semicualitativo por ICP.	20
Figura 15 Curva de calibración Zn	21
Figura 16. Analizador de Carbono orgánico total. Marca Shimadzu. Referencia TOC-L, junto con la unidad de combustión de muestra sólida SSM-5000A	22
Figura 17. Curva de calibración de Carbono Orgánico Total.....	22
Figura 18. Draga Van Veen	28
Figura 19: Construcción de la trampa de sedimentos con capacidad de 1.5 oz. a) recipiente para la toma de muestras, b) relleno de contra peso, c) cobertura para evitar escapes.	29
Figura 20: Trampa de sedimentos para recolección en tiempo continuo con capacidad de 8 oz.....	29
Figura 21: Prueba de choque. a) prueba de estabilidad, b) prueba de recolección de sedimentos.	29
Figura 22 Distribución de parámetros granulométricos, según el diámetro máximo de las partículas (μm) para cada intervalo de acumulación D_{10} , D_{20} , D_{30} , D_{40} , D_{50} , D_{60} , D_{70} , D_{80} , D_{90} , D_{100} y el coeficiente de uniformidad U_c	31
Figura 23 Análisis de los parámetros granulométricos por muestra, por grupos y por variables.	32
Figura 24 Concentraciones calculadas en mg/kg en las muestras de sedimentos para Cu, Cr, Pb, Zn y TOC.....	35
Figura 25 Análisis de parámetros de calidad por separación por muestra, por clase y por variables	35
Figura 26 Análisis de variables granulométricas y de calidad en conjunto de forma categórica por MCA.	38
Figura 27 Análisis de variables hidrológicas y granulométricas en conjunto de forma categórica por MCA.	39

Figura 28 Análisis de variables hidrológicas y de calidad en conjunto de forma categórica por MCA 40

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.Límites para la concentración de metales (mg/kg) presentes en los sedimentos provenientes de sistemas de agua continental en diferentes países.....	7
Tabla 2 Campañas de medición	12
Tabla 3 Pesos secos de sedimentos para análisis de metales y TOC por muestras en g	17
Tabla 4 Valores de intensidad calculada (A, B, C y Promedio) para los patrones (Blanco, P1, P2, P3, P4 y P5) por ICP para el Zn	20
Tabla 5: Valores de concentraciones e intensidades calculadas de Zn por ICP	21
Tabla 6 Datos para calibración del equipo de TOC	22
Tabla 7 Cantidad de TOC calculada por el equipo	23
Tabla 8 Datos de precipitación por campaña en forma numérica y categórica	24
Tabla 9 Categorización de las características químicas medidas en los sedimentos. .	24
Tabla 10 Categorización de las características físicas medidas en los sedimentos. ...	24
Tabla 11 Valores Permisibles en la Materia Orgánica Estabilizada. Adaptada de Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio 2012	25
Tabla 12 Requisitos de los suelos para rellenos de estructuras. Adaptado de (INVIAS 2012)	26
Tabla 13 Trampas de sedimentos disponibles en el mercado. Fuente: http://www.sidmar.es/muestreadores-sedimento.html	27
Tabla 14 Parámetros Granulométricos: Diámetro máximo de las partículas (μm) correspondientes a los D_{10} , D_{40} , D_{50} , D_{60} y D_{90} por muestra. Coeficiente de uniformidad de las muestras (U_c)	31
Tabla 15 Test de Wilcoxon p-value por evento para los diámetros de D_{50} calculados en el desarenador oriental.	33
Tabla 16 Test de Wilcoxon p-value por evento para concentraciones de Cu calculadas en el desarenador oriental.	34
Tabla 17 Concentraciones calculadas en mg/kg en las muestras de sedimentos para Cu, Cr, Pb, Zn y TOC.	34
Tabla 18 Comparación de la concentración de metales encontrados con los límites permisibles por país [mg/kg]. Indicándose con la letra S los parámetros que se encuentran por debajo de los límites y con la letra N los parámetros superiores a los límites establecidos por cada país.	37
Tabla 19 Evaluación de los sedimentos analizados por desarenador y por campaña para el uso de la Categoría A. Uso agrícola. Con la letra S se identifican los sedimentos que tienen concentraciones inferiores al límite establecido y con la letra N las que exceden el límite establecido.	43
Tabla 20 Evaluación de los sedimentos analizados por desarenador y por campaña para el uso de la Categoría A. Otros usos. Con la letra S se identifican los sedimentos que tienen concentraciones inferiores al límite establecido y con la letra N las que exceden el límite establecido.	44
Tabla 21 Evaluación de los sedimentos analizados para ser utilizados como material de relleno. Con la letra S se identifican los sedimentos que tienen concentraciones inferiores al límite establecido y con la letra N las que exceden el límite establecido..	44
Tabla 22 Evaluación de los sedimentos analizados, respecto a las concentraciones de metales en mg/kg. Categoría B.....	45
Tabla 23 Posibles usos según los escenarios planteados con la letra N se muestran los parámetros que exceden los límites establecidos y con la letra S los que se encuentran bajo los límites.	46

1. INTRODUCCIÓN

Las políticas ambientales que se están generando alrededor del mundo buscan crear sistemas para la reutilización de recursos. Uno de los recursos que se busca aprovechar es el agua lluvia, en actividades como el riego, lavado de zonas comunales, usos domésticos entre otros (Lara Borrero et al. 2007). Sin embargo, el agua lluvia tiene una carga de sedimentos que también puede ser aprovechada según sus características para fines como la construcción, restablecimiento de suelos (Akcil et al. 2015), jardinería o construcción de carreteras (Wang et al. 2015). Comúnmente los sedimentos extraídos de diferentes sistemas hídricos son dispuestos en rellenos sanitarios, confinados para disposición acuática o vertidos en el mar. Estas prácticas se consideran como las estrategias de gestión más aplicadas en el mundo (Akcil et al. 2015).

Alrededor del mundo se han realizado análisis a los sedimentos extraídos de diferentes fuentes hídricas para determinar sus características físico químicas, cantidad de metales, materia orgánica e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP); con lo anterior se busca establecer el grado de contaminación del sedimento y en algunos casos su posible utilización. En algunos países desarrollados existen regulaciones para la carga de contaminantes presentes en los sedimentos, sin embargo, dichas normas no siempre se cumplen (Simpson 2015). En Estados Unidos existe la prohibición del uso de selladores a base de alquitrán en las vías para disminuir la presencia de HAP en los sedimentos de agua lluvia, y reducir la carga de contaminantes (Minnesota Pollution Control Agency 2015). De la misma forma, algunos de los países desarrollados han establecido límites para las concentraciones de metales presentes en los sedimentos de agua lluvia con el ánimo de determinar rangos de efectos probables en la salud, como se muestra en la Tabla 1. Los países de América del Norte son los primeros en establecer dichos parámetros y han sido modificados y utilizados en Australia, Nueva Zelanda y Hong Kong (G. Allen Burton 2002).

Tabla 1. Límites para la concentración de metales (mg/kg) presentes en los sedimentos provenientes de sistemas de agua continental en diferentes países.

PÁRAMETROS DE CALIDAD POR PAÍS	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn
CANADÁ – ESTADOS UNIDOS ¹	17	3.53	90	197	91.3	0.486	36	315
AUSTRALIA – NUEVA ZELANDA ²	70	10	370	270	220	1	52	410
HONG KONG (CHINA) ³	42	4	160	110	110	1	40	270
HOLANDA ⁴	29	0.8	100	36	85	0.3	35	140
NORUEGA ⁵	-	1	-	150	120	0.6	-	-
¹ Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (CCME 2001) ² National Water Quality Management Strategy (ANZECC 2000) ³ Sediment Quality (Ove Arup & Partners Hong Kong Ltd 2009) ⁴ Dutch Target and Intervention Values (Ministerie van Volkshuisvesting 2000) ⁵ Development of sediment quality criteria in Norway (Bakke et al. 2010)								

Se han realizado análisis físicos y químicos de los sedimentos hallados en aguas de escorrentía, encontrando que los resultados pueden variar según el tamaño de la partícula (Vaze y Chiew 2004) o la ubicación donde sea tomada la muestra, como se referenciará más adelante. Dichos parámetros se han evaluado según el tipo de uso de suelo, bien sea residencial o industrial (Faram, Iwugo, y Andoh 2007); en vías, parqueaderos y también sobre techos de diferentes materiales (Charters, Cochrane, y O'Sullivan 2015), encontrando que la concentración y calidad de los sedimentos cambia bajo estas diferentes condiciones.

Pétavy, Ruban, y Conil (2009a) analizaron los sedimentos de escorrentía superficial para seis lugares diferentes en Francia, con el fin de remover los contaminantes de la superficie mediante un lavado: en este análisis determinaron los porcentajes de materia orgánica y metales presentes en las partículas y concluyeron que el material grueso es el menos contaminado.

Con el fin de eliminar contaminantes y encontrar posibles usos, el estudio realizado por Wang et al. (2015) para los sedimentos extraídos del canal Kai Tak de Hon Kong, que anteriormente recibía descargas sanitarias, determinaron que dichos sedimentos podrían ser aprovechados por ejemplo para la fabricación de ladrillos y sustrato de jardines. Estos resultados demostraron que el potencial de reciclaje de sedimentos contaminados en términos de resistencia a la compresión podría ser comparable o mejor que materiales de baja resistencia producidos a partir de la incineración de residuos de cenizas y lodo deshidratado.

De la misma manera, en Francia, Petavy et al. (2009b) tomaron muestras en sistemas de retención e infiltración de agua lluvia y sedimentos secos provenientes del barrido de calles, con el fin de analizar la dilución de éstos en el agua durante un evento de precipitación y poder determinar los posibles usos de estos sedimentos para la construcción de terraplenes de carreteras, capas de relleno o cimentación de tuberías, dando como resultado nuevamente que las partículas óptimas para dichos usos son las gruesas ($>60\mu\text{m}$). La carga de partículas en las vías aumenta según el número de días de tiempo seco tendiendo a un máximo de equilibrio. Parte de esta carga es lavada durante el evento de lluvia y esta cantidad puede variar según la pendiente de la vía, la altura total de precipitación y el tamaño de la partícula (C. A. Zafra Mejía, Temprano González, y Tejero Monzón 2009).

Según (Akcil et al. 2015), los estudios realizados en sedimentos demuestran que se necesita más investigación para evaluar la sostenibilidad general de los enfoques desarrollados, teniendo en cuenta no solamente aspectos ambientales sino también aspectos sociales y económicos. Así mismo, aunque internacionalmente se han encontrado avances sobre la utilización de sedimentos para algunos usos, como se referencia en los párrafos anteriores, aún no se han evaluado la totalidad de los usos de manera exhaustiva. Adicionalmente, no se ha encontrado literatura específica sobre la utilización de sedimentos provenientes de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, los cuales podrían tener características apropiadas para suplir una mayor cantidad de usos.

En Bogotá, hasta el año 2014 la entidad responsable del manejo del sistema pluvial de la ciudad era la Empresa de Acueducto y Alcantarillado la cual disponía directamente los sedimentos provenientes del mantenimiento de canales, quebradas y en general del sistema de alcantarillado en el predio de Gibraltar el cual se encuentra ubicado en la localidad de Bosa al sur de la ciudad (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá 2010), y al cual llegan sin ningún tipo de tratamiento (Universidad de los Andes y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá 2008). Desde el año 2014, el manejo del sistema pluvial de Bogotá se encuentra a cargo del Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER), fomentando la utilización del agua lluvia para diferentes usos. La Alcaldía Mayor de Bogotá en su decreto 528 de 2014 “Por medio del cual se establece el Sistema de Drenaje Pluvial Sostenible del Distrito Capital” en el numeral 3.d. del artículo 7 ordena: “Aprovechar los lodos y sedimentos de los cuerpos de agua y de las estructuras hidráulicas conexas, en actividades de recuperación ambiental, como parte de la estrategia de adaptación al cambio climático” (Alcaldía Mayor de Bogotá 2014). Sin embargo, esta entidad no reporta cuál es el uso que se le está dando hasta la fecha a los sedimentos dragados de los cuerpos de agua.

Teniendo en cuenta los avances en el conocimiento para el tratamiento y reutilización de sedimentos provenientes de sistemas pluviales anteriormente descritos y las políticas de gobierno local establecidas (Alcaldía Mayor de Bogotá 2014), se busca responder la pregunta ¿Es posible establecer la factibilidad para utilizar los sedimentos retenidos en sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias como materiales productivos, teniendo en cuenta la calidad de los mismos?

Según la Real Academia Española una de las definiciones de productivo es: que es útil o provechoso («Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario» 2015). Basados en esta definición se entiende como material productivo, material que es útil o provechoso para cualquier uso.

Con miras a responder a la pregunta planteada se formuló el siguiente objetivo: establecer las condiciones de calidad de los sedimentos retenidos en sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias de escorrentía para su potencial aprovechamiento como material productivo.

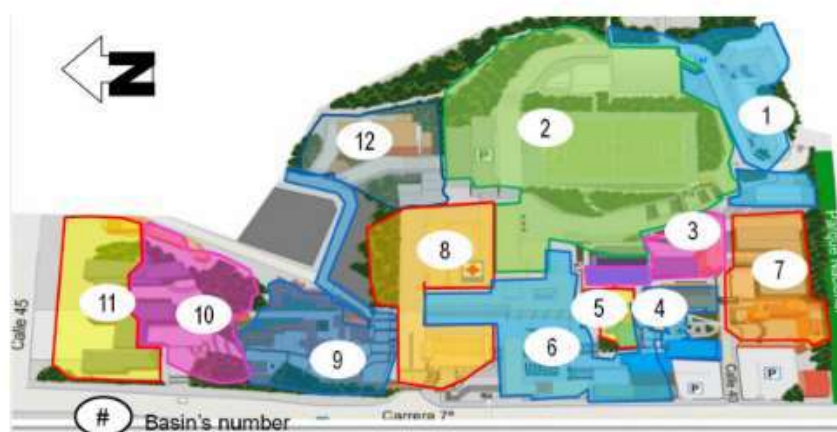
2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se presentan los materiales y métodos empleados para el desarrollo y cumplimiento del objetivo planteado, para esto fue necesario determinar el sitio de estudio, crear una metodología para las tomas de muestras y un procedimiento para el posterior análisis en laboratorio y el respectivo procesamiento computacional para los datos encontrados.

2.1. Sitio De Estudio

Con el fin de estudiar los sedimentos retenidos en sistemas de aprovechamiento de agua lluvia de escorrentía, estos van a ser recolectados en el humedal construido de la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ), el cual recibe el agua de las cuencas #2 y #12 correspondientes a la cancha de fútbol y al edificio de parqueaderos respectivamente como se muestra en la Figura 1. Dichas cuencas fueron definidas a partir de un mapa topográfico y las características de drenaje del campus. El área de drenaje es de 2.73 ha para la cuenca 2 y de 0.81 ha para la cuenca 12 (S. L. Galarza-Molina et al. 2015).

Figura 1 Cuencas del campus de la Pontificia Universidad Javeriana.

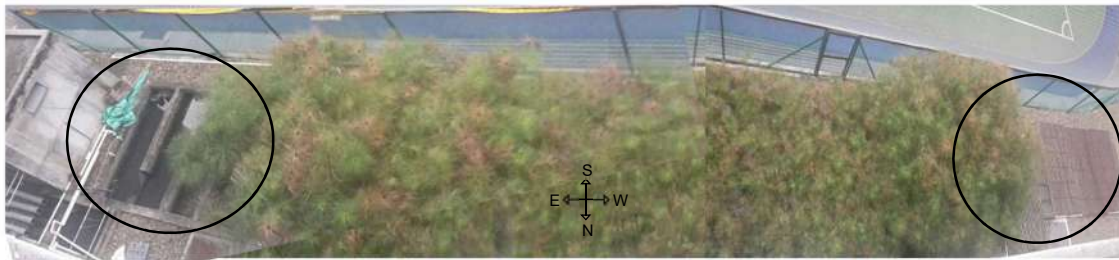


Fuente: (S. L. Galarza-Molina et al. 2015)

De acuerdo con lo descrito por (S. Galarza-Molina et al. 2015), los usos del agua en la PUJ están distribuidos así: 41% para el lavado de pisos, 22% para el consumo de agua potable, 21% para irrigación de pastos y jardines, 16% para la descarga de sanitarios, es decir el 78% del agua consumida se gasta en usos diferentes al consumo directo, lo que requiere que la calidad no sea potable, razón por la que es posible plantear un aprovechamiento del agua lluvia para los usos mencionados.

Para el aprovechamiento del agua lluvia fue construido un humedal artificial el cual cuenta con dos desarenadores, uno al costado oriental que recibe el agua de escorrentía de la cuenca #12 y el segundo ubicado al costado occidental que recibe el agua de escorrentía de la cuenca #2. La distribución de los desarenadores es la siguiente: (i) el desarenador del costado oriental tiene una profundidad aproximada de 1.5 m, cuenta con cuatro paneles de aproximadamente 1 m de ancho cada uno; (ii) el desarenador del costado occidental tiene una profundidad aproximada de 3 m, cuenta con cuatro paneles, dos tienen un 1 m de ancho y los otros dos 1.9 m, en la Figura 2 se muestra el humedal construido de la PUJ señalando los desarenadores mencionados.

Figura 2 Humedal Construido PUJ. A la derecha desarenador occidental, a la izquierda desarenador oriental (Señalados por círculos).



Fuente: Autor

2.2. Toma De Muestras

Las muestras pueden ser tomadas de diferentes formas dependiendo de las características con las que se requiera el material recolectado, de acuerdo con esto el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) define el proceso de la siguiente forma:

“Algunas veces una muestra es requerida desde un área sumergida. El agua puede ser poco profunda (solo unas pocas pulgadas) o muchos pies de profundidad. Esto puede ser un cuerpo de agua estática como un estanque o un lago, o una corriente de agua como un río o un riachuelo. Los sedimentos que están por debajo del agua pueden ser recolectados directamente con el uso de un dispositivo manual como una pala o taladro, o indirectamente usando un sistema de dragado. El método usado para la recolección de las muestras depende en la profundidad del agua a la que se encuentra el sitio de muestreo y las características físicas de sedimento que va a ser muestreado.” (IDEAM 2007)

Para la toma de muestras de los sedimentos en cada uno de los desarenadores del humedal construido se diseñaron y fabricaron unas trampas para sedimentos que cumplen con características especiales para el sitio de estudio (ver numeral 3).

Para el desarrollo del proyecto, las muestras fueron tomadas con una periodicidad quincenal en cada uno de los desarenadores por un tiempo de 5 meses (semana 4 abril - semana 4 septiembre de 2016) en los que se instalaron cuatro trampas pequeñas en cada desarenador. Adicionalmente, se instalaron dos trampas de mayor capacidad en cada desarenador para tener una recolección de sedimentos en tiempo continuo (muestras 9 y 16).

La instalación inicial de las trampas se realizó el 13 de abril para iniciar muestreos el 27 de abril, eso teniendo en cuenta la disponibilidad del laboratorio de calidad de aguas de la PUJ donde se desarrollan los ensayos pertinentes a las muestras obtenidas en el humedal construido. En la Tabla 2 se relacionan las campañas de medición con las respectivas fechas de inicio y fin de la acumulación de sedimentos en las trampas en las que se tomaron las muestras para el análisis de los sedimentos de cada desarenador. De igual forma se incluye el número asignado para cada una de las muestras para su identificación en laboratorio y en los análisis computacionales. La muestra tomada en la campaña 8 del desarenador occidental (muestra 13) no es tenida en cuenta para el análisis de los sedimentos debido a que el material recolectado no fue suficiente para realizar los análisis de laboratorio.

Tabla 2 Campañas de medición

Campaña	Fecha	No. Muestra	Desarenador
1	13-abr-2016	01	Occidental
	27-abr-2016	02	Oriental
2	27-abr-2016	03	Occidental
	11-may-2016	04	Oriental
3	11-may-2016	05	Occidental
	25-may-2016	06	Oriental
4	25-may-2016	07	Occidental
	8-jun-2016	08	Oriental
5	8-jun-2016	09	Occidental*
	22-jun-2016	10	Oriental
6	3-ago-2016	11	Oriental
	18-ago-2016		
7	18-ago-2016	12	Oriental
	1-sep-2016		
8	1-sep-2016	13	Occidental
	15-sep-2016	14	Oriental
9	15-sep-2016	15	Oriental
	29-sep-2016	16	Oriental**

* La muestra tomada en periodo continuo del 13 de abril al 22 de junio de 2016 en el desarenador Occidental

** La muestra tomada en periodo continuo del 3 de agosto al 29 de septiembre de 2016 en el desarenador Oriental.

Figura 3: Ubicación de las trampas, a) desarenador oriental. b) desarenador oriental. En rojo trampas de capacidad 8 oz y en amarillo trampas de capacidad de 1.5 oz.



Fuente: Autor

En la Figura 3 se muestra la instalación de las trampas en cada uno de los desarenadores, la ubicación de las trampas pequeñas se identificó con color amarillo y la ubicación de las trampas grandes con color rojo; a cada desarenador se le instalaron cuatro trampas pequeñas con capacidad de 1.5 oz cada una y 2 trampas grandes con capacidad de 8 oz cada una con el fin de obtener la mayor cantidad de sedimentos de todos los tamaños. En el desarenador oriental se instaló una trampa de 1.5 oz en cada uno de los cuatro paneles y una trampa de 8 oz a la entrada y salida del desarenador.

En el desarenador occidental se instalaron 2 trampas de sedimentos de 1.5 oz y una trampa de 8 oz en cada uno de los paneles intermedios, para este caso no fue posible ubicar las trampas a la entrada y salida porque el desarenador está cubierto por unas rejas para evitar accidentes.

Fue necesario cubrir las trampas del desarenador oriental con una polisombra, debido a que se evidenció el crecimiento de algas en los recipientes, las cuales evitaron la recolección adecuada de muestras puesto que estas formaban una capa protectora evitando el ingreso de los sedimentos a las trampas (Figura 4).

Figura 4 Crecimiento de algas en las trampas. Desarenador Oriental a) Crecimiento de algas, b) Cobertura con polisombra



Fuente: Autor

En la campaña 5 se interrumpió el muestreo en los dos desarenadores, por un proceso de limpieza al que fue sometido el humedal. En esta campaña fue posible extraer del desarenador occidental el material recolectado por las trampas de tiempo continuo (muestra 09), es decir del 13 de abril al 22 de junio de 2016, el material recolectado en las trampas pequeñas fue desechado por el equipo de limpieza, por lo que no fue posible obtener los sedimentos del 8 de junio al 22 de junio de 2016. Para el desarenador oriental el material extraído fue de las trampas pequeñas (muestra 10), el cual fue recolectado durante los 15 días correspondientes al periodo del 8 de junio al 22 de junio de 2016. En este caso se perdió el material recolectado en las trampas de tiempo continuo, debido a que después de la limpieza del desarenador se presentó una descarga de agua con sedimentos provenientes del tanque de almacenamiento del humedal. El 3 de agosto de 2016, se instalaron nuevamente las trampas a la entrada del desarenador oriental, debido a que este ya se encontraba con suficiente flujo de agua lo cual permitió la recolección de sedimentos; es necesario aclarar que no fue posible retomar las mediciones en el desarenador occidental debido a que para lograr tener el volumen de agua suficiente para sumergir las trampas se requiere de eventos continuos de precipitación con gran intensidad, situación que no se presentó en el periodo comprendido entre los meses de agosto a septiembre de 2016.

Una vez se extraían las muestras de cada desarenador se recolectaron en vasos de precipitado de 250 ml en los que se agregaba por desarenador todo el material que se recolectaba con las trampas pequeñas, para su traslado al laboratorio y posterior análisis. En la Figura 5 se presentan las muestras recolectadas en los desarenadores durante la campaña 3 (11 al 25 de mayo de 2016).

Figura 5 Vasos de precipitado con las muestras recolectadas para los dos desarenadores. Fecha de extracción mayo 25 de 2016

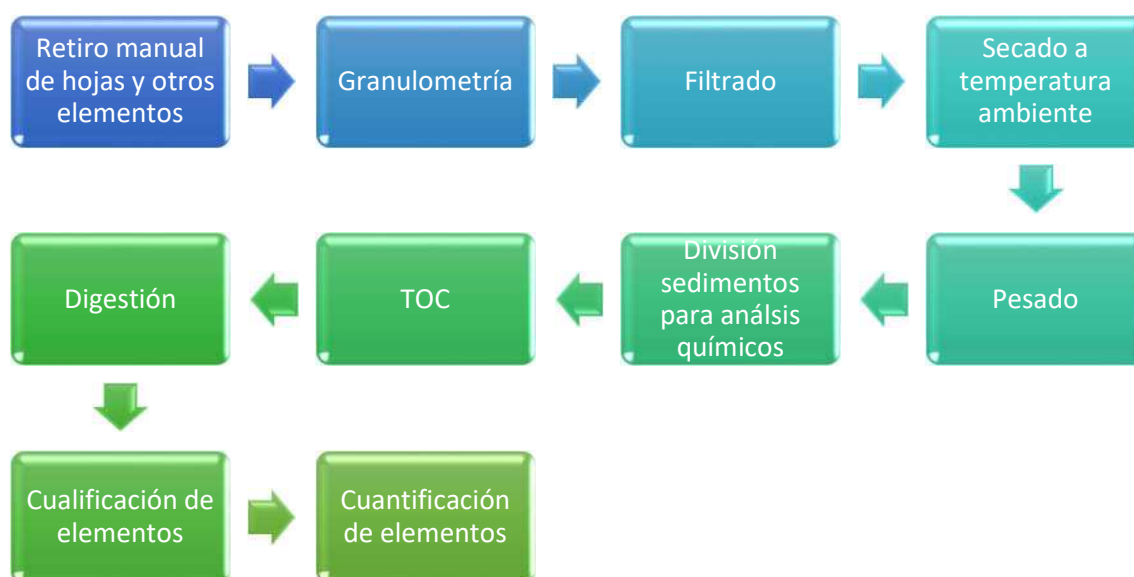


Fuente: Autor

2.3. Calidad De Los Sedimentos

La calidad de los sedimentos se determina según sus características físicas y químicas las cuales fueron analizadas en el laboratorio de calidad de aguas de la PUJ, donde se hizo uso de los equipos disponibles para realizar diferentes ensayos como granulometría, carbono orgánico total (TOC) y elementos presentes para cada muestra (incluye metales) por ICP. Una vez se llevaban las muestras al laboratorio estas se sometían al proceso descrito en la Figura 6.

Figura 6 Proceso de análisis de las muestras



Fuente: Autor

2.3.1. Análisis de características físicas

Con el fin de determinar las características físicas de los sedimentos, se realiza un análisis de tamaño de partícula por difracción láser en un rango de $0.1\ \mu\text{m}$ a $1000\ \mu\text{m}$ haciendo uso del Analizador de Tamaño de Partícula Mastersizer 3000E (Figura 7), el cual mide la intensidad de la luz que se dispersa cuando el haz del láser pasa a través de una muestra de partículas dispersas en un medio líquido, en este caso se utilizó agua cruda («Mastersizer 3000E laser particle size analyzer» 2016). Esta información se analizó para calcular el tamaño de las partículas que crearon el patrón de dispersión y así determinar el porcentaje equivalente al tamaño de la partícula para cada muestra. El análisis de las muestras se realiza 3 veces por el equipo y luego emite un tamaño de partícula promedio; se realizaron dos lecturas por cada muestra para obtener un total de 6 mediciones con el fin de poder obtener datos suficientes para el análisis de datos. Teniendo en cuenta que el procedimiento de limpieza del equipo requería bastante tiempo para eliminar los residuos de muestra entre lectura y lectura no fue posible realizar más mediciones, considerando que posteriormente el sedimento debía someterse a un proceso de secado para realizar el análisis químico.

Figura 7 Analizador de tamaño de partícula, marca Malvern, referencia Mastersizer 3000E



Fuente: Autor

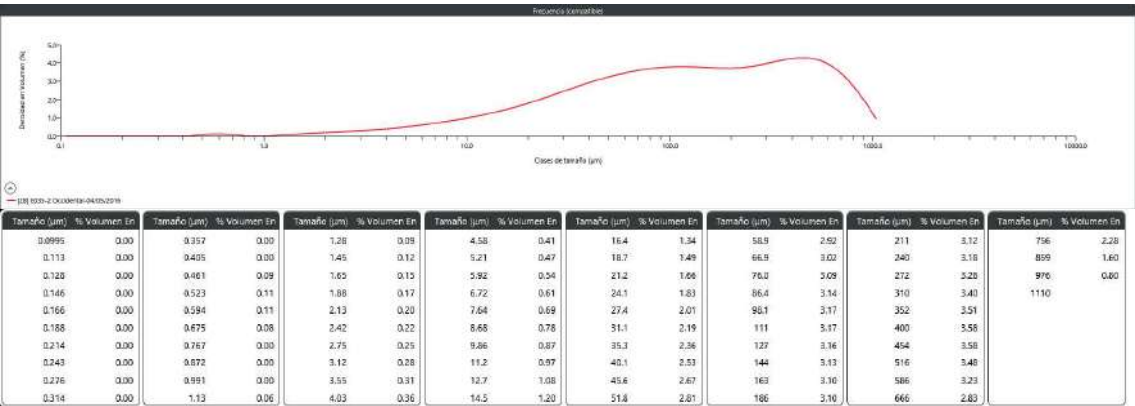
El procedimiento consiste en agregar pequeñas cantidades de sedimento hasta lograr la obscurancia requerida por el equipo que permite calcular la dispersión de las partículas. Se procura que la muestra adicionada esté bien mezclada para evitar tomar partículas de un solo tamaño y así asegurar medir todos los tamaños presentes.

El equipo arroja los resultados del tamaño de la partícula mostrando una gráfica y una tabla con los porcentajes en el rango de tamaños determinados en μm como se muestra en la Figura 8. Estos resultados son analizados mediante R para obtener diferentes parámetros granulométricos. Los códigos desarrollados se pueden consultar en el ANEXO A.

Los datos obtenidos se acumularon con el fin de determinar la cantidad de sedimentos que representa el 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% y 100% de la muestra analizada. Una vez acumulados se interpolan los valores para determinar el diámetro máximo de las partículas en cada rango correspondiente al D_{10} , D_{20} , D_{30} , D_{40} , D_{50} , D_{60} , D_{70} , D_{80} , D_{90} y D_{100} respectivamente. Con estos valores se calcula el coeficiente de uniformidad (U_c) el cual fue propuesto por Allen Hazen como la relación entre el D_{60} y el D_{10} . Los sedimentos con $U_c < 3$ se consideran muy uniformes, los suelos con $U_c < 5$ se consideran uniformes y $U_c \geq 5$ se consideran bien graduados, es decir con abundancia de tamaños (Juárez Badillo y Rico Rodríguez 2012). Finalmente, se calcula

la mediana de cada muestra de sedimentos para cada al D₁₀, D₂₀, D₃₀, D₄₀, D₅₀, D₆₀, D₇₀, D₈₀, D₉₀, D₁₀₀ y Uc con el fin de obtener un valor único.

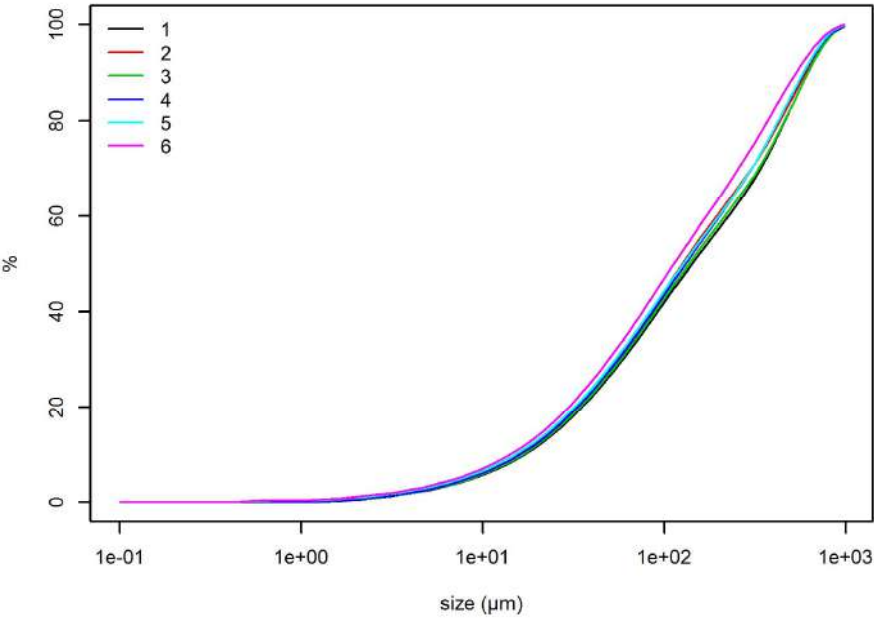
Figura 8 Presentación de resultados arrojados por el analizador de tamaño de partícula para la muestra 1 de la campaña 1, correspondiente al desarenador occidental del 13 de abr al 27 abr del 2016.



Fuente: Autor

La curva granulométrica se obtiene representando los valores acumulados para cada medición contra el diámetro de las partículas. En la Figura 9 se pueden observar las 6 mediciones realizadas para una muestra de sedimentos.

Figura 9 Curva granulométrica acumulada para la muestra 1 de la campaña 1, correspondiente al desarenador occidental



Fuente: Autor

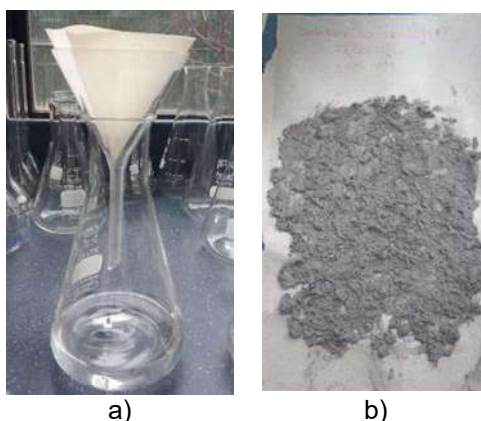
2.3.2. Análisis de características químicas

Teniendo en cuenta que no se tiene información respecto a la calidad de los sedimentos retenidos en sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias de escorrentía, se realizaron análisis de cantidad de metales por ICP y TOC, ya que para estos análisis es

suficiente una cantidad pequeña de sedimentos para lograr obtener diferentes características de los sedimentos.

Para el análisis de las características químicas de las muestras recolectadas en el humedal artificial es necesario filtrarlas para separar el agua lluvia del sedimento, posteriormente el sedimento se deja secando a temperatura ambiente con el fin de evitar pérdida de elementos por altas temperaturas. Para realizar el análisis de TOC y el análisis de metales se requiere tener el peso seco de los sedimentos que se va a disponer para cada ensayo los cuales se presentan en la Tabla 3. En la Figura 10 se muestra el proceso de filtrado y secado al que son sometidas las muestras para el análisis químico.

Figura 10 Preparación de las muestras para el análisis de características químicas a) filtrado, b) secado



Fuente: Autor

Tabla 3 Pesos secos de sedimentos para análisis de metales y TOC por muestras en g

Muestra	Peso [g]		Muestra	Peso [g]		Muestra	Peso [g]	
	Metales	TOC		Metales	TOC		Metales	TOC
01	0.5	0.09	06	0.03	0.05	11	0.06	0.05
02	0.07	0.07	07	0.15	0.03	12	0.1	0.14
03	0.5	0.11	08	0.15	0.03	14	0.45	0.29
04	0.11	0.08	09	0.15	0.03	15	0.23	0.22
05	0.5	0.11	10	0.15	0.03	16	0.52	0.32

Análisis de Metales

Con el fin de determinar los metales que se van a analizar se realizó un análisis semicuantitativo a cada una de las muestras con el fin de determinar los elementos presentes y posteriormente analizar cuantitativamente los metales significativos; este análisis se realizó por dos métodos: inicialmente se realizó el análisis por medio de absorción atómica puesto que el equipo de ICP no se encontraba disponible, sin embargo los resultados no fueron concluyentes por lo que se requirió un posterior análisis mediante ICP. Se quería determinar la presencia de metales pesados y su cantidad, especialmente los que generan riesgo para la salud. Dentro de dicha clasificación se encuentran el Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Niquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn) (IDEAM 2006). Para esto se siguieron los pasos que se describen a continuación.

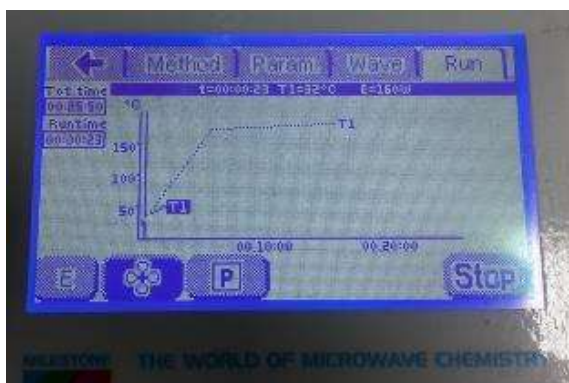
- a. Digestión: para análisis de metales se requiere hacer la digestión de los sedimentos teniendo en cuenta el peso seco de la muestra en gramos (Tabla 3) para extraer los

metales y retirar la materia orgánica. Esto se realiza por el método establecido en la norma EPA 3051A (US EPA 2016) usando ácido nítrico (HNO_3) y posteriormente elevando la temperatura de las muestras mediante microondas marca Milestone, referencia Start D (Figura 11 a). A este equipo se le debe calibrar una curva para el cambio de temperaturas respecto al tiempo para cumplir con la metodología y así lograr una buena extracción (Figura 11 b). Una vez realizada la digestión se obtiene la muestra la cual debe ser filtrada para eliminar los residuos sólidos del sedimento y obtener la extracción de metales (Figura 11 c). Es necesario aclarar que para analizar Arsénico (As) y Mercurio (Hg) las muestras deben ser sometidas a un proceso de digestión diferente y por la cantidad de muestra recolectada no fue posible realizar las dos digestiones.

Figura 11. Digestión de sedimentos a) Equipo de Microondas. b) Curva de calibración. c) Muestras digeridas



a)



b)



c)

Fuente: Autor

- b. Análisis por ICP: El ICP-E 9800 de Shimadzu (Figura 12) es un plasma acoplado por inductancia; los análisis se llevan a cabo por espectrofotometría de emisión, es decir al entrar en contacto la muestra con el plasma se genera un haz de luz el cual llega al detector del equipo con una coordenada la que corresponde a un solo elemento. El plasma es generado por la interacción entre gas argón y campos magnéticos. En este equipo es posible leer varios elementos al mismo tiempo, por lo que es factible que se presenten interferencias en las lecturas. Las interferencias se evitan eligiendo la longitud de onda adecuada o haciendo una corrección en el blanco de muestra (IDEAM 2006). Para realizar análisis en el equipo se requiere realizar una calibración de gases y estabilización del plasma antes de realizar cualquier tipo de lectura.

Figura 12 Espectrofotómetro de emisión atómica. Marca Shimadzu. Referencia ICP-E 9800



Fuente: Autor

El ICP permite realizar un análisis semicualitativo de las muestras, es decir, se puede analizar los elementos presentes en la muestra y obtener una cantidad aproximada de los mismos, así mismo indica los elementos que no son detectables en la muestra por sus bajas concentraciones. En la Figura 13 se presentan los resultados obtenidos del análisis para agua desionizada, la cual fue tomada como referencia; en el ANEXO B se pueden consultar los resultados obtenidos para todas las muestras donde se presentan las concentraciones en mg/l de cada elemento detectado por el equipo.

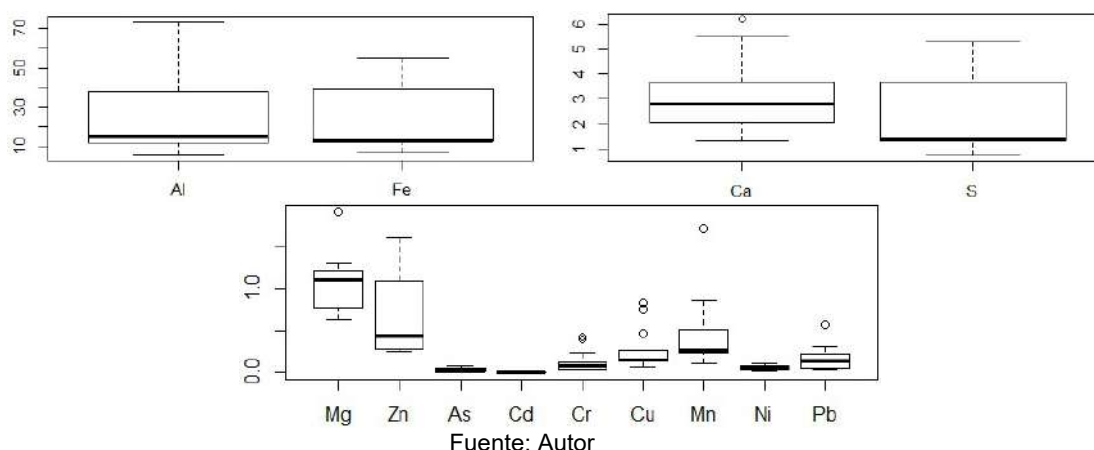
Figura 13 Foto del resultado del análisis semicualitativo por espectrofotómetro de emisión atómica para el blanco (agua desionizada)

Blanco						
1000mg/L <=						
1mg/L <=						
1ug/L <=	Ca 1.6	Cu 23	Fe 24	Gd 4.7	Na 7.2	S 40
	Te 110	Ti 1.3	Zn 1.1			
< 1ug/L	Be 0.82	Li 0.26	Mg 0.96			
Not Detected ug/L	Ag < 2.9	Al < 34	As < 22	Au < 5.6	B < 2.3	Ba < 0.22
	Bi < 25	Cd < 2.0	Ce < 10.0	Co < 6.2	Cr < 6.5	Cs < 1800
	Dy < 1.4	Er < 1.5	Eu < 0.42	Ga < 13	Ge < 15	Hf < 10
	Hg < 1.0	Ho < 2.1	I < 14	In < 31	Ir < 93	K < 5.0
	La < 2.1	Lu < 0.89	Mn < 0.84	Mo < 14	Nb < 2.9	Nd < 6.1
	Ni < 8.9	Os < 45	P < 20	Pb < 46	Pd < 10	Pt < 8.0
	Pt < 51	Rb < 2300	Re < 13	Rh < 17	Ru < 22	Sb < 22
	Sc < 0.29	Se < 34	Si < 6.0	Sm < 5.4	Sn < 38	Sr < 0.10
	Ta < 24	Tb < 4.0	Th < 48	Ti < 51	Tm < 1.0	U < 31
	V < 1.9	W < 29	Y < 0.34	Yb < 0.34	Zr < 1.1	

Fuente: Autor

En la Figura 14 se presenta la variación de las concentraciones en mg/l de los elementos con mayor presencia en los sedimentos recolectados durante todas las campañas de medición como lo son Aluminio (Al), Hierro (Fe), Calcio (Ca) y Azufre (S) así como de los metales pesados mencionados anteriormente.

Figura 14 Concentraciones en mg/l de los elementos con mayor presencia en las muestras y de los metales pesados determinados mediante el análisis semicualitativo por ICP.



Teniendo en cuenta los resultados del análisis semicualitativo se procedió a seleccionar los elementos para el análisis cuantitativo por ICP, los cuales son Cr, Cu, Pb y Zn. De la misma forma que en método de absorción atómica se prepararon unos parámetros con cinco concentraciones en mg/l diferentes para cada metal a analizar con las que el equipo calcula unas intensidades de emisión. Con estos valores se calcula la curva y se obtiene la ecuación de la línea para posteriormente calcular los valores de concentración para cada una de las muestras. En la Figura 15 se presenta la curva de calibración obtenida para Zn correspondiente a los resultados arrojados por el ICP para las concentraciones determinadas (Tabla 4) y en la Tabla 5 las concentraciones calculadas por el equipo para las 15 muestras con sus respectivas intensidades.

Tabla 4 Valores de intensidad calculada (A, B, C y Promedio) para los patrones (Blanco, P1, P2, P3, P4 y P5) por ICP para el Zn

Patrón	Concentración	Intensidad			
	mg/L	A	B	C	Promedio
Blanco	0	75.86	54.64	54.88	61.79
P1	0.1	196.88	409.08	408.64	338.20
P2	0.5	504.91	1313.38	1305.50	1041.27
P3	1	918.26	2488.70	2477.48	1961.48
P4	2.5	2132.48	6013.12	6013.20	4719.60
P5	5	11503.19	11597.79	11586.88	11562.60

Figura 15 Curva de calibración Zn

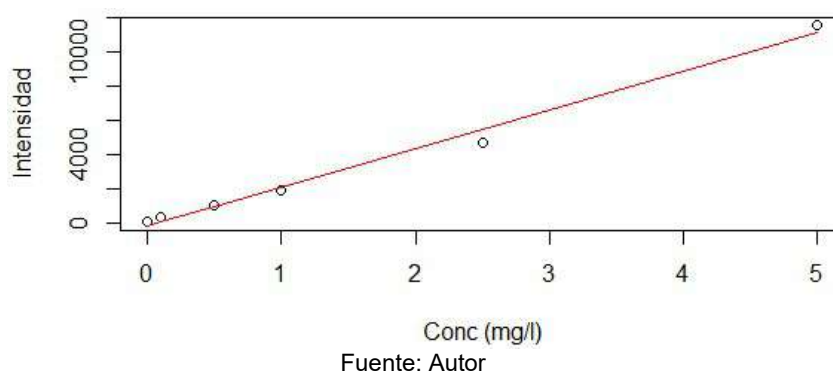


Tabla 5: Valores de concentraciones e intensidades calculadas de Zn por ICP.

Muestra	Concentración mg/l			Intensidad		
	[1]	[2]	[3]	[1]	[2]	[3]
01	4.64	4.56	4.6	10398.21	10231.42	10310.27
02	0.145	1.01	1.02	151.73	2128.22	2147.03
03	3.5	3.62	3.6	7805.21	8072.81	8022.24
04	0.122	1.72	1.74	98.26	3745.62	3789.99
05	5.44	5.54	5.52	12228.40	12456.46	12418.13
06	0.156	1.03	1.03	176.92	2169.21	2172.61
07	0.118	1.05	1.05	90.11	2208.80	2225.17
08	0.224	1.04	1.05	332.55	2201.78	2227.37
09	0.117	1.34	1.35	88.52	2879.11	2902.38
10	0.138	1.26	1.26	134.98	2684.78	2702.23
11	0.158	1.18	1.18	182.25	2507.90	2522.97
12	0.277	1.83	1.85	453.07	3997.47	4032.69
14	3.91	4.52	4.54	8737.19	10139.45	10176.51
15	0.516	2.95	2.96	998.06	6540.38	6578.28
16	5.62	5.69	5.72	12632.30	12790.63	12863.61

Carbono orgánico total (TOC)

El carbono orgánico total se utiliza como indicador de la presencia de uno de los componentes químicos de la materia orgánica en el sedimento. El TOC es la suma del carbono inorgánico el cual es derivado de fuentes geológicas o de materiales de origen del suelo y el carbono orgánico el cual proviene de la descomposición de plantas y animales (Schumacher y Environmental Protection Agency 2002). Para el análisis del carbono orgánico total se utiliza el equipo TOC-L junto con la unidad de combustión de muestra sólida SSM-5000A de Shimadzu (Figura 16). A este equipo se le agrega la muestra de material en estado seco el cual fue previamente pesado (Tabla 3). Para realizar la lectura el equipo utiliza el método de oxidación catalítica de combustión a 680 °C elaborado por Shimadzu (Shimadzu 2014).

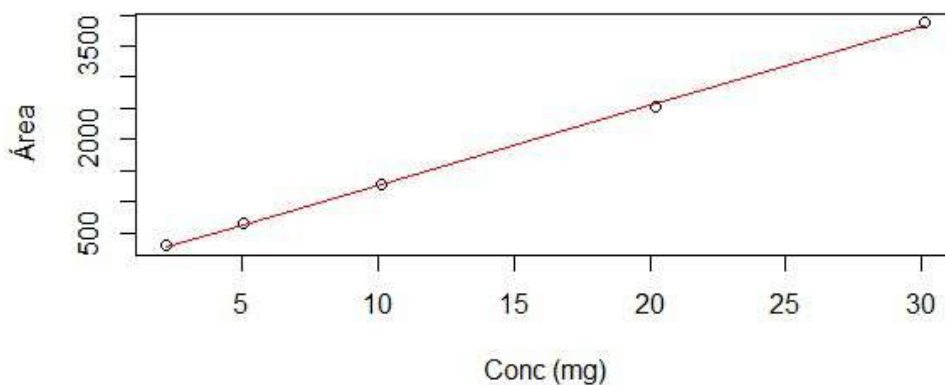
Figura 16. Analizador de Carbono orgánico total. Marca Shimadzu. Referencia TOC-L, junto con la unidad de combustión de muestra sólida SSM-5000A



Fuente: Autor

La determinación de la cantidad de carbono (C) presente en las muestras se crea haciendo uso de una curva de calibración con unos patrones de carbono previamente montados en el equipo (Tabla 6). Teniendo el peso seco de muestra se obtiene un valor de área con lo que se determina la curva de calibración (Figura 17) y se calcula la ecuación para determinar la cantidad de C en las muestras. En la Tabla 7 se presentan las cantidades de C en mg arrojadas por el equipo.

Figura 17. Curva de calibración de Carbono Orgánico Total



Fuente: Autor

Tabla 6 Datos para calibración del equipo de TOC

mg C	Área
2.2	289.2
5.04	642.6
10.12	1270
20.2	2522
30.12	3865

Tabla 7 Cantidad de TOC calculada por el equipo.

Muestra	Área	TOC (mg)	Muestra	Área	TOC (mg)
01	2336	18.38	09	436	3.49
02	1518	11.97	10	793	6.29
03	2618	20.60	11	633	5.03
04	1890	14.89	12	1534	12.10
05	2607	20.51	14	2374	18.68
06	1280	10.10	15	2006	15.80
07	694	5.51	16	3258	25.61
08	878.5	6.96			

2.3.3. Características hidrológicas

Adicionalmente se realiza un análisis de la variación de las características físicas y químicas con la precipitación, para determinar la relación de la granulometría y la calidad con los periodos secos o de lluvia. Según los estudios realizados por (Barreiro, Castañeda, y Zafra Mejía 2015) y (Monrabal-Martinez, Muthanna, y Meyn 2016) el tamaño y la cantidad de metales presentes en el sedimento varía según las condiciones climáticas del sector de estudio.

Para hacer la caracterización de los datos hidrológicos se acudió a la estación pluviométrica El Granizo (PA – 036) de la EAB ubicada en la latitud 04°37'29" N y longitud 74°03'30" W, la cual se encuentra cerca al punto de muestreo y de la estación localizada al interior del Campus de la universidad. En principio se quería trabajar únicamente con los datos de la estación del Campus debido a su proximidad al sitio de toma de muestra de sedimentos y a la calidad de datos, pues este reporta información cada minuto mientras que la estación del Granizo reporta datos diarios; sin embargo, los datos recolectados por la estación de la PUJ presentan muchos vacíos por lo que se decide trabajar las primeras campañas (1, 2, 3, 4 y 5) con los datos de la estación del Granizo y las dos últimas (8 y 9) con los datos de la estación del Campus ya que en este periodo se logró evidenciar una continuidad suficiente de los datos. Para las campañas 6 y 7 no se reportaron datos suficientes en ninguna de las dos estaciones consultadas por lo que se descartan los datos para el análisis hidrológico.

El análisis de los datos de precipitación se realiza en forma categórica, es decir, asignando a los valores numéricos las siguientes categorías: bajo, medio y alto. Las variables analizadas son: altura total de precipitación (Htot), Intensidad promedio (Iprom), Intensidad máxima (Imáx), tiempo seco el cual corresponde al número de días secos previos a la lluvia durante el periodo de 15 días (tseco), tiempo de lluvia el cual corresponde al número de días con lluvia durante el periodo de 15 días (tlluvia) e intensidad promedio (Iprom-neta) como se reporta en la Tabla 8.

Tabla 8 Datos de precipitación por campaña en forma numérica y categórica

Campaña	Htot (mm)		Iprom (mm/día)		Imax (mm)		tseco (día)		tlluvia (día)		Ipromneta (mm/día)	
1	28	Bajo	2	Bajo	10	Medio	5.0	Medio	10	Bajo	3	Bajo
2	32	Bajo	2	Bajo	10	Medio	6.0	Medio	9	Bajo	4	Alto
3	65	Alto	4	Alto	22	Alto	2.0	Bajo	13	Alto	5	Alto
4	46	Alto	3	Alto	12	Medio	3.0	Bajo	12	Alto	4	Alto
5	30	Bajo	2	Bajo	5	Bajo	3.0	Bajo	12	Alto	2	Bajo
8	44	Alto	4	Alto	24	Alto	12	Alto	8	Bajo	5	Alto
9	15	Bajo	1	Bajo	4	Bajo	14	Alto	9	Bajo	2	Bajo

Tabla 9 Categorización de las características químicas medidas en los sedimentos.

Lugar	Campaña	Cu	Cr	Pb	Zn	TOC
oriental	1	Alto	Bajo	Alto	Alto	Bajo
oriental	2	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo
oriental	3	Alto	Bajo	Alto	Alto	Alto
oriental	4	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
oriental	5	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
oriental	8	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo
oriental	9	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo
occidental	1	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
occidental	2	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Alto
occidental	3	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo
occidental	4	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Tabla 10 Categorización de las características físicas medidas en los sedimentos.

Lugar	Campaña	D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
Oriental	1	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto
Oriental	2	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Oriental	3	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Oriental	4	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Oriental	5	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo
Oriental	8	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Bajo
Oriental	9	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Occidental	1	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto
Occidental	2	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto
Occidental	3	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
Occidental	4	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Alto

La categorización de los datos de granulometría y calidad se realiza utilizando los valores de la mediana para los D, Cu, TOC y metales por muestra, estos se dividen en dos categorías Alto y Bajo, donde bajo son los datos menores o iguales que el cuartil 0.5 para cada variable y alto son los valores mayores al cuartil 0.5. La categorización de los datos se muestra en la Tabla 9 y Tabla 10.

El análisis de los datos obtenidos se realiza mediante MCA (ver numeral 2.5) con el fin de determinar los componentes principales de los parámetros determinados por muestra y de la misma forma encontrar la relación entre la granulometría y la hidrología.

2.4. Posibles usos

Existe la necesidad de conocer el comportamiento de los sedimentos en sistemas de agua lluvia, ya que el manejo de estos implica costos y en la mayoría de casos no se tiene conciencia de la magnitud de los daños que los sedimentos altamente contaminados puedan causar, por esto se requiere retirar los sedimentos de los cuerpos de agua (Glaister y Vietz 2016). Por esto se necesitan encontrar alternativas para el manejo de los sedimentos como la reutilización, para diferentes usos.

En Colombia el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) en el Título F (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio 2012) especifica las características físicas y químicas que deben tener un material para ser reutilizado; así mismo subdivide en dos categorías los usos (A y B). Los valores de referencia se muestran en la Tabla 11.

- Categoría A: en agricultura, como abonos orgánicos o acondicionadores orgánicos no húmicos de suelos en cultivos hortícolas, frutícolas, forraje, fibras y praderas para pastoreo. Para remediación de suelos contaminados, lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración, absorción y adsorción. En la fabricación de encendedores y material aglomerado o comprimido (pellets) para procesos de tratamiento térmico de residuos y en procesos de oxidación térmica o reducción térmica, como combustible alternativo. Como insumo en la obtención de materiales de construcción.

Tabla 11 Valores Permisibles en la Materia Orgánica Estabilizada. Adaptada de Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio 2012

Parámetro	Valor de referencia		
	Categoría A		Categoría B
Metales pesados (mg/Kg Base Seca)	Uso Agrícola	Otros Usos	
Arsénico (As)	15.0	140.0	75.0
Cadmio (Cd)	0.7	39.0	85.0
Cobre (Cu)	70.0	1500.0	4300.0
Cromo (Cr)	70.0	1200.0	3000.0
Mercurio (Hg)	0.4	17.0	57.0
Níquel (Ni)	25.0	420.0	420.0
Plomo (Pb)	45.0	300.0	840.0
Selenio (Se)	15.0	36.0	100.0
Zinc (Zn)	200.0	2800.0	7500.0

- Categoría B: en la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, secundaria y/o terciaria. En la rehabilitación y recuperación de suelos degradados de uso no agrícola, áreas destinadas al ornato y la recreación, jardines, parques y zonas verdes. En la revegetalización de suelos degradados de uso no agrícola. Como material para cobertura y revegetalización de áreas erosionadas y de minería a cielo abierto. En plantaciones forestales. En la fabricación de encendedores y material aglomerado o comprimido (pellets) para procesos de tratamiento térmico de residuos como combustible alternativo.

2.4.1. Como material de construcción

Teniendo en cuenta la fuente de donde proviene el material y las pruebas de choque realizadas se considera que el material es muy fino, por lo que se consultan las normas de construcción disponibles en el país encontrando que los materiales finos pueden ser utilizados como rellenos de estructuras de concreto y alcantarillas en la zona de núcleo o cimiento, de acuerdo con los requisitos establecidos por (INVIAS 2012) los cuales se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12 Requisitos de los suelos para rellenos de estructuras. Adaptado de (INVIAS 2012)

Característica	Suelos seleccionados	Suelos adecuados	Suelos tolerables
Tamaño máximo, mm	75	100	150
Porcentaje que pasa el tamiz de 2 mm (No 10) en masa, máximo	80	80	-
Porcentaje que pasa el tamiz de 75 μ m (No 10) en masa, máximo	25	35	35
Contenido de materia orgánica, máximo (%)	0	1.0	1.0

2.5. Análisis Computacional

El procesamiento de los datos obtenidos de los análisis de laboratorio se realizó mediante RStudio el cual es un entorno de desarrollo integrado libre y de código abierto del software R desarrollado por Bell Laboratories («RStudio» 2017). R proporciona una amplia variedad de modelos estadísticos lineales y no lineales, además de diferentes técnicas para realizar gráficas de datos.(«R: What is R?» 2017).

Los análisis de datos se realizan por medio de librerías que se descargan de forma gratuita. El análisis de datos realizó utilizando la librería ade4 la cual fue desarrollada por el Laboratorio de Biometría y Biología Evolutiva de la Universidad de Lyon para el análisis multivariado de datos, en un marco de exploración de métodos euclidianos (Gómez Cubillos 2016). La librería ade4 permite realizar el análisis de datos, de forma cuantitativa por componentes principales (PCA) y por factores, es decir de forma categórica por análisis de correspondencia múltiple (MCA) (Dray, Dufour, y Thioulouse 2017).

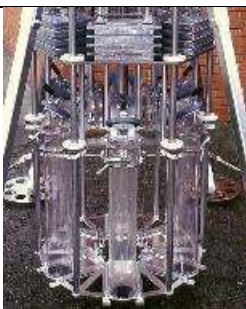
3. TRAMPAS DE SEDIMENTOS

Para recolectar los sedimentos que son arrastrados por el flujo de agua, se requiere de instrumentos diferentes según el caudal, la profundidad y el cuerpo de agua donde van a ser tomadas las muestras. Por lo que para lograr tomar las muestras en el humedal artificial se analizan los métodos existentes y se comparan con las condiciones de sitio, y se llega a la conclusión que se requiere construir un sistema de recolección diferente a los existentes en el mercado.

3.1. Trampas de sedimentos disponibles en el mercado

Las trampas de sedimentos son utilizadas para recolectar muestras en diferentes cuerpos de agua y así poder determinar sus características físicas y químicas. En el mercado existen varios equipos con los que se pueden recolectar estas muestras, un ejemplo de estas son las provistas por la empresa SIDMAR para muestreos en el océano, estas incluyen trampas, dragas, corers y multicorers (Tabla 13)

Tabla 13 Trampas de sedimentos disponibles en el mercado. Fuente: <http://www.sidmar.es/muestreadores-sedimento.html>

TIPO	DESCRIPCIÓN	FOTO
Corer y multicorers	Equipos de muestreo para fondos marinos a grandes profundidades	
Dragas	Utilizadas para la obtención de muestras de fondo, se constituye de dos tapas con agujeros en la parte superior para permitir el drenaje del agua y evitar perturbar el fondo	
Trampa de sedimentos	Tubos de muestreo con pesos de plomo en el fondo para asegurar la posición vertical permanente de los tubos	

3.2. Diseño de la trampa de sedimentos

Con el fin de determinar la mejor manera de recolectar los sedimentos se realizó una prueba de extracción utilizando una draga Van Veen con capacidad para 0.5 L en acero (Figura 18), en dos puntos del desarenador oriental. La primera se realizó a la entrada del desarenador y la segunda a la salida del primer panel. Como resultado se obtuvo que en la entrada del desarenador se recogió una cantidad considerable de sedimentos, sin embargo, no era posible determinar el periodo de acumulación de estos sedimentos, adicionalmente por la condición de la draga que no cierra herméticamente se puede presentar pérdida de material.

Figura 18. Draga Van Veen



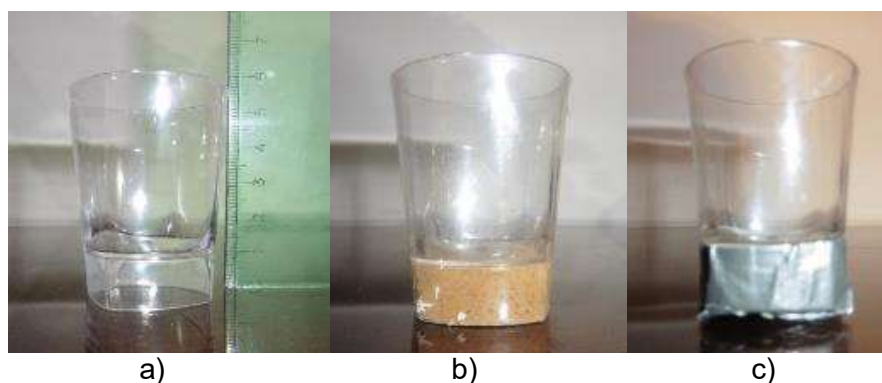
Fuente: Autor

Teniendo en cuenta que la draga no brinda la confiabilidad suficiente para la toma de muestras, se analizan las condiciones de los desarenadores para sumergir una trampa de sedimentos y estas son que no se debe afectar el flujo del agua, por lo que se requiere que las trampas sean pequeñas; se debe asegurar que tengan suficiente peso para no ser arrastradas por el flujo de agua y permanezcan firmes; adicionalmente se requiere que sean estables al momento de sumergirlas o extraerlas del desarenador con el fin de evitar la pérdida de sedimentos.

Para el diseño de la trampa de sedimentos se requiere de un recipiente que llegue a la placa de fondo de cada uno de los desarenadores. Para esto se utilizaron recipientes plásticos de 5.5 cm de alto y 4.5 cm de diámetro con capacidad para 1.5 oz. Como contrapeso se relleno el fondo del recipiente con arena, el cual es cubierto con cinta para ductos y de esta manera evitar escapes (Figura 19).

Bajo el mismo sistema constructivo se construyeron las trampas para la recolección de sedimentos en tiempo continuo, utilizando recipientes con mayor capacidad (8 oz) con las siguientes dimensiones: 9 cm de alto y 7.5 cm de diámetro (Figura 20).

Figura 19: Construcción de la trampa de sedimentos con capacidad de 1.5 oz. a) recipiente para la toma de muestras, b) relleno de contra peso, c) cobertura para evitar escapes.



Fuente: Autor

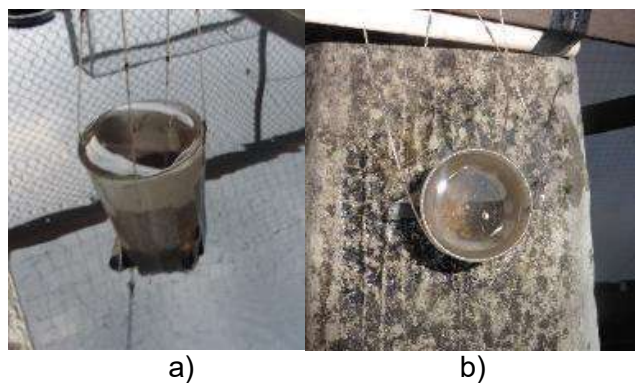
Figura 20: Trampa de sedimentos para recolección en tiempo continuo con capacidad de 8 oz.



Fuente: Autor.

Una vez diseñadas las trampas se sumergió una de estas en el desarenador oriental durante 15 días como prueba de choque para probar la capacidad de recolección de sedimentos y la estabilidad de la trampa. Para sumergir y extraer la trampa se utilizaron 4 hilos nylon atados a un tubo de PVC para evitar que se balancee el recipiente y así perder las muestras recolectadas. Una vez realizada la prueba se comprobó que el sistema cumplió con las características requeridas y tenía la capacidad suficiente para recolectar sedimentos como se muestra en la Figura 21.

Figura 21: Prueba de choque. a) prueba de estabilidad, b) prueba de recolección de sedimentos.



Fuente: Autor

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los análisis realizados en laboratorio para determinar las características físicas y químicas de los sedimentos presentes en sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias se obtuvieron unos resultados, los cuales son comparados con los límites de calidad requeridos para diferentes usos, encontrando de esta manera los posibles usos en los que pueden ser empleados los sedimentos y así generar un aprovechamiento de este recurso. Adicionalmente se realiza un análisis para determinar según los parámetros hidrológicos cuáles serían los usos de los sedimentos teniendo en cuenta varios escenarios planteados.

4.1. Análisis de Resultados

Los resultados se analizaron de forma no paramétrica, con el fin de analizar los datos en su totalidad. Para esto se hace uso de las herramientas computacionales descritas en el capítulo 2.5, analizando los parámetros de calidad y físicos de forma individual, conjunta y la relación que tienen con la hidrología del sector. Los códigos desarrollados para el análisis de los resultados se pueden consultar en el Anexo A.

4.1.1. Características Físicas

De acuerdo con el Test de Wilcoxon para los valores de las medianas de la granulometría se obtuvo un $p\text{-value} = 0.16$ entre la comparación de lo medido en el desarenador occidental y el desarenador oriental; este valor es superior al valor de significancia de 0.05, por lo que se pudo afirmar que no hay diferencia significativa en la granulometría de los desarenadores, lo que permite hacer los análisis sin necesidad de separar las muestras espacialmente.

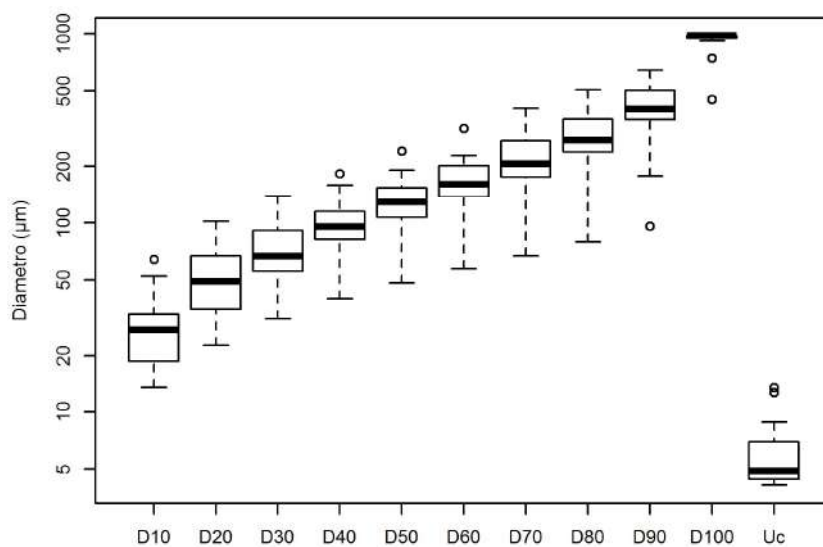
Los resultados de las granulometrías obtenidos por medio del granulómetro láser permiten calcular diferentes parámetros para cada muestra como lo son las curvas de granulometría y sus respectivas distribuciones. En la Tabla 14 se muestran las medianas de los resultados obtenidos para los D_{10} , D_{40} , D_{50} , D_{60} y D_{90} por muestra, se consideran partículas finas las que tienen diámetros menores al D_{50} y gruesas las que tienen diámetros mayores o iguales al D_{50} , así como la clasificación según el U_c para definir la distribución de los tamaños, donde BG corresponde a bien graduado y U corresponde a uniforme, en concordancia con lo descrito en el capítulo 2.3.1. En la Figura 22 se presenta la distribución de los datos para los parámetros granulométricos analizados para cada intervalo de acumulación de las partículas y para el U_c . Las tablas de resultados completas junto con las curvas granulométricas se pueden consultar en el ANEXO B.

Se realizó el análisis de componentes principales de las características físicas de los sedimentos determinadas por las medianas de cada muestra las cuales se presentan en la Figura 23, donde se presenta la separación por muestra, por grupos y variables.

Tabla 14 Parámetros Granulométricos: Diámetro máximo de las partículas (μm) correspondientes a los D_{10} , D_{40} , D_{50} , D_{60} y D_{90} por muestra. Coeficiente de uniformidad de las muestras (Uc).

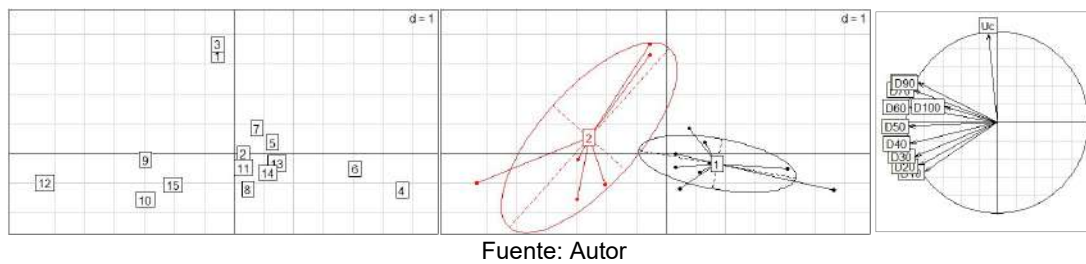
Muestra	D_{10}	D_{40}	D_{50}	D_{60}	D_{90}	Uc	
01	16	85	130	200	593	12.8	BG
02	26	97	125	159	400	6.1	BG
03	15	83	130	202	603	13.6	BG
04	14	40	48	57	96	4.2	U
05	22	80	109	143	378	6.5	BG
06	16	48	61	76	177	4.8	U
07	21	95	148	189	343	8.8	BG
08	35	100	122	149	319	4.3	U
09	31	158	191	229	505	7.4	BG
10	52	145	177	216	497	4.1	U
11	30	100	128	161	364	5.3	BG
12	64	183	241	317	644	4.9	U
14	27	75	95	121	407	4.5	U
15	29	85	105	132	365	4.5	U
16	45	129	159	196	504	4.4	U
Max	64	183	241	317	644	14	
Min	14	40	48	57	96	4	

Figura 22 Distribución de parámetros granulométricos, según el diámetro máximo de las partículas (μm) para cada intervalo de acumulación D_{10} , D_{20} , D_{30} , D_{40} , D_{50} , D_{60} , D_{70} , D_{80} , D_{90} , D_{100} y el coeficiente de uniformidad Uc



Fuente: Autor

Figura 23 Análisis de los parámetros granulométricos por muestra, por grupos y por variables.



Del PCA se puede decir que las muestras son homogéneas en su mayoría en cuanto a las características físicas. También se evidencia que la variable que determina mayores diferencias entre muestras es el D_{50} y por lo tanto es posible hacer análisis posteriores tomando únicamente ese parámetro, de acuerdo con esto las muestras 9, 10, 12 y 15 tienen valores de D_{50} altos y las muestras 4 y 6 valores bajos, $50\ \mu\text{m}$ y $65\ \mu\text{m}$ respectivamente. Lo anterior teniendo en cuenta que las demás muestras tienen un D_{50} alrededor de las $100\ \mu\text{m}$. Los valores más altos de U_c los tienen las muestras 1 y 3, correspondientes al desarenador occidental las cuales a su vez tienen menor cantidad de partículas finas.

Para el total de los sedimentos analizados no se evidencia una gran variación entre los diámetros siendo la mayoría de las muestras del desarenador occidental bien graduadas a diferencia de las muestras del desarenador oriental las cuales son en su mayoría uniformes. En este estudio el valor de los D_{50} varía entre $48\ \mu\text{m}$ y $241\ \mu\text{m}$ con una mediana de $128\ \mu\text{m}$. La variación de los porcentajes acumulados y del coeficiente de uniformidad se presentan en la Figura 22.

Diferentes autores han analizado la distribución de los tamaños de las partículas de sedimentos tomados en diferentes zonas y han encontrado una amplia variación en los diámetros de los sedimentos medidos demostrando que aún no se puede establecer un estándar de los diámetros de los sedimentos, tal como se muestra a continuación.

La mayoría de estudios se han realizado en zonas con tráfico vehicular como el análisis de los diámetros de las partículas realizado por (Winston y Hunt 2017) en ocho carreteras diferentes en Carolina del Norte, Estados Unidos donde tomaron muestras de escorrentía en el borde del pavimento encontrando variaciones del D_{10} entre $9\ \mu\text{m}$ y $31\ \mu\text{m}$; D_{50} entre $32\ \mu\text{m}$ y $167\ \mu\text{m}$; D_{90} entre $72\ \mu\text{m}$ y $594\ \mu\text{m}$; C_u entre 4.1 y 6.3. De la misma forma (Monrabal-Martinez, Muthanna, y Meyn 2016) analizaron los sedimentos en vías en la ciudad de Trondheim, Noruega, encontrando valores promedios de D_{10} , D_{50} y D_{90} de $1.16\ \mu\text{m}$, $7.37\ \mu\text{m}$ y $80\ \mu\text{m}$ respectivamente.

Adicionalmente se han tomado muestras en sistemas de recepción y transporte de agua lluvia como lo hizo (Selbig 2015) quien analiza los tamaños de los sedimentos suspendidos en diferentes zonas, encontrando en un colector de agua lluvia un diámetro medio (D_{50}) de $8\ \mu\text{m}$; en una zona de parqueadero, en la zona residencial y de uso mixto los valores de D_{50} son $32\ \mu\text{m}$, $80\ \mu\text{m}$ y $95\ \mu\text{m}$ respectivamente. Así como el estudio realizado por (Ma y Zhu 2014) en el que se tomaron muestras en sumideros y se encontró que cerca del 10% de los sedimentos son menores a los $100\ \mu\text{m}$, el rango del 25% al 60% tiene diámetros entre $100\ \mu\text{m}$ y $400\ \mu\text{m}$; las partículas con diámetro superior a $400\ \mu\text{m}$ hace parte de 40% al 70% de la muestra. Por su parte (Faram, Iwugo, y Andoh 2007) en el estudio realizado en Escocia, Inglaterra e Irlanda en sistemas de agua lluvia encontraron valores de D_{50} entre $11\ \mu\text{m}$ y $112\ \mu\text{m}$, en zonas urbanas incluyendo parques y pasajes residenciales.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto los diámetros medios de los sedimentos analizados varían entre 8 μm y 400 μm en los sitios de estudio analizados, rango en el cuál se encuentran los diámetros medios analizados en este estudio.

Como prueba adicional para determinar si existen diferencias significativas entre los sedimentos recolectados se utilizaron los seis datos calculados para cada D durante las 9 campañas del desarenador oriental, esto con el propósito de comparar los resultados obtenidos en una campaña con las demás haciendo uso del test de Wilcoxon p-value, encontrando que hay diferencias significativas entre los valores de los diámetros calculados de una campaña a otra como se muestra en la Tabla 15 para el D_{50} , demostrando que los diámetros de los sedimentos varían constantemente, esto se puede atribuir a las variaciones climáticas. Los resultados de este análisis se pueden consultar en el Anexo B.

Tabla 15 Test de Wilcoxon p-value por evento para los diámetros de D_{50} calculados en el desarenador oriental.

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.002	0.002	0.093	0.002	0.093	0.002	0.002	0.002
2	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
3	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
4	0.093	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
5	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.093	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002
7	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002
8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.065
9	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.065	1

4.1.2. Características Químicas

Con los ensayos de caracterización química se busca determinar el grado de contaminación de los sedimentos retenidos en los desarenadores del humedal construido de la PUJ para así determinar si es posible hacer uso de estos. De la misma manera que se hizo para el análisis físico inicialmente se realiza una comparación de los resultados obtenidos por desarenador para determinar si hay diferencias significativas entre los desarenadores mediante el test de Wilcoxon para TOC (p-value = 0.3) y para Metales (Cu p-value = 0.01, Cr p-value = 0.25, Pb p-value = 0.06, Zn p-value = 0.1), por lo que es posible analizar las características químicas de los sedimentos de ambos desarenadores de forma conjunta a pesar de tener diferencias significativas en las concentraciones de Cu y Pb.

Como prueba adicional para determinar si existen diferencias significativas entre los sedimentos recolectados se utilizaron los tres datos de concentraciones calculados para los metales analizados por el ICP durante las 9 campañas del desarenador oriental, esto con el propósito de comparar los resultados obtenidos en una campaña con las demás haciendo uso del test de Wilcoxon p-value, encontrando que no hay diferencias significativas entre los valores de concentraciones calculados de una campaña a otra como se muestra en la Tabla 16 para el Cu. Los resultados de este análisis se pueden consultar en el Anexo B.

Tabla 16 Test de Wilcoxon p-value por evento para concentraciones de Cu calculadas en el desarenador oriental.

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
2	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7
3	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7
4	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.4
6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	1.0	0.4
7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.7
8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1	0.4
9	0.4	0.7	0.7	0.4	0.4	0.4	0.7	0.4	1

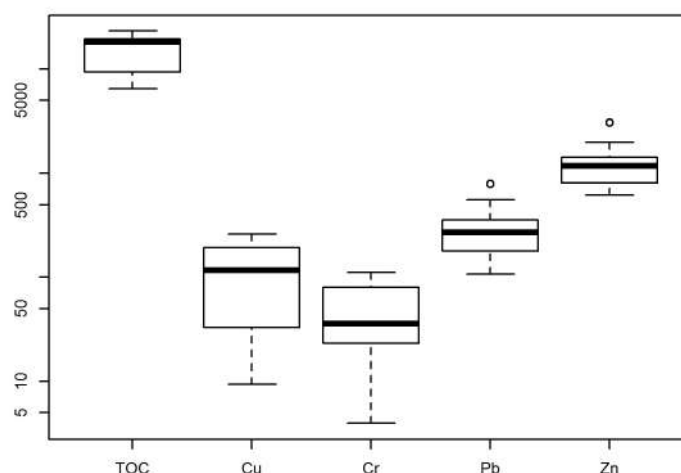
Para determinar el grado de contaminación de los sedimentos se estimaron las concentraciones en mg/kg de los metales Cr, Cu, Pb y Zn, así como las concentraciones de materia orgánica en mg/kg para las muestras (Tabla 17) y se evaluaron las variaciones en cantidades (Figura 24). Las curvas de calibración y las tablas de resultados se pueden consultar en el ANEXO B.

De igual manera se realizó el análisis de componentes principales de las características químicas de los sedimentos determinadas por las medianas de cada muestra las cuales se presentan en la Figura 25, donde se presenta la separación por muestra, evento y variables.

Tabla 17 Concentraciones calculadas en mg/kg en las muestras de sedimentos para Cu, Cr, Pb, Zn y TOC.

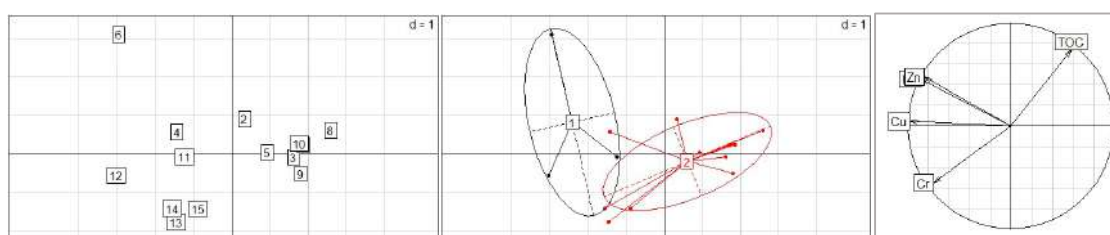
Muestra	Concentración (mg/kg)				
	Cu	Cr	Pb	Zn	TOC
01	28	34	171	892	20427
02	115	18	379	1337	17734
03	34	36	184	746	18621
04	209	78	515	1519	17979
05	44	51	218	1195	18311
06	263	32	799	3067	19851
07	32	11	229	631	18126
08	25	4	107	623	22958
09	9	5	122	877	11795
10	60	28	157	734	21109
11	186	49	331	1962	10064
12	245	111	562	1989	8641
14	187	101	336	1120	6441
15	198	93	337	1341	7182
16	165	81	273	1173	8003

Figura 24 Concentraciones calculadas en mg/kg en las muestras de sedimentos para Cu, Cr, Pb, Zn y TOC.



Fuente: Autor

Figura 25 Análisis de parámetros de calidad por separación por muestra, por clase y por variables



Fuente: Autor

Del PCA se puede decir que las muestras se pueden dividir en dos grupos respecto a las características químicas, en general las muestras analizadas en la segunda jornada, es decir, después de la limpieza del humedal, tienen una calidad diferente a las muestras de la primera jornada, exceptuando las muestras 6 y 4 correspondientes al desarenador oriental. Respecto al análisis de las variables analizadas, como era de esperarse el TOC presenta una variación significativa respecto a los metales, es decir que en cuanto mayores sean las concentraciones de TOC menores serán las concentraciones de metales, siendo la muestra 6 la que tiene mayor TOC y las muestras con menores TOC son la 12, 14, 15 y 16. También se observa que Cu es lo que más determina diferencias entre muestras: las muestras 6 y 12 son las que presentan mayores concentraciones de Cu y las muestras 1, 3, 7, 8, 9 y 10 son las que presentan menores concentraciones.

De acuerdo con los límites establecidos en la Tabla 1 se compararon los resultados de las medianas de los resultados obtenidos por el método semicualitativo para los metales: Ni, Cd, As y Hg. Para los metales Cr, Cu, Pb y Zn se utilizan las medianas de las mediciones tomadas por el método cuantitativo por ICP; dicha comparación se muestra en la Tabla 18 donde por países se expresa con la letra "S" si la concentración medida en los sedimentos se encuentra por debajo de los límites establecidos y de lo contrario se expresa con la letra "N". Se puede observar que los valores de Pb y Zn exceden los límites establecidos para la mayoría de los países

Con el fin de tener una comparación con los análisis realizados para sedimentos recolectados en diferentes lugares del mundo, se recolectó información de concentraciones medidas en sedimentos en vías, humedales naturales y sistemas de

recolección de agua lluvia, encontrando concentraciones muy variables entre los estudios como se muestra a continuación. La variación de los contaminantes puede deberse a las variaciones climáticas, antropogénicas y morfométricas (C. Zafra Mejía, Temprano, y Tejero 2017)

(Karlsson, German, y Viklander 2010) realizaron un estudio de las concentraciones de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) en un estanque diseñado para la remoción de sedimentos en la cuenca de agua lluvia en Gotemburgo, Suecia, en 1998 y en 2006 encontrando que no hay variaciones temporales de Cd, Ni y Zn las cuales se encuentran alrededor de 2 mg/kg, 50 mg/kg, y 1200 mg/kg respectivamente, mientras que para el Cr, Cu y Pb las concentraciones variaron en el tiempo encontrando que los valores de Cu y Pb disminuyeron en 100 mg/kg, mientras que las de Cr aumentaron en 80 mg/kg; los valores de concentraciones medidas en 2006 de Cr 140 mg/kg, Cu 500 mg/kg, para y Pb 120 mg/kg. Las concentraciones de Cu y Cr medidas en esta investigación son alrededor de 4 veces más bajas que las encontradas por los autores, a diferencia del Pb que es alrededor de 2 veces más altas.

(Nasirian et al. 2016) evaluaron los metales pesados presentes en los sedimentos del lecho de dos humedales naturales en Irán, encontrando valores medios para el Cu de 30.36 mg/kg, Cr de 19.12 mg/kg, Pb 9.07 mg/kg y Zn 28.30 mg/kg, mientras que (Lu et al. 2016) analizaron los sedimentos de un humedal en China para determinar la cantidad de nutrientes incluyendo TOC con el fin de determinar los posibles procesos de eutrofización, encontrando concentraciones de TOC entre 3.81 g/kg y 15.6 g/kg. Los valores de las concentraciones de metales y TOC medidos en los humedales naturales en Irán son significativamente más bajos que los del humedal construido de la PUJ, dejando en evidencia las diferencias en los ecosistemas analizados.

En Bogotá, Colombia, (Barreiro, Castañeda, y Zafra Mejía 2015) analizaron los sedimentos depositados en vías encontrando una relación entre el diámetro de la partícula $\leq 63 \mu\text{m}$ y la carga de contaminantes, teniendo mayores concentraciones de Pb (86 mg/kg) y Cu (415 mg/kg), provenientes del desgaste de las llantas y del revestimiento para frenos. En Villavicencio, Colombia, (Trujillo-González et al. 2016) también analizaron los sedimentos en vías en tres zonas con diferentes usos del suelo, en el sector comercial los metales con mayor concentración que se encontraron fueron Pb (1289 mg/kg) y Cu (490 mg/kg); en la zona rural las mayores concentraciones son de Zn (133 mg/kg) y Cu (126 mg/kg) y en la zona residencial se encuentran altas concentraciones de Zn (108 mg/kg). Respecto los resultados obtenidos en este estudio en comparación con los medidos en vías las concentraciones de metales son diferentes, esto puede presentarse por el tipo de análisis realizado ya que en las vías los sedimentos se recolectan directamente en la zona, mientras que en el humedal construido de la PUJ son transportados por escorrentía.

De igual manera (Herath, Pitawala, y Gunatilake 2016) analizaron las características químicas presentes en sedimentos depositados en vías en la ciudad de Colombo, Sri Lanka, encontrando que el contenido de materia orgánica varía entre 4.2% y 12% y para metales determinaron que las concentraciones de Cu, Cr, y Pb son más elevadas en zonas industriales, mientras que el Zn se encuentra en altas concentraciones en zonas comerciales. La presencia de Pb, Cd y Zn en los sedimentos se encuentra relacionada con el uso de combustibles fósiles, desgaste de neumáticos, pastillas de frenos o aceites utilizados en los vehículos, mientras que el Cr y el Cu proviene del desgaste de accesorios metálicos o cromados ((Trujillo-González 2014).

Tabla 18 Comparación de la concentración de metales encontrados con los límites permisibles por país [mg/kg]. Indicándose con la letra S los parámetros que se encuentran por debajo de los límites y con la letra N los parámetros superiores a los límites establecidos por cada país.

PAÍS	CANADÁ - ESTADOS UNIDOS								AUSTRALIA – NUEVA ZELANDA								HONG KONG (CHINA)								HOLANDA								NORUEGA								
Muestra	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn	
Límite	29	0.8	100	36	85	0.3	35	140	70	10	370	270	220	1	52	410	42	4	160	110	110	1	40	270	29	0.8	##	36	85	0.3	35	140	-	1	-	150	120	0.6	-	-	
01	S	S	S	S	N	S	S	N	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S	S	N	S	S	N	S	N	S	S	N	S	S	N	S	N	S	S	N	S	S	S	S
02	S	S	S	S	N	N	N	N	S	S	S	S	N	S	S	N	S	S	S	N	N	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	N	S	S	N	N	S	S	S
03	S	S	S	S	N	S	S	N	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S	S	N	S	S	N	S	N	S	S	N	S	S	N	S	N	S	S	N	S	S	S	S
04	N	S	S	N	N	N	N	N	S	S	S	S	N	S	N	N	S	S	S	N	N	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	S	S	S
05	N	S	S	S	N	S	S	N	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S	S	N	S	S	N	S	N	S	N	N	S	S	N	S	N	S	S	N	S	S	S	S
06	N	N	S	N	N	N	N	N	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	S	S	S
07	S	S	S	S	N	N	S	N	S	S	S	S	N	N	S	N	S	S	S	S	N	N	S	N	S	N	S	S	N	N	S	N	S	S	S	S	N	N	S	S	S
08	S	S	S	S	N	N	S	N	S	S	S	S	S	N	S	N	S	S	S	S	S	N	S	N	S	N	S	S	N	N	S	N	S	N	S	S	S	N	S	S	S
09	S	S	S	S	N	N	S	N	S	S	S	S	S	N	S	N	S	S	S	S	N	N	S	N	S	N	S	S	N	N	S	N	S	N	S	S	N	N	S	S	S
10	S	S	S	S	N	N	S	N	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S	S	N	S	S	N	S	N	S	N	N	N	S	N	S	N	S	S	N	N	S	S	S
11	N	S	S	S	N	N	S	N	S	S	S	S	N	S	S	N	S	S	S	N	N	S	S	N	S	N	S	N	N	N	S	N	S	N	S	N	N	N	S	S	S
12	N	S	N	N	N	S	N	N	S	S	S	S	N	S	S	N	S	S	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	S	S	S	S
14	S	S	N	S	N	S	S	N	S	S	S	S	N	S	S	N	S	S	S	N	N	S	S	N	S	N	N	N	N	S	S	N	S	N	S	N	N	S	S	S	S
15	S	S	N	N	N	S	S	N	S	S	S	S	N	S	S	N	S	S	S	N	N	S	S	N	S	N	S	N	N	S	S	N	S	N	S	N	N	S	S	S	S
16	S	S	S	S	N	S	S	N	S	S	S	S	N	S	S	N	S	S	S	N	N	S	S	N	S	N	S	N	N	S	S	N	S	N	S	N	N	S	S	S	S

CANADÁ - ESTADOS UNIDOS: Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (CCME 2001)

AUSTRALIA – NUEVA ZELANDA: National Water Quality Management Strategy (ANZECC 2000)

HONG KONG (CHINA): Sediment Quality (Ove Arup & Partners Hong Kong Ltd 2009)

HOLANDA: Dutch Target and Intervention Values (Ministerie van Volkshuisvesting 2000)

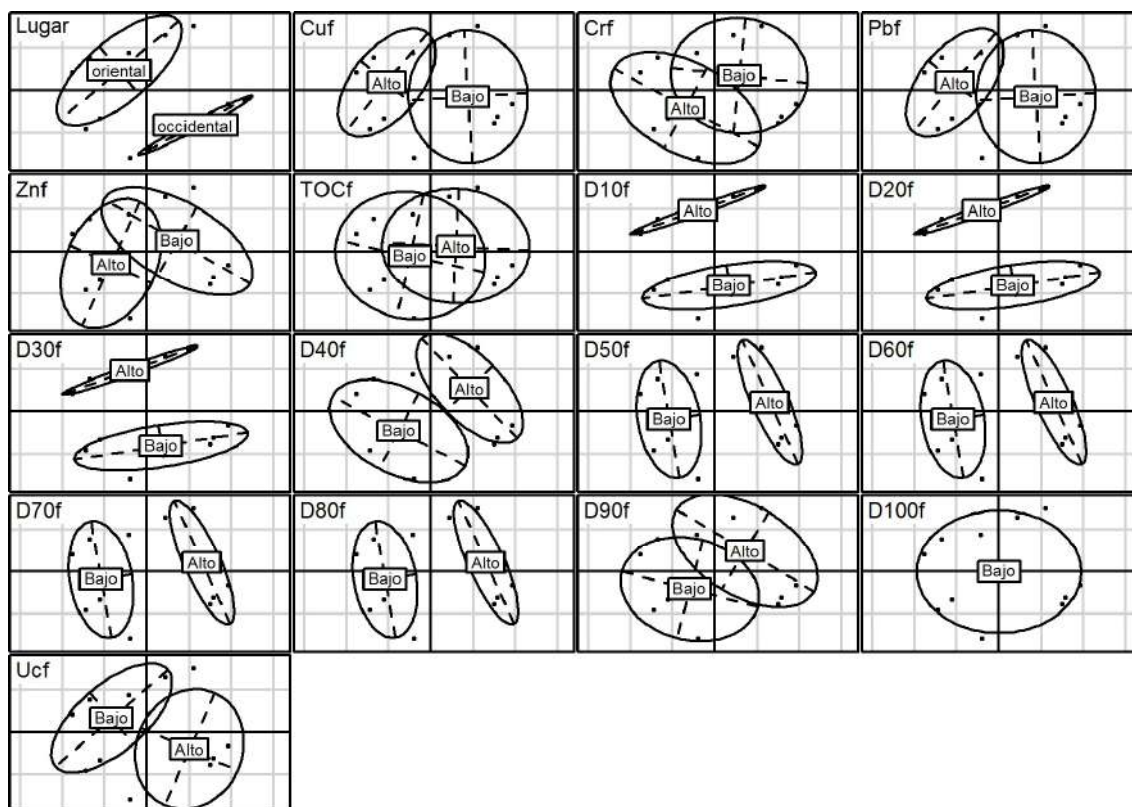
HOLANDA: Development of sediment quality criteria in Norway (Bakke et al. 2010)

Los valores de concentraciones de metales encontrados por los autores mencionados anteriormente y los encontrados en esta investigación en la mayoría de los casos varían significativamente. En el caso del Cu las concentraciones medidas en vías y en el estanque son alrededor de 2.5 veces más altas que las medidas en el desarenador oriental y 15 veces más altas que las encontradas en el desarenador occidental las cuales coinciden con los valores encontrados en los humedales naturales de Irán.

4.1.3. Relación características Físicas y Químicas

Se realizó un análisis multivariado de las características físicas y químicas de los sedimentos recolectados, con el fin de determinar las relaciones que se puedan presentar entre los diámetros de las partículas y las concentraciones medidas. Este análisis se hace de forma categórica convirtiendo las variables numéricas en factores “Alto” y “Bajo” y se hace uso de la herramienta MCA descrita en el numeral 2.5. Para este análisis sí se hace una separación de las variables por lugar: “Occidental”, “Oriental”. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 26.

Figura 26 Análisis de variables granulométricas y de calidad en conjunto de forma categórica por MCA.



Fuente: Autor

Del análisis de MCA respecto a la granulometría se puede decir que el desarenador oriental tiene valores altos para los diámetros menores al D_{50} ($<100\mu\text{m}$) y el desarenador occidental tiene valores altos para los diámetros mayores al D_{50} (entre $100\mu\text{m}$ y $450\mu\text{m}$) es decir, que las partículas del desarenador oriental se pueden considerar más finas y las del desarenador occidental más gruesas y en concordancia con los analizado en el numeral 4.1.1 el desarenador oriental tiene valores de U_c más bajos.

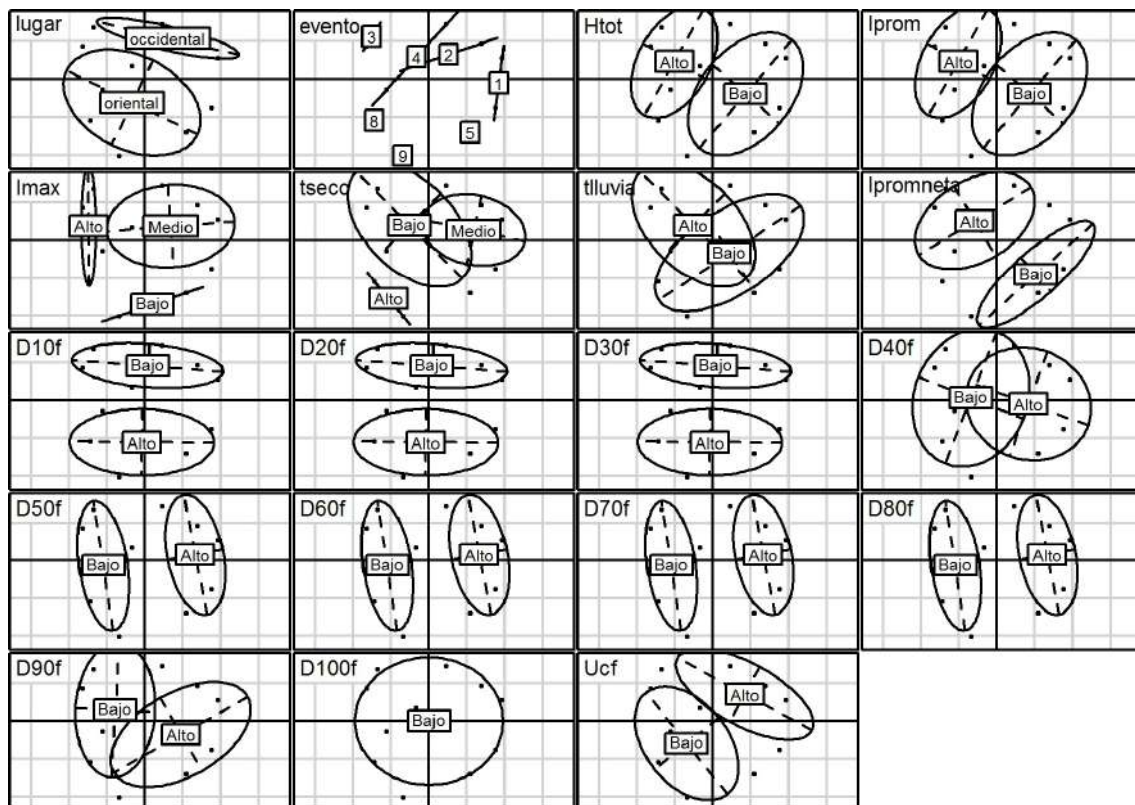
Respecto a las concentraciones el desarenador oriental presenta concentraciones más altas para Pb y Cu, y a su vez están relacionadas con las partículas finas de la muestra,

es decir las de diámetro menor a $75\mu\text{m}$. Este resultado puede ser por lo que los sedimentos provienen del área de parqueaderos. Lo anterior concuerda con el estudio realizado por (Gunawardana, Egodawatta, y Goonetilleke 2014) el 60% de la concentración de metales se encuentra en partículas menores a los $150\mu\text{m}$ y el 40% está asociado a las partículas más gruesas de la misma forma ocurre con el TOC, para el cual las altas concentraciones se encuentran asociadas a partículas de menor tamaño.

4.1.4. Características hidrológicas.

Como producto adicional se busca identificar la relación entre las características hidrológicas del sector y las características físicas y químicas medidas en el laboratorio para los sedimentos recolectados en los desarenadores del humedal construido de la PUJ, esto teniendo en cuenta que en ciudades tropicales se ha realizado poca investigación en cuencas urbanas donde la precipitación tiende a ser alta intensidad en un periodo corto (Chow, Yusop, y Abustan 2015). Este análisis se realiza en forma categórica, discriminando las concentraciones calculadas y los parámetros granulométricos en categorías “Alto” y “Bajo”. El análisis se hace utilizando las herramientas descritas en el numeral 2.5.

Figura 27 Análisis de variables hidrológicas y granulométricas en conjunto de forma categórica por MCA.



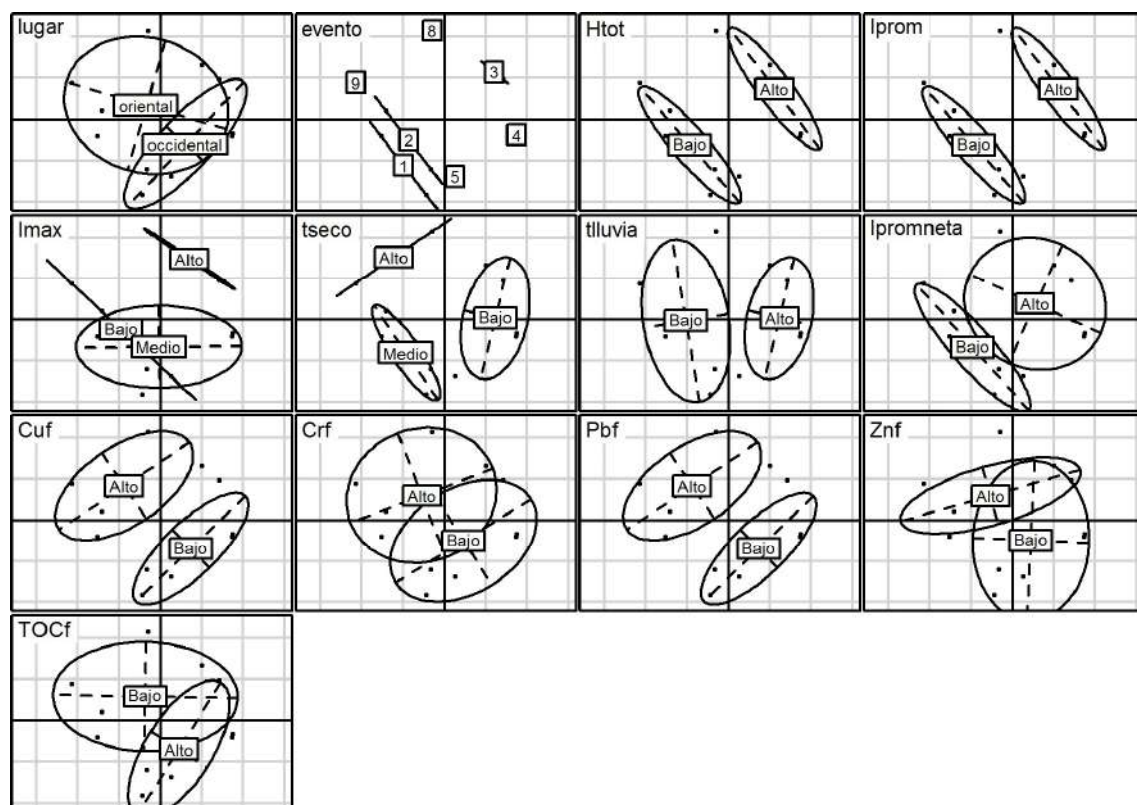
Fuente: Autor

Para el análisis realizado en este estudio se utilizaron los datos granulométricos discriminados por desarenador como se muestra en la Figura 27. Se puede afirmar que existe una relación inversa entre altura total de precipitación (H_{tot}), Intensidad promedio (l_{prom}), Intensidad máxima ($l_{máx}$), e intensidad promedio ($l_{prom-neto}$) y los diámetros de las partículas gruesas correspondientes al D_{50} en adelante ($150\mu\text{m}$ a $400\mu\text{m}$); es decir que a mayor sea la altura la lámina de agua o mayor intensidad de la lluvia menores

serán los diámetros de las partículas que llegarán a los desarenadores. Las variables lmax en las categorías alto y medio, tiempo seco (tsec) en las categorías bajo y medio e lpromneta en la categoría alto, tienen una relación con los valores bajos de partículas finas, es decir que valores bajos de estos diámetros tienen una relación con los valores alto y medio de la Intensidad máxima, los valores bajo y medio del tiempo seco y los valores altos de la Intensidad promedio neta.

De acuerdo con los resultados obtenidos por (Winston y Hunt 2017) de los sedimentos recolectados durante 43 eventos de escorrentía sobre vías con asfalto, afirmaron que el tamaño medio de los sedimentos analizados se disminuye con el aumento de la duración de la precipitación y en algunas ocasiones se encontró relación entre la precipitación máxima y el tamaño máximo de las partículas. Al igual que (Barreiro, Castañeda, y Zafra Mejía 2015) estudiaron la relación de los metales Pb y Cu en sedimento vial encontrando que hay mayor acumulación de estos metales en periodos de tiempo seco, mientras que en la época de aumento de la precipitación se evidencia una remoción de los metales producto de la escorrentía superficial. Lo anterior concuerda con lo encontrado en esta investigación donde se realizó un análisis para determinar la relación entre la calidad de los sedimentos y la hidrología del sector como se muestra en la Figura 28. Se puede observar que para valores de tseco e lmax alto se presentan mayores concentraciones de los metales analizados y bajas concentraciones de TOC

Figura 28 Análisis de variables hidrológicas y de calidad en conjunto de forma categórica por MCA



Fuente: Autor

4.1.5. Escenarios hidrológicos

En este apartado se busca analizar la variabilidad de las concentraciones de los metales mediante MCA teniendo en cuenta cambios en los escenarios hidrológicos tomando únicamente los valores altos, bajos o medios para cada variable analizada teniendo un

total de cuatro escenarios, esto se analiza con el fin de encontrar si es posible tener un escenario en el que la calidad de los sedimentos sea óptima y así aumentar los usos de los sedimentos, los resultados de los escenarios en relación con los usos se presentan en el numeral 4.2.4. En este análisis se consideran valores bajos de las concentraciones que son menores a Cu =100 mg/kg, Cr=35 mg/kg, Pb = 250 mg/kg y Zn = 1000 mg/kg. El código desarrollado para realizar este análisis se puede consultar en el ANEXO A y las gráficas de los resultados en el ANEXO B.

Escenario 1 Htot Iprom

En este escenario se busca analizar el comportamiento de las variables teniendo en cuenta los valores altos de Htot e Iprom que corresponden a los eventos 3, 4 y 8. Se puede decir que entre mayor sea la intensidad de la precipitación y la altura total del evento de lluvia, menores serán las concentraciones de metales pesados en los sedimentos, disminuyendo las concentraciones de metales en un 5% respecto a la totalidad de las eventos analizados, esta situación mejora la calidad de los sedimentos para los posibles usos.

Escenario 2 tsec y tlluvia

En este escenario se busca analizar el comportamiento de las variables teniendo en cuenta los valores altos de tlluvia y bajos de tsec que corresponden a los eventos 3, 4 y 5. Se puede decir que entre mayor sea la cantidad de días con lluvia consecutivos o menor número de días en tiempo seco, las concentraciones en los sedimentos disminuyen en un 25% para Cu, Cr y Pb y en un 5% para el Zn y se tendrán mayores concentraciones de TOC con un aumento del 15%. Caso contrario ocurre cuando las precipitaciones disminuyen y aumentan los días de tiempo seco generando el aumento de las concentraciones de metales pesados y la disminución de la materia orgánica, cambiando en su totalidad los usos en los que pueden ser empleados los sedimentos. Diferentes autores han coincidido con este comportamiento de los contaminantes en los sedimentos afirmando que entre mayor sea el periodo seco, se aumentan las partículas finas y la carga de contaminantes (Chow, Yusop, y Abustan 2015); (Chow, Yusop, y Abustan 2015).

Escenario 3 Ipromneta

En este escenario se busca analizar el comportamiento de las variables teniendo en cuenta los valores altos de Ipromneta. Se presenta un aumento del 10% Cr respecto al aumento de la Intensidad Promedio Neta y no se encuentra relación con el Zn y el TOC, sin embargo, en el desarenador occidental se presentarán valores menores para el Cu y el Pb. En general para los demás metales y el TOC la disminución de las concentraciones se encuentra alrededor del 5%.

Escenario 4 Imax

En este escenario se busca analizar el comportamiento de las variables teniendo en cuenta los valores medios de Imax. A diferencia del escenario 3, en este escenario se las concentraciones de Cr son bajas para Intensidades máximas con valores medios, respecto a las demás variables bajo esta condición el desarenador occidental tiene valores bajos para los demás metales y altos para TOC contrario a lo que ocurre con el desarenador oriental. En general las concentraciones de metales pesados mejoran en un 15% y la de TOC aumenta en un 5%.

4.1.6. Análisis de robustez.

Este análisis se realizó para determinar si las campañas analizadas fueron suficientes. Esto se realiza eliminando de una en una las campañas (eventos) medidos y analizando el comportamiento que presentan en el análisis categórico por MCA. Los gráficos de MCA se encuentran disponibles en el ANEXO B

De este análisis se puede concluir que el número de eventos analizados es suficiente para determinar los usos en los que pueden ser empleados los sedimentos, ya que no se presentan variaciones significativas en el comportamiento de las variables al eliminar una campaña. En algunos casos se presentan variaciones en la distribución de los granos finos (D10., D20, D30, D40), así como en las concentraciones de metales. Como se mencionó anteriormente estas variaciones no afectan la utilidad de los sedimentos.

4.2. Posibles Usos.

De acuerdo con lo descrito en el numeral 2.4 se evalúan los posibles usos de los sedimentos teniendo en cuenta las condiciones establecidas por las diferentes autoridades ya mencionados, como lo son la construcción, la agricultura, el restablecimiento de suelos, entre otros. En las tablas de evaluación presentadas en este capítulo se representa con la letra S los valores de las concentraciones medidas que se encuentran por debajo del límite establecido por la norma del RAS 2000 título F y con la letra N las concentraciones que exceden el límite establecido.

En Bogotá, Colombia, se han realizado estudios para la reutilización de sedimentos recolectados en pozos de sistemas de agua lluvia, encontrando que pueden ser utilizados como puzolanas y cemento portland, en algunos casos se debe adicionar carbonato de calcio para satisfacer la demanda, además estos sedimentos podrían ser utilizados como material para agricultura o construcción (Pérez et al. 2016).

Bajo los mismos criterios se analizan los posibles usos en los que pueden ser utilizados los sedimentos teniendo en cuenta los escenarios planteados en el numeral 4.1.5. los cuales fueron creados con el fin de determinar si es posible mejorar la calidad de los sedimentos bajo ciertas condiciones de precipitación y así aumentar los posibles usos en los que puedan ser empleados.

4.2.1. Como material para uso agrícola

Se presume que los sedimentos recolectados serían aptos para la agricultura y la jardinería porque no influye significativamente el tamaño de las partículas además de tener alto contenido de materia orgánica. La materia orgánica aumenta la capacidad de retención del agua de los suelos arenosos, facilita el drenaje en suelos pesados, reduce la alcalinidad excesiva de los suelos calcáreos y, en general, favorece al enraizamiento de las plantas (Firtiberia 2016).

De acuerdo con los parámetros establecidos en la Tabla 11 se comparan los resultados obtenidos por desarenador según las concentraciones medidas en mg/kg por el método cuantitativo para Cr, Cu, Pb y Zn por ICP y por el método semicualitativo para Cd, Ni, As, Hg y Se para determinar si es posible su uso o no en actividades agrícolas (Tabla 19).

Tabla 19 Evaluación de los sedimentos analizados por desarenador y por campaña para el uso de la Categoría A. Uso agrícola. Con la letra S se identifican los sedimentos que tienen concentraciones inferiores al límite establecido y con la letra N las que exceden el límite establecido.

CATEGORÍA A – AGRÍCOLA											
Desarenador	Campaña	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg	Se	APTO
Occidental	1	N	S	S	S	N	N	S	S	S	S
	2	N	S	S	S	N	N	S	S	S	S
	3	N	S	S	S	N	N	N	S	S	N
	4	N	S	S	N	N	N	S	N	S	N
Oriental	1	N	S	N	N	N	N	S	N	S	N
	2	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N
	3	N	S	N	N	N	N	N	N	S	N
	4	N	S	S	N	N	N	S	N	S	N
	5	N	S	S	N	N	N	S	N	S	N
	6	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N
	7	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N
	8	N	N	N	S	N	N	S	S	S	N
	9	N	N	N	S	N	N	S	S	S	N

Los sedimentos provenientes de ambos desarenadores no se consideran aptos para la agricultura o como abono orgánico no húmico de suelos y praderas de pastoreo. De acuerdo con este análisis los sedimentos del desarenador occidental tienen mayor posibilidad de ser utilizados como material para agricultura, sin embargo, las concentraciones de Pb y Zn son muy altas en comparación con el límite exigido por la norma.

El Zn es un elemento denominado como oligoelemento y sirve como nutriente para los cultivos en pequeñas cantidades y son necesarios para el ciclo vital de las plantas, sin embargo, en altas concentraciones el Zn se convierte en tóxico, a diferencia del Pb que no provee ningún beneficio biológico conocido y tiende a acumularse en los seres vivos. Al tener niveles que sobrepasan los límites de metales pesados en el suelo de agricultura afectan el crecimiento de las plantas y al ser elementos que no se degradan pasan fácilmente a ser parte de la cadena alimenticia (Méndez et al. 2009). Las concentraciones límites para el Pb en niños, adultos, mujeres embarazadas y animales son de 10 µg/dL, 25 µg/dL, 5 µg/dL y 30 mg/kg respectivamente y se asocia a enfermedades como anemia hemolítica, neuropatías y encefalopatías; por su parte el Zn puede generar intoxicación cuando se ingiere cantidades superiores a los 150 g/kg, adicionalmente se encuentra asociado a enfermedades como el cáncer de próstata y alteraciones en el sistema inmune (Trujillo-González 2014).

4.2.2. Como material de construcción, remediación de suelos

De acuerdo con los parámetros establecidos en la Tabla 11 Valores Permisibles en la Materia Orgánica Estabilizada. Adaptada de Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio 2012 Tabla 11 se comparan los resultados obtenidos por desarenador según las concentraciones medidas en mg/kg por el método cuantitativo para Cr, Cu, Pb y Zn por ICP y por el método semicualitativo para Cd, Ni, As, Hg y Se para determinar si es

posible su uso o no en actividades relacionadas con otros usos de la categoría A (Tabla 20)

Tabla 20 Evaluación de los sedimentos analizados por desarenador y por campaña para el uso de la Categoría A. Otros usos. Con la letra S se identifican los sedimentos que tienen concentraciones inferiores al límite establecido y con la letra N las que exceden el límite establecido.

CATEGORÍA A – OTROS USOS											
Desarenador	Campaña	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg	Se	APTO
Occidental	1	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	2	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	3	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	4	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Oriental	1	S	S	S	S	N	S	S	S	S	S
	2	S	S	S	S	N	S	S	S	S	S
	3	S	S	S	S	N	N	S	S	S	S
	4	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	5	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	6	S	S	S	S	N	S	S	S	S	S
	7	S	S	S	S	N	S	S	S	S	S
	8	S	S	S	S	N	S	S	S	S	S
	9	S	S	S	S	N	S	S	S	S	S

Los sedimentos de los dos desarenadores son aptos de acuerdo con la clasificación de la categoría A - otros usos a pesar que en algunas muestras tomadas en el desarenador oriental sobrepasan los límites de Pb permitidos para estos usos.

Tabla 21 Evaluación de los sedimentos analizados para ser utilizados como material de relleno. Con la letra S se identifican los sedimentos que tienen concentraciones inferiores al límite establecido y con la letra N las que exceden el límite establecido.

Desarenador	Campaña	Tamaño máx (µm)	% pasa 2mm	% pasa 75µm	% MO	APTO
Occidental	1	S	S	N	N	N
	2	S	S	N	N	N
	3	S	S	N	N	N
	4	S	S	N	N	N
Oriental	1	S	S	S	N	S
	2	S	S	N	N	N
	3	S	S	N	N	N
	4	S	S	S	N	S
	5	S	S	S	N	S
	6	S	S	N	N	N
	7	S	S	S	N	S
	8	S	S	N	N	N
	9	S	S	N	N	N

De acuerdo con la granulometría de las muestras, se considera que el material es muy fino para ser utilizado como material para la mayoría de las actividades relacionadas con la construcción. Sin embargo, el material puede ser apto para rellenos de estructuras de concreto y alcantarillas en la zona de núcleo o cimiento según los

parámetros determinados por (INVIAS 2012) los cuales se presentan en la Tabla 12. De acuerdo con los análisis realizados a los sedimentos se comparan los valores obtenidos con los valores permitidos con el fin de determinar si son aptos o no como se muestra en la Tabla 21 donde se evidencia que cumple con la mayoría de las características físicas para ser usado dentro de la categoría de suelo tolerable, pero el alto contenido de materia orgánica no favorece su utilización.

4.2.3. Otros Usos

De acuerdo con los parámetros establecidos en la Tabla 11 se comparan los resultados obtenidos por desarenador según las concentraciones medidas en mg/kg por el método cuantitativo para Cr, Cu, Pb y Zn por ICP y por el método semicualitativo para Cd, Ni, As, Hg y Se para determinar si es posible su uso o no en actividades relacionadas con los usos de la categoría B (Tabla 22).

Los sedimentos recolectados en los desarenadores del humedal artificial de la PUJ se consideran aptos para ser utilizados en los usos de la clasificación B establecida por el RAS 2000 título F, teniendo en cuenta que las concentraciones medidas se encuentran en su totalidad por debajo de los límites establecidos.

Esto quiere decir que los sedimentos pueden ser empleados en el restablecimiento de suelos que no sea de uso agrícola, además de poderse utilizar como ornato en zonas recreativas o de jardinería.

Tabla 22 Evaluación de los sedimentos analizados, respecto a las concentraciones de metales en mg/kg. Categoría B

CATEGORÍA B											
Desarenador	Campaña	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg	Se	APTO
Occidental	1	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	2	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	3	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	4	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Oriental	1	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	2	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	3	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	4	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	5	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	6	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	7	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	8	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	9	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

4.2.4. Posibles usos según los escenarios hidrológicos.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del análisis categórico según los escenarios planteados se presentan los posibles resultados respecto a los usos que

podrían tener los sedimentos (Tabla 23), sin embargo, no se presentan diferencias significativas respecto a los usos establecidos anteriormente y esto se debe a las concentraciones de Pb y Zn presentes en los sedimentos que exceden los límites establecidos para el uso agrícola.

Tabla 23 Posibles usos según los escenarios planteados con la letra N se muestran los parámetros que exceden los límites establecidos y con la letra S los que se encuentran bajo los límites.

CATEGORÍA A – AGRÍCOLA					
Escenario	Cr	Cu	Pb	Zn	APTO
1	S	S	N	N	N
2	S	S	N	N	N
3	N	S	N	N	N
4	S	S	N	N	N
CATEGORÍA A - OTROS USOS					
Escenario	Cr	Cu	Pb	Zn	APTO
1	S	S	S	S	S
2	S	S	S	S	S
3	S	S	S	S	S
4	S	S	S	S	S

CATEGORÍA B					
Escenario	Cr	Cu	Pb	Zn	APTO
1	S	S	S	S	S
2	S	S	S	S	S
3	S	S	S	S	S
4	S	S	S	S	S

5. CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo por objetivo establecer las condiciones de calidad de los sedimentos retenidos en sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias de escorrentía para su potencial aprovechamiento como material productivo, para lo cual se recolectaron sedimentos en los dos desarenadores del humedal construido de la Pontificia Universidad Javeriana Bogotá. Este humedal recibe el agua lluvia de la zona de parqueaderos en el desarenador oriental y de la cancha de fútbol en el desarenador occidental para luego utilizarla en actividades como el riego de jardines o lavado de fachadas y senderos. Los sedimentos son recolectados con unas trampas diseñadas especialmente para el desarrollo de la investigación, ya que se buscaba determinar las características físicas (granulometría) y químicas (concentración de metales y carbono orgánico total) de los sedimentos recolectados en periodos de tiempo quincenales. Estas trampas en lo posible debían ser pequeñas para no interferir en el flujo del agua de los desarenadores y debían ser estables para evitar que fueran volteadas por el flujo del agua y evitar la pérdida de muestra durante la extracción. En cada desarenador se ubicaron 4 trampas con el propósito de recolectar la mayor variedad de sedimentos. Los resultados de características químicas medidos en laboratorio fueron comparados con los límites establecidos en normas de diferentes países alrededor del mundo, encontrando que las concentraciones de metales como el Pb y el Zn exceden dichos parámetros, lo que se puede atribuir a los vehículos que transitan por la zona y sus alrededores, teniendo en cuenta que estos metales provienen en su mayoría del desgaste de las llantas, de los frenos y de los aceites y lubricantes que son utilizados en la industria automotriz (Trujillo-González 2014). Se recomienda para futuros estudios analizar de forma separada las partículas gruesas de las finas (esto se puede hacer por paneles de los desarenadores) con el fin de determinar si es posible tener mejoras en la calidad de los sedimentos o disminución de las concentraciones de metales y TOC (Pétavy, Ruban, y Conil 2009).

Del análisis de resultados de las características físicas y químicas de los sedimentos, estas últimas son las más influyentes en el posible uso de los sedimentos como material productivo debido a que las altas concentraciones de contaminantes especialmente de Pb y Zn pueden restringir su uso. De acuerdo con esto, los sedimentos recolectados de los desarenadores del humedal construido se consideran aptos para ser utilizados como material productivo en actividades como la remediación y revegetalización de suelos que no sean para uso agrícola; en procesos de oxidación o reducción térmica; como material para áreas destinadas al ornato y la recreación y todos los usos correspondientes a la Categoría B y categoría A -otros usos del título F del RAS 2000 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio 2012). Esto quiere decir que no es necesario considerar los sedimentos como desechos, siendo esta una de las prácticas más comunes para el manejo de los sedimento (Akcil et al. 2015). Es posible darles un uso en actividades que no tengan contacto directo con los seres vivos; específicamente en el caso de Bogotá se genera una alternativa para que estos no sean dispuestos en el predio de Gibraltar (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá 2010), práctica que se lleva a cabo hasta la fecha con todos los sedimentos extraídos de diferentes cuerpos de agua sin ningún tratamiento o análisis (Barreiro, Castañeda, y Zafra Mejía 2015).

Los sedimentos recolectados de acuerdo con las concentraciones de metales medidas se consideran aptos como material de construcción o para la estabilización de taludes en proyectos de la red vial nacional secundaria o terciaria. Sin embargo, por considerarse de partículas muy finas, $D_{50} < 150 \mu\text{m}$, se restringen los usos en el área de la construcción, quedando la posibilidad de ser utilizados como material de relleno de estructuras de concreto y alcantarillas en la zona de núcleo o cimiento. Pero este uso

se encuentra restringido por los altos contenidos de carbono orgánico total encontrados en los sedimentos, especialmente en el desarenador occidental los cuales se encuentran alrededor del 20% del peso seco de la muestra. En el caso en que los sedimentos analizados fueran de granos más gruesos se recomienda realizar un análisis más exhaustivo de los contenidos de materia orgánica ya que esta tiende a disminuir a medida que el tamaño de la partícula aumenta según lo analizado por otros autores en sedimentos recolectados en vías que encontraron concentraciones cercanas al 12% (Herath, Pitawala, y Gunatilake 2016). También se recomienda exponer a los sedimentos a un tratamiento para disminuir la carga de carbono presente y de esta manera asegurar su utilidad como material de relleno (Petavy et al. 2009).

No es posible utilizar los sedimentos como material productivo en actividades asociadas a la agricultura debido a las altas concentraciones de Pb y Zn medidas en los sedimentos de los dos desarenadores. Los análisis realizados a las muestras del desarenador oriental mostraron que estos sedimentos también exceden los límites de concentraciones para el Cr y Cu al presentar escenarios con altas intensidades de lluvias y altos niveles de precipitación, estos metales estarían en rangos por debajo de los límites establecidos por el RAS 2000 en el título F (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio 2012), mejorando su calidad. Para la reutilización de sedimentos en actividades relacionadas con la agricultura es necesario ser muy estrictos con el cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos. Esto teniendo en cuenta que el Zn es un oligoelemento requerido en los seres vivos para el crecimiento, pero al ingerirse en altas cantidades puede generar afectaciones. Al ingerir pequeñas cantidades de metales como el Pb estos no se biodegradan acumulándose en el organismo y en altas concentraciones son capaces de afectar la salud (Méndez et al. 2009). Por esto se recomienda realizar análisis de las concentraciones de nutrientes y todos los metales pesados si el objetivo es utilizar los sedimentos como material en actividades agrícolas.

El análisis de los resultados de las pruebas multivariadas permite concluir que no hay diferencias significativas entre las características físicas y las características químicas de las muestras analizadas en los desarenadores del humedal construido, esto se puede atribuir a que el área de drenaje de la cancha de fútbol incluye las vías adyacentes a esta, y por ser zona con tráfico vehicular y los sedimentos se encuentran expuestos al mismo tipo de contaminación en las dos fuentes de escorrentía para el humedal construido. Si se evidencia una variación significativa entre los diámetros acumulados obtenidos para cada muestra respecto a los eventos de acuerdo con el Test de Wilcoxon, lo que implica que las condiciones climáticas del sector afectan las características físicas de las muestras analizadas. Adicionalmente se encontraron relaciones entre las variables analizadas. Del análisis químico y físico se evidenció que el desarenador oriental es el que tiene mayor cantidad de partículas finas y tiene concentraciones más altas para Pb y Cu las cuales se encuentran asociadas a los diámetros menores a 75 μm , esto concuerda con estudios que afirman que la mayor concentración de metales se encuentran en partículas < 150 μm (Gunawardana, Egodawatta, y Goonetilleke 2014). La relación de la precipitación con las características físicas evidenció que entre mayor sea la intensidad de la lluvia y la altura total de lluvia menores serán las partículas de grano grueso que llegan a los desarenadores. De igual forma se encontró que para menor número de días en tiempo seco mayores serán los diámetros de las partículas que llegan a los desarenadores. Este parámetro también se encontró relacionado con las concentraciones de metales, siendo estas mayores para mayor número de días en tiempo seco, contrario a lo que ocurre con las concentraciones de TOC, las cuales tienden a disminuir estos resultados concuerdan con los estudios realizados por otros autores en sedimentos viales (Winston y Hunt 2017), (Barreiro, Castañeda, y Zafra Mejía 2015). De lo anterior es necesario recalcar que cuando se tengan temporadas de verano, las concentraciones de metales aumentarán en los

sedimentos, mientras que las de TOC serán menores, disminuyendo la posibilidad de emplear los sedimentos en actividades como la jardinería, por lo que se recomienda realizar análisis de los sedimentos en temporadas en las que se presenten mayor cantidad de lluvias, porque en la temporada de abril a septiembre de 2016 no hubo precipitaciones suficientes, por esta razón se evaluaron varios escenarios considerando los valores relacionados con las altas precipitaciones y bajas concentraciones de metales, sin embargo se siguen obteniendo altas concentraciones de Pb y Zn.

Aunque el objetivo de este estudio no contemplaba la evaluación de cantidades de sedimentos a ser aprovechados, sino las condiciones de la calidad de sedimentos provenientes de parqueaderos o zonas verdes con tráfico vehicular cercano, parece crucial determinar las cantidades de sedimentos que se pueden acumular con el tiempo, esto con el fin de programar las jornadas de extracción de los sedimentos y las cantidades a ser empleadas para los diferentes usos propuestos. Se recomienda para futuras investigaciones realizar la evaluación de las cantidades de sedimentos recolectados en el sitio de estudio, bien sea el humedal construido de la PUJ o en lugares con características similares como parqueaderos, ya que no se esperan variaciones significativas respecto a las características físicas y químicas analizadas en este estudio. Basados en los resultados obtenidos en este estudio es posible concluir que los sedimentos retenidos en sistemas de aguas lluvias pueden ser empleados como material productivo en diferentes actividades, por lo que se recomienda para análisis futuros que además de la cuantificación de los sedimentos se realicen análisis de costo beneficio, análisis de sedimentos provenientes de zonas con diferentes usos del suelo y en diferentes cuerpos receptores de escurrimiento, como sumideros, colectores y canales, de igual manera que a los sedimentos recolectados de los mantenimientos de los diferentes cuerpos de agua de la ciudad con el fin de generar aprovechamiento de los recursos disponibles.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Akcil, Ata, Ceren Erust, Sevda Ozdemiroglu, Viviana Fonti, y Francesca Beolchini. 2015. «A review of approaches and techniques used in aquatic contaminated sediments: metal removal and stabilization by chemical and biotechnological processes». *Journal of Cleaner Production* 86 (enero): 24-36. doi:10.1016/j.jclepro.2014.08.009.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. 2014. «Decreto 528 de 24 de Noviembre de 2014 - Observatorio Ambiental de Bogotá». noviembre 24. <http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/documentacion-e-investigaciones/resultado-busqueda/decreto-528-de-24-de-noviembre-de-2014>.
- ANZECC. 2000. «Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality». Australian and New Zealand Environment and Conservation Council.
- Bakke, Torgeir, Torsten Källqvist, Anders Ruus, Gijs D. Breedveld, y Ketil Hylland. 2010. «Development of Sediment Quality Criteria in Norway». *Journal of Soils and Sediments* 10 (2): 172-78. doi:10.1007/s11368-009-0173-y.
- Barreiro, María del Pilar Romero, Rubén Dario Pinilla Castañeda, y Carlos Alfonso Zafra Mejía. 2015. «Evaluación temporal de la concentración de metales pesados asociada con el sedimento vial: Fontibón-Barrios Unidos (Bogotá D.C., Colombia)». *Ingeniería y Universidad: Engineering for Development* 19 (2): 69-87. doi:10.11144/Javeriana.iyu19-2.etcn.
- CCME. 2001. «Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life». Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Charters, Frances J., Thomas A. Cochrane, y Aisling D. O'Sullivan. 2015. «Particle Size Distribution Variance in Untreated Urban Runoff and Its Implication on Treatment Selection». *Water Research* 85 (noviembre): 337-45. doi:10.1016/j.watres.2015.08.029.
- Chow, Ming Fai, Zulkifli Yusop, y Ismail Abustan. 2015. «Relationship between sediment build-up characteristics and antecedent dry days on different urban road surfaces in Malaysia». *Urban Water Journal* 12 (3): 240-47. doi:10.1080/1573062X.2013.839718.
- «Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario». 2015. *Diccionario de la lengua española*. Accedido noviembre 19. <http://dle.rae.es/?w=productivo&m=form&o=h>.
- Dray, Stéphane, Anne-Béatrice Dufour, y Jean Thioulouse. 2017. «Package 'ade4'». <https://cran.r-project.org/web/packages/ade4/ade4.pdf>.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. 2010. «Informe Técnico predio gibraltar (avance de actividades de cierre y clausura del predio)».
- Faram, M. G., K. O. Iwugo, y R. Y. G. Andoh. 2007. «Characteristics of Urban Run-off Derived Sediments Captured by Proprietary Flow-through Stormwater Interceptors». *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research* 56 (12): 21-27. doi:10.2166/wst.2007.747.
- Fertiberia. 2016. «Creación de un huerto». <http://www.fertiberia.com/es/jardineria/consejos/jardineria/huerta/creacion-de-un-huerto/>.
- G. Allen Burton, Jr. 2002. «Sediment Quality Criteria in Use around the World». *Limnology* 3 (2): 65-76. doi:10.1007/s102010200008.
- Galarza-Molina, Sandra Lorena, Andrés Torres, Priscilla Moura, y Jaime Lara-Borrero. 2015. «CRIDE: A Case Study in Multi-Criteria Analysis for Decision-Making Support in Rainwater Harvesting». *International Journal of Information Technology & Decision Making* 14 (01): 43-67. doi:10.1142/S0219622014500862.

- Galarza-Molina, Sandra, Andrés Torres, Jaime Lara-Borrero, Sandra Méndez-Fajardo, Laura Solarte, y Leonardo González. 2015. «Towards a Constructed Wetland/Reservoir- Tank System for Rainwater Harvesting in an Experimental Catchment in Colombia». *Ingeniería Y Universidad*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47740412010>.
- Glaister, B., y G. Vietz. 2016. «Les Sédiments Dans Les Eaux Pluviales et Cours D'eau : Enquête Sur Les Perspectives Industrielles et Académiques, et Opportunités Pour de Futures Recherches». <http://hdl.handle.net/2042/60417>.
- Gómez Cubillos, Alejandro. 2016. «Propuesta de Mejoramiento Tecnológico de Techos Verdes para el Clima Tropical Andino». BOGOTÁ, COLOMBIA: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. http://www.ideam.gov.co/documents/51310/56882/Parte_1_Resolucion_0062_d_e_2007.pdf/6cd3555a-2bfc-403a-83ae-5f4fde24e5dc.
- Gunawardana, Chandima, Prasanna Egodawatta, y Ashantha Goonetilleke. 2014. «Role of particle size and composition in metal adsorption by solids deposited on urban road surfaces». *Environmental Pollution* 184 (enero): 44-53. doi:10.1016/j.envpol.2013.08.010.
- Herath, Dilmi, Amarasooriya Pitawala, y Jagath Gunatilake. 2016. «Heavy metals in road deposited sediments and road dusts of Colombo Capital, Sri Lanka». *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka* 44 (2). doi:10.4038/jnsfsr.v44i2.8000.
- IDEAM. 2006. «Metales en agua por Plasma Acoplado por Inducción (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)». SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL.
- IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2007. «Por la cual se adoptan los protocolos de muestreo y análisis de laboratorio para la caracterización fisicoquímica de los residuos o desechos peligrosos en el país». RESOLUCION No. 0062.
- INVIAS, Instituto Nacional de Vías. 2012. «RELLENOS PARA ESTRUCTURAS ARTÍCULO 610 -13».
- Juárez Badillo, Eulalio, y Alfonso Rico Rodríguez. 2012. *Mecánica de suelos*. México Editorial Limusa c2012.
- Karlsson, Kristin, Jonas German, y Maria Viklander. 2010. «Stormwater Pond Sediments: Temporal Trends in Heavy Metal Concentrations and Sediment Removal». *Soil and Sediment Contamination: An International Journal* 19 (2): 217-30. doi:10.1080/15320380903548490.
- Lara Borrero, Jaime Andrés, Andrés Eduardo Torres Abello, María Claudia Campos Pinilla, Leonardo Duarte Castro, Jairo Iván Echeverri Robayo, y Paula Andrea Villegas González. 2007. «Aprovechamiento del agua lluvia para riego y para el lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá)». *Ingeniería y Universidad* 11 (2). <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/iyu/article/view/929>.
- Lu, S., Y. Qi, Z. Wang, X. Wu, C. Hou, y J. Si. 2016. «Distribution Characteristics of TOC, TN and TP in the Wetland Sediments of Longbao Lake in the San-Jiang Head Waters». *Acta Geophysica* 64 (6): 2471-86. doi:10.1515/acgeo-2016-0093.
- Ma, Yiyi, y David Z. Zhu. 2014. «Improving Sediment Removal in Standard Stormwater Sumps». *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research* 69 (10): 2099-2105. doi:10.2166/wst.2014.122.
- «Mastersizer 3000E laser particle size analyzer». 2016. Accedido septiembre 26. <http://www.malvern.com/en/products/product-range/mastersizer-range/mastersizer-3000e/>.
- Méndez, Judith Prieto, César A. González Ramírez, Alma D. Román Gutiérrez, y Francisco Prieto García. 2009. «CONTAMINACIÓN Y FITOTOXICIDAD EN PLANTAS POR METALES PESADOS PROVENIENTES DE SUELOS Y AGUA

- [PLANT CONTAMINATION AND PHYTOTOXICITY DUE TO HEAVY METALS FROM SOIL AND WATER]». *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10 (1): 29–44.
- Ministerie van Volkshuisvesting. 2000. «Dutch Target and Intervention Values».
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 2012. *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano*.
- Monrabal-Martínez, C., T. Muthanna, y T. Meyn. 2016. «Variation Saisonnière Des Concentrations de Polluants et de La Distribution de La Taille Des Particules Des Eaux de Ruissellement En Milieu Urbain - Implications Sur Le Dimensionnement Des Ouvrages de Gestion Alternative». <http://hdl.handle.net/2042/60419>.
- Nasirian, Hassan, K. N. Irvine, Sayyed Mohammad Taghi Sadeghi, Amir Hossein Mahvi, y Shahrokh Nazmara. 2016. «Assessment of Bed Sediment Metal Contamination in the Shadegan and Hawr Al Azim Wetlands, Iran». *Environmental Monitoring and Assessment* 188 (2): 107. doi:10.1007/s10661-016-5117-6.
- Ove Arup & Partners Hong Kong Ltd. 2009. «EIA Report».
- Pérez, Amelia, Jeimmy Cárdenas, Carlos Andrés Peña-Guzmán, y Andrés Torres. 2016. «Sediments settled in stormwater sewer systems: assessment of possible uses through quality analysis». https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Pena5/publication/304525332_Sediments_settled_in_stormwater_sewer_systems_assessment_of_possible_uses_through_quality_analysis/links/57723b8d08ae0b3a3b7f0f06.pdf.
- Pétavy, F., V. Ruban, y P. Conil. 2009. «Treatment of Stormwater Sediments: Efficiency of an Attrition Scrubber – Laboratory and Pilot-Scale Studies». *Chemical Engineering Journal* 145 (3): 475-82. doi:10.1016/j.cej.2008.04.039.
- Pétavy, F., V. Ruban, P. Conil, J. Y. Viau, y J.C. Auriol. 2009. «Treatment and Valorisation of Stormwater Sediments». *Global NEST* 11 (2): 189.
- «R: What is R?». 2017. Accedido abril 20. <https://www.r-project.org/about.html>.
- «RStudio». 2017. *RStudio*. Accedido abril 20. <https://www.rstudio.com/products/rstudio/>.
- Schumacher, Brian A, y United States Environmental Protection Agency. 2002. «METHODS FOR THE DETERMINATION OF TOTAL ORGANIC CARBON (TOC) IN SOILS AND SEDIMENTS». Ecological Risk Assessment Support Center.
- Selbig, William R. 2015. «Characterizing the distribution of particles in urban stormwater: advancements through improved sampling technology». *Urban Water Journal* 12 (2): 111-19. doi:10.1080/1573062X.2013.820334.
- Shimadzu. 2014. «Global Standard for TOC Analyzers». <https://www.ssi.shimadzu.com/products/literature/TOC/C391-E079d.pdf>.
- Simpson, S. L. 2015. *Sediment Quality Assessment: A Practical Guide*. <http://eds.a.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/eds/ebookviewer/ebook/bmxlYmtfXzExNjI1ODJfX0FO0?sid=cbfba10d-d107-4e0e-a858-611a06c01de4@sessionmgr4008&vid=4&format=EB&rid=1>.
- Trujillo-González, Juan Manuel. 2014. «EVALUACIÓN DE TRES ZONAS DE LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO A PARTIR DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS PRESENTES EN EL POLVO VIAL». BOGOTÁ, COLOMBIA: UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO.
- Trujillo-González, Juan Manuel, Marco Aurelio Torres-Mora, Saskia Keesstra, Eric C. Brevik, y Raimundo Jiménez-Ballesta. 2016. «Heavy metal accumulation related to population density in road dust samples taken from urban sites under different land uses». *Science of The Total Environment* 553 (mayo): 636-42. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.02.101.
- Universidad de los Andes, y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. 2008. «Evaluación de alternativas de tratamiento y manejo de lodo de alcantarillado sanitario y pluvial».

- US EPA, OSWER. 2016. *SW-846 Test Method 3051A: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils*. Accedido mayo 30. <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-3051a-microwave-assisted-acid-digestion-sediments-sludges-soils-and-oils>.
- Vaze, J., y Chiew. 2004. «Nutrient Loads Associated with Different Sediment Sizes in Urban Stormwater and Surface Pollutants». *Journal of Environmental Engineering* 130 (4): 391-96. doi:10.1061/(ASCE)0733-9372(2004)130:4(391).
- Wang, Lei, June S.H. Kwok, Daniel C.W. Tsang, y Chi-Sun Poon. 2015. «Mixture Design and Treatment Methods for Recycling Contaminated Sediment». *Journal of Hazardous Materials* 283 (febrero): 623-32. doi:10.1016/j.jhazmat.2014.09.056.
- Winston, R. J., y W. F. Hunt. 2017. «Characterizing Runoff from Roads: Particle Size Distributions, Nutrients, and Gross Solids». *Journal of Environmental Engineering* 143 (1): 1-12. doi:10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001148.
- Zafra Mejía, Carlos Alfonso, Javier Temprano González, y Juan Ignacio Tejero Monzón. 2009. «Evaluación de la contaminación por escorrentía urbana: sedimentos depositados sobre la superficie de una vía». *Ingeniería e Investigación*, 2009, 29, 101-108. <http://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/4278>.
- Zafra Mejía, Carlos, Javier Temprano, y Iñaki Tejero. 2017. «The physical factors affecting heavy metals accumulated in the sediment deposited on road surfaces in dry weather: a review». *Urban Water Journal* 14 (6): 639-49. doi:10.1080/1573062X.2016.1223320.

7. ANEXOS

Contenido Anexos

1.	ANEXO A CÓDIGOS.....	i
1.1.	ANÁLISIS FÍSICO.....	i
1.2.	ANÁLISIS QUÍMICO.....	iii
1.2.1.	Análisis de metales.....	iv
1.2.2.	Análisis de relación de eventos con concentraciones.....	v
1.3.	ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS.....	vi
1.4.	ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....	ix
1.5.	ANÁLISIS DE ROBUSTEZ.....	xiii
2.	ANEXO B ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	xvii
2.1.	RESULTADOS GRANULOMETRÍA.....	xvii
2.2.	RESULTADOS ANÁLISIS TOC.....	xxxii
2.3.	RESULTADOS ANÁLISIS CUALITATIVO.....	xxxiii
2.4.	RESULTADOS ANÁLISIS CUANTITATIVO.....	lxiii
2.5.	RESULTADOS TEST WILCOXON P-VALUE.....	lxvii
2.6.	RESULTADOS ESCENARIOS HIDROLÓGICOS.....	lxxiii
2.7.	RESULTADOS ANÁLISIS DE ROBUSTEZ.....	lxxv

1. ANEXO A CÓDIGOS

1.1. ANÁLISIS FÍSICO

```
#Código para análisis granulométrico

#María Alejandra Pimiento

library(ade4)

rm(list=ls(all=TRUE))

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

#Cargar datos

muestras = list.files(pattern = ".txt")

tam=as.matrix(read.table("tam.txt"))

n = length(muestras)-2

for( i in 1:n){

  temp=assign(paste("W",i,sep = "_"),as.matrix(read.table(muestras[i])))

  temp2 =assign(paste("W",i,"acum",sep = "_"), t(apply(temp,1,cumsum)))

  temp3 = approx(temp2[1,],tam,seq(10,100,10),rule=2)$y

  j=2

  while(j<=dim(temp2)[1]){

    temp3=rbind(temp3,approx(temp2[j,],tam,seq(10,100,10),rule=2)$y)

    j=j+1

  }

  x=paste(i,"muestra.tif",sep="_")

  tiff(filename=x, width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize = 6, bg = "white",
res = 450)

  par(mar=c(4.5,4.5,1,1))

  plot(tam,temp2[1,],type="l",log="x",ylim=c(0,max(temp2)),ylab="%",xlab="size (microm)")

  legend("topleft",legend=as.character(c(1:6)),col=c(1:6),lty=1,bty="n")

  l=2

  while(l<=dim(temp2)[1]){

    lines(tam,temp2[l,],col=l)
```

```

l=l+1
}
dev.off()
assign(paste("D",i,sep = "_"), temp3)
assign(paste("Cu",i,sep = "_"),as.vector(temp3[,6]/temp3[,1]))
rm(temp, temp2, temp3)
}

#Cálculo de la mediana
med = matrix (nrow = n, ncol = 10)
for (j in 1:n) {
  y = get (paste("D",j,sep = "_"))
  z = as.matrix(apply(y,2,median))
  temp=t(z)
  med[j,]=temp
}

med_E=as.matrix(read.table("Mediana_E.txt"))
med_W=as.matrix(read.table("Mediana_W.txt"))

# Test de Wilcox
W_Med = wilcox.test(med_W,med_E)$p.value

```

1.2. ANÁLISIS QUÍMICO

```
#Código para análisis químico
#María Alejandra Pimiento

library(ade4)

rm(list=ls(all=TRUE))

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

#Cargar datos

TOC_W=as.matrix(read.table("occidental.txt"))
TOC_E=as.matrix(read.table("oriental.txt"))
M_W=as.matrix(read.table("M_W.txt",header = TRUE))
M_E=as.matrix(read.table("M_E.txt",header = TRUE))
TOC = as.matrix(read.table("TOC.txt",header = TRUE))
M = as.matrix(read.table("metales.txt",header = TRUE))

# Test de Wilcox

W=wilcox.test(TOC_W,TOC_E)$p.value
WM =wilcox.test(M_W,M_E)$p.value
Q=cbind(TOC,M[,2:10])
boxplot(Q[,2:11])

#Calculo PCA

Mpca<-dudi.pca(Q[,2:11])

2

pve <- 100 * Mpca$eig /sum(Mpca$eig)
cumsum(pve)

#fig1
s.label(Mpca$li, xax = 1, yax = 2)

#fig2 - separacion por clusters
cl <- kmeans(Q[,2:11], 2)
s.class(dfxy=Mpca$li, fac= as.factor(cl$cluster), col=names(table(cl$cluster)),xax=1,yax=2)

#fig3 - separacion por evento
```

```
s.class(dfxy=Mpca$li, fac= as.factor(cl$cluster), col=c(1:length(cl$cluster)),xax=1,yax=2)

#fig6 - analisis de variables

s.corcircle(Mpca$co, xax = 1, yax = 2)

#fig7 - muestras y variables

scatter(Mpca)
```

1.2.1. Análisis de metales

#Código para análisis de metales por ICP

#María Alejandra Pimiento

```
rm(list=ls(all=TRUE))

library(ade4)

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

#Cargar datos

P_Cu=as.matrix(read.table("Cu.txt",header = TRUE))
P_Pb=as.matrix(read.table("Pb.txt",header = TRUE))
P_Zn=as.matrix(read.table("Zn.txt",header = TRUE))
P_Cr=as.matrix(read.table("Cr.txt",header = TRUE))

Met=c("Cu","Pb","Zn","Cr")

for(i in 1:4){

  a = get (paste("P",Met[i],sep = "_"))

  Conc = a[,2]

  b = cbind(Conc,a[,6])

  c = cbind(Conc,a[,9])

  #nom = paste(Met[i],".tif",sep="_")

  #tiff(filename=nom, width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize = 6, bg =
"white", res = 450)

  #par(mar=c(4.5,4.5,1,1))

  plot(b, type="p", ylab="Intensidad",xlab="Conc (mg/l)", main = Met[i])

  lines(c, col=2)

  #dev.off()

}
```

1.2.2. Análisis de relación de eventos con concentraciones

#Código para análisis de relación de eventos con concentraciones

#María Alejandra Pimiento

```
rm(list=ls(all=TRUE))
```

```
library(ade4)
```

```
wth=3*580
```

```
hth=wth/2^(.5)
```

```
E=read.table("campana.txt",header=TRUE)
```

```
attach(E)
```

```
Zn=E[1:3,2:10]
```

```
Cu=E[4:6,2:10]
```

```
Cr=E[7:9,2:10]
```

```
Pb=E[10:12,2:10]
```

```
Met=c("Cu","Pb","Zn","Cr")
```

```
med=matrix(nrow=4, ncol = 9)
```

```
row.names(med)<-Met
```

```
for(i in 1:4){
```

```
  a=get(Met[i])
```

```
  boxplot(a, main=Met[i], ylab="Concentracion mg/kg")
```

```
  w=matrix(nrow = 9,ncol = 9)
```

```
  for(j in 1:9){
```

```
    for(h in 1:9){
```

```
      w[j,h]=wilcox.test(a[,j],a[,h])$p.value
```

```
    }
```

```
  }
```

```
  nom=paste(Met[i],"test.txt",sep="_")
```

```
  write.table(w,nom)
```

```
}
```

1.3. ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

```
library(ade4)

rm(list=ls(all=TRUE))

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

#Cargar Datos

D=as.matrix(read.table("datos.txt", header = TRUE))

M=as.matrix(read.table("metales.txt",header = TRUE))

TOC=as.matrix(read.table("TOC.txt",header = TRUE))


#Granulometria

tiff(filename="Boxplot_D.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize = 6, bg
= "white", res = 450)

par(mar=c(4.5,4.5,1,1))

boxplot(D[,2:12], log = "y")

dev.off()


#Calculo PCA

Mpca_G<-dudi.pca(D[,2:12])

2

pve <- 100 * Mpca_G$eig /sum(Mpca_G$eig)

cumsum(pve)


#fig1

s.label(Mpca_G$li, xax = 1, yax = 2)

#fig2 - separacion por clusters

cl_G <- kmeans(D, 2)

s.class(dfxy=Mpca_G$li, fac= as.factor(cl_G$cluster),
col=names(table(cl_G$cluster)),xax=1,yax=2)

#fig3 - separacion por evento
```

```
s.class(dfxy=Mpca_G$li, fac= as.factor(cl_G$cluster),  
col=c(1:length(cl_G$cluster)),xax=1,yax=2)
```

```
#fig6 - analisis de variables
```

```
s.corcircle(Mpca_G$co, xax = 1, yax = 2)
```

```
#fig7 - muestras y variables
```

```
scatter(Mpca_G)
```

```
#Metales y TOC
```

```
Q=cbind(TOC, M[,2:5])
```

```
tiff(filename="Boxplot_Q.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize = 6, bg  
= "white", res = 450)
```

```
par(mar=c(4.5,4.5,1,1))
```

```
boxplot(Q[,2:6], log="y")
```

```
dev.off()
```

```
#Calculo PCA
```

```
Mpca<-dudi.pca(Q[,2:6])
```

```
2
```

```
pve <- 100 * Mpca$eig /sum(Mpca$eig)
```

```
cumsum(pve)
```

```
#fig1
```

```
s.label(Mpca$li, xax = 1, yax = 2)
```

```
#fig2 - separacion por clusters
```

```
cl <- kmeans(Q, 2)
```

```
s.class(dfxy=Mpca$li, fac= as.factor(cl$cluster), col=names(table(cl$cluster)),xax=1,yax=2)
```

```
#fig3 - separacion por evento
```

```
s.class(dfxy=Mpca$li, fac= as.factor(cl$cluster), col=c(1:length(cl$cluster)),xax=1,yax=2)
```

```
#fig6 - analisis de variables
```

```
s.corcircle(Mpca$co, xax = 1, yax = 2)
```

```
#fig7 - muestras y variables
```

```
scatter(Mpca)
```

1.4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

#Código elaborado para encontrar las relaciones entre las diferentes variables analizadas

#María Alejandra Pimiento

```
rm(list=ls(all=TRUE))
```

```
library(ade4)
```

```
wth=3*580
```

```
hth=wth/2^(.5)
```

```
M=read.table("resumen.txt",header=TRUE)
```

```
attach(M)
```

#Granulometría vs Hidrología

#Cambio a factores

```
D10f=D10
```

```
D10f[which(D10<=quantile(D10,.5))]="Bajo"
```

```
D10f[which(D10>quantile(D10,.5))]="Alto"
```

```
D20f=D20
```

```
D20f[which(D20<=quantile(D20,.5))]="Bajo"
```

```
D20f[which(D20>quantile(D20,.5))]="Alto"
```

```
D30f=D30
```

```
D30f[which(D30<=quantile(D30,.5))]="Bajo"
```

```
D30f[which(D30>quantile(D30,.5))]="Alto"
```

```
D40f=D40
```

```
D40f[which(D40<=quantile(D40,.5))]="Bajo"
```

```
D40f[which(D40>quantile(D40,.5))]="Alto"
```

```
D50f=D50
```

```
D50f[which(D50<=quantile(D50,.5))]="Bajo"
```

```
D50f[which(D50>quantile(D50,.5))]="Alto"
```

```
D60f=D60
```

```
D60f[which(D60<=quantile(D60,.5))]="Bajo"
```

```
D60f[which(D60>quantile(D60,.5))]="Alto"
```

```

D70f=D70
D70f[which(D70<=quantile(D70,.5))]="Bajo"
D70f[which(D70>quantile(D70,.5))]="Alto"
D80f=D80
D80f[which(D80<=quantile(D80,.5))]="Bajo"
D80f[which(D80>quantile(D80,.5))]="Alto"
D90f=D90
D90f[which(D90<=quantile(D90,.5))]="Bajo"
D90f[which(D90>quantile(D90,.5))]="Alto"
D100f=D100
D100f[which(D100<=quantile(D100,.5))]="Bajo"
D100f[which(D100>quantile(D100,.5))]="Alto"
Cuf=Cu
Cuf[which(Cu<=quantile(Cu,.5))]="Bajo"
Cuf[which(Cu>quantile(Cu,.5))]="Alto"
Mf=cbind(as.character(lugar),as.character(as.factor(evento)),as.character(Htot),as.character(lprom),as.character(lmax),as.character(tseco),as.character(tlluvia),as.character(lpromneta))
colnames(Mf)=c(names(M[,1:8]),names(M[,14]))
Mf=cbind(Mf,D10f,D20f,D30f,D40f,D50f,D60f,D70f,D80f,D90f,D100f,Cuf)
Mf=as.data.frame(Mf)
Macm<-dudi.acm(Mf)
4
pve <- 100 * Macm$eig /sum(Macm$eig)
cumsum(pve)
#fig1 - observaciones
s.label(Macm$li, xax = 1, yax = 2)
#fig2 - observaciones+clusters
cl <- kmeans(M[,9:19], 2)
s.class(dfxy=Macm$li, fac= as.factor(cl$cluster), col=c(1:max(cl$cluster)),xax=1,yax=2)
#fig3 - scatter
scatter(Macm)

```

```
tiff(filename="hidro vs gran.tiff", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize = 6,
bg = "white", res = 450)

par(mar=c(4.5,4.5,1,1))

scatter(Macm)

dev.off()
```

```
#Calidad vs Hidrología
```

```
#Cambio a factores
```

```
Cu.1f=Cu.1
```

```
Cu.1f[which(Cu.1<=quantile(Cu.1,.5))]="Bajo"
```

```
Cu.1f[which(Cu.1>quantile(Cu.1,.5))]="Alto"
```

```
Cr=Cr
```

```
Cr[which(Cr<=quantile(Cr,.5))]="Bajo"
```

```
Cr[which(Cr>quantile(Cr,.5))]="Alto"
```

```
Pb=Pb
```

```
Pb[which(Pb<=quantile(Pb,.5))]="Bajo"
```

```
Pb[which(Pb>quantile(Pb,.5))]="Alto"
```

```
Zn=Zn
```

```
Zn[which(Zn<=quantile(Zn,.5))]="Bajo"
```

```
Zn[which(Zn>quantile(Zn,.5))]="Alto"
```

```
TOC=TOC
```

```
TOC[which(TOC<=quantile(TOC,.5))]="Bajo"
```

```
TOC[which(TOC>quantile(TOC,.5))]="Alto"
```

```
Cf=cbind(as.character(lugar),as.character(as.factor(evento)),as.character(Htot),as.character(lprom),
as.character(lmax),as.character(tseco),as.character(tlluvia),as.character(lpromneta))
```

```
colnames(Cf)=c(names(M[,1:8]))
```

```
Cf=cbind(Cf,Cu.1f,Cr,Pb,Zn,TOC)
```

```
Cf=as.data.frame(Cf)
```

```
Macc<-dudi.acm(Cf)
```

```
4
```

```
pve <- 100 * Macc$eig /sum(Macc$eig)
```

```
cumsum(pve)
```

```

#fig1 - observaciones
s.label(Macc$li, xax = 1, yax = 2)

#fig2 - observaciones+clusters
clc <- kmeans(M[,20:24], 2)
s.class(dfxy=Macc$li, fac= as.factor(clc$cluster), col=c(1:max(clc$cluster)),xax=1,yax=2)

#fig3 - scatter
scatter(Macc)

tiff(filename="hidro vs cal.tiff", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize = 6,
bg = "white", res = 450)

par(mar=c(4.5,4.5,1,1))

scatter(Macc)

dev.off()


#Calidad vs Granulometría
Lugar = (as.character(lugar))

Tot=cbind(Lugar,Cu.1f,Crf,Pbf,Znf,TOCf,
D10f,D20f,D30f,D40f,D50f,D60f,D70f,D80f,D90f,D100f,Cuf)

Tot=as.data.frame(Tot)

Mact<-dudi.acm(Tot)

3

pve <- 100 * Mact$eig /sum(Mact$eig)

cumsum(pve)

#fig1 - observaciones
s.label(Mact$li, xax = 1, yax = 2)

#fig3 - scatter
scatter(Mact)

tiff(filename="gran vs cal.tiff", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize = 6, bg
= "white", res = 450)

par(mar=c(4.5,4.5,1,1))

scatter(Mact)

dev.off()

```

1.5. ANÁLISIS DE ROBUSTEZ

#Código elaborado para determinar la robustez del análisis

#María Alejandra Pimiento

```
rm(list=ls(all=TRUE))  
library(ade4)  
wth=3*580  
hth=wth/2^(.5)  
E=c("A","B","C","D","E","F","G")  
for(i in 1:7){  
  nom=paste(E[i],"txt",sep = ".")  
  M=read.table(nom,header=TRUE)  
  attach(M)  
  
  #Granulometría vs Hidrología  
  #Cambio a factores  
  D10f=D10  
  D10f[which(D10<=quantile(D10,.5))]="Bajo"  
  D10f[which(D10>quantile(D10,.5))]="Alto"  
  D20f=D20  
  D20f[which(D20<=quantile(D20,.5))]="Bajo"  
  D20f[which(D20>quantile(D20,.5))]="Alto"  
  D30f=D30  
  D30f[which(D30<=quantile(D30,.5))]="Bajo"  
  D30f[which(D30>quantile(D30,.5))]="Alto"  
  D40f=D40  
  D40f[which(D40<=quantile(D40,.5))]="Bajo"  
  D40f[which(D40>quantile(D40,.5))]="Alto"  
  D50f=D50  
  D50f[which(D50<=quantile(D50,.5))]="Bajo"
```

```

D50f[which(D50>quantile(D50,.5))]="Alto"

D60f=D60

D60f[which(D60<=quantile(D60,.5))]="Bajo"

D60f[which(D60>quantile(D60,.5))]="Alto"

D70f=D70

D70f[which(D70<=quantile(D70,.5))]="Bajo"

D70f[which(D70>quantile(D70,.5))]="Alto"

D80f=D80

D80f[which(D80<=quantile(D80,.5))]="Bajo"

D80f[which(D80>quantile(D80,.5))]="Alto"

D90f=D90

D90f[which(D90<=quantile(D90,.5))]="Bajo"

D90f[which(D90>quantile(D90,.5))]="Alto"

D100f=D100

D100f[which(D100<=quantile(D100,.5))]="Bajo"

D100f[which(D100>quantile(D100,.5))]="Alto"

Cuf=Cu

Cuf[which(Cu<=quantile(Cu,.5))]="Bajo"

Cuf[which(Cu>quantile(Cu,.5))]="Alto"

Mf=cbind(as.character(lugar),as.character(as.factor(evento)),as.character(Htot),as.character(lprom),as.character(lmax),as.character(tseco),as.character(tlluvia),as.character(lpromneta))

colnames(Mf)=c(names(M[,1:8]),names(M[,14]))

Mf=cbind(Mf,D10f,D20f,D30f,D40f,D50f,D60f,D70f,D80f,D90f,D100f,Cuf)

Mf=as.data.frame(Mf)

Macm<-dudi.acm(Mf)

pve <- 100 * Macm$eig /sum(Macm$eig)

cumsum(pve)

#fig3 - scatter

scatter(Macm)

X=paste(E[i],"hidro vs gran.tiff",sep="_")

tiff(filename=X, width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize = 6, bg = "white",
res = 450)

```

```

par(mar=c(4.5,4.5,1,1))

scatter(Macm)

dev.off()


#Calidad vs Hidrología

#Cambio a factores

Cu.1f=Cu.1
Cu.1f[which(Cu.1<=quantile(Cu.1,.5))]="Bajo"
Cu.1f[which(Cu.1>quantile(Cu.1,.5))]="Alto"

Crf=Cr
Crf[which(Cr<=quantile(Cr,.5))]="Bajo"
Crf[which(Cr>quantile(Cr,.5))]="Alto"

Pbf=Pb
Pbf[which(Pb<=quantile(Pb,.5))]="Bajo"
Pbf[which(Pb>quantile(Pb,.5))]="Alto"

Znf=Zn
Znf[which(Zn<=quantile(Zn,.5))]="Bajo"
Znf[which(Zn>quantile(Zn,.5))]="Alto"

TOCf=TOC
TOCf[which(TOC<=quantile(TOC,.5))]="Bajo"
TOCf[which(TOC>quantile(TOC,.5))]="Alto"

Cf=cbind(as.character(lugar),as.character(as.factor(evento)),as.character(Htot),as.character(lpr
om),as.character(lmax),as.character(tseco),as.character(tlluvia),as.character(lpromneta))

colnames(Cf)=c(names(M[,1:8]))

Cf=cbind(Cf,Cu.1f,Crf,Pbf,Znf,TOCf)

Cf=as.data.frame(Cf)

Macc<-dudi.acm(Cf)

pve <- 100 * Macc$eig /sum(Macc$eig)

cumsum(pve)

#fig3 - scatter

scatter(Macc)

```

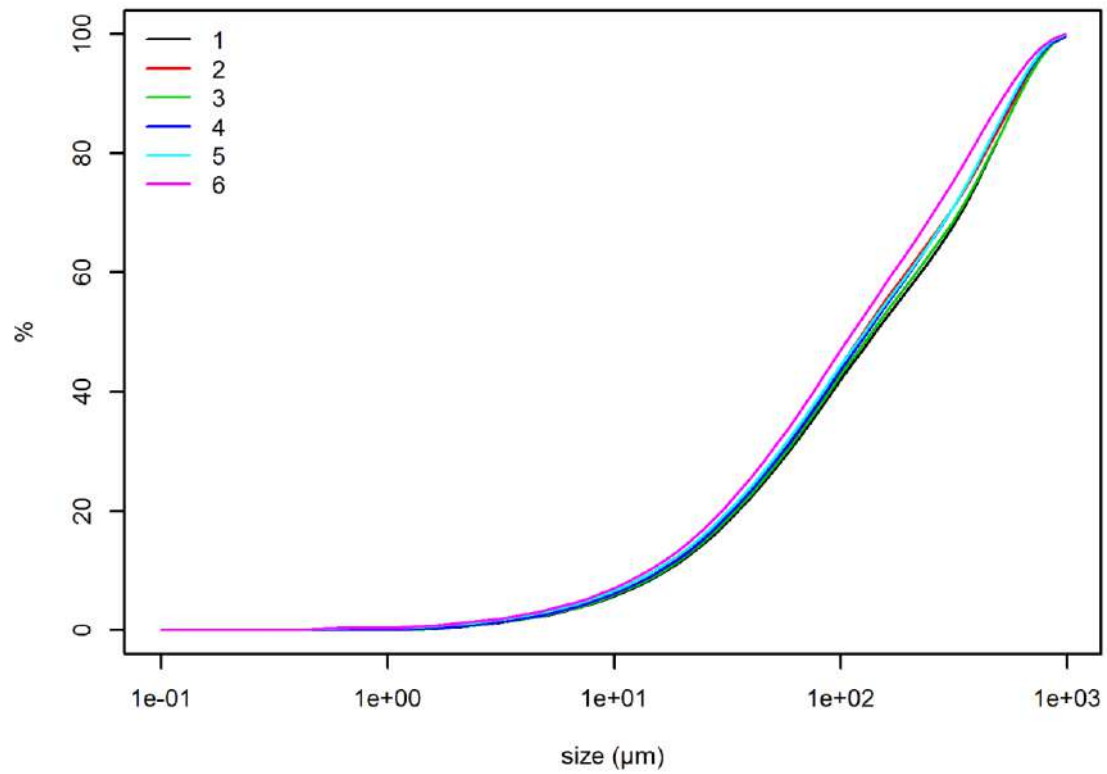
```
y=paste(E[i],"hidro vs cal.tiff",sep="_ ")  
  
tiff(filename=y, width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize = 6, bg = "white",  
res = 450)  
  
par(mar=c(4.5,4.5,1,1))  
  
scatter(Macc)  
  
dev.off()  
  
}
```

2. ANEXO B ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.1. RESULTADOS GRANULOMETRÍA

MUESTRA 1

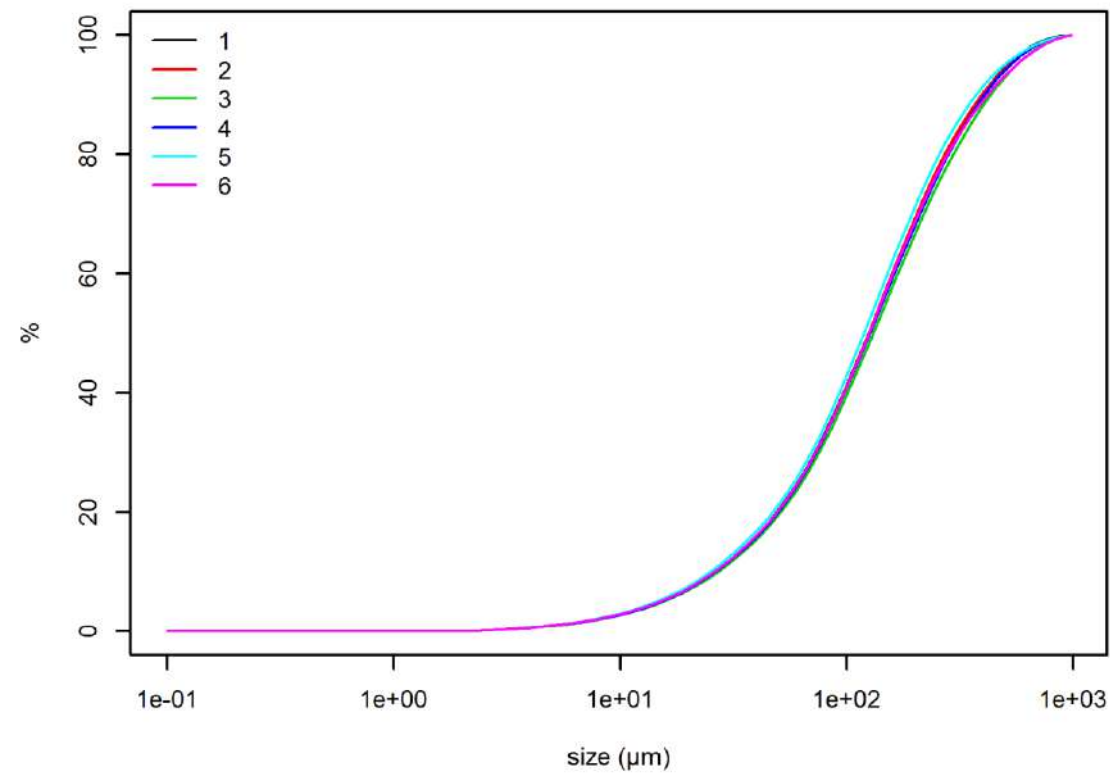
Desarenador Occidental. Fecha: 13 abr – 27 abr



D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
17.01	35.20	58.93	92.21	142.41	225.65	338.47	462.44	618.70	976.00	13.27
15.92	32.77	54.53	84.04	126.29	193.86	301.38	434.97	600.23	976.00	12.18
16.54	34.37	57.33	89.22	137.15	214.85	329.88	459.58	619.53	976.00	12.99
15.99	33.25	55.57	86.37	131.59	201.32	302.49	426.39	586.00	976.00	12.59
15.14	32.00	53.54	83.30	127.70	199.34	302.24	424.61	580.71	976.00	13.16
14.17	29.85	49.35	75.59	112.92	170.35	255.51	370.77	532.47	976.00	12.02

MUESTRA 2

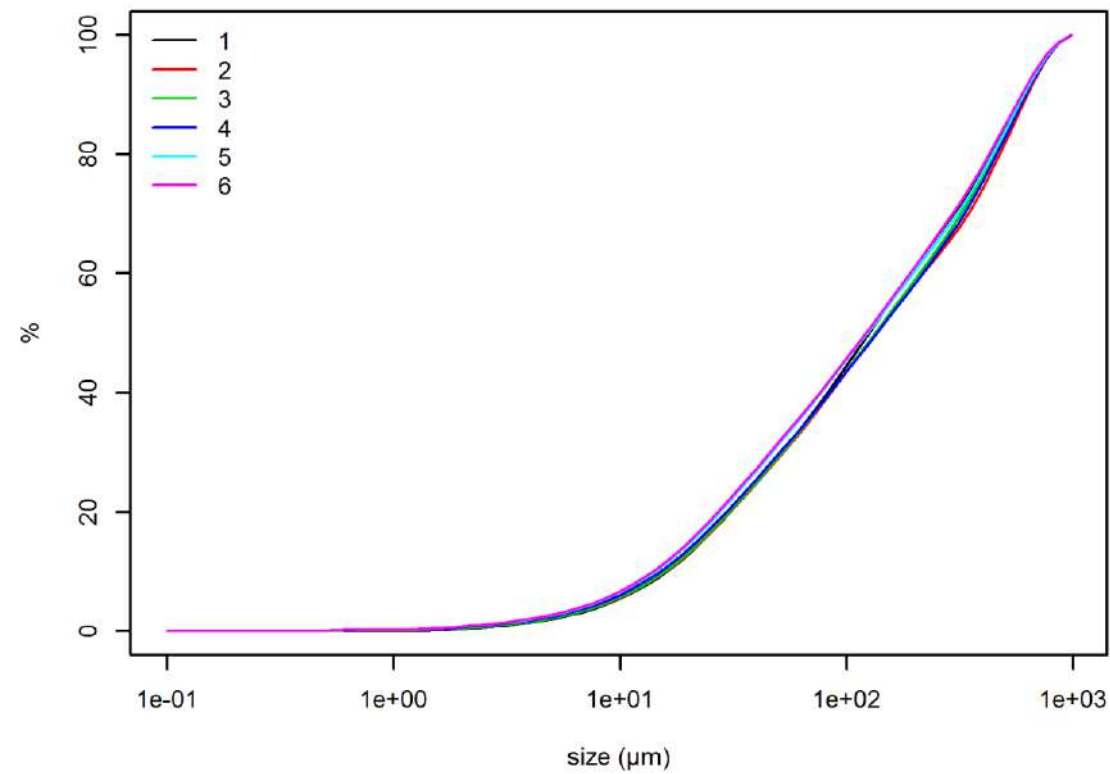
Desarenador Oriental. Fecha: 13 abr – 27 abr



D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
26.21	49.12	72.43	96.90	125.08	158.97	205.51	272.88	394.82	976.00	6.07
26.28	49.45	72.92	97.23	124.94	157.99	203.16	269.33	394.21	976.00	6.01
27.07	51.09	75.46	101.12	131.24	167.73	218.61	294.82	431.07	976.00	6.20
26.49	49.76	73.23	97.92	126.69	161.41	209.55	280.43	405.36	976.00	6.09
25.11	47.14	69.59	92.95	119.20	151.15	193.65	255.92	372.49	976.00	6.02
26.17	49.29	72.91	97.55	125.71	159.39	206.09	277.23	418.80	976.00	6.09

MUESTRA 3

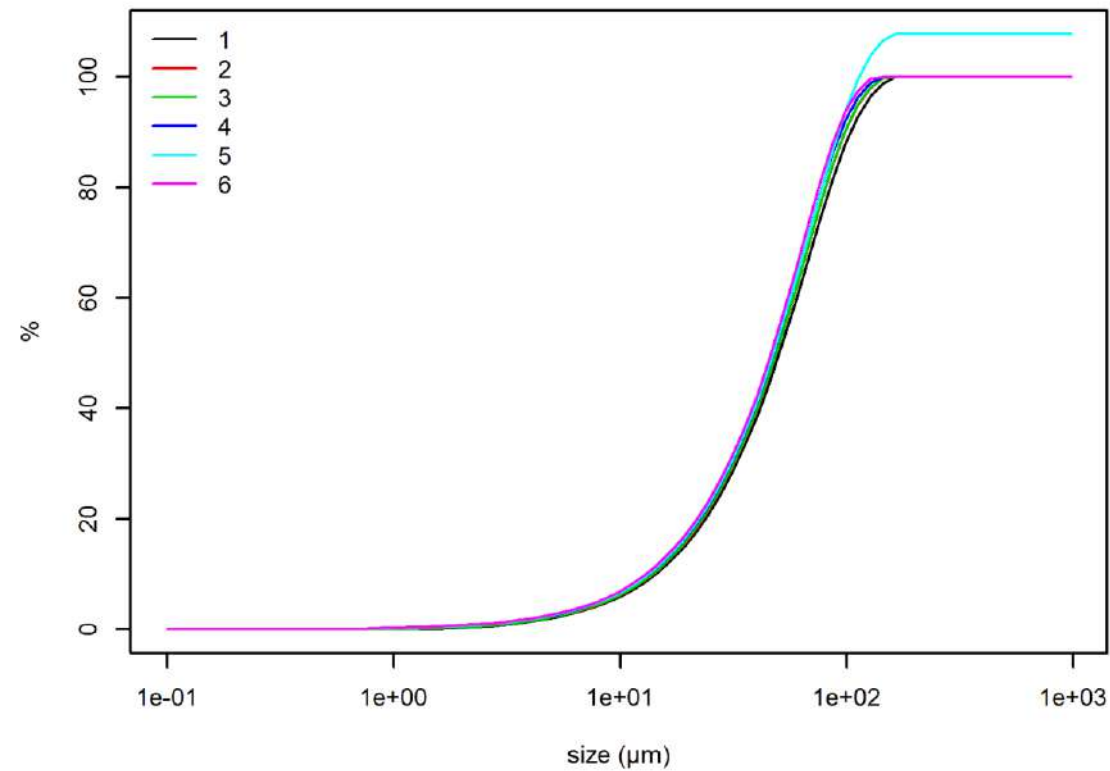
Desarenador Occidental. Fecha: 27 abr – 11 may



D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
15.98	30.58	51.34	82.27	125.66	190.51	295.36	434.24	601.16	976.00	11.92
15.84	30.60	52.28	85.30	133.93	216.57	342.54	472.93	627.01	976.00	13.67
15.68	30.36	51.67	84.63	133.62	209.05	318.30	444.76	602.82	976.00	13.33
15.00	29.45	50.65	84.34	136.06	215.83	329.28	458.00	616.22	976.00	14.39
14.19	27.51	46.69	76.82	123.23	195.89	306.72	440.60	603.41	976.00	13.81
13.93	26.99	45.77	75.93	121.74	189.63	292.54	425.00	588.42	976.00	13.61

MUESTRA 4

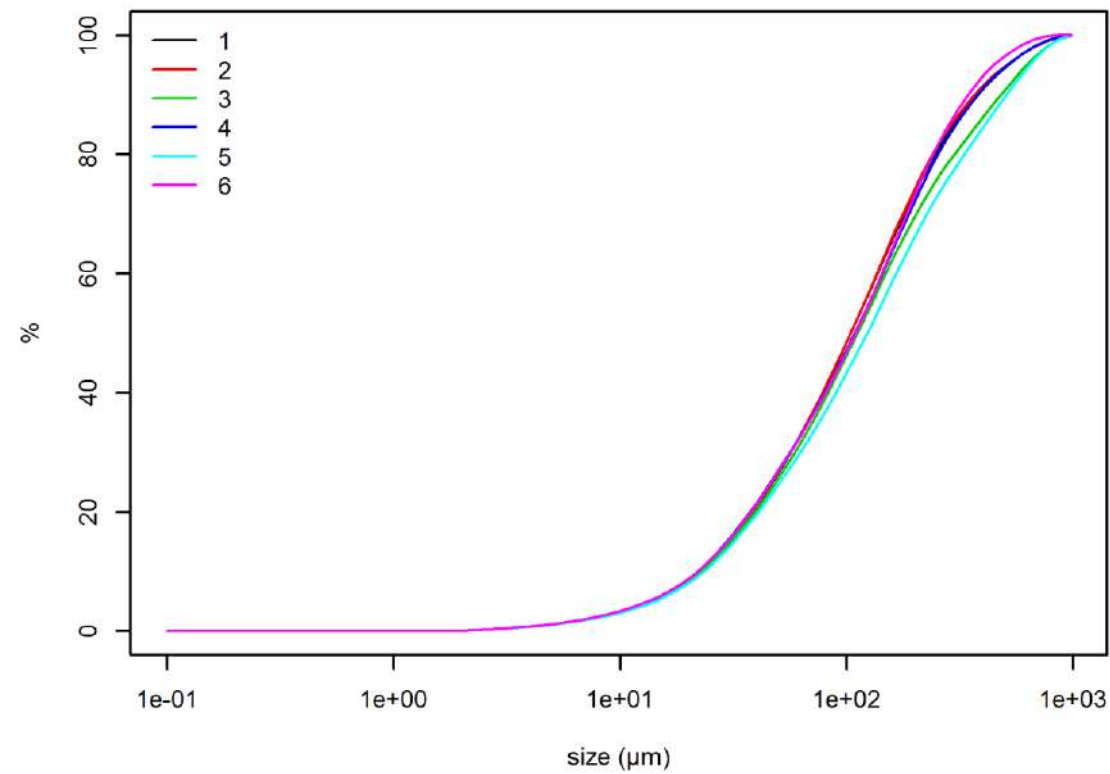
Desarenador Oriental. Fecha: 27 abr – 11 may



D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
14.35	23.70	32.56	41.32	50.35	60.05	71.08	84.57	104.14	484.57	4.18
13.93	23.09	31.76	40.24	48.90	58.03	68.27	80.87	98.04	463.13	4.16
13.83	22.90	31.57	40.08	48.78	57.94	68.16	80.72	97.84	463.13	4.19
13.38	22.34	30.88	39.18	47.58	56.37	66.03	77.77	94.33	443.19	4.21
13.30	22.18	30.67	38.96	47.40	56.27	66.04	77.80	92.27	112.92	4.23
12.95	21.67	30.06	38.20	46.36	54.84	64.17	75.15	90.94	408.06	4.24

MUESTRA 5

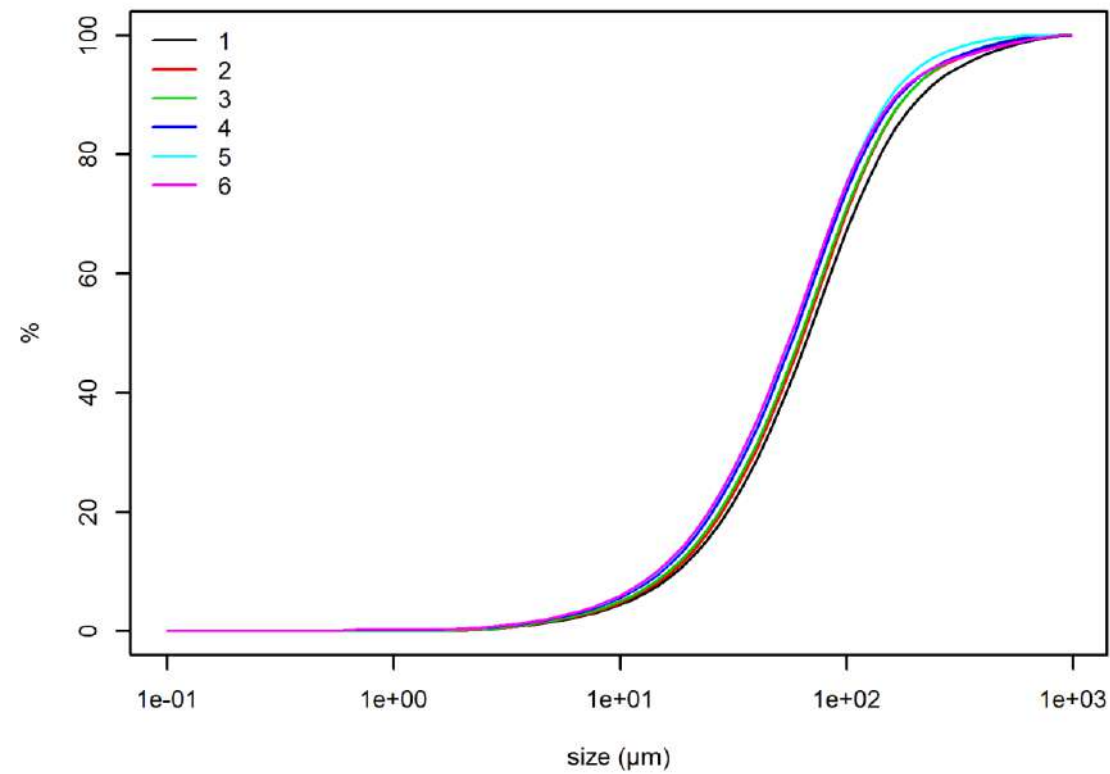
Desarenador Occidental. Fecha: 11 may – 25 may



D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
22.31	38.15	56.51	78.38	104.07	136.33	178.97	245.84	378.06	976.00	6.11
22.31	38.01	56.16	78.11	103.99	135.84	176.51	238.31	366.02	976.00	6.09
22.73	39.17	58.79	82.77	110.94	148.21	201.93	297.68	478.99	976.00	6.52
21.85	37.40	55.99	79.76	108.32	143.18	187.10	252.24	378.46	976.00	6.55
23.32	40.62	62.22	89.68	123.14	164.40	225.81	329.70	505.56	972.84	7.05
21.91	37.54	56.28	80.48	108.98	142.70	183.38	239.94	342.47	899.56	6.51

MUESTRA 6

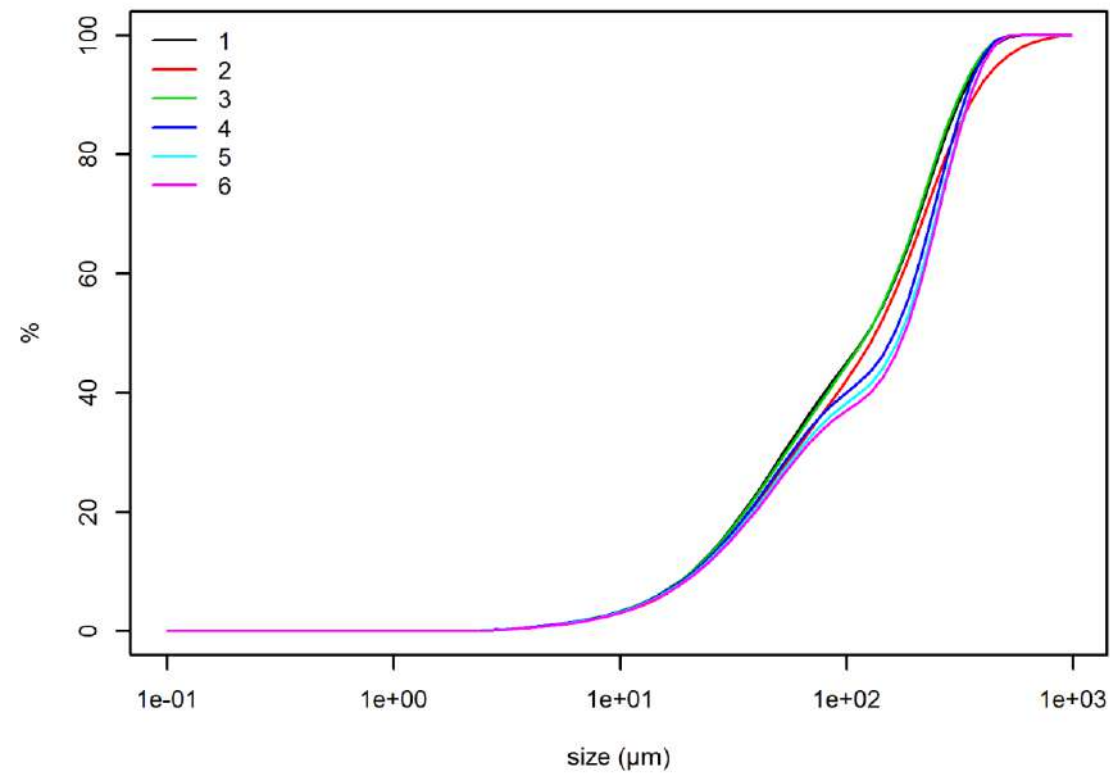
Desarenador Oriental. Fecha: 11 may – 25 may



D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
17.76	29.69	41.44	54.02	68.08	84.96	106.83	140.91	213.96	967.00	4.78
16.89	28.19	39.31	51.24	64.54	80.09	99.48	128.01	184.09	976.00	4.74
16.31	27.36	38.28	50.01	63.09	78.37	97.69	126.46	183.87	856.94	4.81
15.15	25.46	35.67	46.69	58.89	73.26	91.49	117.68	170.70	894.43	4.84
14.71	24.66	34.56	45.23	57.17	71.10	88.45	112.37	157.84	788.89	4.83
14.56	24.46	34.36	45.01	56.94	70.93	88.57	113.81	165.96	952.60	4.87

MUESTRA 7

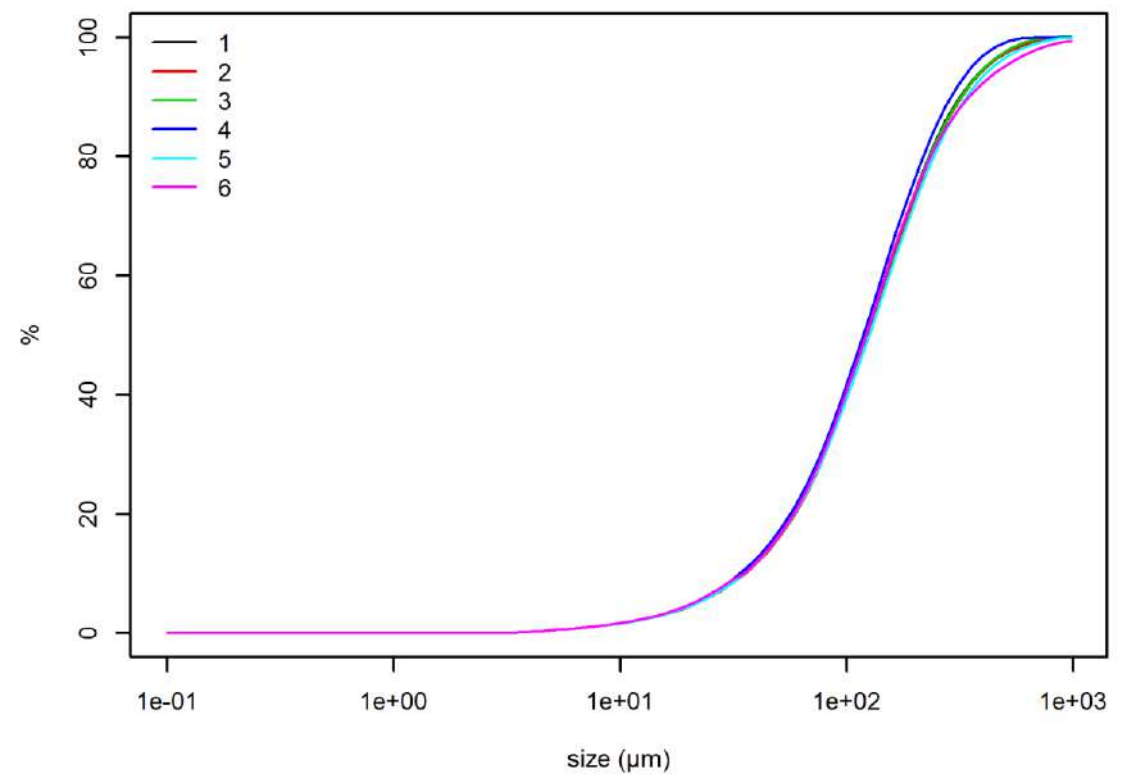
Desarenador Occidental. Fecha: 25 may – 8 jun



D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
20.52	34.93	52.44	79.58	123.40	166.38	208.08	255.40	322.99	768.60	8.11
21.71	37.41	58.27	91.28	134.11	175.89	220.52	275.07	367.34	976.00	8.10
20.60	35.37	53.84	82.05	123.86	164.51	205.02	250.65	313.93	726.50	7.99
21.03	36.84	56.99	99.53	161.71	201.72	238.56	279.46	336.73	726.50	9.59
21.60	38.42	60.57	114.11	172.61	211.96	249.43	292.06	349.31	768.60	9.81
22.01	39.31	62.90	126.72	179.10	216.53	252.96	294.79	350.67	516.00	9.84

MUESTRA 8

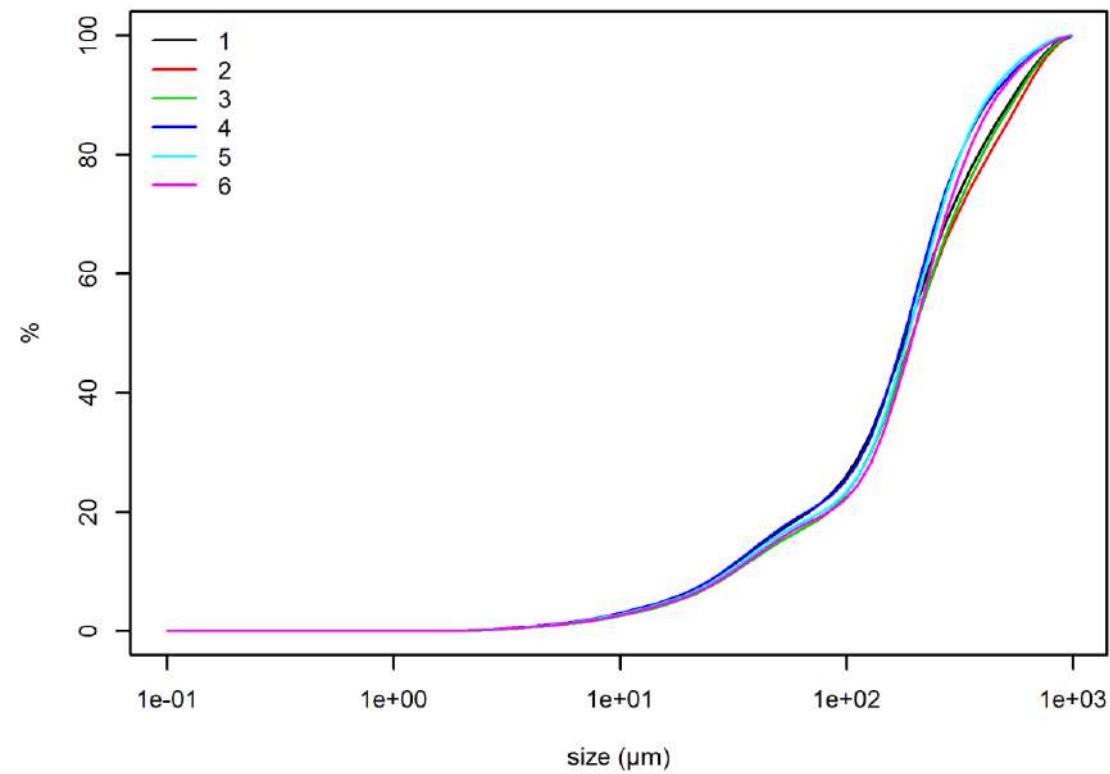
Desarenador Oriental. Fecha: 25 may – 8 jun



D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
35.07	58.30	79.31	100.21	123.16	149.39	182.71	230.30	315.09	917.50	4.26
35.48	59.03	80.04	100.99	124.23	150.91	184.92	233.60	320.39	976.00	4.25
34.30	57.11	77.63	98.21	121.02	147.70	182.10	231.53	318.57	836.75	4.31
33.79	56.27	76.50	96.60	118.24	143.19	174.30	216.89	288.26	814.25	4.24
35.27	58.52	79.79	101.39	125.65	153.65	189.95	241.30	337.00	976.00	4.36
35.22	57.93	78.39	98.79	121.29	147.61	182.10	234.44	345.55	976.00	4.19

MUESTRA 9

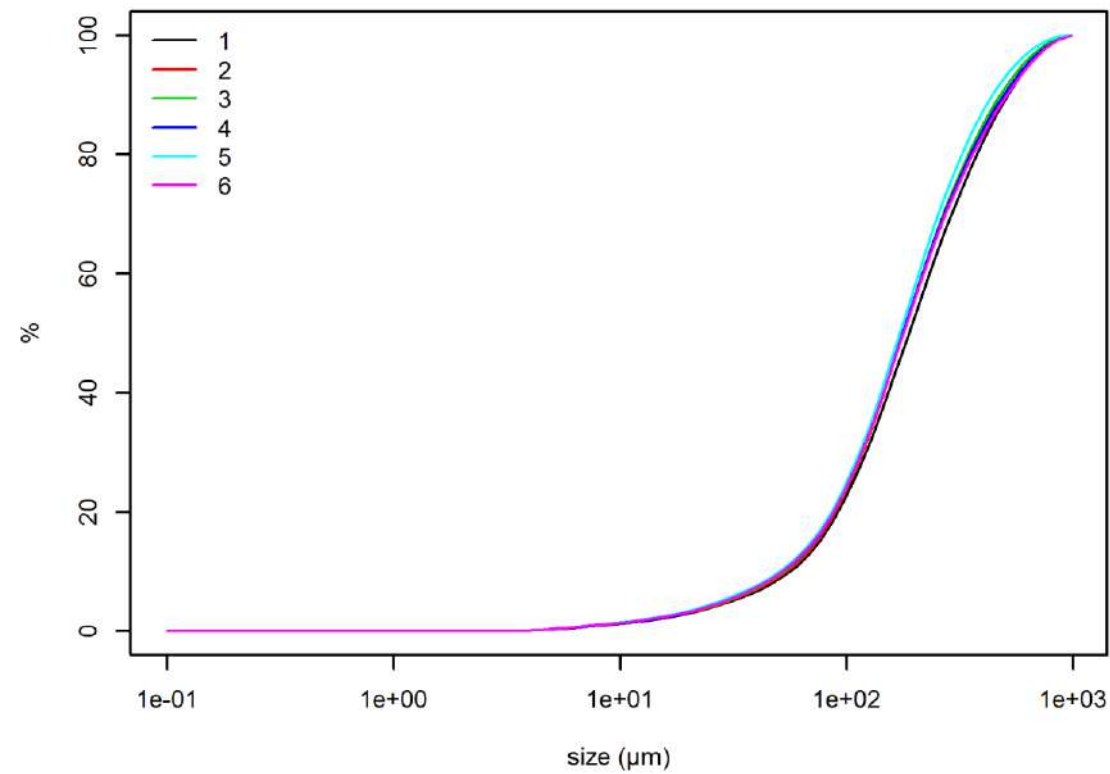
Desarenador Occidental. Fecha: 13 abr – 22 jun



D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
28.47	67.50	114.75	149.28	184.03	225.86	283.59	379.64	545.57	976.00	7.93
31.76	82.91	126.69	159.35	195.60	239.76	307.38	424.15	596.11	976.00	7.55
32.16	82.46	127.71	160.69	196.44	238.39	298.38	395.35	561.91	976.00	7.41
28.40	66.32	117.82	149.76	179.59	211.90	253.44	314.01	440.45	976.00	7.46
30.25	76.79	127.22	157.26	187.02	219.12	258.74	315.84	427.70	954.73	7.24
31.53	83.14	133.41	165.02	196.62	231.22	273.59	339.52	463.69	976.00	7.33

MUESTRA 10

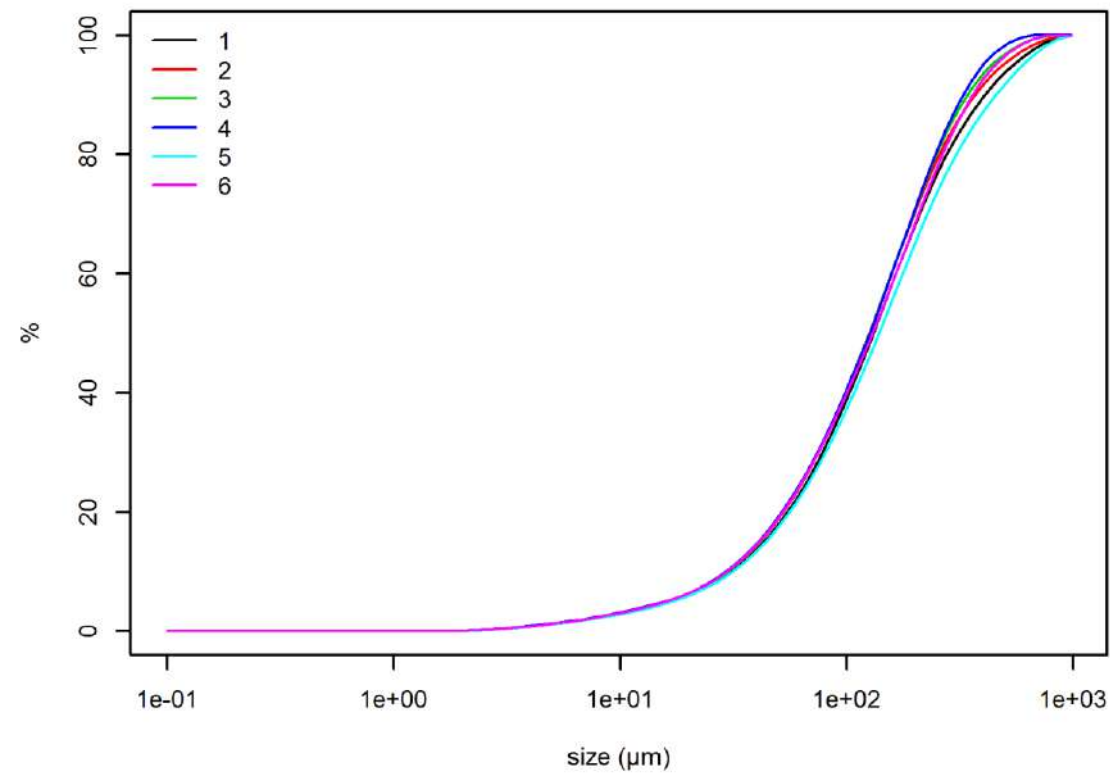
Desarenador Oriental. Fecha: 8 jun – 22 jun



D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
56.02	91.59	121.43	152.12	187.75	231.89	290.51	375.37	512.47	976.00	4.14
54.34	89.32	117.16	145.54	177.51	217.03	270.27	353.77	500.40	976.00	3.99
52.83	88.18	116.27	144.71	176.36	214.77	266.06	343.24	475.89	976.00	4.07
52.02	87.71	115.77	144.24	176.10	215.32	268.41	349.97	492.85	976.00	4.14
50.23	85.74	113.40	141.29	171.06	206.89	253.75	321.91	440.11	969.50	4.12
51.76	87.43	115.95	144.97	177.45	217.66	271.88	358.93	508.86	976.00	4.21

MUESTRA 11

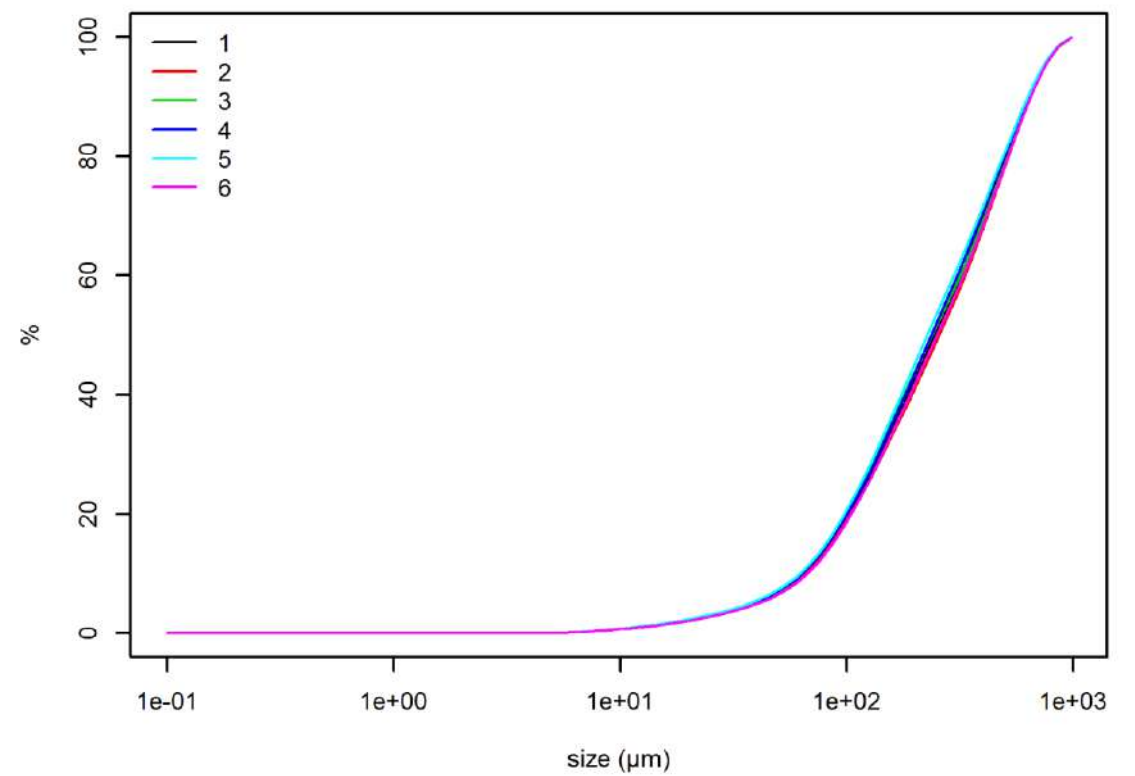
Desarenador Oriental. Fecha: 3 ago – 18 ago



D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
30.89	54.76	78.12	102.83	131.38	164.17	208.81	275.27	406.75	976.00	5.31
29.79	52.49	74.82	98.67	125.77	157.02	198.06	256.77	368.18	976.00	5.27
29.79	52.00	74.26	98.56	126.14	157.14	196.28	249.01	340.94	917.50	5.28
29.38	51.63	74.06	98.67	126.61	157.60	196.11	246.07	327.05	807.91	5.36
31.43	55.91	80.62	107.31	138.89	176.43	226.79	304.07	454.00	976.00	5.61
29.61	52.13	74.87	100.37	130.32	164.11	207.13	264.24	359.59	917.50	5.54

MUESTRA 12

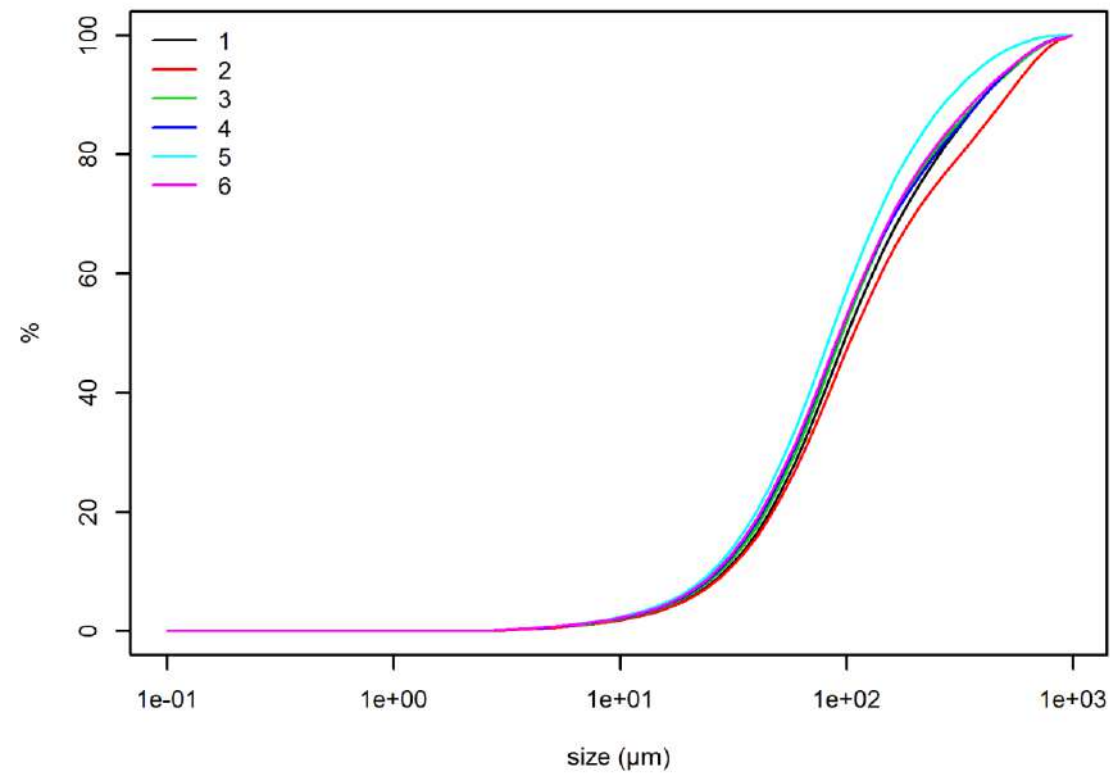
Desarenador Oriental. Fecha: 18 ago – 1 sep



D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
64.76	102.59	140.80	185.95	244.02	317.26	402.96	504.31	640.73	976.00	4.90
65.21	103.86	143.88	193.15	255.97	332.28	417.48	515.49	648.63	976.00	5.10
63.29	99.33	135.54	179.05	238.10	316.56	407.74	511.33	647.75	976.00	5.00
63.43	100.56	137.50	180.61	236.05	307.14	392.96	495.45	633.36	976.00	4.84
61.99	97.86	133.11	173.74	226.81	296.56	384.09	489.00	629.18	976.00	4.78
67.02	104.71	143.03	189.43	250.00	326.54	413.99	514.22	648.50	976.00	4.87

MUESTRA 14

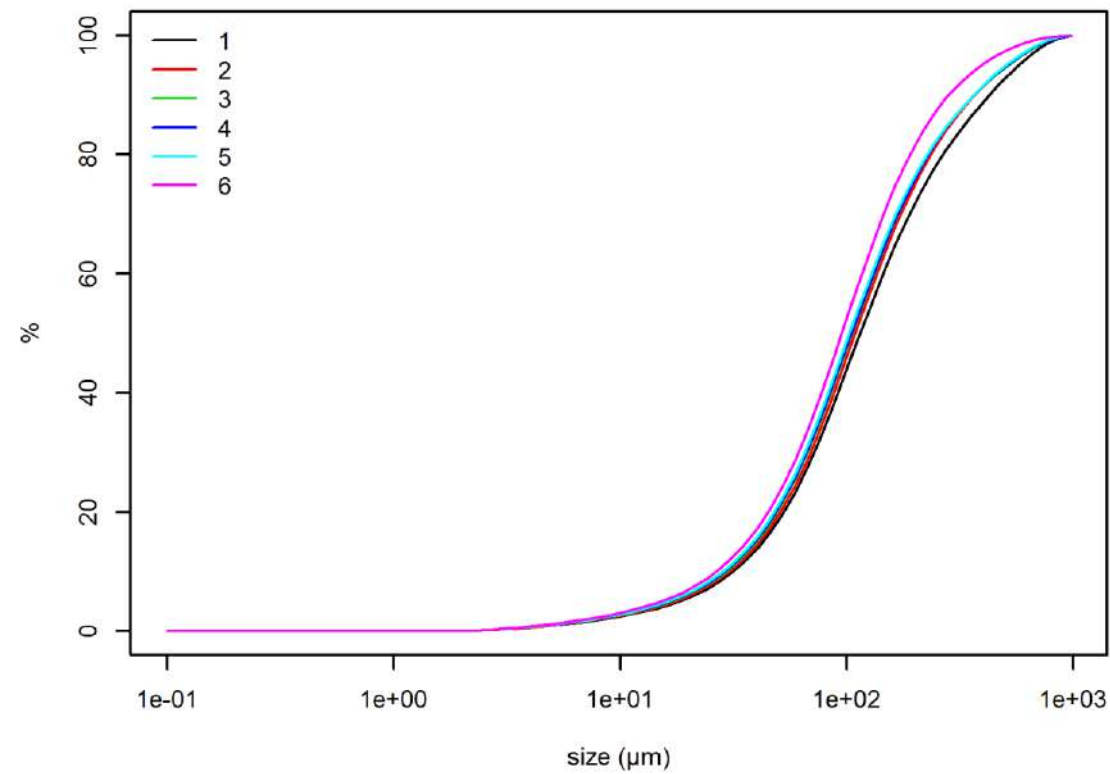
Desarenador Oriental. Fecha: 1 sep – 15 sep



D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
28.94	45.68	61.80	79.47	100.73	130.10	175.25	256.11	407.91	973.00	4.50
29.44	47.02	64.35	83.66	107.25	141.46	199.87	317.74	511.99	976.00	4.81
27.60	43.69	59.21	75.90	95.83	122.18	161.36	238.09	406.88	976.00	4.43
26.78	42.37	57.44	73.83	93.66	120.39	162.10	246.87	408.59	976.00	4.50
25.28	39.77	53.60	68.37	85.50	106.89	137.83	187.18	290.19	917.50	4.23
26.29	41.65	56.72	73.30	93.28	119.62	158.80	231.80	389.78	976.00	4.55

MUESTRA 15

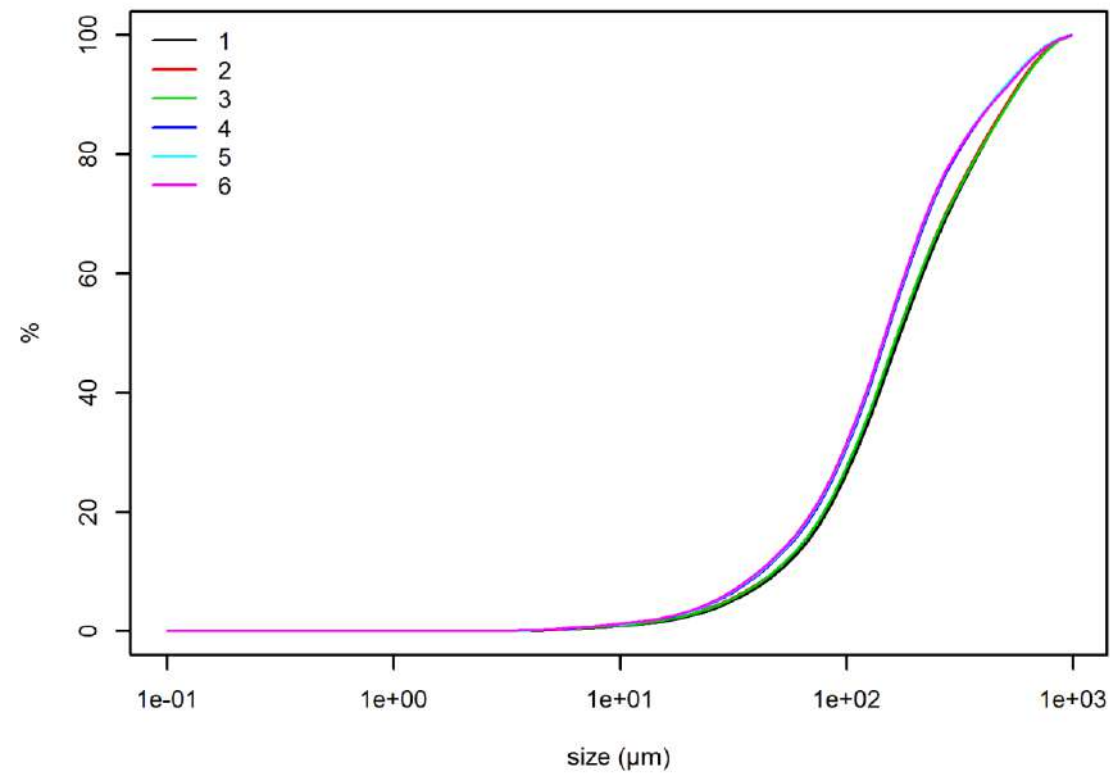
Desarenador Oriental. Fecha: 15 sep – 29 sep



D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
31.50	52.65	71.68	91.67	114.57	144.64	188.77	265.56	427.11	976.00	4.59
30.34	50.93	69.19	87.93	108.77	136.13	173.06	234.79	367.86	976.00	4.49
29.30	49.16	66.88	85.20	105.80	132.39	168.03	229.23	365.45	976.00	4.52
28.88	48.60	66.19	84.39	104.97	131.54	167.46	229.30	364.57	976.00	4.55
28.38	47.84	65.11	82.92	103.00	128.78	163.87	226.93	364.27	971.25	4.54
26.58	44.95	61.14	77.38	95.34	116.77	145.20	190.07	282.24	917.50	4.39

MUESTRA 16

Desarenador Oriental. Fecha: 3 ago – 29 sep



D10	D20	D30	D40	D50	D60	D70	D80	D90	D100	Cu
49.93	81.78	109.39	139.02	172.44	216.02	279.05	380.80	542.30	976.00	4.33
47.77	79.27	106.46	135.27	167.25	209.56	271.18	373.88	535.66	976.00	4.39
47.78	79.19	106.45	135.34	167.41	209.87	272.46	378.70	545.36	976.00	4.39
42.14	71.81	98.10	123.49	150.51	183.21	228.61	304.80	466.64	976.00	4.35
41.44	70.69	96.79	121.94	148.78	181.10	225.75	301.00	462.43	976.00	4.37
40.94	69.97	96.13	121.31	148.15	180.38	224.78	300.76	471.64	976.00	4.41

2.2. RESULTADOS ANÁLISIS TOC

Muestra	Área	Concentración mg	Peso g	Porcentaje Peso Seco
01	2336	18.38	0.09	20.4
02	1518	11.97	0.07	17.1
03	2618	20.60	0.11	18.7
04	1890	14.89	0.08	18.6
05	2607	20.51	0.11	18.6
06	1280	10.10	0.05	20.2
07	694.1	5.51	0.03	18.4
08	878.5	6.96	0.03	23.2
09	436.6	3.49	0.03	11.6
10	793.6	6.29	0.03	21.0
11	633.1	5.03	0.05	10.1
12	1534.3	12.10	0.14	8.6
14	2373.8	18.68	0.29	6.4
15	2006.4	15.80	0.22	7.2
16	3257.6	25.61	0.32	8.0

2.3. RESULTADOS ANÁLISIS CUALITATIVO

MUESTRA 1

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Ag	mg/L	0.00081	0.0017	0.0016	0.0016	0.352
Al	mg/L	58	58	57	58	12760
As	mg/L	0.032	0.062	0.065	0.062	13.64
Au	mg/L	0.0016	0.0044	0.0047	0.0044	0.968
B	mg/L	0.0086	0.016	0.017	0.016	3.52
Ba	mg/L	0.12	0.12	0.12	0.12	26.4
Be	mg/L	0.001	0.0013	0.0013	0.0013	0.286
Bi	mg/L	0.014	0.017	0.017	0.017	3.74
Ca	mg/L	5.2	5.3	5.3	5.3	1166
Cd	mg/L	0.0022	0.0053	0.0053	0.0053	1.166
Ce	mg/L	0.0033	0.0076	0.008	0.0076	1.672
Co	mg/L	0.022	0.05	0.05	0.05	11
Cr	mg/L	0.038	0.084	0.085	0.084	18.48
Cs	mg/L	0.64	1.3	1.3	1.3	286
Cu	mg/L	0.07	0.13	0.13	0.13	28.6
Dy	mg/L	0.00059	0.0013	0.0014	0.0013	0.286
Er	mg/L	0.1	0.11	0.11	0.11	24.2
Eu	mg/L	0.00009	0.0003	0.00029	0.00029	0.0638
Fe	mg/L	39	40	40	40	8800
Ga	mg/L	0.0078	0.018	0.017	0.017	3.74
Gd	mg/L	0.0056	0.0072	0.0073	0.0072	1.584
Ge	mg/L	0.011	0.015	0.015	0.015	3.3
Hf	mg/L	0.021	0.044	0.044	0.044	9.68
Hg	mg/L	0.0001	0.00057	0.00055	0.00055	0.121
Ho	mg/L	0.00051	0.0007	0.00065	0.00065	0.143
I	mg/L	0.16	0.38	0.38	0.38	83.6
In	mg/L	0.012	0.022	0.022	0.022	4.84
Ir	mg/L	0.2	0.49	0.5	0.49	107.8
K	mg/L	0.55	0.55	0.54	0.55	121
La	mg/L	0.0025	0.0055	0.0055	0.0055	1.21
Li	mg/L	0.0029	0.0064	0.0064	0.0064	1.408
Lu	mg/L	0.00084	0.0018	0.0018	0.0018	0.396
Mg	mg/L	1.1	1.1	1.1	1.1	242
Mn	mg/L	0.85	0.86	0.87	0.86	189.2
Mo	mg/L	0.0061	0.0099	0.01	0.0099	2.178
Na	mg/L	0.61	0.6	0.6	0.6	132
Nb	mg/L	0.0025	0.0051	0.0051	0.0051	1.122
Nd	mg/L	0.0066	0.015	0.015	0.015	3.3
Ni	mg/L	0.036	0.084	0.085	0.084	18.48
Os	mg/L	0.0087	0.024	0.021	0.021	4.62
P	mg/L	0.47	1.1	1.1	1.1	242

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Pb	mg/L	0.029	0.043	0.042	0.042	9.24
Pd	mg/L	0.0007	0.0018	0.0016	0.0016	0.352
Pr	mg/L	0.001	0.0014	0.0014	0.0014	0.308
Pt	mg/L	0.044	0.026	0.031	0.031	6.82
Rb	mg/L	-4.1	3.4	3.2	3.2	704
Re	mg/L	0.013	0.028	0.028	0.028	6.16
Rh	mg/L	0.00017	0.00076	0.00075	0.00075	0.165
Ru	mg/L	0.033	0.065	0.065	0.065	14.3
S	mg/L	1.9	4.5	4.5	4.5	990
Sb	mg/L	0.0021	0.0024	0.0042	0.0024	0.528
Sc	mg/L	0.0016	0.0037	0.0037	0.0037	0.814
Se	mg/L	0.0061	0.00093	0.0052	0.0052	1.144
Si	mg/L	0.13	0.3	0.3	0.3	66
Sm	mg/L	0.0013	0.0028	0.0027	0.0027	0.594
Sn	mg/L	0.011	0.014	0.011	0.011	2.42
Sr	mg/L	0.036	0.036	0.036	0.036	7.92
Ta	mg/L	0.0031	0.0066	0.0084	0.0066	1.452
Tb	mg/L	0.00098	0.0014	0.0014	0.0014	0.308
Te	mg/L	0.075	0.02	0.019	0.02	4.4
Th	mg/L	0.27	0.57	0.57	0.57	125.4
Ti	mg/L	0.14	0.14	0.14	0.14	30.8
Tl	mg/L	0.014	0.016	0.013	0.014	3.08
Tm	mg/L	0.00042	0.00043	0.00045	0.00043	0.0946
U	mg/L	0.015	0.033	0.033	0.033	7.26
V	mg/L	0.015	0.036	0.036	0.036	7.92
W	mg/L	0.04	0.085	0.084	0.084	18.48
Y	mg/L	0.0018	0.0042	0.0043	0.0042	0.924
Yb	mg/L	0.0003	0.00056	0.00056	0.00056	0.1232
Zn	mg/L	1.2	1.2	1.2	1.2	264
Zr	mg/L	0.0022	0.005	0.005	0.005	1.1

MUESTRA 2

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Ag	mg/L	0.00027	0.00072	0.00075	0.00072	1.131
Al	mg/L	5.6	5.7	5.8	5.7	8957.143
As	mg/L	0.0076	0.0091	0.013	0.0091	14.300
Au	mg/L	0.00036	0.00065	0.00062	0.00062	0.974
B	mg/L	0.0031	0.0074	0.0074	0.0074	11.629
Ba	mg/L	0.031	0.032	0.032	0.032	50.286
Be	mg/L	0.00077	0.00084	0.00083	0.00083	1.304
Bi	mg/L	0.0092	0.011	0.011	0.011	17.286
Ca	mg/L	2.1	2.1	2.1	2.1	3300.000
Cd	mg/L	-0.00008	0.0018	0.0017	0.0017	2.671
Ce	mg/L	0.0029	0.0036	0.0037	0.0036	5.657
Co	mg/L	0.0021	0.013	0.013	0.013	20.429
Cr	mg/L	0.0061	0.042	0.042	0.042	66.000
Cs	mg/L	0.14	0.41	0.4	0.4	628.571
Cu	mg/L	0.031	0.13	0.13	0.13	204.286
Dy	mg/L	0.00015	0.00021	0.0003	0.00021	0.330
Er	mg/L	0.0026	0.025	0.025	0.025	39.286
Eu	mg/L	0.00006	0.00007	0.00008	0.00007	0.110
Fe	mg/L	7.4	7.5	7.5	7.5	11785.714
Ga	mg/L	0.0022	0.0043	0.0042	0.0042	6.600
Gd	mg/L	0.0046	0.0045	0.0045	0.0045	7.071
Ge	mg/L	0.01	0.0096	0.0098	0.0098	15.400
Hf	mg/L	0.0015	0.0016	0.0028	0.0016	2.514
Hg	mg/L	0.00023	0.00048	0.00059	0.00048	0.754
Ho	mg/L	0.0004	0.00042	0.00048	0.00042	0.660
I	mg/L	0.012	0.073	0.073	0.073	114.714
In	mg/L	0.0058	0.0081	0.0082	0.0081	12.729
Ir	mg/L	0.03	0.031	0.031	0.031	48.714
K	mg/L	0.01	0.079	0.079	0.079	124.143
La	mg/L	0.00031	0.0012	0.0012	0.0012	1.886
Li	mg/L	0.00032	0.00082	0.00082	0.00082	1.289
Lu	mg/L	0.00017	0.00042	0.00045	0.00042	0.660
Mg	mg/L	1.1	1.1	1.1	1.1	1728.571
Mn	mg/L	0.01	0.1	0.1	0.1	157.143
Mo	mg/L	0.0029	0.0089	0.0089	0.0089	13.986
Na	mg/L	0.3	0.31	0.31	0.31	487.143
Nb	mg/L	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	2.357
Nd	mg/L	0.00091	0.0041	0.0038	0.0038	5.971
Ni	mg/L	0.008	0.03	0.03	0.03	47.143
Os	mg/L	0.0083	0.015	0.015	0.015	23.571
P	mg/L	0.029	0.2	0.2	0.2	314.286
Pb	mg/L	0.022	0.13	0.13	0.13	204.286

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Pd	mg/L	0.00016	0.00048	0.00063	0.00048	0.754
Pr	mg/L	-0.00003	0.0012	0.0012	0.0012	1.886
Pt	mg/L	0.024	0.029	0.027	0.027	42.429
Rb	mg/L	1.2	1.3	1.3	1.3	2042.857
Re	mg/L	0.0049	0.0076	0.0075	0.0075	11.786
Rh	mg/L	0.00014	0.00027	0.00034	0.00027	0.424
Ru	mg/L	0.003	0.034	0.033	0.033	51.857
S	mg/L	0.16	1.3	1.3	1.3	2042.857
Sb	mg/L	0.0051	0.0021	0.0019	0.0021	3.300
Sc	mg/L	0.00015	0.00083	0.00083	0.00083	1.304
Se	mg/L	0.0036	0.0029	0.0026	0.0029	4.557
Si	mg/L	0.032	0.26	0.26	0.26	408.571
Sm	mg/L	0.0003	0.00079	0.0008	0.00079	1.241
Sn	mg/L	0.012	0.028	0.024	0.024	37.714
Sr	mg/L	0.0094	0.0095	0.0095	0.0095	14.929
Ta	mg/L	0.0024	0.00061	0.00051	0.00061	0.959
Tb	mg/L	0.00078	0.00094	0.00093	0.00093	1.461
Te	mg/L	0.062	0.06	0.06	0.06	94.286
Th	mg/L	0.05	0.17	0.18	0.17	267.143
Ti	mg/L	0.0046	0.034	0.034	0.034	53.429
Tl	mg/L	0.016	0.014	0.009	0.014	22.000
Tm	mg/L	0.00034	0.00033	0.00035	0.00034	0.534
U	mg/L	0.0029	0.0081	0.0084	0.0081	12.729
V	mg/L	0.00043	0.0044	0.0044	0.0044	6.914
W	mg/L	0.0096	0.023	0.023	0.023	36.143
Y	mg/L	0.00009	0.00076	0.00076	0.00076	1.194
Yb	mg/L	0.00011	0.00018	0.00019	0.00018	0.283
Zn	mg/L	0.025	0.25	0.25	0.25	392.857
Zr	mg/L	0.00031	0.0015	0.0015	0.0015	2.357

MUESTRA 3

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Ag	mg/L	0.0002	0.00077	0.00076	0.00076	0.1672
Al	mg/L	57	60	60	60	13200
As	mg/L	0.0084	0.068	0.072	0.068	14.96
Au	mg/L	0.00002	0.0036	0.0037	0.0036	0.792
B	mg/L	0.0024	0.017	0.017	0.017	3.74
Ba	mg/L	0.098	0.1	0.1	0.1	22
Be	mg/L	0.00074	0.0013	0.0013	0.0013	0.286
Bi	mg/L	0.0071	0.017	0.015	0.015	3.3
Ca	mg/L	5.2	5.5	5.5	5.5	1210
Cd	mg/L	-0.00015	0.0055	0.0055	0.0055	1.21
Ce	mg/L	-0.0002	0.0087	0.0087	0.0087	1.914
Co	mg/L	0.00024	0.027	0.026	0.026	5.72
Cr	mg/L	0.0024	0.099	0.099	0.099	21.78
Cs	mg/L	0.13	1.2	1.2	1.2	264
Cu	mg/L	0.02	0.15	0.15	0.15	33
Dy	mg/L	0.00005	0.0013	0.0013	0.0013	0.286
Er	mg/L	0.0003	0.09	0.091	0.09	19.8
Eu	mg/L	-0.00005	0.00031	0.00031	0.00031	0.0682
Fe	mg/L	41	43	43	43	9460
Ga	mg/L	0.00082	0.018	0.018	0.018	3.96
Gd	mg/L	0.0045	0.0077	0.0077	0.0077	1.694
Ge	mg/L	0.0077	0.015	0.014	0.014	3.08
Hf	mg/L	0.0036	0.047	0.047	0.047	10.34
Hg	mg/L	0.00021	0.00066	0.00058	0.00058	0.1276
Ho	mg/L	0.00035	0.00076	0.0007	0.0007	0.154
I	mg/L	0.0022	0.43	0.43	0.43	94.6
In	mg/L	0.0048	0.019	0.018	0.018	3.96
Ir	mg/L	-0.014	0.51	0.51	0.51	112.2
K	mg/L	0.54	0.58	0.58	0.58	127.6
La	mg/L	0.00023	0.0059	0.0059	0.0059	1.298
Li	mg/L	0.00026	0.007	0.007	0.007	1.54
Lu	mg/L	0.0001	0.0019	0.0019	0.0019	0.418
Mg	mg/L	0.98	1	1	1	220
Mn	mg/L	0.55	0.57	0.58	0.57	125.4
Mo	mg/L	0.0038	0.0083	0.0084	0.0083	1.826
Na	mg/L	0.54	0.57	0.57	0.57	125.4
Nb	mg/L	0.00047	0.0054	0.0054	0.0054	1.188
Nd	mg/L	0.00049	0.015	0.016	0.015	3.3
Ni	mg/L	0.0027	0.089	0.09	0.089	19.58
Os	mg/L	0.0061	0.027	0.027	0.027	5.94
P	mg/L	0.014	1.2	1.2	1.2	264

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Pb	mg/L	0.015	0.042	0.042	0.042	9.24
Pd	mg/L	0.00004	0.0018	0.0017	0.0017	0.374
Pr	mg/L	-0.00048	0.0052	0.005	0.005	1.1
Pt	mg/L	0.033	0.03	0.039	0.033	7.26
Rb	mg/L	-10	3.4	3.4	3.4	748
Re	mg/L	0.0015	0.028	0.028	0.028	6.16
Rh	mg/L	0.0004	0.00051	0.0003	0.0004	0.088
Ru	mg/L	0.0094	0.075	0.076	0.075	16.5
S	mg/L	0.04	4.1	4.1	4.1	902
Sb	mg/L	0.00091	0.0023	0.0036	0.0023	0.506
Sc	mg/L	0.00007	0.0038	0.0039	0.0038	0.836
Se	mg/L	0.00052	0.0065	0.0074	0.0065	1.43
Si	mg/L	0.0074	0.3	0.3	0.3	66
Sm	mg/L	0.00031	0.0029	0.003	0.0029	0.638
Sn	mg/L	0.0019	0.012	0.013	0.012	2.64
Sr	mg/L	0.031	0.032	0.032	0.032	7.04
Ta	mg/L	0.0045	0.0058	0.0058	0.0058	1.276
Tb	mg/L	0.00075	0.0014	0.0013	0.0013	0.286
Te	mg/L	0.076	0.028	0.029	0.029	6.38
Th	mg/L	0.036	0.59	0.59	0.59	129.8
Ti	mg/L	0.00023	0.063	0.063	0.063	13.86
Tl	mg/L	0.013	0.017	0.015	0.015	3.3
Tm	mg/L	0.00033	0.00046	0.00046	0.00046	0.1012
U	mg/L	0.0016	0.035	0.035	0.035	7.7
V	mg/L	-0.00005	0.039	0.039	0.039	8.58
W	mg/L	0.0057	0.07	0.07	0.07	15.4
Y	mg/L	-0.00003	0.005	0.005	0.005	1.1
Yb	mg/L	0.0001	0.00061	0.00061	0.00061	0.1342
Zn	mg/L	0.91	0.96	0.96	0.96	211.2
Zr	mg/L	0.00012	0.005	0.005	0.005	1.1

MUESTRA 4

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Ag	mg/L	0.00019	0.0015	0.0015	0.0015	1.5
Al	mg/L	12	15	15	15	15000
As	mg/L	0.0044	0.022	0.02	0.02	20
Au	mg/L	-0.00012	0.001	0.0012	0.001	1
B	mg/L	0.0024	0.01	0.01	0.01	10
Ba	mg/L	0.054	0.067	0.067	0.067	67
Be	mg/L	0.00074	0.00091	0.00091	0.00091	0.91
Bi	mg/L	0.0071	0.014	0.013	0.013	13
Ca	mg/L	2.8	3.5	3.5	3.5	3500
Cd	mg/L	-0.00012	0.0032	0.0033	0.0032	3.2
Ce	mg/L	0.0027	0.0046	0.0046	0.0046	4.6
Co	mg/L	0.00048	0.008	0.0082	0.008	8
Cr	mg/L	0.0023	0.11	0.11	0.11	110
Cs	mg/L	0.11	0.73	0.75	0.73	730
Cu	mg/L	0.021	0.26	0.26	0.26	260
Dy	mg/L	0.00006	0.00044	0.00046	0.00044	0.44
Er	mg/L	0.00034	0.053	0.054	0.053	53
Eu	mg/L	0.00007	0.00012	0.00011	0.00011	0.11
Fe	mg/L	12	15	15	15	15000
Ga	mg/L	0.0019	0.0069	0.007	0.0069	6.9
Gd	mg/L	0.0045	0.0051	0.0052	0.0051	5.1
Ge	mg/L	0.011	0.0093	0.0093	0.0093	9.3
Hf	mg/L	0.002	0.0026	0.0032	0.0026	2.6
Hg	mg/L	0.00013	0.00063	0.00062	0.00062	0.62
Ho	mg/L	0.00039	0.00047	0.00046	0.00046	0.46
I	mg/L	0.0069	0.13	0.14	0.13	130
In	mg/L	0.005	0.01	0.011	0.01	10
Ir	mg/L	0.03	0.022	0.021	0.022	22
K	mg/L	0.16	0.2	0.2	0.2	200
La	mg/L	0.00025	0.0025	0.0025	0.0025	2.5
Li	mg/L	0.00026	0.0017	0.0017	0.0017	1.7
Lu	mg/L	0.00014	0.00079	0.00077	0.00077	0.77
Mg	mg/L	0.51	0.63	0.63	0.63	630
Mn	mg/L	0.18	0.23	0.23	0.23	230
Mo	mg/L	0.0015	0.01	0.0085	0.0085	8.5
Na	mg/L	0.33	0.41	0.41	0.41	410
Nb	mg/L	0.0014	0.0018	0.0018	0.0018	1.8
Nd	mg/L	0.00047	0.0074	0.0073	0.0073	7.3
Ni	mg/L	0.0061	0.055	0.055	0.055	55
Os	mg/L	0.0071	0.018	0.018	0.018	18
P	mg/L	0.011	0.37	0.37	0.37	370
Pb	mg/L	-0.0044	0.27	0.28	0.27	270

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Pd	mg/L	0.00001	0.00076	0.00078	0.00076	0.76
Pr	mg/L	-0.00028	0.0022	0.0022	0.0022	2.2
Pt	mg/L	0.026	0.021	0.019	0.021	21
Rb	mg/L	1.1	1.7	1.7	1.7	1700
Re	mg/L	0.0022	0.012	0.013	0.012	12
Rh	mg/L	-0.00003	0.00026	0.00044	0.00026	0.26
Ru	mg/L	0.0086	0.079	0.08	0.079	79
S	mg/L	0.05	2	2	2	2000
Sb	mg/L	0.0016	0.0037	0.0028	0.0028	2.8
Sc	mg/L	0.00006	0.0015	0.0015	0.0015	1.5
Se	mg/L	0.0038	0.0025	0.0068	0.0038	3.8
Si	mg/L	0.0069	0.28	0.28	0.28	280
Sm	mg/L	0.00027	0.0011	0.0012	0.0011	1.1
Sn	mg/L	0.0084	0.015	0.013	0.013	13
Sr	mg/L	0.013	0.016	0.016	0.016	16
Ta	mg/L	0.00047	0.0024	0.0017	0.0017	1.7
Tb	mg/L	0.0007	0.0011	0.0011	0.0011	1.1
Te	mg/L	0.069	0.06	0.06	0.06	60
Th	mg/L	0.036	0.27	0.28	0.27	270
Ti	mg/L	0.057	0.07	0.07	0.07	70
Tl	mg/L	0.0068	0.013	0.0085	0.0085	8.5
Tm	mg/L	0.00033	0.00036	0.00035	0.00035	0.35
U	mg/L	0.0019	0.014	0.014	0.014	14
V	mg/L	-0.00003	0.01	0.01	0.01	10
W	mg/L	0.0055	0.036	0.036	0.036	36
Y	mg/L	0.00003	0.0018	0.0018	0.0018	1.8
Yb	mg/L	0.00009	0.00027	0.00028	0.00027	0.27
Zn	mg/L	0.35	0.43	0.43	0.43	430
Zr	mg/L	0.00017	0.0035	0.0036	0.0035	3.5

MUESTRA 5

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Ag	mg/L	0.00023	0.0013	0.0013	0.0013	0.286
Al	mg/L	68	74	73	73	16060
As	mg/L	0.0075	0.08	0.08	0.08	17.6
Au	mg/L	-0.00041	0.008	0.0079	0.0079	1.738
B	mg/L	0.0022	0.02	0.02	0.02	4.4
Ba	mg/L	0.11	0.12	0.12	0.12	26.4
Be	mg/L	0.00073	0.0013	0.0013	0.0013	0.286
Bi	mg/L	0.0082	0.022	0.021	0.021	4.62
Ca	mg/L	5.7	6.2	6.2	6.2	1364
Cd	mg/L	-0.00009	0.0062	0.0061	0.0061	1.342
Ce	mg/L	-0.00029	0.01	0.01	0.01	2.2
Co	mg/L	0.0003	0.043	0.043	0.043	9.46
Cr	mg/L	0.0021	0.12	0.13	0.12	26.4
Cs	mg/L	0.12	1.4	1.4	1.4	308
Cu	mg/L	0.02	0.18	0.18	0.18	39.6
Dy	mg/L	0.00004	0.002	0.0021	0.002	0.44
Er	mg/L	0.14	0.15	0.15	0.15	33
Eu	mg/L	-0.00005	0.00039	0.00037	0.00037	0.0814
Fe	mg/L	51	55	55	55	12100
Ga	mg/L	0.00094	0.022	0.022	0.022	4.84
Gd	mg/L	0.0044	0.0085	0.0085	0.0085	1.87
Ge	mg/L	0.0076	0.019	0.017	0.017	3.74
Hf	mg/L	0.0037	0.059	0.06	0.059	12.98
Hg	mg/L	0.00028	0.0014	0.0013	0.0013	0.286
Ho	mg/L	0.00033	0.0007	0.0007	0.0007	0.154
I	mg/L	0.0076	0.51	0.51	0.51	112.2
In	mg/L	0.0049	0.034	0.034	0.034	7.48
Ir	mg/L	-0.013	0.58	0.61	0.58	127.6
K	mg/L	0.8	0.87	0.87	0.87	191.4
La	mg/L	0.0002	0.0068	0.0068	0.0068	1.496
Li	mg/L	0.00025	0.0088	0.0088	0.0088	1.936
Lu	mg/L	0.00015	0.0024	0.0024	0.0024	0.528
Mg	mg/L	1.1	1.2	1.2	1.2	264
Mn	mg/L	1.5	1.7	1.7	1.7	374
Mo	mg/L	0.00089	0.0088	0.0093	0.0088	1.936
Na	mg/L	0.62	0.67	0.66	0.66	145.2
Nb	mg/L	0.00046	0.0062	0.0063	0.0062	1.364
Nd	mg/L	0.00056	0.018	0.019	0.018	3.96
Ni	mg/L	0.0029	0.1	0.099	0.099	21.78
Os	mg/L	0.0061	0.026	0.018	0.018	3.96
P	mg/L	0.0048	1.4	1.4	1.4	308
Pb	mg/L	0.016	0.05	0.049	0.049	10.78

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Pd	mg/L	0.00011	0.0019	0.0021	0.0019	0.418
Pr	mg/L	-0.00043	0.0061	0.006	0.006	1.32
Pt	mg/L	0.027	0.065	0.046	0.046	10.12
Rb	mg/L	-13	4.2	4.2	4.2	924
Re	mg/L	0.0019	0.034	0.034	0.034	7.48
Rh	mg/L	0.00013	0.00081	0.00093	0.00081	0.1782
Ru	mg/L	0.0096	0.093	0.095	0.093	20.46
S	mg/L	0.04	5.3	5.3	5.3	1166
Sb	mg/L	0.0023	0.004	0.0047	0.004	0.88
Sc	mg/L	0.00001	0.0033	0.0033	0.0033	0.726
Se	mg/L	0.0024	0.0019	0.0059	0.0024	0.528
Si	mg/L	0.0068	0.3	0.3	0.3	66
Sm	mg/L	0.00026	0.0034	0.0034	0.0034	0.748
Sn	mg/L	0.0086	0.017	0.016	0.016	3.52
Sr	mg/L	0.035	0.038	0.038	0.038	8.36
Ta	mg/L	0.0006	0.0097	0.0091	0.0091	2.002
Tb	mg/L	0.00072	0.0015	0.0015	0.0015	0.33
Te	mg/L	0.071	0.062	0.011	0.062	13.64
Th	mg/L	0.042	0.7	0.7	0.7	154
Ti	mg/L	0.18	0.19	0.19	0.19	41.8
Tl	mg/L	0.013	0.018	0.016	0.016	3.52
Tm	mg/L	0.00034	0.00049	0.0005	0.00049	0.1078
U	mg/L	0.0014	0.043	0.044	0.043	9.46
V	mg/L	-0.00007	0.047	0.047	0.047	10.34
W	mg/L	0.0047	0.1	0.1	0.1	22
Y	mg/L	-0.00002	0.0055	0.0055	0.0055	1.21
Yb	mg/L	0.00009	0.00067	0.00067	0.00067	0.1474
Zn	mg/L	1.4	1.5	1.5	1.5	330
Zr	mg/L	0.00014	0.0076	0.0076	0.0076	1.672

MUESTRA 6

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Ag	mg/L	0.00024	0.00056	0.00061	0.00056	2.053333333
Al	mg/L	6	6.8	6.8	6.8	24933.33333
As	mg/L	0.0077	0.013	0.015	0.013	47.66666667
Au	mg/L	0.00017	0.00078	0.00087	0.00078	2.86
B	mg/L	0.0021	0.0068	0.0068	0.0068	24.93333333
Ba	mg/L	0.022	0.024	0.024	0.024	88
Be	mg/L	0.00073	0.00082	0.00081	0.00081	2.97
Bi	mg/L	0.0079	0.01	0.013	0.01	36.66666667
Ca	mg/L	2	2.2	2.2	2.2	8066.666667
Cd	mg/L	-0.00017	0.0019	0.0019	0.0019	6.966666667
Ce	mg/L	0.0026	0.0036	0.0034	0.0034	12.46666667
Co	mg/L	0.001	0.012	0.012	0.012	44
Cr	mg/L	0.0018	0.04	0.04	0.04	146.6666667
Cs	mg/L	0.12	0.35	0.36	0.35	1283.333333
Cu	mg/L	0.021	0.13	0.13	0.13	476.6666667
Dy	mg/L	0.00011	0.00027	0.00027	0.00027	0.99
Er	mg/L	0.00036	0.027	0.027	0.027	99
Eu	mg/L	0.00006	0.00008	0.00007	0.00007	0.256666667
Fe	mg/L	6	6.7	6.7	6.7	24566.66667
Ga	mg/L	0.002	0.0041	0.0039	0.0039	14.3
Gd	mg/L	0.0046	0.0045	0.0045	0.0045	16.5
Ge	mg/L	0.011	0.0095	0.0092	0.0095	34.83333333
Hf	mg/L	0.0017	0.0024	0.0016	0.0017	6.233333333
Hg	mg/L	0.00025	0.00029	0.00052	0.00029	1.063333333
Ho	mg/L	0.00038	0.00043	0.00041	0.00041	1.503333333
I	mg/L	0.0027	0.061	0.065	0.061	223.6666667
In	mg/L	0.0052	0.0085	0.0081	0.0081	29.7
Ir	mg/L	0.027	0.033	0.039	0.033	121
K	mg/L	0.0032	0.11	0.11	0.11	403.3333333
La	mg/L	0.00018	0.0012	0.0011	0.0011	4.033333333
Li	mg/L	0.00026	0.00099	0.00099	0.00099	3.63
Lu	mg/L	0.00015	0.00041	0.0004	0.0004	1.466666667
Mg	mg/L	1.1	1.3	1.3	1.3	4766.666667
Mn	mg/L	0.13	0.15	0.15	0.15	550
Mo	mg/L	0.0016	0.0094	0.01	0.0094	34.46666667
Na	mg/L	0.29	0.33	0.33	0.33	1210
Nb	mg/L	0.0014	0.0015	0.0015	0.0015	5.5
Nd	mg/L	0.00048	0.004	0.004	0.004	14.66666667
Ni	mg/L	0.006	0.03	0.03	0.03	110
Os	mg/L	0.0067	0.013	0.019	0.013	47.66666667
P	mg/L	0.012	0.18	0.17	0.17	623.3333333
Pb	mg/L	0.01	0.091	0.091	0.091	333.6666667

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Pd	mg/L	0.00005	0.00066	0.0004	0.0004	1.466666667
Pr	mg/L	-0.00055	0.0013	0.0013	0.0013	4.766666667
Pt	mg/L	0.033	0.028	0.029	0.029	106.3333333
Rb	mg/L	1.2	1.3	1.3	1.3	4766.666667
Re	mg/L	0.0048	0.0075	0.0083	0.0075	27.5
Rh	mg/L	0.00023	0.00025	0.00016	0.00023	0.843333333
Ru	mg/L	0.00039	0.029	0.03	0.029	106.3333333
S	mg/L	0.037	1.4	1.4	1.4	5133.333333
Sb	mg/L	0.0022	0.0032	0.00031	0.0022	8.066666667
Sc	mg/L	0.00001	0.00033	0.00033	0.00033	1.21
Se	mg/L	0.00065	0.0037	0.0011	0.0011	4.033333333
Si	mg/L	0.0066	0.29	0.3	0.29	1063.333333
Sm	mg/L	0.00036	0.00077	0.0007	0.0007	2.566666667
Sn	mg/L	0.005	0.0093	0.0092	0.0092	33.73333333
Sr	mg/L	0.0085	0.0096	0.0096	0.0096	35.2
Ta	mg/L	0.0016	0.001	0.00085	0.001	3.666666667
Tb	mg/L	0.00079	0.00094	0.00096	0.00094	3.446666667
Te	mg/L	0.076	0.07	0.071	0.071	260.3333333
Th	mg/L	0.04	0.18	0.18	0.18	660
Ti	mg/L	0.0018	0.036	0.036	0.036	132
Tl	mg/L	0.0079	0.011	0.011	0.011	40.33333333
Tm	mg/L	0.00039	0.00039	0.0004	0.00039	1.43
U	mg/L	0.0024	0.0083	0.0088	0.0083	30.43333333
V	mg/L	-0.00002	0.0044	0.0044	0.0044	16.13333333
W	mg/L	0.0043	0.021	0.021	0.021	77
Y	mg/L	0.00002	0.00072	0.00073	0.00072	2.64
Yb	mg/L	0.00011	0.00018	0.00019	0.00018	0.66
Zn	mg/L	0.0032	0.25	0.25	0.25	916.6666667
Zr	mg/L	0.00016	0.0016	0.0016	0.0016	5.866666667

MUESTRA 7

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Ag	mg/L	0.00022	0.0021	0.0022	0.0021	1.54
Al	mg/L	12	13	13	13	9533.333333
As	mg/L	0.0048	0.021	0.022	0.021	15.4
Au	mg/L	-0.00033	0.0021	0.0022	0.0021	1.54
B	mg/L	0.0025	0.014	0.014	0.014	10.26666667
Ba	mg/L	0.028	0.032	0.032	0.032	23.46666667
Be	mg/L	0.00073	0.00087	0.00087	0.00087	0.638
Bi	mg/L	0.0087	0.013	0.012	0.012	8.8
Ca	mg/L	2.9	3.3	3.3	3.3	2420
Cd	mg/L	0.00023	0.0012	0.0013	0.0012	0.88
Ce	mg/L	0.0028	0.0038	0.0038	0.0038	2.786666667
Co	mg/L	0.00054	0.0095	0.0095	0.0095	6.966666667
Cr	mg/L	0.0024	0.036	0.037	0.036	26.4
Cs	mg/L	0.15	0.48	0.42	0.42	308
Cu	mg/L	0.02	0.085	0.085	0.085	62.33333333
Dy	mg/L	0.00013	0.00055	0.00051	0.00051	0.374
Er	mg/L	0.00033	0.036	0.036	0.036	26.4
Eu	mg/L	0.00005	0.00008	0.0001	0.00008	0.058666667
Fe	mg/L	12	13	14	13	9533.333333
Ga	mg/L	0.0019	0.0063	0.0062	0.0062	4.546666667
Gd	mg/L	0.0047	0.0051	0.0051	0.0051	3.74
Ge	mg/L	0.01	0.0094	0.0092	0.0094	6.893333333
Hf	mg/L	0.0037	0.018	0.018	0.018	13.2
Hg	mg/L	0.0002	0.0072	0.0071	0.0071	5.206666667
Ho	mg/L	0.00039	0.00049	0.00051	0.00049	0.359333333
I	mg/L	0.0038	0.26	0.26	0.26	190.6666667
In	mg/L	0.0047	0.014	0.014	0.014	10.26666667
Ir	mg/L	-0.018	0.15	0.16	0.15	110
K	mg/L	0.15	0.17	0.17	0.17	124.6666667
La	mg/L	0.0002	0.0021	0.0021	0.0021	1.54
Li	mg/L	0.00026	0.0015	0.0015	0.0015	1.1
Lu	mg/L	0.00015	0.00065	0.00072	0.00065	0.476666667
Mg	mg/L	0.65	0.74	0.75	0.74	542.6666667
Mn	mg/L	0.45	0.51	0.52	0.51	374
Mo	mg/L	0.0019	0.0073	0.0073	0.0073	5.353333333
Na	mg/L	0.23	0.26	0.26	0.26	190.6666667
Nb	mg/L	0.0014	0.0018	0.0019	0.0018	1.32
Nd	mg/L	0.00046	0.0061	0.0061	0.0061	4.473333333
Ni	mg/L	0.006	0.04	0.039	0.039	28.6
Os	mg/L	0.012	0.013	0.01	0.012	8.8
P	mg/L	0.017	0.67	0.67	0.67	491.3333333
Pb	mg/L	0.0038	0.031	0.033	0.031	22.73333333

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Pd	mg/L	-0.00002	0.0007	0.00069	0.00069	0.506
Pr	mg/L	-0.00018	0.0022	0.0023	0.0022	1.613333333
Pt	mg/L	0.029	0.025	0.026	0.026	19.06666667
Rb	mg/L	1.1	1.6	1.6	1.6	1173.333333
Re	mg/L	-0.0012	0.019	0.019	0.019	13.93333333
Rh	mg/L	0.00032	0.00022	0.00019	0.00022	0.161333333
Ru	mg/L	0.0083	0.031	0.031	0.031	22.73333333
S	mg/L	0.045	1.2	1.3	1.2	880
Sb	mg/L	0.0013	0.0027	0.0022	0.0022	1.613333333
Sc	mg/L	0	0.00058	0.00058	0.00058	0.425333333
Se	mg/L	0.0044	0.0039	0.0044	0.0044	3.226666667
Si	mg/L	0.0071	0.43	0.43	0.43	315.3333333
Sm	mg/L	0.00034	0.0011	0.001	0.001	0.733333333
Sn	mg/L	0.0032	0.014	0.008	0.008	5.866666667
Sr	mg/L	0.011	0.012	0.012	0.012	8.8
Ta	mg/L	0.00055	0.001	0.0014	0.001	0.733333333
Tb	mg/L	0.00068	0.0011	0.001	0.001	0.733333333
Te	mg/L	0.077	0.062	0.063	0.063	46.2
Th	mg/L	0.039	0.26	0.26	0.26	190.6666667
Ti	mg/L	0.0018	0.048	0.048	0.048	35.2
Tl	mg/L	0.0026	0.0093	0.012	0.0093	6.82
Tm	mg/L	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.286
U	mg/L	0.0017	0.013	0.013	0.013	9.533333333
V	mg/L	-0.00005	0.0093	0.0093	0.0093	6.82
W	mg/L	0.0082	0.024	0.024	0.024	17.6
Y	mg/L	0.00002	0.0013	0.0013	0.0013	0.953333333
Yb	mg/L	0.0001	0.00025	0.00026	0.00025	0.183333333
Zn	mg/L	0.0024	0.26	0.26	0.26	190.6666667
Zr	mg/L	0.00016	0.0013	0.0013	0.0013	0.953333333

MUESTRA 8

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Ag	mg/L	0.00019	0.0025	0.0026	0.0025	1.833333333
Al	mg/L	13	14	14	14	10266.66667
As	mg/L	0.0039	0.019	0.02	0.019	13.93333333
Au	mg/L	0.00011	0.0014	0.0013	0.0013	0.953333333
B	mg/L	0.0023	0.013	0.013	0.013	9.533333333
Ba	mg/L	0.032	0.033	0.033	0.033	24.2
Be	mg/L	0.00075	0.00092	0.00093	0.00092	0.674666667
Bi	mg/L	0.0085	0.012	0.013	0.012	8.8
Ca	mg/L	1.9	1.9	1.9	1.9	1393.333333
Cd	mg/L	-0.00015	0.0016	0.0015	0.0015	1.1
Ce	mg/L	0.0025	0.0036	0.0038	0.0036	2.64
Co	mg/L	0.0006	0.0081	0.0083	0.0081	5.94
Cr	mg/L	0.0022	0.034	0.034	0.034	24.93333333
Cs	mg/L	0.13	0.47	0.46	0.46	337.3333333
Cu	mg/L	0.021	0.081	0.081	0.081	59.4
Dy	mg/L	0.00003	0.00047	0.00046	0.00046	0.337333333
Er	mg/L	0.00034	0.035	0.035	0.035	25.66666667
Eu	mg/L	0.00006	0.00011	0.00011	0.00011	0.080666667
Fe	mg/L	12	13	13	13	9533.333333
Ga	mg/L	0.002	0.0064	0.0061	0.0061	4.473333333
Gd	mg/L	0.0047	0.0051	0.0051	0.0051	3.74
Ge	mg/L	0.01	0.011	0.011	0.011	8.066666667
Hf	mg/L	0.0037	0.017	0.017	0.017	12.46666667
Hg	mg/L	0.00027	0.0026	0.0025	0.0025	1.833333333
Ho	mg/L	0.00035	0.00042	0.00045	0.00042	0.308
I	mg/L	0.005	0.13	0.13	0.13	95.33333333
In	mg/L	0.0046	0.01	0.01	0.01	7.333333333
Ir	mg/L	-0.013	0.15	0.15	0.15	110
K	mg/L	0.0027	0.13	0.13	0.13	95.33333333
La	mg/L	0.00021	0.0019	0.0019	0.0019	1.393333333
Li	mg/L	0.00026	0.0015	0.0015	0.0015	1.1
Lu	mg/L	0.00012	0.00064	0.0007	0.00064	0.469333333
Mg	mg/L	0.76	0.8	0.8	0.8	586.6666667
Mn	mg/L	0.26	0.27	0.27	0.27	198
Mo	mg/L	0.0033	0.0096	0.0082	0.0082	6.013333333
Na	mg/L	0.14	0.15	0.15	0.15	110
Nb	mg/L	0.0014	0.0019	0.002	0.0019	1.393333333
Nd	mg/L	0.00048	0.0053	0.0053	0.0053	3.886666667
Ni	mg/L	0.006	0.039	0.039	0.039	28.6
Os	mg/L	0.0069	0.015	0.021	0.015	11
P	mg/L	0.0082	0.35	0.36	0.35	256.6666667
Pb	mg/L	-0.0026	0.062	0.063	0.062	45.46666667

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Pd	mg/L	0.00014	0.00054	0.00055	0.00054	0.396
Pr	mg/L	0.00004	0.0015	0.0014	0.0014	1.026666667
Pt	mg/L	0.029	0.027	0.026	0.027	19.8
Rb	mg/L	1.1	1.5	1.5	1.5	1100
Re	mg/L	-0.00093	0.019	0.02	0.019	13.93333333
Rh	mg/L	0.00012	0.00028	0.00022	0.00022	0.161333333
Ru	mg/L	0.0087	0.029	0.029	0.029	21.26666667
S	mg/L	0.03	1.3	1.3	1.3	953.3333333
Sb	mg/L	0.00091	0.0019	0.0017	0.0017	1.246666667
Sc	mg/L	0.00001	0.00064	0.00065	0.00064	0.469333333
Se	mg/L	0.00034	0.003	0.0031	0.003	2.2
Si	mg/L	0.0066	0.49	0.5	0.49	359.3333333
Sm	mg/L	0.00041	0.00099	0.0011	0.00099	0.726
Sn	mg/L	0.0069	0.011	0.0095	0.0095	6.966666667
Sr	mg/L	0.0088	0.0092	0.0092	0.0092	6.746666667
Ta	mg/L	0.00091	0.0012	0.0013	0.0012	0.88
Tb	mg/L	0.00077	0.00089	0.00085	0.00085	0.623333333
Te	mg/L	0.072	0.063	0.062	0.063	46.2
Th	mg/L	0.035	0.19	0.19	0.19	139.3333333
Ti	mg/L	0.0018	0.047	0.047	0.047	34.46666667
Tl	mg/L	0.0065	0.011	0.0083	0.0083	6.086666667
Tm	mg/L	0.00034	0.00032	0.00035	0.00034	0.249333333
U	mg/L	0.0017	0.012	0.012	0.012	8.8
V	mg/L	-0.00005	0.01	0.01	0.01	7.333333333
W	mg/L	0.0063	0.027	0.027	0.027	19.8
Y	mg/L	0.00002	0.0015	0.0015	0.0015	1.1
Yb	mg/L	0.00009	0.00024	0.00025	0.00024	0.176
Zn	mg/L	0.0023	0.26	0.26	0.26	190.6666667
Zr	mg/L	0.00015	0.0014	0.0014	0.0014	1.026666667

MUESTRA 9

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Ag	mg/L	0.00017	0.0013	0.0013	0.0013	0.953333333
Al	mg/L	11	14	14	14	10266.66667
As	mg/L	0.0078	0.021	0.021	0.021	15.4
Au	mg/L	0.00028	0.0013	0.0013	0.0013	0.953333333
B	mg/L	0.0024	0.015	0.014	0.014	10.26666667
Ba	mg/L	0.025	0.032	0.033	0.032	23.46666667
Be	mg/L	0.00078	0.00095	0.00095	0.00095	0.696666667
Bi	mg/L	0.0078	0.013	0.012	0.012	8.8
Ca	mg/L	1.6	2	2	2	1466.666667
Cd	mg/L	-0.00008	0.0015	0.0015	0.0015	1.1
Ce	mg/L	0.0027	0.0038	0.0039	0.0038	2.786666667
Co	mg/L	0.00001	0.0085	0.0086	0.0085	6.233333333
Cr	mg/L	0.0021	0.027	0.027	0.027	19.8
Cs	mg/L	0.13	0.46	0.49	0.46	337.3333333
Cu	mg/L	0.022	0.056	0.056	0.056	41.06666667
Dy	mg/L	0.00007	0.00047	0.00046	0.00046	0.337333333
Er	mg/L	0.00032	0.037	0.037	0.037	27.13333333
Eu	mg/L	0.00007	0.00011	0.0001	0.0001	0.073333333
Fe	mg/L	10	13	13	13	9533.333333
Ga	mg/L	0.002	0.0063	0.0062	0.0062	4.546666667
Gd	mg/L	0.0046	0.0051	0.0051	0.0051	3.74
Ge	mg/L	0.011	0.011	0.011	0.011	8.066666667
Hf	mg/L	0.0039	0.017	0.017	0.017	12.46666667
Hg	mg/L	0.00008	0.0016	0.0017	0.0016	1.173333333
Ho	mg/L	0.00041	0.00044	0.00038	0.00041	0.300666667
I	mg/L	0.0061	0.11	0.11	0.11	80.66666667
In	mg/L	0.0047	0.0097	0.01	0.0097	7.113333333
Ir	mg/L	-0.015	0.12	0.12	0.12	88
K	mg/L	0.11	0.15	0.15	0.15	110
La	mg/L	0.0002	0.0019	0.0019	0.0019	1.393333333
Li	mg/L	0.00026	0.0015	0.0015	0.0015	1.1
Lu	mg/L	0.00015	0.0007	0.0007	0.0007	0.513333333
Mg	mg/L	0.58	0.75	0.76	0.75	550
Mn	mg/L	0.2	0.26	0.26	0.26	190.6666667
Mo	mg/L	0.0033	0.0082	0.0096	0.0082	6.013333333
Na	mg/L	0.1	0.13	0.13	0.13	95.33333333
Nb	mg/L	0.0015	0.0021	0.002	0.002	1.466666667
Nd	mg/L	0.00062	0.0055	0.0054	0.0054	3.96
Ni	mg/L	0.0062	0.043	0.043	0.043	31.53333333
Os	mg/L	0.003	0.018	0.016	0.016	11.73333333
P	mg/L	0.017	0.32	0.33	0.32	234.6666667
Pb	mg/L	-0.0033	0.033	0.037	0.033	24.2

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Pd	mg/L	0.00007	0.00063	0.00054	0.00054	0.396
Pr	mg/L	-0.00016	0.0015	0.0015	0.0015	1.1
Pt	mg/L	0.03	0.027	0.034	0.03	22
Rb	mg/L	1.1	1.5	1.5	1.5	1100
Re	mg/L	-0.0016	0.019	0.019	0.019	13.93333333
Rh	mg/L	0.00027	0.00005	0.00029	0.00027	0.198
Ru	mg/L	0.0083	0.025	0.025	0.025	18.33333333
S	mg/L	0.038	1.4	1.4	1.4	1026.666667
Sb	mg/L	0.0011	0.0023	0.0016	0.0016	1.173333333
Sc	mg/L	0.00001	0.00069	0.00069	0.00069	0.506
Se	mg/L	0.0015	0.0014	0.0044	0.0015	1.1
Si	mg/L	0.007	0.48	0.48	0.48	352
Sm	mg/L	0.00023	0.0011	0.001	0.001	0.733333333
Sn	mg/L	0.0067	0.0072	0.0097	0.0072	5.28
Sr	mg/L	0.0075	0.0096	0.0097	0.0096	7.04
Ta	mg/L	0.0011	0.0017	0.0016	0.0016	1.173333333
Tb	mg/L	0.00073	0.00094	0.00091	0.00091	0.667333333
Te	mg/L	0.074	0.063	0.067	0.067	49.13333333
Th	mg/L	0.041	0.2	0.2	0.2	146.6666667
Ti	mg/L	0.0018	0.049	0.049	0.049	35.93333333
Tl	mg/L	0.0094	0.011	0.01	0.01	7.333333333
Tm	mg/L	0.00031	0.00038	0.00036	0.00036	0.264
U	mg/L	0.0016	0.012	0.011	0.011	8.066666667
V	mg/L	-0.00003	0.011	0.011	0.011	8.066666667
W	mg/L	0.0056	0.031	0.032	0.031	22.73333333
Y	mg/L	0.00003	0.0015	0.0015	0.0015	1.1
Yb	mg/L	0.00011	0.00024	0.00025	0.00024	0.176
Zn	mg/L	0.0024	0.34	0.34	0.34	249.3333333
Zr	mg/L	0.00019	0.0017	0.0018	0.0017	1.246666667

MUESTRA 10

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Ag	mg/L	0.00013	0.0014	0.0014	0.0014	1.026666667
Al	mg/L	14	15	15	15	11000
As	mg/L	0.0089	0.022	0.021	0.021	15.4
Au	mg/L	0.0001	0.0013	0.0011	0.0011	0.806666667
B	mg/L	0.0023	0.014	0.014	0.014	10.26666667
Ba	mg/L	0.036	0.039	0.039	0.039	28.6
Be	mg/L	0.00076	0.00091	0.00092	0.00091	0.667333333
Bi	mg/L	0.0081	0.012	0.013	0.012	8.8
Ca	mg/L	1.7	1.8	1.8	1.8	1320
Cd	mg/L	-0.00009	0.0018	0.0019	0.0018	1.32
Ce	mg/L	0.0028	0.004	0.0042	0.004	2.933333333
Co	mg/L	0.00055	0.0077	0.008	0.0077	5.646666667
Cr	mg/L	0.0022	0.078	0.078	0.078	57.2
Cs	mg/L	0.13	0.57	0.56	0.56	410.6666667
Cu	mg/L	0.021	0.14	0.14	0.14	102.6666667
Dy	mg/L	0.00007	0.00045	0.00045	0.00045	0.33
Er	mg/L	0.00029	0.056	0.057	0.056	41.06666667
Eu	mg/L	0.00005	0.00011	0.0001	0.0001	0.073333333
Fe	mg/L	12	13	13	13	9533.333333
Ga	mg/L	0.002	0.0072	0.007	0.007	5.133333333
Gd	mg/L	0.0046	0.005	0.005	0.005	3.666666667
Ge	mg/L	0.01	0.011	0.011	0.011	8.066666667
Hf	mg/L	0.003	0.017	0.017	0.017	12.46666667
Hg	mg/L	0.00023	0.0017	0.0013	0.0013	0.953333333
Ho	mg/L	0.00034	0.00047	0.00048	0.00047	0.344666667
I	mg/L	0.0049	0.12	0.12	0.12	88
In	mg/L	0.0044	0.0097	0.0097	0.0097	7.113333333
Ir	mg/L	-0.015	0.23	0.24	0.23	168.6666667
K	mg/L	0.16	0.18	0.18	0.18	132
La	mg/L	0.0002	0.0021	0.0021	0.0021	1.54
Li	mg/L	0.00025	0.0017	0.0017	0.0017	1.246666667
Lu	mg/L	0.00012	0.00064	0.00062	0.00062	0.454666667
Mg	mg/L	1.1	1.2	1.2	1.2	880
Mn	mg/L	0.21	0.23	0.23	0.23	168.6666667
Mo	mg/L	0.0025	0.011	0.011	0.011	8.066666667
Na	mg/L	0.2	0.21	0.21	0.21	154
Nb	mg/L	0.0014	0.0019	0.0019	0.0019	1.393333333
Nd	mg/L	0.00047	0.0059	0.006	0.0059	4.326666667
Ni	mg/L	0.0066	0.047	0.047	0.047	34.46666667
Os	mg/L	0.0027	0.015	0.015	0.015	11
P	mg/L	0.0095	0.32	0.32	0.32	234.6666667
Pb	mg/L	-0.0056	0.13	0.14	0.13	95.33333333

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Pd	mg/L	0.00017	0.00069	0.00066	0.00066	0.484
Pr	mg/L	-0.00013	0.0015	0.0014	0.0014	1.026666667
Pt	mg/L	0.029	0.023	0.024	0.024	17.6
Rb	mg/L	1.1	1.4	1.5	1.4	1026.666667
Re	mg/L	0.0013	0.0084	0.0098	0.0084	6.16
Rh	mg/L	-0.00005	0.00033	0.00016	0.00016	0.1173333333
Ru	mg/L	0.0088	0.058	0.057	0.057	41.8
S	mg/L	0.029	1.3	1.3	1.3	953.3333333
Sb	mg/L	0.0004	0.0033	0.0021	0.0021	1.54
Sc	mg/L	0.00001	0.00068	0.00068	0.00068	0.498666667
Se	mg/L	0.0017	0.0048	0.0089	0.0048	3.52
Si	mg/L	0.0068	0.41	0.42	0.41	300.6666667
Sm	mg/L	0.00026	0.0012	0.0011	0.0011	0.806666667
Sn	mg/L	0.0031	0.013	0.0096	0.0096	7.04
Sr	mg/L	0.0083	0.009	0.0089	0.0089	6.526666667
Ta	mg/L	0.0012	0.002	0.0011	0.0012	0.88
Tb	mg/L	0.00075	0.00082	0.00085	0.00082	0.6013333333
Te	mg/L	0.08	0.071	0.068	0.071	52.06666667
Th	mg/L	0.04	0.19	0.19	0.19	139.3333333
Ti	mg/L	0.069	0.074	0.074	0.074	54.26666667
Tl	mg/L	0.016	0.011	0.0098	0.011	8.066666667
Tm	mg/L	0.00032	0.00038	0.00034	0.00034	0.2493333333
U	mg/L	0.0013	0.012	0.012	0.012	8.8
V	mg/L	-0.00007	0.01	0.01	0.01	7.333333333
W	mg/L	0.0072	0.029	0.029	0.029	21.26666667
Y	mg/L	0.00002	0.0014	0.0015	0.0014	1.026666667
Yb	mg/L	0.00009	0.00024	0.00023	0.00023	0.168666667
Zn	mg/L	0.0023	0.31	0.31	0.31	227.3333333
Zr	mg/L	0.00013	0.002	0.002	0.002	1.466666667

MUESTRA 11

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Ag	mg/L	0.00018	0.0027	0.0027	0.0027	4.95
Al	mg/L	6.2	6.5	6.5	6.5	11916.66667
As	mg/L	0.004	0.014	0.013	0.013	23.83333333
Au	mg/L	0.00014	0.00088	0.00071	0.00071	1.301666667
B	mg/L	0.0024	0.0087	0.0085	0.0085	15.58333333
Ba	mg/L	0.028	0.03	0.03	0.03	55
Be	mg/L	0.00078	0.00087	0.00087	0.00087	1.595
Bi	mg/L	0.0088	0.014	0.014	0.014	25.66666667
Ca	mg/L	1.3	1.3	1.3	1.3	2383.333333
Cd	mg/L	-0.00008	0.0015	0.0015	0.0015	2.75
Ce	mg/L	0.0026	0.0037	0.0037	0.0037	6.783333333
Co	mg/L	0.0014	0.013	0.013	0.013	23.83333333
Cr	mg/L	0.0024	0.073	0.074	0.073	133.8333333
Cs	mg/L	0.13	0.44	0.45	0.44	806.6666667
Cu	mg/L	0.021	0.16	0.16	0.16	293.3333333
Dy	mg/L	0.00012	0.00028	0.00031	0.00028	0.513333333
Er	mg/L	0.00027	0.042	0.042	0.042	77
Eu	mg/L	0.00006	0.00007	0.00009	0.00007	0.128333333
Fe	mg/L	6.9	7.3	7.3	7.3	13383.33333
Ga	mg/L	0.0021	0.0048	0.0047	0.0047	8.616666667
Gd	mg/L	0.0045	0.0046	0.0046	0.0046	8.433333333
Ge	mg/L	0.01	0.011	0.01	0.01	18.33333333
Hf	mg/L	0.0034	0.011	0.012	0.011	20.16666667
Hg	mg/L	0.0005	0.0004	0.00062	0.0005	0.916666667
Ho	mg/L	0.00039	0.00033	0.00035	0.00035	0.641666667
I	mg/L	0.0034	0.085	0.083	0.083	152.1666667
In	mg/L	0.0046	0.0078	0.0082	0.0078	14.3
Ir	mg/L	0.039	0.073	0.072	0.072	132
K	mg/L	0.0029	0.13	0.13	0.13	238.3333333
La	mg/L	0.00023	0.0014	0.0014	0.0014	2.566666667
Li	mg/L	0.00026	0.00081	0.00081	0.00081	1.485
Lu	mg/L	0.00014	0.00043	0.00042	0.00042	0.77
Mg	mg/L	0.76	0.8	0.8	0.8	1466.666667
Mn	mg/L	0.14	0.15	0.15	0.15	275
Mo	mg/L	0.0028	0.0083	0.0072	0.0072	13.2
Na	mg/L	0.3	0.32	0.32	0.32	586.6666667
Nb	mg/L	0.0015	0.0015	0.0016	0.0015	2.75
Nd	mg/L	0.00051	0.0041	0.004	0.004	7.333333333
Ni	mg/L	0.003	0.018	0.019	0.018	33
Os	mg/L	0.011	0.026	0.022	0.022	40.33333333
P	mg/L	0.011	0.22	0.22	0.22	403.3333333
Pb	mg/L	0.012	0.19	0.19	0.19	348.3333333

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Pd	mg/L	-0.00005	0.00056	0.00039	0.00039	0.715
Pr	mg/L	-0.00011	0.00095	0.00084	0.00084	1.54
Pt	mg/L	0.033	0.054	0.051	0.051	93.5
Rb	mg/L	1.1	1.2	1.2	1.2	2200
Re	mg/L	0.0046	0.0061	0.0071	0.0061	11.18333333
Rh	mg/L	0.00006	0.00012	0.0003	0.00012	0.22
Ru	mg/L	-0.00026	0.032	0.031	0.031	56.83333333
S	mg/L	0.027	0.72	0.73	0.72	1320
Sb	mg/L	0.0029	0.0052	0.0033	0.0033	6.05
Sc	mg/L	0.00001	0.00032	0.00031	0.00031	0.568333333
Se	mg/L	0.002	0.0028	0.0021	0.0021	3.85
Si	mg/L	0.007	0.061	0.061	0.061	111.8333333
Sm	mg/L	0.00028	0.00077	0.00073	0.00073	1.338333333
Sn	mg/L	0.0044	0.014	0.013	0.013	23.83333333
Sr	mg/L	0.0057	0.0059	0.0059	0.0059	10.81666667
Ta	mg/L	0.0012	0.0012	0.0017	0.0012	2.2
Tb	mg/L	0.00071	0.00089	0.00096	0.00089	1.631666667
Te	mg/L	0.078	0.13	0.14	0.13	238.3333333
Th	mg/L	0.037	0.15	0.15	0.15	275
Ti	mg/L	0.0018	0.056	0.056	0.056	102.6666667
Tl	mg/L	0.0084	0.019	0.019	0.019	34.83333333
Tm	mg/L	0.00033	0.00034	0.00035	0.00034	0.623333333
U	mg/L	0.0017	0.0079	0.0076	0.0076	13.93333333
V	mg/L	-0.00011	0.0044	0.0044	0.0044	8.066666667
W	mg/L	0.0062	0.027	0.026	0.026	47.66666667
Y	mg/L	0.00002	0.00089	0.0009	0.00089	1.631666667
Yb	mg/L	0.0001	0.00018	0.00018	0.00018	0.33
Zn	mg/L	0.002	0.29	0.29	0.29	531.6666667
Zr	mg/L	0.00016	0.0023	0.0023	0.0023	4.216666667

MUESTRA 12

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Ag	mg/L	0.00043	0.00091	0.00092	0.00091	1.001
Al	mg/L	11	11	11	11	12100
As	mg/L	0.012	0.017	0.019	0.017	18.7
Au	mg/L	0.00049	0.0012	0.0011	0.0011	1.21
B	mg/L	0.0046	0.0093	0.0091	0.0091	10.01
Ba	mg/L	0.058	0.059	0.059	0.059	64.9
Be	mg/L	0.00085	0.00095	0.00095	0.00095	1.045
Bi	mg/L	0.01	0.013	0.014	0.013	14.3
Ca	mg/L	2.7	2.8	2.8	2.8	3080
Cd	mg/L	0.00075	0.0029	0.0029	0.0029	3.19
Ce	mg/L	0.0032	0.0049	0.0048	0.0048	5.28
Co	mg/L	0.0024	0.0071	0.0072	0.0071	7.81
Cr	mg/L	0.045	0.13	0.13	0.13	143
Cs	mg/L	0.31	0.67	0.72	0.67	737
Cu	mg/L	0.1	0.26	0.26	0.26	286
Dy	mg/L	0.00015	0.00043	0.00044	0.00043	0.473
Er	mg/L	0.02	0.06	0.06	0.06	66
Eu	mg/L	0.00006	0.0001	0.0001	0.0001	0.11
Fe	mg/L	13	13	13	13	14300
Ga	mg/L	0.0034	0.0068	0.0072	0.0068	7.48
Gd	mg/L	0.0046	0.005	0.005	0.005	5.5
Ge	mg/L	0.011	0.0098	0.01	0.01	11
Hf	mg/L	0.0021	0.0034	0.003	0.003	3.3
Hg	mg/L	0.00038	0.0004	0.00046	0.0004	0.44
Ho	mg/L	0.00039	0.00045	0.00046	0.00045	0.495
I	mg/L	0.049	0.14	0.14	0.14	154
In	mg/L	0.0065	0.01	0.01	0.01	11
Ir	mg/L	0.038	0.037	0.035	0.037	40.7
K	mg/L	0.19	0.2	0.2	0.2	220
La	mg/L	0.00092	0.0023	0.0023	0.0023	2.53
Li	mg/L	0.00058	0.0013	0.0013	0.0013	1.43
Lu	mg/L	0.0003	0.00064	0.00071	0.00064	0.704
Mg	mg/L	1.8	1.9	1.9	1.9	2090
Mn	mg/L	0.22	0.23	0.23	0.23	253
Mo	mg/L	0.005	0.0089	0.0092	0.0089	9.79
Na	mg/L	0.29	0.3	0.3	0.3	330
Nb	mg/L	0.0015	0.0017	0.0017	0.0017	1.87
Nd	mg/L	0.0026	0.0067	0.0067	0.0067	7.37
Ni	mg/L	0.013	0.035	0.035	0.035	38.5
Os	mg/L	0.011	0.021	0.022	0.021	23.1
P	mg/L	0.13	0.37	0.37	0.37	407
Pb	mg/L	0.1	0.31	0.31	0.31	341

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Pd	mg/L	0.00035	0.00096	0.001	0.00096	1.056
Pr	mg/L	0.00042	0.0019	0.0019	0.0019	2.09
Pt	mg/L	0.031	0.032	0.031	0.031	34.1
Rb	mg/L	1.3	1.6	1.6	1.6	1760
Re	mg/L	0.0049	0.011	0.0096	0.0096	10.56
Rh	mg/L	0.00005	0.00038	0.00046	0.00038	0.418
Ru	mg/L	0.037	0.093	0.094	0.093	102.3
S	mg/L	0.43	1.2	1.2	1.2	1320
Sb	mg/L	0.003	0.0044	0.0029	0.003	3.3
Sc	mg/L	0.00044	0.0012	0.0012	0.0012	1.32
Se	mg/L	0.0022	0.005	0.0032	0.0032	3.52
Si	mg/L	0.028	0.072	0.073	0.072	79.2
Sm	mg/L	0.00048	0.0011	0.00099	0.00099	1.089
Sn	mg/L	0.0078	0.021	0.022	0.021	23.1
Sr	mg/L	0.0096	0.0097	0.0098	0.0097	10.67
Ta	mg/L	0.0016	0.00099	0.0015	0.0015	1.65
Tb	mg/L	0.00084	0.00099	0.0011	0.00099	1.089
Te	mg/L	0.079	0.073	0.077	0.077	84.7
Th	mg/L	0.11	0.24	0.25	0.24	264
Ti	mg/L	0.078	0.079	0.079	0.079	86.9
Tl	mg/L	0.0066	0.015	0.013	0.013	14.3
Tm	mg/L	0.00037	0.00033	0.00038	0.00037	0.407
U	mg/L	0.0058	0.012	0.013	0.012	13.2
V	mg/L	0.0026	0.0081	0.0081	0.0081	8.91
W	mg/L	0.016	0.039	0.036	0.036	39.6
Y	mg/L	0.00051	0.0016	0.0016	0.0016	1.76
Yb	mg/L	0.00014	0.00026	0.00026	0.00026	0.286
Zn	mg/L	0.46	0.46	0.47	0.46	506
Zr	mg/L	0.0015	0.0042	0.0042	0.0042	4.62

MUESTRA 14

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Ag	mg/L	0.00019	0.0042	0.0042	0.0042	1.026666667
Al	mg/L	35	40	40	40	9777.777778
As	mg/L	0.0064	0.047	0.052	0.047	11.48888889
Au	mg/L	-0.00028	0.0033	0.003	0.003	0.733333333
B	mg/L	0.0024	0.019	0.019	0.019	4.644444444
Ba	mg/L	0.13	0.14	0.14	0.14	34.22222222
Be	mg/L	0.00081	0.0012	0.0012	0.0012	0.293333333
Bi	mg/L	0.0077	0.023	0.023	0.023	5.622222222
Ca	mg/L	3.5	3.9	3.9	3.9	953.3333333
Cd	mg/L	-0.00014	0.0061	0.0061	0.0061	1.491111111
Ce	mg/L	0.0018	0.0097	0.0098	0.0097	2.371111111
Co	mg/L	-0.0001	0.021	0.021	0.021	5.133333333
Cr	mg/L	0.0024	0.42	0.42	0.42	102.6666667
Cs	mg/L	0.13	1.6	1.6	1.6	391.1111111
Cu	mg/L	0.68	0.75	0.76	0.75	183.3333333
Dy	mg/L	0.00004	0.0011	0.0011	0.0011	0.268888889
Er	mg/L	0.14	0.16	0.16	0.16	39.11111111
Eu	mg/L	0.00002	0.00022	0.00021	0.00021	0.051333333
Fe	mg/L	35	39	39	39	9533.333333
Ga	mg/L	0.0016	0.017	0.017	0.017	4.155555556
Gd	mg/L	0.0044	0.0075	0.0075	0.0075	1.833333333
Ge	mg/L	0.0083	0.015	0.015	0.015	3.666666667
Hf	mg/L	0.0014	0.0059	0.0058	0.0058	1.417777778
Hg	mg/L	0.00033	0.00076	0.00056	0.00056	0.136888889
Ho	mg/L	0.00033	0.0005	0.00054	0.0005	0.122222222
I	mg/L	0.0068	0.38	0.38	0.38	92.88888889
In	mg/L	0.0054	0.017	0.017	0.017	4.155555556
Ir	mg/L	0.013	0.046	0.051	0.046	11.24444444
K	mg/L	0.57	0.64	0.64	0.64	156.4444444
La	mg/L	0.00019	0.0066	0.0066	0.0066	1.613333333
Li	mg/L	0.00026	0.0041	0.0041	0.0041	1.002222222
Lu	mg/L	0.00014	0.0018	0.0018	0.0018	0.44
Mg	mg/L	1.1	1.2	1.2	1.2	293.3333333
Mn	mg/L	0.45	0.51	0.51	0.51	124.6666667
Mo	mg/L	0.0013	0.02	0.02	0.02	4.888888889
Na	mg/L	0.45	0.51	0.51	0.51	124.6666667
Nb	mg/L	0.0015	0.0023	0.0024	0.0023	0.562222222
Nd	mg/L	0.00055	0.016	0.016	0.016	3.911111111
Ni	mg/L	0.0023	0.089	0.09	0.089	21.75555556
Os	mg/L	0.0036	0.016	0.016	0.016	3.911111111
P	mg/L	0.013	1	1	1	244.4444444
Pb	mg/L	0.016	0.21	0.21	0.21	51.33333333

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Pd	mg/L	0.00022	0.0021	0.002	0.002	0.488888889
Pr	mg/L	-0.00031	0.0042	0.0043	0.0042	1.026666667
Pt	mg/L	0.029	0.035	0.038	0.035	8.555555556
Rb	mg/L	-8.5	3	3	3	733.3333333
Re	mg/L	0.0027	0.024	0.024	0.024	5.866666667
Rh	mg/L	0.00006	0.00041	0.00055	0.00041	0.100222222
Ru	mg/L	0.0084	0.28	0.28	0.28	68.44444444
S	mg/L	0.04	3.3	3.3	3.3	806.6666667
Sb	mg/L	0.00099	0.0059	0.0059	0.0059	1.442222222
Sc	mg/L	0.00001	0.0018	0.0018	0.0018	0.44
Se	mg/L	0.0013	0.0068	0.0076	0.0068	1.662222222
Si	mg/L	0.0067	0.056	0.056	0.056	13.68888889
Sm	mg/L	0.00027	0.0027	0.0027	0.0027	0.66
Sn	mg/L	0.0043	0.056	0.062	0.056	13.68888889
Sr	mg/L	0.023	0.026	0.026	0.026	6.355555556
Ta	mg/L	0.0045	0.0071	0.0055	0.0055	1.344444444
Tb	mg/L	0.00072	0.0012	0.0012	0.0012	0.293333333
Te	mg/L	0.079	0.049	0.048	0.049	11.97777778
Th	mg/L	0.043	0.49	0.49	0.49	119.7777778
Ti	mg/L	0.19	0.21	0.21	0.21	51.33333333
Tl	mg/L	0.013	0.018	0.014	0.014	3.422222222
Tm	mg/L	0.00034	0.00042	0.00047	0.00042	0.102666667
U	mg/L	0.0016	0.032	0.032	0.032	7.822222222
V	mg/L	-0.00007	0.025	0.025	0.025	6.111111111
W	mg/L	0.0084	0.083	0.084	0.083	20.28888889
Y	mg/L	-0.00002	0.0044	0.0044	0.0044	1.075555556
Yb	mg/L	0.0001	0.00052	0.00051	0.00051	0.124666667
Zn	mg/L	1.1	1.2	1.2	1.2	293.3333333
Zr	mg/L	0.00015	0.013	0.013	0.013	3.177777778

MUESTRA 15

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Ag	mg/L	0.00044	0.0018	0.0018	0.0018	0.860869565
Al	mg/L	20	20	20	20	9565.217391
As	mg/L	0.01	0.026	0.029	0.026	12.43478261
Au	mg/L	0.00015	0.0018	0.0019	0.0018	0.860869565
B	mg/L	0.0037	0.01	0.01	0.01	4.782608696
Ba	mg/L	0.084	0.085	0.085	0.085	40.65217391
Be	mg/L	0.00085	0.0011	0.0011	0.0011	0.526086957
Bi	mg/L	0.0095	0.018	0.016	0.016	7.652173913
Ca	mg/L	2.7	2.8	2.8	2.8	1339.130435
Cd	mg/L	0.0005	0.0036	0.0036	0.0036	1.72173913
Ce	mg/L	0.0033	0.0066	0.0065	0.0065	3.108695652
Co	mg/L	0.0025	0.011	0.012	0.011	5.260869565
Cr	mg/L	0.04	0.23	0.23	0.23	110
Cs	mg/L	0.29	0.95	0.98	0.95	454.3478261
Cu	mg/L	0.096	0.47	0.47	0.47	224.7826087
Dy	mg/L	0.00013	0.00072	0.0007	0.0007	0.334782609
Er	mg/L	0.014	0.086	0.086	0.086	41.13043478
Eu	mg/L	0.00006	0.00012	0.00012	0.00012	0.057391304
Fe	mg/L	23	23	23	23	11000
Ga	mg/L	0.0034	0.01	0.01	0.01	4.782608696
Gd	mg/L	0.0047	0.0058	0.0059	0.0058	2.773913043
Ge	mg/L	0.011	0.012	0.012	0.012	5.739130435
Hf	mg/L	0.0018	0.0038	0.0034	0.0034	1.626086957
Hg	mg/L	0.00021	0.00043	0.00049	0.00043	0.205652174
Ho	mg/L	0.0004	0.00049	0.00046	0.00046	0.22
I	mg/L	0.046	0.25	0.25	0.25	119.5652174
In	mg/L	0.006	0.013	0.014	0.013	6.217391304
Ir	mg/L	0.04	0.045	0.03	0.04	19.13043478
K	mg/L	0.3	0.3	0.31	0.3	143.4782609
La	mg/L	0.00084	0.0041	0.0042	0.0041	1.960869565
Li	mg/L	0.00056	0.0022	0.0022	0.0022	1.052173913
Lu	mg/L	0.00031	0.0011	0.0011	0.0011	0.526086957
Mg	mg/L	0.69	0.7	0.7	0.7	334.7826087
Mn	mg/L	0.34	0.34	0.34	0.34	162.6086957
Mo	mg/L	0.0033	0.011	0.011	0.011	5.260869565
Na	mg/L	0.38	0.38	0.38	0.38	181.7391304
Nb	mg/L	0.0016	0.002	0.0021	0.002	0.956521739
Nd	mg/L	0.0021	0.0096	0.0097	0.0096	4.591304348
Ni	mg/L	0.0099	0.047	0.047	0.047	22.47826087
Os	mg/L	0.0089	0.021	0.024	0.021	10.04347826
P	mg/L	0.12	0.68	0.67	0.67	320.4347826
Pb	mg/L	0.089	0.56	0.57	0.56	267.826087

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Pd	mg/L	0.00015	0.00095	0.0012	0.00095	0.454347826
Pr	mg/L	0.00031	0.0024	0.0026	0.0024	1.147826087
Pt	mg/L	0.03	0.031	0.023	0.03	14.34782609
Rb	mg/L	1.3	2	2	2	956.5217391
Re	mg/L	0.0039	0.014	0.015	0.014	6.695652174
Rh	mg/L	0.0003	0.00053	0.00031	0.00031	0.14826087
Ru	mg/L	0.033	0.16	0.16	0.16	76.52173913
S	mg/L	0.38	2.1	2.1	2.1	1004.347826
Sb	mg/L	0.0024	0.0034	0.0038	0.0034	1.626086957
Sc	mg/L	0.00018	0.001	0.001	0.001	0.47826087
Se	mg/L	0.0024	0.0049	0.00092	0.0024	1.147826087
Si	mg/L	0.017	0.069	0.069	0.069	33
Sm	mg/L	0.00056	0.0017	0.0017	0.0017	0.813043478
Sn	mg/L	0.0057	0.032	0.03	0.03	14.34782609
Sr	mg/L	0.015	0.015	0.015	0.015	7.173913043
Ta	mg/L	0.00039	0.0013	0.0017	0.0013	0.62173913
Tb	mg/L	0.00084	0.0011	0.0011	0.0011	0.526086957
Te	mg/L	0.073	0.093	0.066	0.073	34.91304348
Th	mg/L	0.08	0.29	0.29	0.29	138.6956522
Ti	mg/L	0.11	0.11	0.11	0.11	52.60869565
Tl	mg/L	0.011	0.0065	0.0083	0.0083	3.969565217
Tm	mg/L	0.00035	0.00034	0.00038	0.00035	0.167391304
U	mg/L	0.0051	0.02	0.021	0.02	9.565217391
V	mg/L	0.0023	0.014	0.014	0.014	6.695652174
W	mg/L	0.011	0.055	0.054	0.054	25.82608696
Y	mg/L	0.00042	0.0027	0.0027	0.0027	1.291304348
Yb	mg/L	0.00014	0.00035	0.00033	0.00033	0.157826087
Zn	mg/L	0.76	0.77	0.77	0.77	368.2608696
Zr	mg/L	0.0012	0.0062	0.0062	0.0062	2.965217391

MUESTRA 16

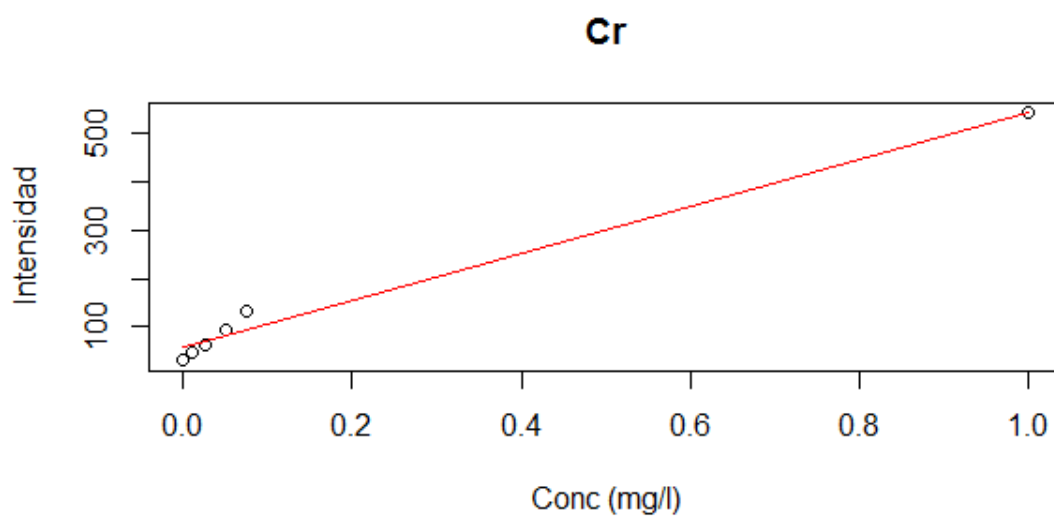
Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Ag	mg/L	0.00017	0.0022	0.0022	0.0022	0.465
Al	mg/L	31	36	36	36	7615.385
As	mg/L	0.0076	0.051	0.046	0.046	9.731
Au	mg/L	-0.00015	0.0026	0.0025	0.0025	0.529
B	mg/L	0.0022	0.014	0.015	0.014	2.962
Ba	mg/L	0.12	0.14	0.14	0.14	29.615
Be	mg/L	0.00082	0.0012	0.0012	0.0012	0.254
Bi	mg/L	0.0089	0.021	0.022	0.021	4.442
Ca	mg/L	2.8	3.3	3.3	3.3	698.077
Cd	mg/L	-0.00013	0.0058	0.0058	0.0058	1.227
Ce	mg/L	0.0018	0.009	0.009	0.009	1.904
Co	mg/L	0.00006	0.017	0.017	0.017	3.596
Cr	mg/L	0.0023	0.39	0.39	0.39	82.500
Cs	mg/L	0.13	1.5	1.4	1.4	296.154
Cu	mg/L	0.7	0.82	0.82	0.82	173.462
Dy	mg/L	0.00007	0.001	0.001	0.001	0.212
Er	mg/L	0.1	0.12	0.12	0.12	25.385
Eu	mg/L	-0.00006	0.00025	0.00025	0.00025	0.053
Fe	mg/L	33	39	39	39	8250.000
Ga	mg/L	0.0017	0.015	0.016	0.015	3.173
Gd	mg/L	0.0045	0.0073	0.0072	0.0072	1.523
Ge	mg/L	0.011	0.014	0.014	0.014	2.962
Hf	mg/L	0.0033	0.043	0.044	0.043	9.096
Hg	mg/L	0.00007	0.0004	0.00076	0.0004	0.085
Ho	mg/L	0.00032	0.00058	0.00055	0.00055	0.116
I	mg/L	0.0062	0.4	0.41	0.4	84.615
In	mg/L	0.0058	0.015	0.015	0.015	3.173
Ir	mg/L	0.025	0.05	0.05	0.05	10.577
K	mg/L	0.42	0.5	0.5	0.5	105.769
La	mg/L	0.0002	0.0059	0.0058	0.0058	1.227
Li	mg/L	0.00025	0.0039	0.0039	0.0039	0.825
Lu	mg/L	0.00015	0.0018	0.0018	0.0018	0.381
Mg	mg/L	0.98	1.2	1.2	1.2	253.846
Mn	mg/L	0.31	0.36	0.36	0.36	76.154
Mo	mg/L	0.00024	0.018	0.017	0.017	3.596
Na	mg/L	0.28	0.33	0.33	0.33	69.808
Nb	mg/L	0.0015	0.0025	0.0025	0.0025	0.529
Nd	mg/L	0.00048	0.014	0.014	0.014	2.962
Ni	mg/L	0.0022	0.073	0.073	0.073	15.442
Os	mg/L	0.014	0.03	0.027	0.027	5.712
P	mg/L	0.0068	1.1	1.1	1.1	232.692
Pb	mg/L	0.015	0.23	0.23	0.23	48.654

Element	Unit	Conc[1]	Conc[2]	Conc[3]	mediana	mg/Kg
Pd	mg/L	-0.00009	0.0016	0.0015	0.0015	0.317
Pr	mg/L	-0.00008	0.0039	0.004	0.0039	0.825
Pt	mg/L	0.034	0.049	0.041	0.041	8.673
Rb	mg/L	-8	3.1	3.1	3.1	655.769
Re	mg/L	0.0013	0.022	0.022	0.022	4.654
Rh	mg/L	-0.00007	0.00062	0.00043	0.00043	0.091
Ru	mg/L	0.0085	0.26	0.26	0.26	55.000
S	mg/L	0.03	4.1	4.2	4.1	867.308
Sb	mg/L	0.00009	0.003	0.0055	0.003	0.635
Sc	mg/L	0	0.0017	0.0017	0.0017	0.360
Se	mg/L	0.0017	0.0021	0.0032	0.0021	0.444
Si	mg/L	0.0062	0.081	0.082	0.081	17.135
Sm	mg/L	0.00024	0.0026	0.0026	0.0026	0.550
Sn	mg/L	0.0082	0.025	0.031	0.025	5.288
Sr	mg/L	0.022	0.025	0.025	0.025	5.288
Ta	mg/L	0.0054	0.0074	0.0068	0.0068	1.438
Tb	mg/L	0.00078	0.0012	0.0012	0.0012	0.254
Te	mg/L	0.079	0.067	0.052	0.067	14.173
Th	mg/L	0.04	0.45	0.44	0.44	93.077
Ti	mg/L	0.13	0.16	0.16	0.16	33.846
Tl	mg/L	0.013	0.014	0.016	0.014	2.962
Tm	mg/L	0.00037	0.00044	0.00039	0.00039	0.083
U	mg/L	0.0022	0.032	0.032	0.032	6.769
V	mg/L	-0.00007	0.024	0.024	0.024	5.077
W	mg/L	0.0065	0.1	0.099	0.099	20.942
Y	mg/L	-0.00003	0.0045	0.0045	0.0045	0.952
Yb	mg/L	0.0001	0.0005	0.0005	0.0005	0.106
Zn	mg/L	1.3	1.6	1.6	1.6	338.462
Zr	mg/L	0.00016	0.0098	0.0098	0.0098	2.073

2.4. RESULTADOS ANÁLISIS CUANTITATIVO

CROMO (Cr)

	MG/L	INTENSITY[1]	INTENSITY[2]	INTENSITY[3]	MEDIANA
BLANCO	0	32.44216	30.5205	30.87726	30.87726
PATRÓN 1	0.01	38.38425	45.87424	45.8768	45.87424
PATRÓN 2	0.025	44.56767	64.99411	65.19925	64.99411
PATRÓN 3	0.05	54.7489	95.63016	95.73714	95.63016
PATRÓN 4	0.075	67.09581	132.4751	132.169	132.169
PATRÓN 5	1	222.2234	541.9857	542.3964	541.9857



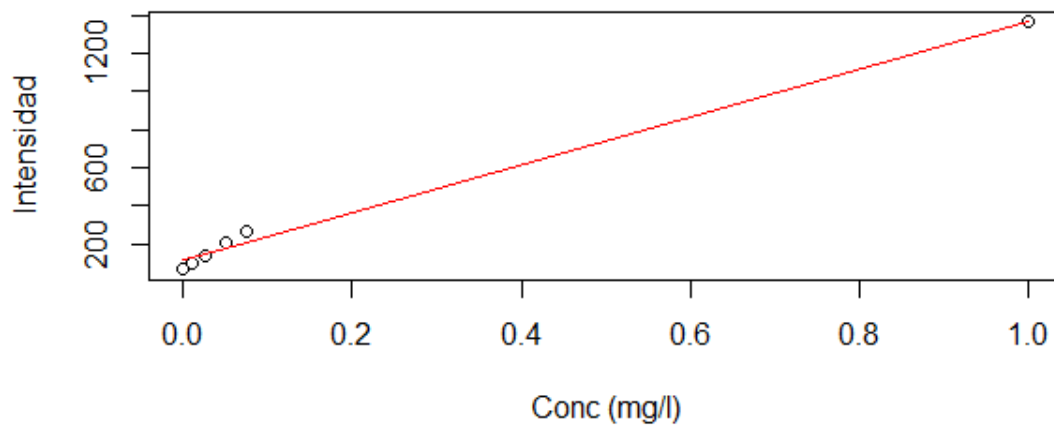
Muestra	Concentración [mg/L]			Intensidad				Concentración Calculada	
	1	2	3	1	2	3	Mediana	mg/l	mg/kg
01	0.075	0.225	0.223	80.549	139.079	138.563	138.563	0.166	33.519
02	-0.044	0.031	0.033	33.918	63.439	64.139	63.439	0.012	18.460
03	-0.042	0.221	0.223	35.024	137.810	138.477	137.810	0.164	35.837
04	-0.049	0.116	0.118	32.139	96.743	97.497	96.743	0.080	77.976
05	-0.027	0.303	0.304	40.654	169.551	170.086	169.551	0.229	51.407
06	-0.046	0.028	0.030	33.196	62.072	63.026	62.072	0.009	31.678
07	-0.048	0.036	0.036	32.449	65.107	65.230	65.107	0.015	10.795
08	-0.041	0.023	0.026	35.340	60.397	61.389	60.397	0.006	3.931
09	-0.050	0.025	0.025	31.888	61.149	61.039	61.039	0.007	5.131
10	-0.046	0.068	0.071	33.147	77.943	78.977	77.943	0.042	27.735
11	-0.044	0.049	0.049	33.880	70.207	70.401	70.207	0.026	49.328
12	-0.031	0.133	0.135	39.053	103.067	104.134	103.067	0.093	110.829
14	-0.048	0.506	0.508	32.348	248.990	249.897	248.990	0.392	101.159
15	-0.007	0.256	0.258	48.612	151.494	152.285	151.494	0.192	92.882

16	-0.021	0.491	0.493	43.118	243.092	244.126	243.092	0.380	81.185
----	--------	-------	-------	--------	---------	---------	---------	-------	--------

COBRE (Cu)

	MG/L	INTENSITY[1]	INTENSITY[2]	INTENSITY[3]	MEDIANA
BLANCO	0	66.69201	64.38515	64.9046	64.9046
PATRÓN 1	0.01	79.88551	97.14332	97.06993	97.06993
PATRÓN 2	0.025	91.84732	136.5002	135.9944	135.9944
PATRÓN 3	0.05	115.9968	203.0786	202.2647	202.2647
PATRÓN 4	0.075	137.1295	267.9002	268.632	267.9002
PATRÓN 5	1	547.2868	1362.05	1364.739	1362.05

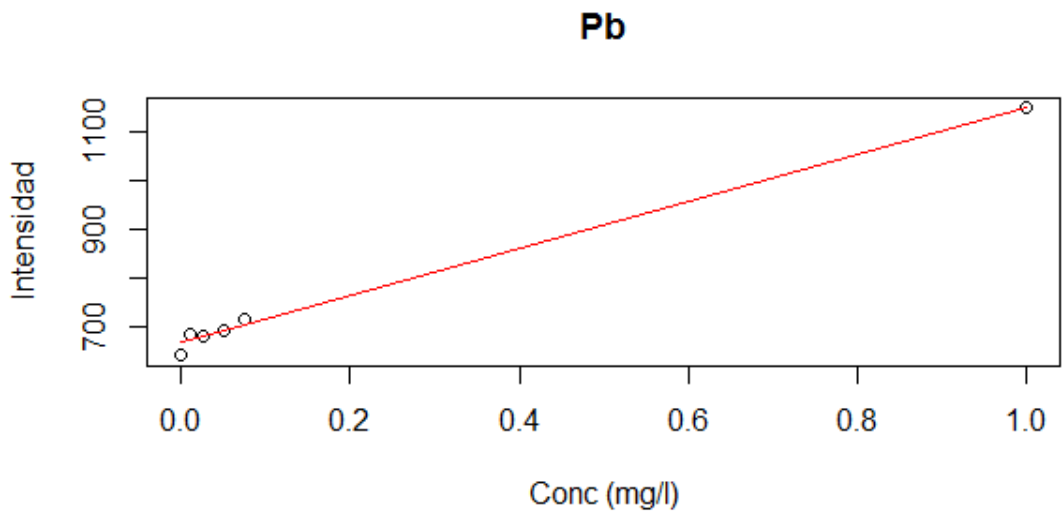
Cu



Muestra	Concentración [mg/L]			Intensidad				Concentración Calculada	
	1	2	3	1	2	3	Mediana	mg/l	mg/kg
01	0.064	0.187	0.185	165.374	288.589	285.883	285.883	0.138	27.925
02	-0.031	0.104	0.105	70.703	205.460	206.265	205.460	0.074	115.496
03	-0.028	0.204	0.206	73.139	305.393	307.661	305.393	0.154	33.525
04	-0.036	0.281	0.285	65.537	382.626	386.322	382.626	0.215	209.444
05	-0.017	0.258	0.260	84.145	359.087	361.649	359.087	0.197	44.030
06	-0.029	0.106	0.105	72.572	207.180	206.769	206.769	0.075	263.251
07	-0.035	0.068	0.069	66.837	169.196	170.542	169.196	0.045	31.998
08	-0.025	0.056	0.057	76.552	157.082	158.444	157.082	0.036	24.940
09	-0.036	0.027	0.027	65.760	128.263	128.314	128.263	0.013	9.376
10	-0.033	0.125	0.126	68.910	226.013	227.441	226.013	0.091	60.364
11	-0.029	0.133	0.134	72.769	234.486	235.281	234.486	0.097	186.484
12	-0.007	0.269	0.271	94.635	370.676	372.169	370.676	0.206	244.898
14	-0.035	0.921	0.925	66.676	1021.938	1025.280	1021.938	0.725	186.798
15	0.043	0.527	0.528	144.858	628.289	629.099	628.289	0.411	198.368
16	0.017	0.981	0.991	118.192	1081.526	1091.066	1081.526	0.772	164.818

PLOMO (Pb)

	MG/L	INTENSITY[1]	INTENSITY[2]	INTENSITY[3]	MEDIANA
BLANCO	0	673.1695	641.1257	642.0848	642.0848
PATRÓN 1	0.01	714.3907	685.4514	683.7653	685.4514
PATRÓN 2	0.025	694.0037	682.6048	681.6243	682.6048
PATRÓN 3	0.05	695.0598	695.6415	694.1047	695.0598
PATRÓN 4	0.075	695.0863	716.7786	717.8173	716.7786
PATRÓN 5	1	850.8176	1148.485	1153.096	1148.485

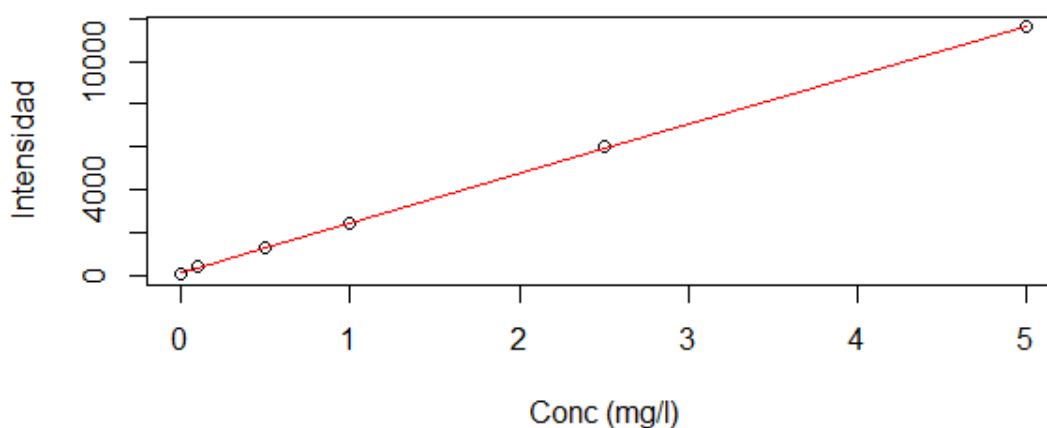


Muestra	Concentración [mg/L]			Intensidad				Concentración Calculada	
	1	2	3	1	2	3	Mediana	mg/l	mg/kg
01	0.498	1.090	1.060	863.384	1086.411	1075.480	1075.480	0.846	170.844
02	0.027	0.293	0.302	685.002	785.826	789.353	785.826	0.243	379.039
03	0.009	1.060	1.070	678.075	1075.579	1080.851	1075.579	0.846	184.421
04	-0.050	0.657	0.672	656.054	923.578	929.391	923.578	0.530	515.428
05	0.087	1.220	1.230	707.779	1137.129	1140.528	1137.129	0.974	218.168
06	0.022	0.274	0.275	683.086	778.528	779.183	778.528	0.228	798.851
07	0.006	0.395	0.403	677.106	824.503	827.664	824.503	0.324	228.854
08	0.010	0.178	0.196	678.557	742.161	749.192	742.161	0.153	106.832
09	-0.035	0.193	0.197	661.581	747.827	749.317	747.827	0.164	121.657
10	-0.023	0.283	0.287	666.265	782.059	783.622	782.059	0.236	157.058
11	-0.015	0.204	0.211	668.986	751.929	754.575	751.929	0.173	331.450
12	0.026	0.583	0.593	684.739	895.715	899.569	895.715	0.472	561.605
14	-0.010	1.640	1.640	671.198	1294.820	1296.797	1294.820	1.302	335.597
15	0.096	0.870	0.875	711.244	1004.450	1006.554	1004.450	0.698	336.887
16	0.095	1.610	1.630	710.688	1284.058	1292.747	1284.058	1.280	273.125

CINC (Zn)

	MG/L	INTENSITY[1]	INTENSITY[2]	INTENSITY[3]	MEDIANA
BLANCO	0	75.86995	54.64414	54.88574	54.88574
PATRON 1	0.1	196.8827	409.08	408.642	408.642
PATRON 2	0.5	504.9142	1313.388	1305.506	1305.506
PATRON 3	1	918.2617	2488.706	2477.481	2477.481
PATRON 4	2.5	2132.484	6013.12	6013.208	6013.12
PATRON 5	5	11503.19	11597.79	11586.88	11586.88

Zn



Muestra	Concentración [mg/L]			Intensidad				Concentración Calculada	
	1	2	3	1	2	3	Mediana	mg/l	mg/kg
01	4.64	4.56	4.60	10398.21	10231.42	10310.27	10310.27	4.42	892.36
02	0.15	1.01	1.02	151.73	2128.22	2147.03	2128.22	0.86	1336.73
03	3.50	3.62	3.60	7805.21	8072.81	8022.24	8022.24	3.42	746.07
04	0.12	1.72	1.74	98.26	3745.62	3789.99	3745.62	1.56	1519.41
05	5.44	5.54	5.52	12228.40	12456.46	12418.13	12418.13	5.33	1194.93
06	0.16	1.03	1.03	176.92	2169.21	2172.61	2169.21	0.88	3066.97
07	0.12	1.05	1.05	90.11	2208.80	2225.17	2208.80	0.89	631.41
08	0.22	1.04	1.05	332.55	2201.78	2227.37	2201.78	0.89	623.31
09	0.12	1.34	1.35	88.52	2879.11	2902.38	2879.11	1.19	876.96
10	0.14	1.26	1.26	134.98	2684.78	2702.23	2684.78	1.10	733.70
11	0.16	1.18	1.18	182.25	2507.90	2522.97	2507.90	1.02	1961.92
12	0.28	1.83	1.85	453.07	3997.47	4032.69	3997.47	1.67	1989.16
14	3.91	4.52	4.54	8737.19	10139.45	10176.51	10139.45	4.34	1119.61
15	0.52	2.95	2.96	998.06	6540.38	6578.28	6540.38	2.78	1340.55
16	5.62	5.69	5.72	12632.30	12790.63	12863.61	12790.63	5.50	1173.30

2.5. RESULTADOS TEST WILCOXON P-VALUE

D10

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.132	0.004
2	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.002	0.002
3	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.005	0.002	0.002	0.002
4	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.005	0.002	0.002	0.002
5	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.005	0.002	0.002	0.002
6	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	1	0.005	0.008	0.229
7	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.005	1	0.002	0.002
8	0.132	0.002	0.002	0.002	0.002	0.008	0.002	1	0.180
9	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002	0.229	0.002	0.180	1

D20

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.699
2	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
3	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
4	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
5	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.026
7	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002
8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.009
9	0.699	0.002	0.002	0.002	0.002	0.026	0.002	0.009	1

D30

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.026	0.002	0.002	0.004
2	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
3	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
4	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.132	0.002	0.002	0.002
5	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.026	0.002	0.002	0.132	0.002	1	0.002	0.002	0.002
7	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002
8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.009
9	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009	1

D40

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.002	0.002	0.180	0.002	0.030	0.002	0.002	0.002
2	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.002	0.002
3	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.005	0.002	0.002	0.002
4	0.180	0.002	0.002	1	0.002	0.575	0.002	0.002	0.002
5	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.005	0.002	0.002	0.002
6	0.030	0.005	0.005	0.575	0.005	1	0.005	0.005	0.005
7	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.005	1	0.002	0.002
8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	1	0.015
9	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.015	1

D50

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.002	0.002	0.093	0.002	0.093	0.002	0.002	0.002
2	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
3	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
4	0.093	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
5	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.093	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002
7	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002
8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.065
9	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.065	1

D60

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.002	0.002	0.004	0.002	0.937	0.002	0.002	0.002
2	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
3	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
4	0.004	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.004
5	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.937	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002
7	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002
8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.240
9	0.002	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002	0.002	0.240	1

D70

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.002	0.002	0.005	0.002	0.937	0.002	0.004	0.002
2	0.002	1	0.002	0.005	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
3	0.002	0.002	1	0.005	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
4	0.005	0.005	0.005	1	0.005	0.005	0.005	0.092	0.045
5	0.002	0.002	0.002	0.005	1	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.937	0.002	0.002	0.005	0.002	1	0.002	0.015	0.002
7	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.002	1	0.002	0.002
8	0.004	0.002	0.002	0.092	0.002	0.015	0.002	1	0.589
9	0.002	0.002	0.002	0.045	0.002	0.002	0.002	0.589	1

D80

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.309	0.002	0.093	0.004
2	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
3	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
4	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.240	0.589
5	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.310	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.180	0.026
7	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002
8	0.093	0.002	0.002	0.240	0.002	0.180	0.002	1	0.310
9	0.004	0.002	0.002	0.589	0.002	0.026	0.002	0.310	1

D90

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.240	0.002	0.937	0.041
2	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
3	0.002	0.002	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
4	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.015	0.002	0.041	0.065
5	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.004	0.002	0.041	0.002
6	0.240	0.002	0.002	0.015	0.004	1	0.002	0.310	0.937
7	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.002	0.002
8	0.937	0.002	0.002	0.041	0.041	0.310	0.002	1	0.180
9	0.041	0.002	0.002	0.065	0.002	0.937	0.002	0.180	1

D100

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.003	0.010	0.074	0.405	0.073	1	0.176	0.176
2	0.00	1	0.005	0.005	0.004	0.005	0.003	0.004	0.004
3	0.01	0.005	1	0.625	0.017	0.414	0.010	0.056	0.056
4	0.07	0.005	0.625	1	0.182	1.000	0.074	0.371	0.371
5	0.40	0.004	0.017	0.182	1	0.181	0.405	0.599	0.599
6	0.07	0.005	0.414	1.000	0.181	1	0.073	0.418	0.418
7	1	0.003	0.010	0.074	0.405	0.073	1	0.176	0.176
8	0.176	0.004	0.056	0.371	0.599	0.418	0.176	1	1.000
9	0.176	0.004	0.056	0.371	0.599	0.418	0.176	1.000	1

COBRE (Cu)

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
2	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7
3	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7
4	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.4
6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	1.0	0.4
7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.7
8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1	0.4
9	0.4	0.7	0.7	0.4	0.4	0.4	0.7	0.4	1

CROMO (Cr)

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
3	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
4	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5
6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5
7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5
8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5
9	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1

PLOMO (Pb)

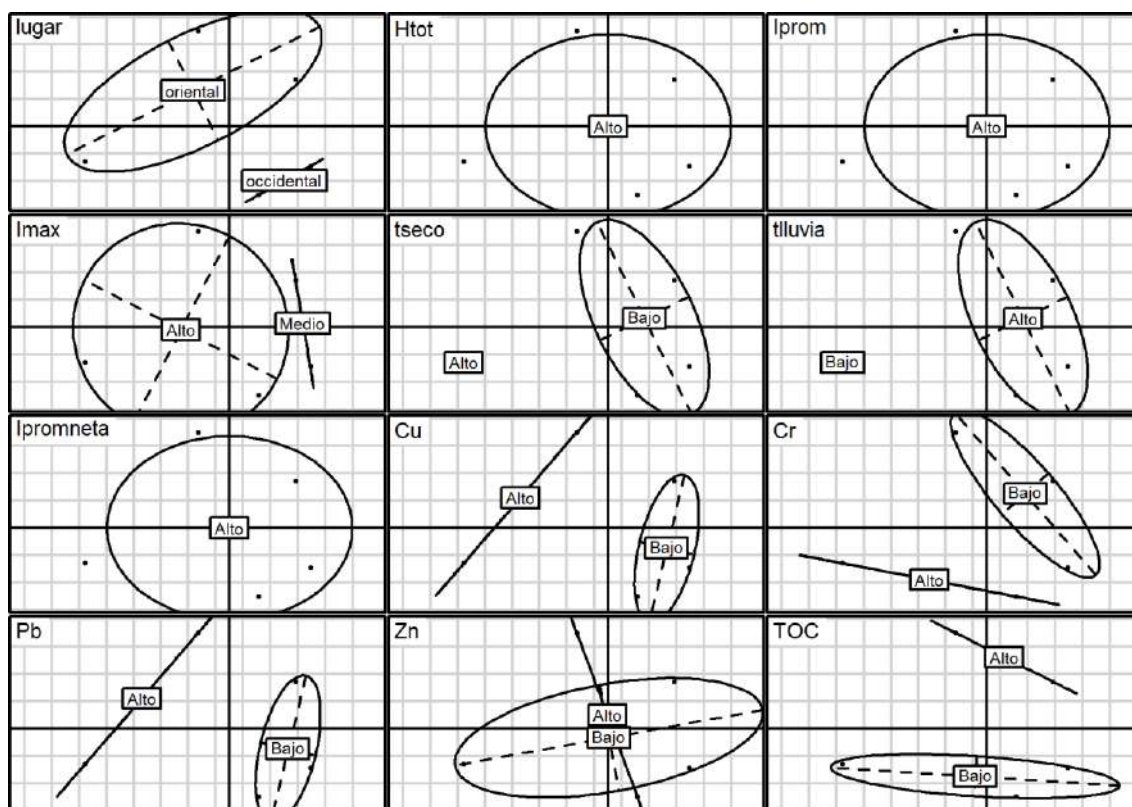
Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.7	0.4	0.4
2	0.7	1	0.4	0.7	0.5	0.7	0.4	0.7	0.7
3	0.4	0.4	1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
4	0.4	0.7	0.4	1	0.7	0.7	0.4	0.7	0.4
5	0.4	0.5	0.4	0.7	1	0.4	0.4	0.4	0.4
6	0.4	0.7	0.4	0.7	0.4	1	0.4	1	1
7	0.7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1	0.4	0.7
8	0.4	0.7	0.4	0.7	0.4	1	0.4	1	0.4
9	0.4	0.7	0.4	0.4	0.4	1	0.7	0.4	1

ZINC (Zn)

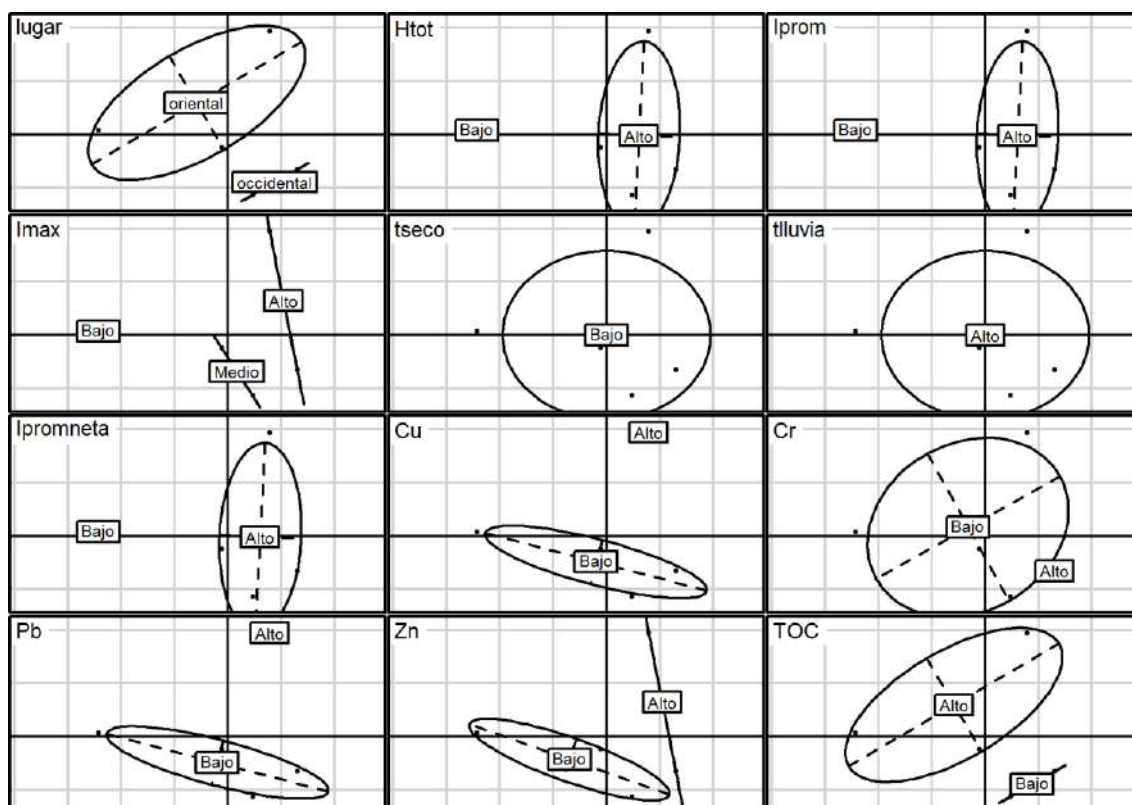
Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.5	0.4	0.7	0.5	0.4	0.4	0.7	1
2	0.5	1	0.4	0.7	0.5	0.4	0.4	0.7	0.7
3	0.4	0.4	1	0.7	0.4	0.4	0.7	0.7	0.7
4	0.7	0.7	0.7	1	0.7	0.7	0.4	0.1	0.4
5	0.5	0.5	0.4	0.7	1	0.4	0.4	0.1	0.4
6	0.4	0.4	0.4	0.7	0.4	1	0.4	0.7	0.7
7	0.4	0.4	0.7	0.4	0.4	0.4	1	0.7	0.7
8	0.7	0.7	0.7	0.1	0.1	0.7	0.7	1	0.7
9	1	0.7	0.7	0.4	0.4	0.7	0.7	0.7	1

2.6. RESULTADOS ESCENARIOS HIDROLÓGICOS

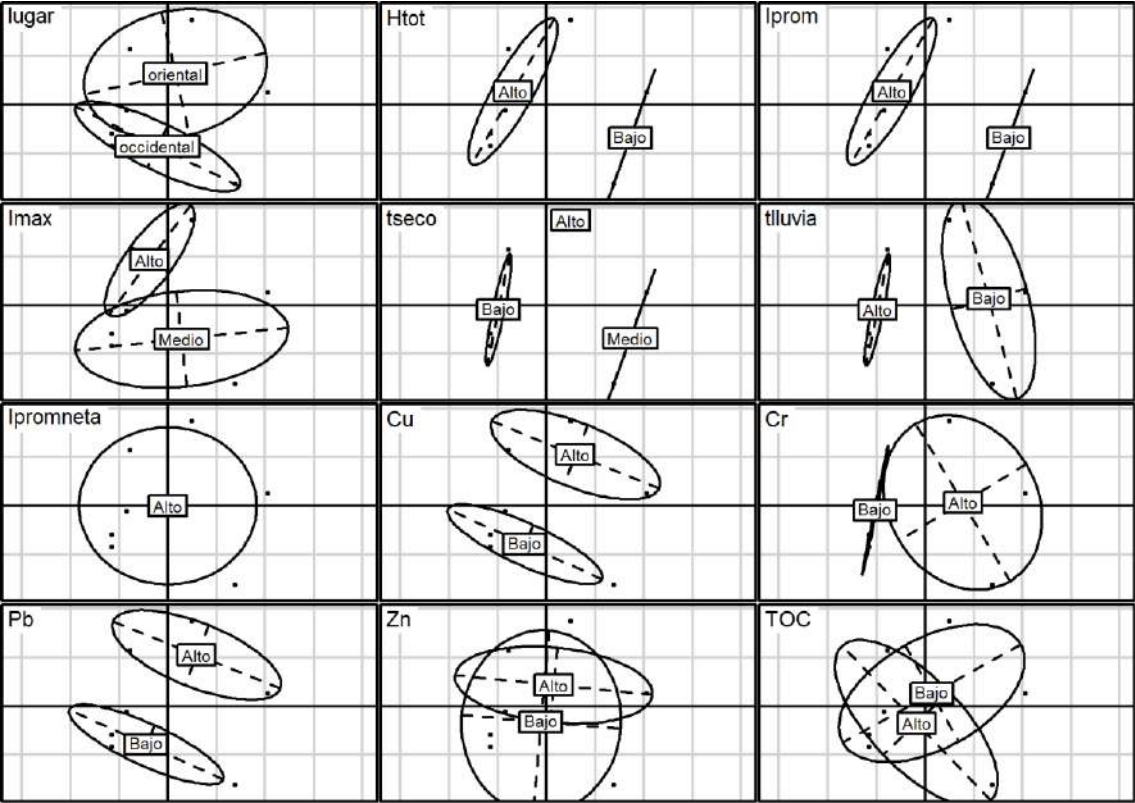
ESCENARIO 1



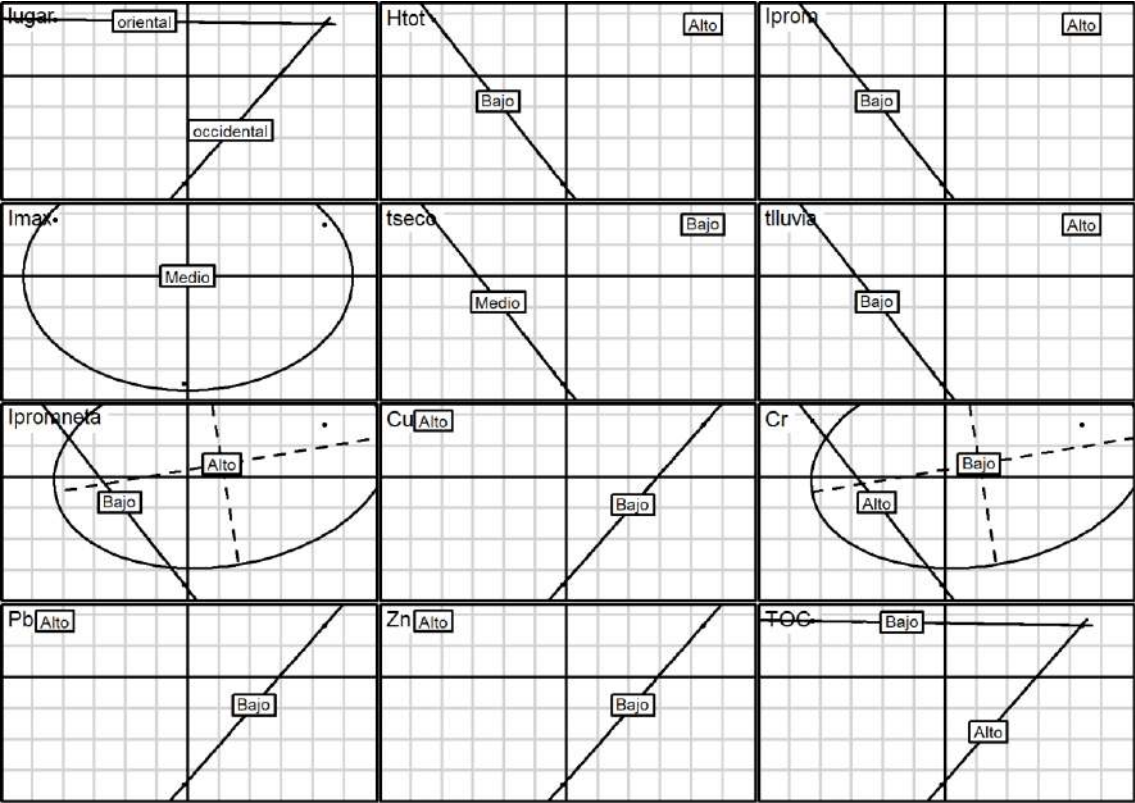
ESCENARIO 2



ESCENARIO 3

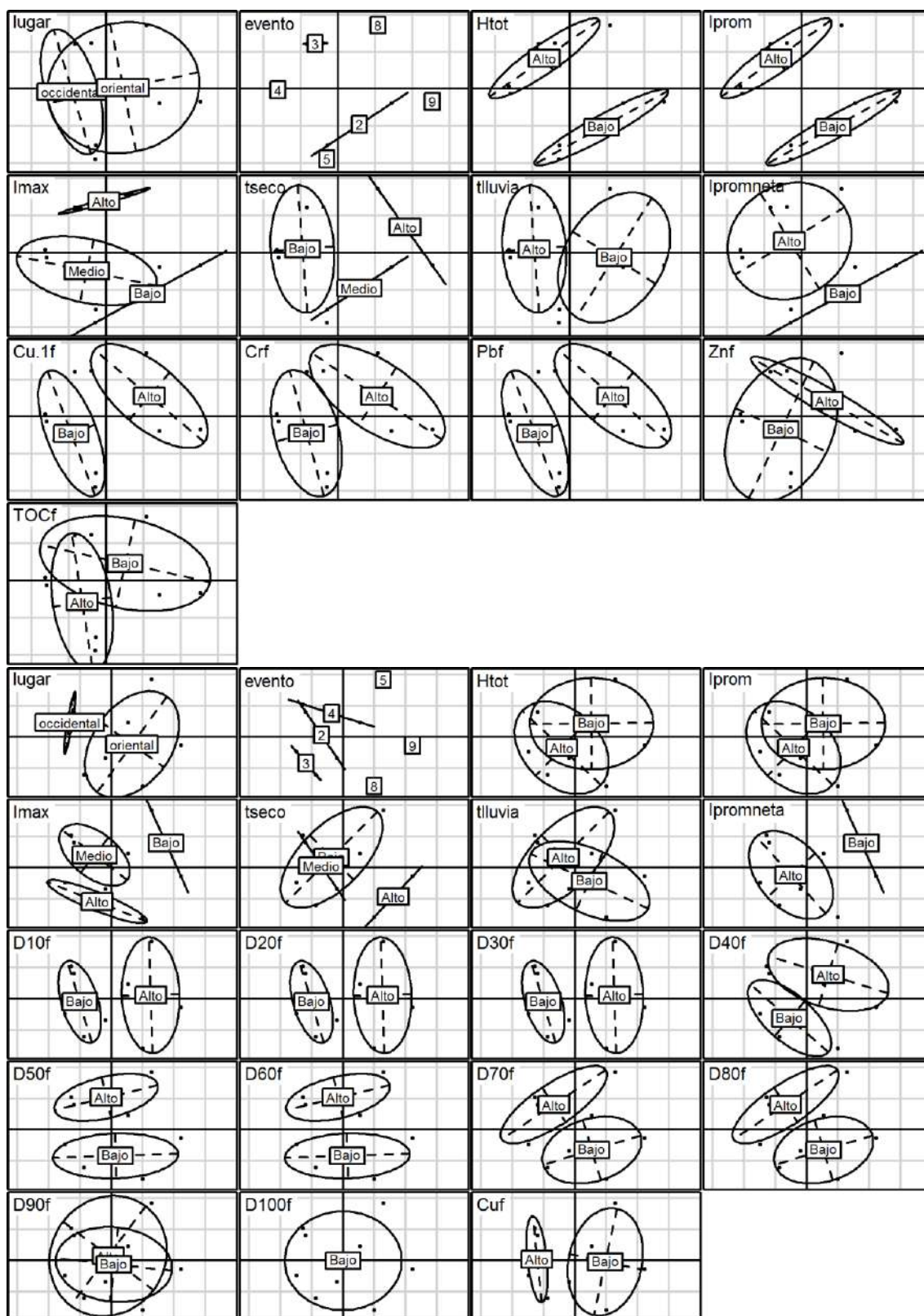


ESCENARIO 4

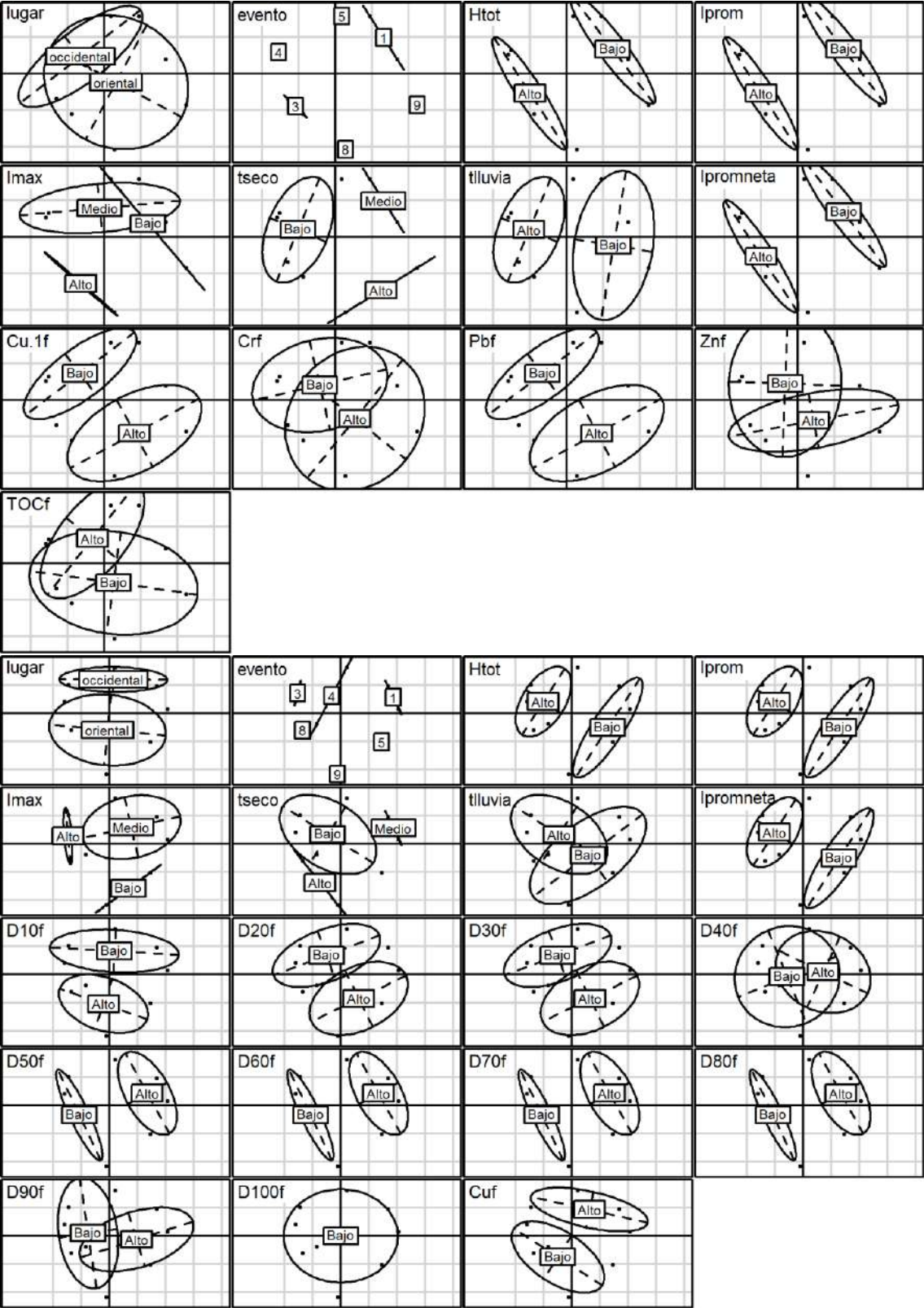


2.7. RESULTADOS ANÁLISIS DE ROBUSTEZ

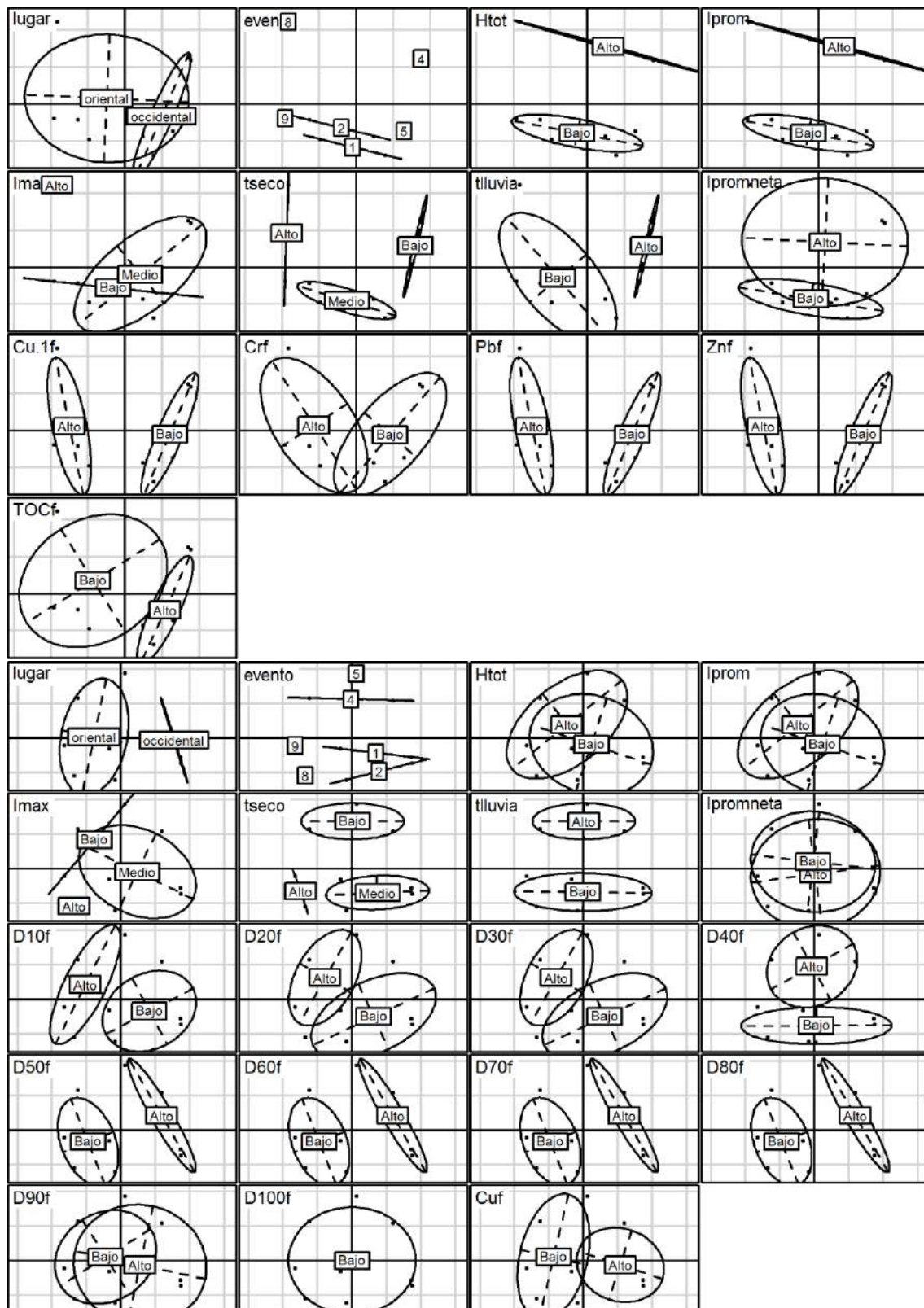
SIN EVENTO 1



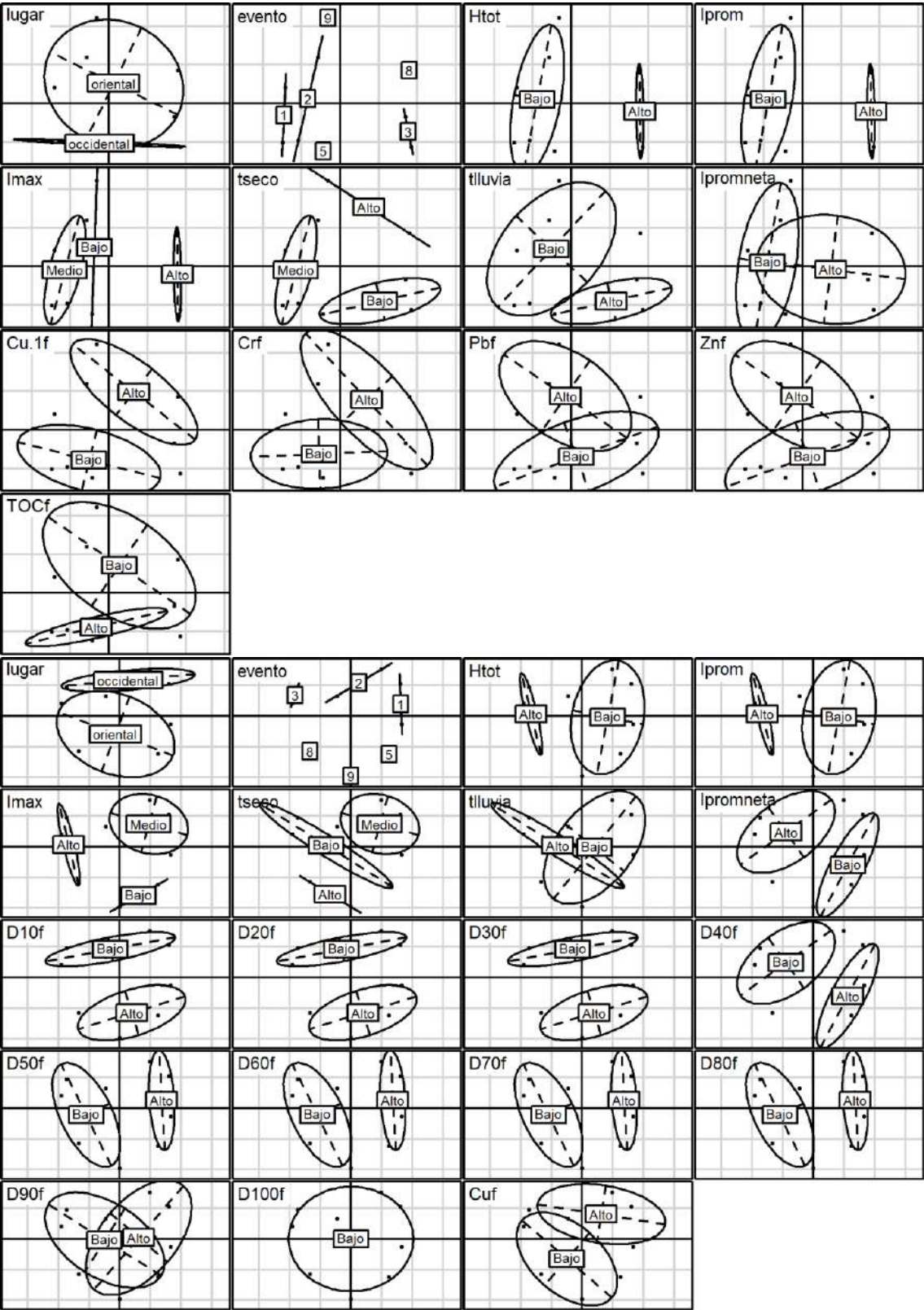
SIN EVENTO 2



SIN EVENTO 3

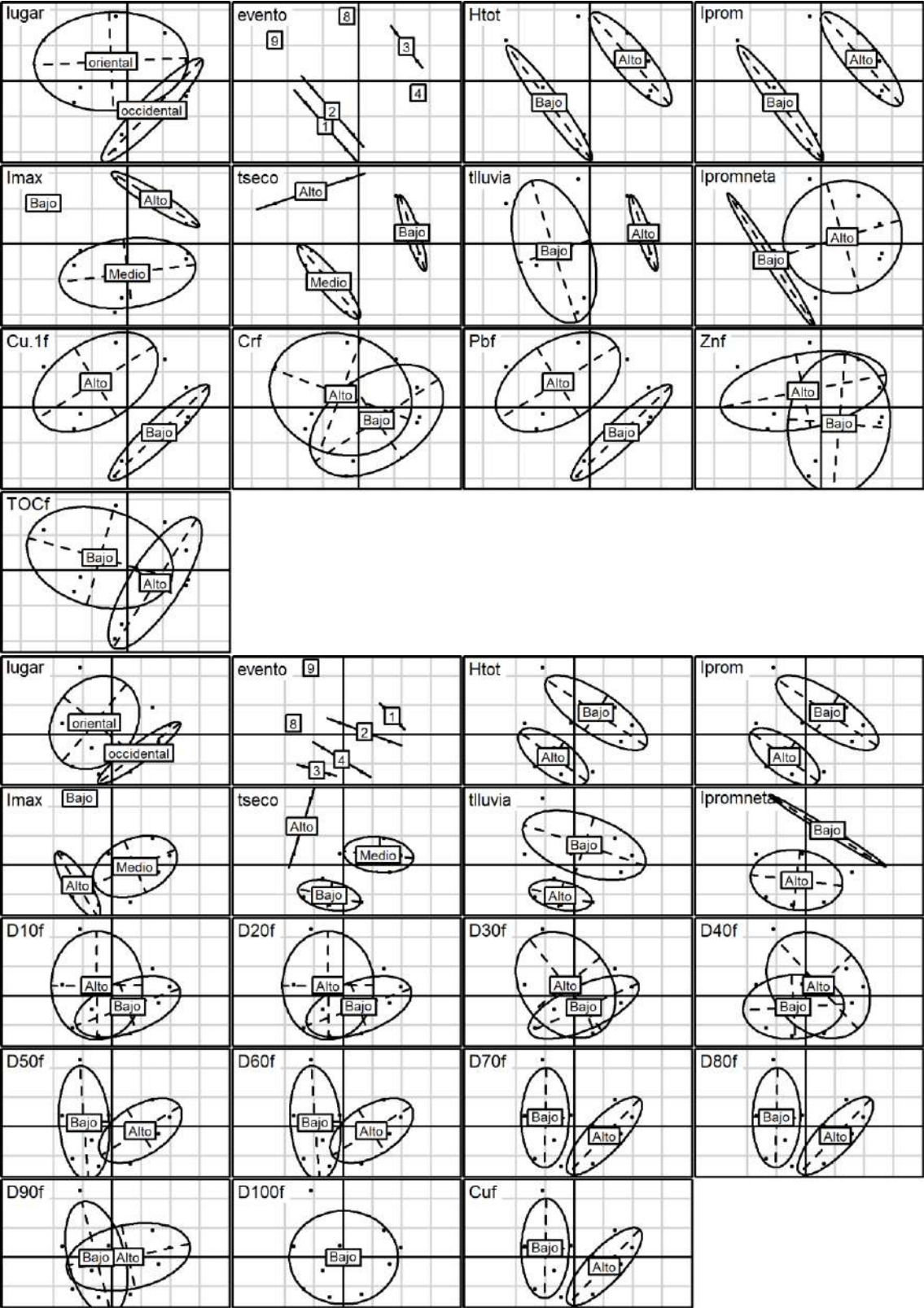


SIN EVENTO 4

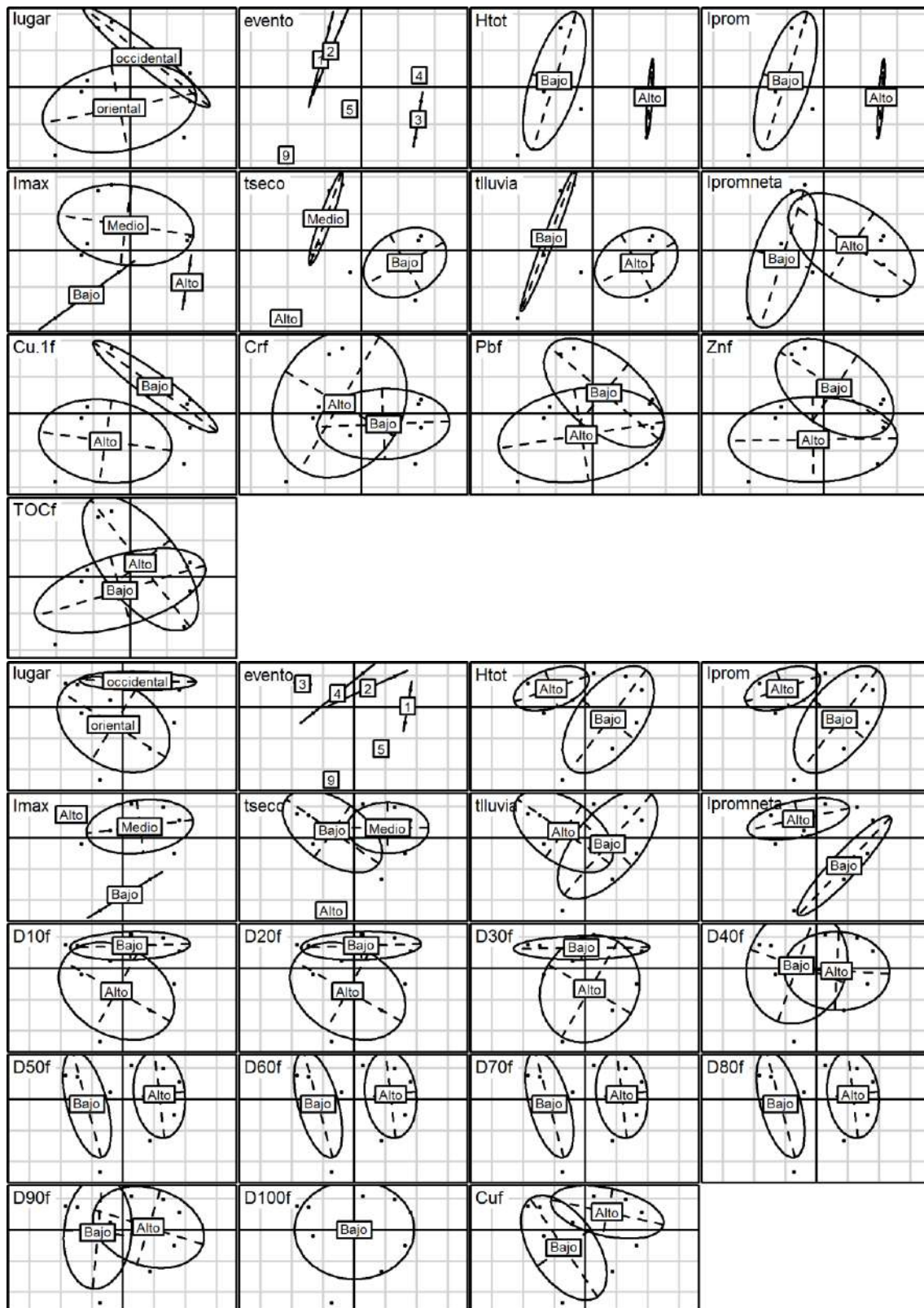


G

SIN EVENTO 5



SIN EVENTO 8



SIN EVENTO 9

