

**PROPUESTA PARA LA REUTILIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS DE
SISTEMAS DE SANEAMIENTO PLUVIAL PARA EL APROVECHAMIENTO EN
USOS INGENIERILES EN PUENTE ARANDA BOGOTÁ.**

**JEIMMY FAIZULY CÁRDENAS BALLÉN
AMELIA PÉREZ PULIDO**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, D. C
2015**

**PROPUESTA PARA LA REUTILIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS DE
SISTEMAS DE SANEAMIENTO PLUVIAL PARA EL APROVECHAMIENTO EN
USOS INGENIERILES EN PUENTE ARANDA BOGOTÁ.**

**JEIMMY FAIZULY CÁRDENAS BALLÉN
AMELIA PÉREZ PULIDO**

TESIS DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL

**ING. MSC. CARLOS ANDRÉS PEÑA GUZMÁN
(DIRECTOR)**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, D. C
2015**

Nota de aceptación:

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. 20 de Agosto de 2015.

A Dios por permitirnos llegar hasta este punto, por ser nuestra fortaleza en momentos de debilidad, por darnos salud para lograr nuestros objetivos y esperanza para terminar este trabajo, además de su infinita bondad y amor.

A nuestros padres por apoyarnos en todo momento, por su amor, sus consejos, por la motivación constante que nos han permitido ser personas de bien, por darnos la oportunidad de tener una excelente educación. A nuestra familia por su constante apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Ante todo queremos agradecerle a Dios por bendecirnos día a día, por permitirnos llegar hasta donde hemos llegado.

Un agradecimiento muy especial a nuestro director de tesis el ingeniero M.S.C Carlos Andrés Peña Guzmán por toda su colaboración, dedicación sus conocimientos, orientación, persistencia y su motivación que han sido fundamentales para el desarrollo de nuestro trabajo de grado.

A la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB) en especial al ingeniero Lucas Ovalle jefe de la división de alcantarillado de la zona 3. A Juan Fernando Moreno inspector técnico de alcantarillado zona 3, Carlos Enrique Barrera ayudante zona 3, Jorge Enrique Díaz conductor – operador de equipo, por toda su colaboración, disposición y acompañamiento en campo de toma de muestras.

A la fundación Universidad Autónoma de Colombia en especial al Químico y M.S.C Rafael Correa Fonseca Químico y M.S.C Armando Fonseca Correa por su colaboración en la asesoría y préstamo del laboratorio de fluorescencia de rayos x.

Al ingeniero Andrés Eduardo Torres Abelló MSc Hidrología Urbana, Ph D Hidrología Urbana, por su asesoría en el análisis de resultados y la recomendación del programa RSTUDIO.

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de nuestros padres y por el ingeniero Andrés Miguel Lozano Bayona.

A nuestros maestros de la Universidad Santo Tomas por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.1 Planteamiento del problema.....	6
2. JUSTIFICACIÓN.....	9
3. OBJETIVOS.....	11
3.1 Objetivo general.....	11
3.2 Objetivos específicos.....	11
4. MARCO CONTEXTUAL.....	12
4.1 Localización.....	12
4.2 Características biofísicas.....	13
4.2.1 Geomorfología.....	13
4.2.2 Clima.....	14
4.2.3 Suelo.....	14
4.3 Características socioeconómicas.....	14
4.3.1 Estratificación.....	14
4.3.2 Economía.....	15
4.4 Comunicación y transporte.....	16
4.5 Características ambientales.....	16
4.5.1 Calidad del aire.....	16
4.5.2 Aguas superficiales.....	16
4.5.3 Residuos sólidos.....	17
4.6 Amenaza Tecnológica.....	18
5. MARCO TEÓRICO.....	19
5.1 Sistema de alcantarillado.....	19
5.1.1 Sistemas convencionales.....	19

5.1.2	Sistemas no convencionales	19
5.1.3	Sistemas in situ	20
5.2	Criterios de diseño para alcantarillado pluvial	20
5.2.1	Geometría de la red de alcantarillado.....	20
5.2.2	Áreas de drenaje	20
5.2.3	Caudal de diseño.....	21
5.2.4	Curvas de intensidad-duración-frecuencia.....	21
5.2.5	Período de retorno de diseño.....	21
5.2.6	Intensidad de precipitación	22
5.2.7	Coeficiente de escorrentía.....	22
5.2.8	Tiempo de concentración	23
5.2.9	Diámetro mínimo	23
5.2.10	Aporte de sedimentos.....	23
5.2.11	Velocidad mínima	23
5.2.12	Velocidad máxima	24
5.2.13	Pendiente mínima.....	24
5.2.14	Pendiente máxima	24
5.2.15	Profundidad hidráulica máxima	24
5.3	Criterios de localización	25
5.3.1	Profundidad mínima a la cota clave.....	25
5.3.2	Profundidad máxima a la cota clave	25
5.4	Sólidos.....	25
5.4.1	Sólidos Totales (ST).....	25
5.4.2	Sólidos Volátiles (SV).....	25
5.5	Lodos.....	27
5.5.1	Lodos categoría A	27
5.5.2	Lodo categoría B	28
5.5.3	Lodo categoría C	28
5.6	Tratamiento	28
5.7	Humedad	29

5.7.1 Procedimiento	29
5.8 Granulometría	29
5.8.1 Método Bouyoucos	29
5.8.2 Procedimiento	31
5.9 Espectrómetro de fluorescencia de rayos x.	32
5.10 Análisis multivariado de datos estadísticos	35
5.10.1 R.....	35
5.10.2 Análisis de componentes principales (ACP)	36
5.10.3 Ade4.....	36
5.10.4 Prueba de Kruskal-Wallis	36
5.10.5 Prueba de T-test.	37
6. MARCO LEGAL.....	38
7. METODOLOGÍA	42
8. RESULTADOS.....	56
9. ANÁLISIS DE RESULTADOS	83
10. CONCLUSIONES	88
11. RECOMENDACIONES.....	91
BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS.....	99

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Caracterización de lodos de alcantarillado de Bogotá en diferentes zonas.	7
Tabla 2. Valores límites dados por la Norma CFR 40 Parte 503 para biosólidos.	8
Tabla 3. Unidades de planeación zonal de Puente Aranda.	13
Tabla 4. Situación ambiental de los puntos identificados para los canales de Puente Aranda.	17
Tabla 5. Riesgos asociados al escenario en Puente Aranda.	17
Tabla 6. Curvas IDF.	21
Tabla 7. Coeficiente de escorrentía.	22
Tabla 8. Velocidades máximas permisibles	24
Tabla 9. Matriz legal aplicable al proyecto de grado.	38
Tabla 10. Datos puntos de muestreo tramo 1 canal comuneros- Sumidero 1.	47
Tabla 11. Datos puntos de muestreo tramo 2 transversal 42- calle 5A y sumideros 2 y 3.	47
Tabla 12. Clasificación de la precipitación en rangos.	54
Tabla 13. Estadísticos descriptivos.	62
Tabla 14. Comunalidades.	63
Tabla 15. Varianza total explicada.	64
Tabla 16. Matriz de componentes.	64
Tabla 17. Matriz de componentes rotados.	65
Tabla 18. Matriz de correlación de los compuestos y las arcillas.	66
Tabla 19. Análisis de varianza Kruskal Arcillas.	71
Tabla 20. Análisis de varianza Kruskal SiO ₂	71
Tabla 21. Análisis de varianza Kruskal Fe ₂ O ₃	71
Tabla 22. Significancia con t-test Arcillas con usos del suelo.	72
Tabla 23. Significancia con t-test SiO ₂ con usos del suelo.	73
Tabla 24. Significancia con t-test Fe ₂ O ₃ con usos del suelo.	74
Tabla 25. Significancia con t-test arcillas con precipitación.	75
Tabla 26. Significancia con t-test SiO ₂ con precipitación.	76
Tabla 27. Significancia con t-test Fe ₂ O ₃ con precipitación.	77
Tabla 28. Significancia con t-test Arcillas con lugar.	78
Tabla 29. Significancia con t-test Sílice con lugar.	79
Tabla 30. Significancia con t-test óxido férrico con lugar.	81
Tabla 31. Constituyentes del cemento Pórtland.	85
Tabla 32. % de compuestos.	86

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfico 1. Actividades presentes en la localidad clasificadas según código CIU.....	15
Gráfico 2. Granulometría meses de febrero, marzo y abril pozo 5.	56
Gráfico 3. Granulometría meses de febrero, marzo y abril pozo 8.	57
Gráfico 4. Granulometría meses de febrero, marzo y abril sumidero 1.	57
Gráfico 5. Profundidad del lodo tramo 1 y 2 para los meses de febrero, marzo y abril.	58
Gráfico 6. pH tramo I y II para los meses de febrero, marzo y abril.	59
Gráfico 7. % Sólidos volátiles tramo 1 y 2 para los meses de febrero, marzo y abril.	60
Gráfico 8. Temperatura tramo 1 y 2 para los meses de febrero, marzo y abril.	61
Gráfico 9. Gráfico de sedimentación.....	62
Gráfico 10. Matriz de diagramas de dispersión de las variables.....	67
Gráfico 11. Posición de las mediciones.....	68
Gráfico 12. Cluster de las mediciones agrupadas en lugar.....	68
Gráfico 13. Cluster de las mediciones agrupadas por usos del suelo.....	69
Gráfico 14. Cluster de las mediciones agrupadas por precipitación.....	69
Gráfico 15. Circulo de correlaciones.....	70
Gráfico 16. Box plot %arcillas vs usos del suelo.	72
Gráfico 17. Box plot %SiO ₂ vs usos del suelo.....	73
Gráfico 18. Box plot %Fe ₂ O ₃ vs usos del suelo.	74
Gráfico 19. Box plot %Arcillas vs precipitación.	75
Gráfico 20. Box plot %SiO ₂ vs precipitación.....	76
Gráfico 21. Box plot %Fe ₂ O ₃ vs precipitación.	77
Gráfico 22. Box plot %Arcillas vs. Lugar.	78
Gráfico 23. Box plot %SiO ₂ vs. Lugar.....	79
Gráfico 24. Box plot %Fe ₂ O ₃ vs. Lugar.	80
Gráfico 25. Box plot %ZnO vs usos del suelo.	136

LISTA DE MAPAS

	pág.
Mapa 1. Localización de la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá. .	12
Mapa 2. Límites de la localidad de Puente Aranda y UPZ.....	13
Mapa 3. Puntos de muestreo- red de alcantarillado pluvial localidad de Puente Aranda.	42
Mapa 4. Usos del suelo- red de alcantarillado pluvial, localidad de Puente Aranda.	43
Mapa 5. Áreas de drenaje sistema de alcantarillado pluvial localidad de puente aranda.....	53

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Total de predios clasificados por destino económico.	14
Figura 2. Escala de tamaño de granos basada y modificada de Wentword (1922).	30
Figura 3. Clasificación de suelos según la textura.....	31
Figura 4. Espectro de la radiación electromagnética.	32
Figura 5. Irradiación de una muestra con rayos X.	33
Figura 6. Fluorescencia de Rayos X.	33
Figura 7. Átomo irradiado con rayos X.	34

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	pág.
Fotografía 1. Espectrómetro de fluorescencia de rayos x Shimadzu EDX-720 de la Universidad Autónoma.....	34
Fotografía 2. Identificación de puntos.....	45
Fotografía 3. Señalización.....	45
Fotografía 4. Uso de los elementos de protección personal.....	45
Fotografía 5. Levantamiento de las tapas de alcantarillado.....	46
Fotografía 6. Ingreso al canal de los comuneros (pozo 1).....	46
Fotografía 7. Sumidero 1.....	46
Fotografía 8. Sumidero 3.....	46
Fotografía 9. Toma del pH y temperatura (pozo 2).....	47
Fotografía 10. Muestra rotulada (pozo 9).....	47
Fotografía 11. Pesar la muestra.....	48
Fotografía 12. Secar la muestra.....	48
Fotografía 13. Tamizar material.....	48
Fotografía 14. Material tamizado 2.00 mm.....	48
Fotografía 15. Batir la muestra.....	49
Fotografía 16. Método de Bouyoucos.....	49
Fotografía 17. Secar en la mufla.....	50
Fotografía 18. Muestra seca.....	50
Fotografía 19. Homogenización de la muestra.....	50
Fotografía 20. Porta muestra y film.....	50
Fotografía 21. Muestra seca analizada lodos de alcantarillado pluvial de Bogotá.....	51

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Datos tomados en campo	99
ANEXO B. Análisis de laboratorio.....	105
ANEXO C. Información localidad de Puente Aranda	128
ANEXO D. Resultados estadísticos	129
ANEXO E. Resultados de hidráulica.....	153
ANEXO F. Informes de laboratorio de espectrometría de fluorescencia de rayos x para el mes de febrero.....	159

GLOSARIO

AGUAS LLUVIAS: aguas provenientes de la precipitación pluvial [1].

AGUAS RESIDUALES: desecho líquido provenientes de residencias, edificios, instituciones, fábricas o industrias [1].

AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS: desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica en residencias, edificios e instituciones [1].

AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES: desechos líquidos provenientes de las actividades industriales [1].

CANAL: cauce artificial, revestido o no, que se construye para conducir las aguas lluvias hasta su entrega final en un cauce natural [1].

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD: parámetro que representa el efecto friccional del contorno del conducto sobre el flujo y en general depende del tipo de material del conducto [1].

CONEXIONES ERRADAS: contribución adicional de caudal debido al aporte de aguas pluviales en la red de aguas sanitarias y viceversa [1].

COTA DE BATEA: nivel del punto más bajo de la sección transversal interna de una tubería o colector [1].

COTA DE CLAVE: nivel del punto más alto de la sección transversal externa de una tubería o colector [1].

CUENCA URBANA: son aquellas cuencas cuyo único problema es el control de crecidas en el medio urbano [2].

DIÁMETRO: diámetro interno real de conductos circulares [1].

ESTRUCTURA DE CONEXIÓN O ESTRUCTURA-POZO: estructura construida para la unión de uno o más colectores, con el fin de permitir cambios de alineamiento horizontal y vertical en el sistema de alcantarillado, entre otros propósitos [1].

FRAGUADO: es el proceso donde el cemento se mezcla con el agua y forma una pasta la cual adquiere una plasticidad que se va perdiendo con el transcurso del tiempo hasta que se torna rígida [3].

POZO O CÁMARA DE INSPECCIÓN: estructura de ladrillo o concreto, de forma usualmente cilíndrica, que remata generalmente en su parte superior en forma

tronco-cónica, y con tapa removible para permitir la ventilación, el acceso y el mantenimiento de los colectores [1].

SISTEMA DE DRENAJE URBANO: conjunto de acciones, materiales o no, destinadas a evitar, en la medida de lo posible, que las aguas pluviales causen daños a las personas o a las propiedades en las ciudades u obstaculicen el normal desenvolvimiento de la vida urbana [2].

SUMIDERO: estructura diseñada y construida para cumplir con el propósito de captar las aguas de escorrentía que corren por las cunetas de las calzadas de las vías para entregarlas a las estructuras de conexión o pozos de inspección de los alcantarillados combinados o de lluvias [1].

TIEMPO DE FRAGUADO: es el tiempo que transcurre desde el mezclado hasta que la pasta se vuelve rígida [3].

TRAMO: colector comprendido entre dos estructuras de conexión [1].

TUBO Ó TUBERÍA: conducto prefabricado, o construido en sitio, de concreto, concreto reforzado, plástico, poliuretano de alta densidad, asbesto-cemento, hierro fundido, gres vitrificado, PVC, plástico con refuerzo de fibra de vidrio, u otro material cuya tecnología y proceso de fabricación cumplan con las normas técnicas correspondientes. Por lo general su sección es circular [1].

RESUMEN

El presente trabajo de grado se realizó en la localidad de Puente Aranda en Bogotá, y tuvo como finalidad determinar la posible reutilización de los sedimentos encontrados en los sistemas de saneamiento pluvial; partiendo de la selección de los puntos de muestreo y la recolección de muestras en los mismos durante los meses de febrero, marzo y abril del año 2015, seguido de una medición in situ de pH, temperatura y profundidad del lodo; y un análisis en el laboratorio de sólidos volátiles, granulometría, humedad, y para determinar los compuestos químicos a través del espectrómetro con la técnica de fluorescencia de rayos X.

Luego se llevó a cabo una revisión bibliográfica para determinar la posible aplicación de uso ingenieril de estos sedimentos, teniendo en cuenta la normatividad aplicable a los mismos. Según esto y las características arrojadas en los análisis realizados se estableció que los sedimentos encontrados en la red de alcantarillado pluvial de Puente Aranda se pueden usar en la fabricación de cemento Pórtland y puzolanas, aunque requieren ciertos tratamientos de los cuales no se entrará en detalle, ya que no corresponde a éste estudio.

Finalmente se recomienda hacer un análisis microbiológico y físico más detallado para determinar si es posible usarlos en la fabricación de abono, o de fertilizantes, y profundizar en la aplicación en materiales de construcción.

Palabras clave:

Sistemas de saneamiento pluvial, pH, temperatura, sólidos volátiles, humedad, granulometría, espectrómetro, fluorescencia de rayos X, cemento Pórtland, puzolanas.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación y proyecto de grado, comprende la realización de una propuesta para la reutilización de los sedimentos de sistemas de saneamiento pluvial para el aprovechamiento en usos ingenieriles en la localidad de Puente Aranda, Bogotá, la cual es importante para contrarrestar en cierta medida la acumulación de sedimentos en la red de alcantarillado pluvial que genera problemas hidráulicos y ambientales.

En particular para la localidad de Puente Aranda durante los primeros seis meses del año 2013 la EAB retiró 6.000 m³ de desperdicios de 85.000 sumideros y 14.000 Ton de basura de 60 canales y quebradas [4]; lo cual indica que se generan grandes volúmenes de sedimentos que además del daño hidráulico pueden tener efectos contaminantes.

Por otra parte se pretende caracterizar física y químicamente los sedimentos recolectados en los pozos escogidos de la localidad de Puente Aranda, del mismo modo evaluar los resultados arrojados y con ello plantear la alternativa más adecuada para la reutilización de los sedimentos de la red de alcantarillado pluvial. Conforme a lo anterior, la investigación se realiza en un periodo de 3 meses (12 semanas) durante los meses de febrero, marzo y abril, indicando el periodo seco y húmedo presente en Bogotá, Colombia.

En cuanto al muestreo realizado se tuvieron en cuenta tres criterios, comenzando por uno estructural, que indica la existencia del sistema de alcantarillado pluvial separado; seguido por el uso del suelo urbano con influencia de zonas residenciales, industriales y comerciales; finalmente la longitud de los tramos. En el marco de la caracterización fisicoquímica, los análisis aplicados a este proyecto fueron humedad, pH, temperatura, sólidos volátiles, granulometría por el método de bouyoucos y metales pesados mediante el espectrómetro por la técnica de fluorescencia de rayos X.

El presente documento contiene once capítulos, en el capítulo 1 se presenta la definición del problema que abarca el planteamiento del mismo, el capítulo 2 aborda la justificación, el 3 los objetivos generales y específicos del trabajo de investigación, el 4 el marco contextual el cual contiene información de la localidad de Puente Aranda incluyendo la localización, las características biofísicas, socioeconómicas y ambientales.

En el capítulo 5 se lleva a cabo el marco teórico donde se tienen en cuenta los conceptos básicos e información que constituyen la base del enfoque del presente trabajo de investigación, como lo son sistema de alcantarillado, sólidos, humedad, granulometría, espectrómetro de fluorescencia de rayos X y análisis multivariado

de datos estadísticos; los cuales permitieron abordar de manera óptima el desarrollo del mismo. El capítulo 6 contiene el marco legal aplicable tanto a nivel nacional como internacional.

Por su parte en el capítulo 7 se describe la metodología usada para la ejecución del muestreo, caracterización física, química, hidráulica y estadística. En el 8 se presentan los resultados estadísticos arrojados por el software RStudio el cual permitió realizar el análisis de componentes principales, la prueba de Kruskal-Wallis y la prueba de T-test; y los hidráulicos calculados a partir de la plancha H-78 que corresponde a la zona escogida e información brindada por la EAB.

A su vez en el capítulo 9 se observan los análisis de resultados, donde se incluye el análisis estadístico y el normativo el cual permite llevar a cabo la propuesta de aplicación para el potencial aprovechamiento de los sedimentos hallados en el sistema de saneamiento pluvial de Puente Aranda. Finalmente, en los capítulos 10 y 11 se enuncian las correspondientes conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de grado.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La acumulación de sedimentos en la red de alcantarillado pluvial se ha convertido en un obstáculo para la ciudad, específicamente en la localidad de Puente Aranda, debido a que estos son generadores de problemas hidráulicos provocando la disminución de la sección transversal de la tubería, además la rugosidad cambia con el tiempo por diversos factores como la biopelícula formada en las paredes de la tubería ocasionando diferentes pérdidas por fricción de las del diseño original.

También se generan problemas ambientales que se encuentran relacionados con las cargas contaminantes que poseen los sedimentos por naturaleza, así mismo por la presencia de algunas conexiones erradas industriales y residenciales en el sistema de saneamiento pluvial, la disposición inadecuada de basuras y escombros, invasión de rondas, presencia de habitantes de la calle, baja arborización y pocas zonas verdes, malos olores y proliferación de vectores que causan enfermedades infectocontagiosas, diarreicas, respiratorias y de piel [5]. De igual forma los sedimentos se contaminan por la escorrentía superficial que provoca el efecto del “primer lavado”, que es el periodo inicial de un flujo de aguas lluvias durante un evento de precipitación en el cual se observan concentraciones de contaminantes altamente significativos comparados con valores obtenidos tiempo después en el mismo evento de lluvia [6].

La zona donde se encuentra ubicado Puente Aranda, se distinguió en el pasado por ser el cruce de varios ríos y humedales. Por esta razón este sector sufría frecuentes inundaciones, pero en la actualidad el sector que abarca la localidad, se caracteriza por tener un terreno plano con ligero desnivel de oriente a occidente [7]. Sin embargo se presenta acumulación de sólidos en la red de alcantarillado pluvial, lo cual representa un problema debido a que no se sabe qué hacer con esos sólidos, que llegan a generar grandes volúmenes, a pesar de que se han realizado campañas de limpieza promovidas por la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB) en 150.000 sumideros y 80 canales y quebradas. Allí durante los primeros 6 meses del año 2013 se sacaron 6.000 m³ de desperdicios de 85.000 sumideros y 14.000 Ton de basura de 60 canales y quebradas [4]. Estos volúmenes son significativos, como ya se pudo observar causan un daño hidráulico, ya que los sedimentos pueden tener adheridos contaminantes y su disposición final es perjudicial tanto para la salud humana como para el ambiente. Para el caso de Colombia, la Universidad de los Andes en el año 2008 caracterizó los sedimentos de 2293 estructuras de la red de alcantarillado sanitario y pluvial de la ciudad de Bogotá, las cuales se dividieron en zonas, teniendo en cuenta para su elección diferentes criterios como el uso del

suelo, material de la vía, y con unos parámetros de medición específicos como el pH, sulfuros, amonio, entre otros [8].

Tabla 1. Caracterización de lodos de alcantarillado de Bogotá en diferentes zonas.

	Residencial	Comercial	Industrial	Especiales	Erodabilidad	Canales
pH	7,28	7,52	7,56	7,07	7,51	7,49
Humedad [%]	40,407	37,690	37,195	32,13	21,9	31,03
Materia orgánica [g/kg]	91,28	96,94	101,37	88,75	39	54,94
Nitrógeno Total [g/kg]	3,996	3,061	8,001	3,24	1,0	2,08
Fósforo Total [g/kg]	2,845	1,727	2,527	1,8	0,9	0,838
Ca [mg/kg]	12935,5	10857,7	13456,9	11669,6	12687	10441
K [mg/kg]	393,1	355,9	402,9	469,85	259,26	470,83
Mg [mg/kg]	563,4	555,4	593,7	7335,41	315,02	515,64
Cd [µg/kg]	2071,2	2836,3	1547,7	2849,56	54,6	3956,38
Cu [µg/kg]	190003,1	98963,6	90573,7	92520,67	19478,38	145603,28
Zn [µg/kg]	275422,0	309812,8	291053,9	5981,57	102944,02	988713,74
Ni [µg/kg]	6013,86	16627,46	16192,98	2058,24	5	2756,52
Pb [µg/kg]	114403,5	148883,38	127944,39	318844,44	67821,58	188322,6
Cr [µg/kg]	36107,37	69821,95	191946,42			

Fuente: Jimenez [8].

También se han realizado estudios en otros lugares del mundo como por ejemplo en México, donde se llevó a cabo una investigación sobre sistemas de alcantarillado, que incluyó tuberías, complejas estructuras de regulación como presas, canales abiertos, donde se generan aproximadamente 2.8 Mm³ de sedimentos al año. Los resultados mostraron una importante presencia de plomo e hidrocarburos en algunos sedimentos y algunas muestras de lodos contenían arsénico y níquel por encima de los límites [9].

En Francia se caracterizaron mecánica, química y toxicológicamente diferentes sedimentos de sistemas de alcantarillado pluvial. Los resultados mostraron que los sedimentos de los caminos, zanjas, trampas de arena y los desagües pluviales son de bajo contenido de materia orgánica (<10%), frente a los estanques de lodos, sedimentos de los drenajes y la red de alcantarillado. Sin embargo el estudio mostró que la problemática más importante se da en metales pesados e hidrocarburos, en la cantidad de sedimentos producidos y en ausencia de regulación en sedimentos de alcantarillado [10].

El uso en la agricultura varía de acuerdo con la normatividad local, ya que cada una de ellas presenta diferentes rangos de concentraciones permisibles para su aplicación en el suelo. Por ejemplo en los Estados Unidos la EPA en 1994 realizó la guía para las “Evaluaciones de riesgo biosólidos”, en donde se centra primordialmente en una evaluación de riesgos en la aplicación de biosólidos al suelo y límites de concentraciones de contaminantes. La Norma 40 CFR parte 503, clasifica los biosólidos en dos Tipos (A y B) de acuerdo con la concentración de metales y la cantidad de microorganismos patógenos presentes en la siguiente tabla.

Tabla 2. Valores límites dados por la Norma CFR 40 Parte 503 para biosólidos.

Parámetro	Concentración máxima (mg/kg)	Calidad microbiológica Tipo A	Calidad microbiológica Tipo B
Arsénico	75		
Cadmio	85		
Cobre	4300		
Plomo	840		
Mercurio	57		
Molibdeno	75		
Níquel	420		
Selenio	100		
Zinc	7500		
Coliformes fecales (UFC/g)		< 10 ³	< 2x10 ⁶
Salmonella sp (UCF/g)		3/4	
Huevos de helmintos/g		1/2	

Fuente: Los autores, basada en información de la EPA [11].

2. JUSTIFICACIÓN

Los sedimentos provenientes del sistema de saneamiento pluvial pueden ser aprovechados en recuperación del suelo y agricultura, en este varía de acuerdo a la normatividad local y algunas veces los lodos son sometidos a diferentes tipos de tratamiento para mantener los límites permisibles; en terraplenes se debe tener en cuenta la guía técnica SETRA-LCPC 2003 de Francia, la norma NMHSPE 2000 de Holanda y la norma de INVIAS artículo 220- 07 en Colombia; y para la aplicación en concreto se debe realizar un tratamiento previo para separar las diferentes partículas de arenas con el fin de obtener el material lo más limpio posible [8].

Con éste proyecto se pretende realizar una propuesta con fines ingenieriles para el aprovechamiento de sedimentos presentes en los sistemas de saneamiento pluvial en algunas zonas de la localidad de puente Aranda en Bogotá. Esto porque se puede observar en las calles acumulación de sólidos en zonas muy próximas a las alcantarillas, que pueden generar inundaciones, además es un problema en cuanto a los volúmenes generados. A través del conocimiento de los aprovechamientos potenciales y según la caracterización que se le efectúe a los sólidos recolectados se propondrá un uso ingenieril para estos, con el fin de dar una opción para mitigar esta problemática.

Dentro de los aprovechamientos potenciales que han sido estudiados en Francia se tienen la fabricación de hormigón, recuperación de tierras y terraplenes [12]. Sin embargo también se pueden usar en la agricultura; se debe practicar antes un pre tratamiento a los residuos para la reducción de agua y sólidos, y un tratamiento para la remoción de sustancias contaminantes [13].

En diferentes lugares del mundo, los sólidos extraídos del sistema de alcantarillado son dispuestos en predios autorizados o clandestinos, y muchas veces sin un tratamiento previo. Bogotá no es la excepción, por más de 40 años dispuso en un predio llamado Gibraltar, el cual ya llego su capacidad y se encuentra contaminado; por tal motivo la Secretaría Distrital de Ambiente y la Comisión Europea tienen un proyecto de recuperación ambiental. Sin embargo mundialmente, los sedimentos se han utilizado desconociendo sus características para nivelar el terreno. En México para el relleno de zonas donde hubo explotación de las aguas subterráneas [9]. En Francia son reutilizados, por ejemplo como materiales de relleno [12].

Es importante mencionar que teniendo como referencia lo sucedido en la ciudad de Bogotá, los sedimentos de alcantarillado no pueden ser utilizados en su estado natural, por lo tanto deben someterse a un tratamiento previo, dirigido

principalmente a aislar la fracción de arena que puede ser recuperada y eliminar la fracción fina que a menudo esta cargada de contaminantes.

Por la hipótesis anteriormente mencionada y por el crecimiento de volúmenes de sedimentos, se ha dado inicio al tratamiento de estos sólidos, no sólo para el control de la calidad ambiental sino también para buscar nuevas formas de aprovechamiento. Dentro de la búsqueda bibliográfica se encontró la existencia de tres tipos de tratamientos; físicos, químicos y biológicos, los cuales se explicaran a continuación:

- Tratamientos físicos: Los procesos físicos están diseñados para separar una fracción limpia de sedimentos gruesos, ya que la mayoría de los contaminantes se concentran en la fracción fina [14].
- Tratamientos biológicos: Son procesos biológicos para degradar los contaminantes por la acción de los microorganismos y puede ser utilizado solo o en combinación con otra técnica [15].
- Tratamientos químicos: El objetivo de estos procesos es estabilizar los metales pesados y demás sustancias inorgánicas, mediante reacciones químicas [16].

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Realizar una propuesta con fines ingenieriles para el aprovechamiento de sedimentos que se acumulan en los sistemas de saneamiento pluvial en la localidad de Puente Aranda en Bogotá.

3.2 Objetivos específicos

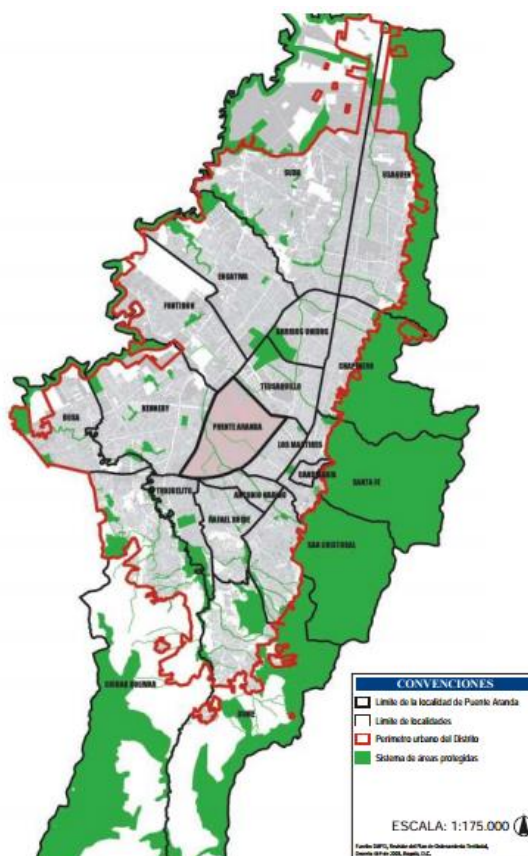
- Identificar los puntos de muestreo en la red de saneamiento pluvial donde serán recolectadas las muestras.
- Caracterizar física y químicamente los sedimentos recolectados en los sistemas de saneamiento pluvial para la zona escogida.
- Evaluar los resultados de los análisis realizados a las muestras.
- Identificar los posibles usos que se le pueden dar a los sedimentos recolectados según su caracterización.

4. MARCO CONTEXTUAL

4.1 Localización

La localidad de Puente Aranda (16) se encuentra ubicada en el centro occidente de la ciudad de Bogotá. Tiene un área total de 1724,28 Ha y el área urbana es de 1723,13 Ha [7].

Mapa 1. Localización de la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá.



Fuente: DPAE [17].

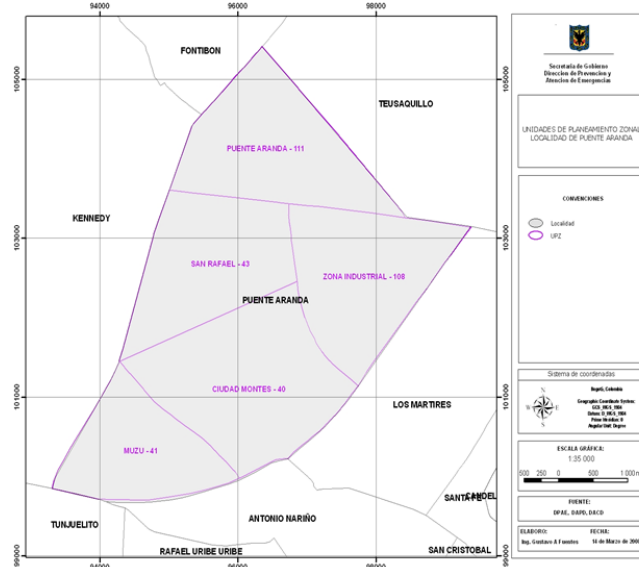
Al norte limita con la localidad de Teusaquillo, al sur con las localidades de Tunjuelito y Antonio Nariño, al este con la localidad de los Mártires y al oeste con las localidades de Kennedy y Fontibón. En la localidad de Puente Aranda están establecidas 5 UPZ [7].

Tabla 3. Unidades de planeación zonal de Puente Aranda.

ID	UPZ	N° Habitantes
40	Ciudad Montes	107.144
41	Muzú	73.270
43	San Rafael	91.990
111	Puente Aranda	11.845
108	Zona Industrial	5.585

Fuente: Los autores, basado en información de alcaldía de Puente Aranda [18].

Mapa 2. Límites de la localidad de Puente Aranda y UPZ



Fuente: DPAE [17].

La zona específica a trabajar en este proyecto de grado es el barrio Barcelona el cual pertenece a la UPZ 43 San Rafael [7].

4.2 Características biofísicas

4.2.1 Geomorfología

La localidad de Puente Aranda se caracteriza por tener un terreno plano con un ligero desnivel de oriente a occidente, en general está alejada de las laderas de las montañas y no tiene riesgo geotécnico [7].

4.2.2 Clima

La temperatura promedio es de 14,2 °C, la humedad relativa se encuentra entre el 85% - 93% durante los meses lluviosos y entre 62% y 66% en los meses secos. La precipitación se da entre 184 y 307 mm en los meses lluviosos y entre 3,4 y 9,8 mm en los meses secos [7].

4.2.3 Suelo

Se caracteriza por tener un terreno llano, que presenta dos tipos de sectores; un corredor industrial el cual comprende 1071,81 Ha y otro que es una zona residencial y comercial con un área de 651,32 Ha [7].

4.3 Características socioeconómicas

4.3.1 Estratificación

Según el Departamento Administrativo de Catastro Distrital, el 91% de los predios construidos en la localidad se encuentran estratificados con nivel 3, y el 1% corresponden a estratos 1, 2 y 4. De acuerdo con el POT de Bogotá, el uso del suelo en la localidad se divide en cinco áreas de actividad: residencial, industrial, dotacional, comercio y servicios, y área urbana integral [7].

Figura 1. Total de predios clasificados por destino económico.

COD.	DESTINO ECONÓMICO	PREDIOS
01	RESIDENCIAL	47.515
03	INDUSTRIAL	2.600
04	DOTACIONAL PUBLICO	168
05	RECREACIONAL PUBLICO	8
06	DOTACIONAL PRIVADO	152
08	RECREACIONAL PRIVADO	2
21	COMERCIO EN CORREDOR COMERCIAL	4.614
22	COMERCIO EN CENTRO COMERCIAL	4.845
23	COMERCIO PUNTUAL	1.772
24	PARQUEADEROS	3
61	URBANIZADO NO EDIFICADO	537
62	URBANIZABLE NO URBANIZADO	2
63	NO URBANIZADO SUELO PROTEGIDO	6
64	LOTE DEL ESTADO	399
65	VÍAS	423
66	ESPACIO PUBLICO	3
67	PREDIO CON MEJORA AJENA	1
TOTAL		63.050

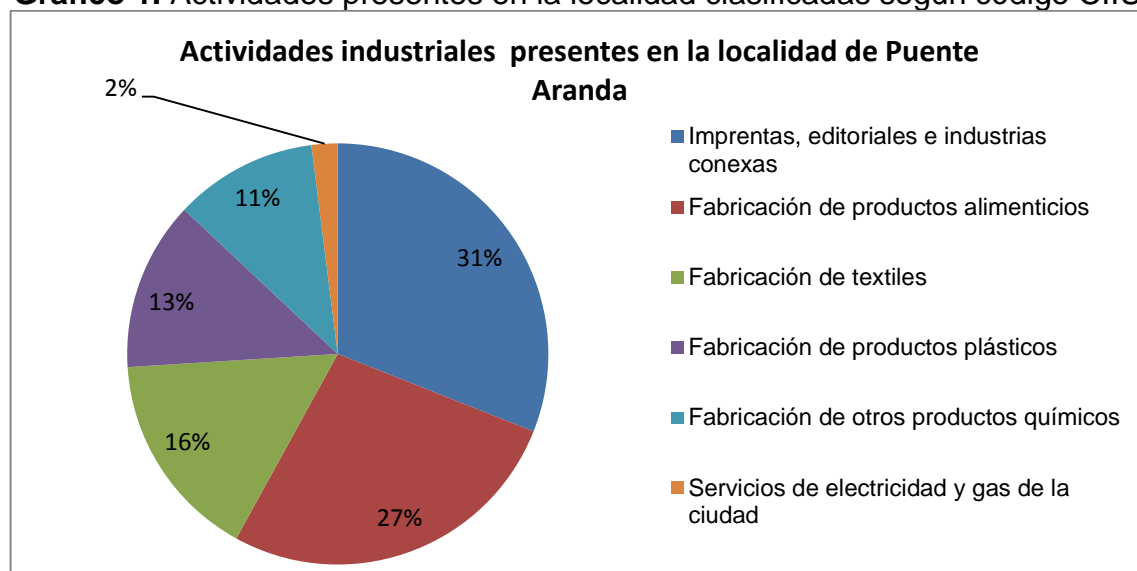
Fuente: Jorge Bernal Conde [7].

4.3.2 Economía

Las actividades presentes en la localidad clasificadas según código CIIU son: Fabricación de alimentos, de productos textiles, de prendas de vestir, de calzado, de productos químicos, de caucho y plástico, de productos metalúrgicos, de productos no metálicos, de muebles y otras manufacturas, hoteles, bares y similares, extracción de minerales no metálicos y otros: servicios de lavandería, salud, educación, impresión, actividades de ingeniería [19].

Se distribuyen así: imprentas, editoriales e industrias conexas 31%, Fabricación de productos alimenticios 27%, Fabricación de textiles 16%, Fabricación de productos plásticos 13%, Fabricación de otros productos químicos 11%, servicios de electricidad y gas de la ciudad 2% [19].

Gráfico 1. Actividades presentes en la localidad clasificadas según código CIIU.



Fuente: Los autores basada en información del SDA [19].

Específicamente para la zona muestreada en el presente trabajo de investigación, las actividades económicas para el año 2013 son: Elaboración de productos alimenticios, fabricación de productos textiles, de sustancias y productos químicos, de productos de caucho y de plástico, transformación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho, de artículos de cestería y espartería, actividades de impresión y de producción de copias a partir de grabaciones originales, fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico, de otros productos minerales no metálicos, de productos metalúrgicos básicos, de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo, fabricación de aparatos y equipo eléctrico, de maquinaria y equipo n.c.p., de muebles, colchones y somieres, recolección, tratamiento y disposición de desechos, recuperación de

materiales, comercio, mantenimiento y reparación de vehículos automotores y motocicletas, sus partes, piezas y accesorios, actividades de servicios de comidas y bebidas, educación, elaboración de bebidas (ver ANEXO C).

4.4 Comunicación y transporte

Según datos del IDU en la localidad para el año 2006, el 66% de las redes de movilidad local vehicular, se encontraban en construcción y el 58,3% de las redes alternativas compuestas por andenes y ciclorutas hasta el año 2012 no estaban construidas [7].

4.5 Características ambientales

4.5.1 Calidad del aire

La localidad de Puente Aranda cuenta con una mala calidad del aire, ya que se presentan altas concentraciones de pm 10 y menores a 10 micras y gases, como consecuencia de las emisiones atmosféricas provenientes de industrias y los vehículos de transporte pesado y público [20].

Esto se constituye en un determinante de afectación a la salud especialmente para la niñez y la vejez ya que ocasiona enfermedades de origen respiratorio, cardiovascular nervioso y dermatológico [20].

4.5.2 Aguas superficiales

En la localidad existen 4 cuerpos hídricos, el principal es el Río Fucha y sus afluentes son el canal Río Seco, la Albina y los Comuneros [20].

La cuenca del Río Fucha comprende un área de 12.991 Ha urbanas y 4.545 Ha en la parte rural; drena las aguas de oriente a occidente para finalmente desembocar en el Río Bogotá [20].

Para el mes de septiembre de 2011 se logró identificar puntos críticos de vertimientos, residuos sólidos, losas dañadas, cambuches con presencia de habitante de calle y problemas de vertimiento por Box Couvert y aliviaderos [20].

Tabla 4. Situación ambiental de los puntos identificados para los canales de Puente Aranda.

CANAL	VERTIMIENTOS	RESIDUOS SÓLIDOS	LOSAS DAÑADAS	CAMBUCHES HABITANTE DE CALLE	BOX COULVERT Y ALIVIADEROS
RIO FUCHA	16	5	1	15	2
RIO SECO	19	1	0	5	0
COMUNEROS	8	2	2	16	0
ALBINA	5	7	4	4	0

Fuente: Alcaldía mayor de Bogotá [20].

4.5.3 Residuos sólidos

En la localidad para el año 2011, se generaron 15,164 Ton/mes de basura y aproximadamente 4,941 Ton/mes de escombros. Existen 19 puntos de arrojado clandestinos de escombros; 12 de residuos sólidos y 4 de escombros [20].

La acumulación de los residuos sólidos y de escombros genera el taponamiento de redes de alcantarillado, invasión del espacio público, la utilización inadecuada de zonas como botaderos de basura, la generación de malos olores y el deterioro paisajístico, la proliferación de insectos, roedores y palomas [20].

Tabla 5. Riesgos asociados al escenario en Puente Aranda.

ESCENARIOS	LOCALIZACIÓN DEL ESCENARIO	RIESGOS ASOCIADOS AL ESCENARIO	CALIFICACIÓN
Ciudad Consolidada	Toda la localidad: UPZ's 40, 41, 43, 111, 108	Sismo. Incendio, colapso o daño estructural. Vendavales.	Relevante
Industria	Principalmente UPZ's 108 y 111	Tecnológico: Derrame. Incendio, fuga y explosión.	Relevante
Sector de la Construcción	Toda la localidad: UPZ's 40, 41, 43, 111, 108	Colapso estructural, sismo, granizadas.	Relevante
Redes	Vías: Puente Aranda se encuentra enmarcada por la Avenida Carrera 68, Carrera 30, Avenida de Las Américas, Calle 13, la Calle 19, la Calle 3ª, la Calle 6ª y la Carrera 50, que son sus más importantes vías. Canales: la localidad cuenta con 4 canales: Fucha, Canal de los Comuneros, canal del Río Seco y canal Albina. Agua y Energía: se presta al 100% de la localidad. Gas Natural: Servicio prestado a la mayoría de la localidad.	Sismo, encharcamientos, granizadas que afectan la movilidad. La acumulación de basura en los canales de la localidad es transportada con el agua hasta el río Fucha que desemboca en el río Bogotá, aportando residuos a las localidades que tienen riesgo de inundación. Las redes de gas natural tienen el posible riesgo de incendios, explosiones y fugas.	Presente
Aglomeraciones de Público	Parque la Alquería, San Andresito de la 38, Parque Ciudad Montes, Polideportivo el Jazmín, Coliseo Colegio Santa Isabel de Hungría.	Geológicos, hidro meteorológicos, estampidas, colapso estructural.	Presente

Fuente: Alcaldía mayor de Bogotá [20].

4.6 Amenaza Tecnológica

En toda la localidad se utiliza, produce y transporta material químico y residuos peligrosos. En el 2008 ocurrieron varios incidentes: el primero un accidente de una grúa cuyo brazo quedo a 50 cm de un tanque con thinner provocando un alto riesgo por explosión; el segundo el escape de ácido butílico al frente de un colegio afectando a varios estudiantes; y el tercero un derrame en una industria de 18 mil litros de ácido sulfúrico que afectó a 9 personas [17].

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Sistema de alcantarillado

Es el conjunto de obras para la recolección, conducción y disposición final de las aguas residuales o de las aguas lluvias [1]. Existen tres tipos de sistemas de alcantarillado que son:

5.1.1 Sistemas convencionales

Los alcantarillados convencionales son los sistemas tradicionales utilizados para la recolección y transporte de aguas residuales o lluvias hasta los sitios de disposición final [21] estos son:

Alcantarillado de aguas combinadas Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte, tanto de las aguas residuales como de las aguas lluvias [1].

Alcantarillado separado La recolección y transporte de las aguas residuales y pluviales se hace mediante sistemas independientes; es decir, alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial [21].

Alcantarillado de aguas lluvias Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de aguas lluvias [1].

Alcantarillado de aguas residuales Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de las aguas residuales domésticas y/o industriales [1].

5.1.2 Sistemas no convencionales

Basados en consideraciones de diseño adicionales y en una mejor tecnología disponible para su operación y mantenimiento. Los sistemas no convencionales pueden constituir alternativas de saneamiento cuando, partiendo de sistemas in situ, se incrementa la densidad de población [21]. Entre estos encontramos:

Los alcantarillados simplificados: Funcionan esencialmente como un alcantarillado sanitario convencional pero teniendo en cuenta para su diseño y construcción consideraciones que permiten reducir el diámetro de los colectores tales como la disponibilidad de mejores equipos para su mantenimiento, que

permiten reducir el número de pozos de inspección o sustituirlos por estructuras más económicas [21].

Los alcantarillados condominiales Son sistemas que recogen las aguas residuales de un conjunto de viviendas que normalmente están ubicadas en un área inferior a 1 ha mediante colectores simplificados, y son conducidas a la red de alcantarillado municipal o eventualmente a una planta de tratamiento [21].

Los alcantarillados sin arrastre de sólidos Son sistemas en los que el agua residual de una o más viviendas es descargada a un tanque interceptor de sólidos donde estos se retienen y degradan, produciendo un efluente sin sólidos sedimentables que es transportado por gravedad en un sistema de colectores de diámetros reducidos y poco profundo. Sirven para uso doméstico en pequeñas comunidades o poblados y su funcionamiento depende de la operación adecuada de los tanques interceptores y del control al uso indebido de los colectores. Desde el punto de vista ambiental pueden tener un costo y un impacto mucho más reducido [21].

5.1.3 Sistemas in situ

Existen sistemas basados en la disposición in situ de las aguas residuales como las letrinas y tanques, pozos sépticos y campos de riego, los cuales son sistemas de muy bajo costo y pueden ser apropiados en áreas suburbanas con baja densidad de población y con adecuadas características del subsuelo. En el tiempo, estos sistemas deben considerarse como sistemas transitorios a sistemas no convencionales o convencionales de recolección, transporte y disposición, en la medida en que el uso de la tierra tienda a ser urbano [21].

5.2 Criterios de diseño para alcantarillado pluvial

5.2.1 Geometría de la red de alcantarillado

La disposición de los tramos y de las cámaras que conforman la red constituye uno de los parámetros básicos del diseño. Dicha disposición define la geometría de la red y con ésta sus características topológicas, las cuales permanecen invariables durante el diseño [22].

- **Parámetros de diseño para alcantarillado pluvial**

5.2.2 Áreas de drenaje

El trazado de la red de drenaje de aguas lluvias debe, en general, seguir las calles de la localidad. La extensión y el tipo de áreas tributarias deben determinarse para cada tramo por diseñar. El área aferente debe incluir el área tributaria propia del tramo en consideración. Las áreas de drenaje deben ser determinadas por

medición directa en planos, y su delimitación debe ser consistente con las redes de drenaje natural [1] .

5.2.3 Caudal de diseño

Para la determinación del caudal de diseño de los colectores y canales se utilizará el método racional para proyectos donde el área de drenaje sea inferior a 80 Ha [23]. La ecuación del método racional es:

$$Q = C \times i \times A \text{ [23].}$$

De donde:

Q: Descarga estimada en un sitio determinado (L/s) [23].

C: Coeficiente de escorrentía (adimensional) [23].

I: Intensidad de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y para el período de retorno determinado (L/s/Ha) [23].

A: Área de drenaje (Ha) [23].

5.2.4 Curvas de intensidad-duración-frecuencia

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos [1].

Tabla 6. Curvas IDF.

Nivel de complejidad del sistema	Obtención mínima de curvas IDF
Bajo y medio	Sintética
Medio alto	Información pluviográfica regional
Alto	Información pluviográfica local

Fuente: RAS [1].

5.2.5 Período de retorno de diseño

El período de retorno de diseño debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, tráfico vehicular, comercio, industria, etc. La selección del período de retorno está asociada entonces con las características de protección e importancia del área de estudio y, por lo tanto, el valor adoptado debe estar justificado [1].

5.2.6 Intensidad de precipitación

La intensidad de precipitación que debe usarse en la estimación del caudal pico de aguas lluvias corresponde a la intensidad media de precipitación dada por las curvas IDF para el período de retorno de diseño definido y una duración equivalente al tiempo de concentración de la escorrentía [1].

5.2.7 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía C , es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía. De igual manera, debe incluir consideraciones sobre el desarrollo urbano, los planes de ordenamiento territorial y las disposiciones legales locales sobre uso del suelo. El valor del coeficiente C debe ser estimado tanto para la situación inicial como la futura, al final del periodo de diseño [1].

Para áreas de drenaje que incluyan subáreas con coeficientes de escorrentía diferentes, el valor de C representativo del área debe calcularse como el promedio ponderado con las respectivas áreas [1].

$$C = \frac{(\sum c * A)}{\sum A} [1].$$

Tabla 7. Coeficiente de escorrentía.

Tipo de Superficie	C
ZONAS URBANIZADAS (Áreas residenciales, comerciales, industriales, vías, andenes, etc...)	
Cubiertas	0,85
Superficies en asfalto	0,80
Superficies en concreto	0,85
Superficies adoquinadas	0,75
Vías no pavimentadas y superficies con suelos compactados	0,60
ZONAS VERDES (Jardines, parques, etc...)	
Terreno plano (Pendiente menor al 2%)	0,25
Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0,35
Terreno de alta pendiente (Pendiente superior al 7%)	0,40

Fuente: Norma NS- 085 EAB [23].

5.2.8 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración está compuesto por el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido en el colector. El tiempo de entrada corresponde al tiempo requerido para que la escorrentía llegue al sumidero del colector, mientras que el tiempo de recorrido se asocia con el tiempo de viaje o tránsito del agua dentro del colector [1].

$$T_c = T_e + T_t \text{ [23].}$$

5.2.9 Diámetro mínimo

El diámetro nominal mínimo permitido en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias es 250 mm. Sin embargo, en casos especiales, en particular para niveles de complejidad del sistema bajo y medio, y con plena justificación por parte del diseñador, puede reducirse en los tramos iniciales a 200 mm [1].

5.2.10 Aporte de sedimentos

La recolección de aguas lluvias necesariamente implica también la captación de material granular y coloidal que la escorrentía superficial transporta. Igualmente, pueden captarse lodos provenientes de conexiones erradas sanitarias. Las características granulométricas de estos aportes sólidos dependen de las condiciones topográficas, tipo de suelos, protección de éstos con la cobertura vegetal y erosividad, entre otros factores [1].

Es necesario entonces identificar el tipo de material que las áreas de drenaje pueden aportar a los colectores, haciendo énfasis en el componente granular, pues éste determina en buena parte los requisitos de autolimpieza de los colectores, evacuación de lodos y la necesidad de construir desarenadores estratégicamente ubicados antes del ingreso de las aguas lluvias a la red de colectores. Además, es necesario hacer una evaluación de posibles elementos extraños que puedan ingresar al sistema pluvial, en particular por actividades antrópicas y comportamientos específicos de sectores de la población [1].

5.2.11 Velocidad mínima

La velocidad mínima permitida en el colector es 0,75 m/s para el caudal de diseño. En cada tramo debe verificarse el comportamiento autolimpiante del flujo, para lo cual es necesario utilizar el criterio de esfuerzo cortante medio. Se establece, por

lo tanto, que el valor del esfuerzo cortante medio para el sistema pluvial sea mayor o igual a 3,0 N/m² (0,3 Kg/m²) para el caudal de diseño, y mayor o igual a 1,5 N/m² (0,15 Kg/m²) para el 10% de la capacidad a tubo lleno [23].

$$\tau = \gamma * R * S \text{ [23].}$$

Donde,

τ = Esfuerzo tractivo [23].

γ = Peso específico del agua [23].

R = Radio hidráulico [23].

S = Pendiente de la conducción [23].

5.2.12 Velocidad máxima

Tabla 8. Velocidades máximas permisibles

Tipo de material	V (m/s)
Ladrillo común	3,0
Ladrillo vitrificado y gres	5,0
Concreto	5,0
PVC	10,0

Fuente: RAS [1].

5.2.13 Pendiente mínima

El valor de la pendiente mínima del colector debe ser aquel que permita tener condiciones de autolimpieza, de acuerdo con los criterios de la velocidad mínima [1].

5.2.14 Pendiente máxima

El valor de la pendiente máxima admisible es aquella para la cual se tenga una velocidad máxima real, según los criterios de la velocidad máxima [1].

5.2.15 Profundidad hidráulica máxima

La profundidad hidráulica máxima en colectores de aguas lluvias puede ser la correspondiente a flujo lleno [1].

5.3 Criterios de localización

5.3.1 Profundidad mínima a la cota clave

La profundidad mínima de los colectores de redes de recolección y evacuación de aguas lluvias debe ser aquella que permita el adecuado drenaje por gravedad de las mismas en su área tributaria, que no interfieran con las conexiones domiciliarias del sistema sanitario y que puedan recibir los sumideros y cunetas. Además, el recubrimiento mínimo del colector debe evitar la ruptura de éste, ocasionada por cargas vivas [23].

5.3.2 Profundidad máxima a la cota clave

En general la máxima profundidad de los colectores es del orden de 5 m, aunque puede ser mayor, cuando se garanticen los requerimientos geotécnicos de las cimentaciones y estructurales de los materiales y colectores durante (y después de) su construcción [23].

5.4 Sólidos

Un sólido es una sustancia que cumple con las siguientes propiedades: alta cercanía de sus partículas, poca movilidad de las partículas, baja fluidez, conducen bien la electricidad, conducen bien el calor, presentan mayor resistencia a la penetración por tener pocos espacios vacíos en su estructura, presentan gran resistencia a la compresión, gran resistencia a la tracción [24]. Las clases de sólidos existentes son:

5.4.1 Sólidos Totales (ST)

Son los materiales residuales que permanecen en los lodos y biosólidos, que han sido deshidratados entre 103 °C a 105 °C, hasta alcanzar un peso constante y son equivalentes en base a peso seco [25].

5.4.2 Sólidos Volátiles (SV)

Son sólidos orgánicos totales presentes en los lodos y biosólidos, que se volatilizan cuando éstos se queman a 550 °C en presencia de aire por un tiempo determinado [25]. Esta prueba se lleva a cabo por el procedimiento de combustión en el que se controla la temperatura para evitar la descomposición y volatilización

de las sustancias inorgánicas. La pérdida de peso debida a la oxidación a alta temperatura y la volatilización se interpreta en términos de materia orgánica [26].

Procedimiento

Introducir en la mufla el recipiente con el residuo seco a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ del lodo tal como se recibió después de haber calculado el % de humedad, lentamente subir la temperatura de la mufla a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$, mantener la temperatura durante 2 horas y luego lentamente disminuirla hasta menos de $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sacar y dejar enfriar hasta temperatura ambiente, pesar la muestra y realizar cálculos [27].

Para el cálculo del porcentaje de sólidos volátiles con base a la muestra de los sedimentos del sistema de saneamiento pluvial recolectados, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Sólidos volátiles (\%)} = \frac{a-b}{m} * 100 \text{ [27].}$$

Dónde:

a = Masa, en g, del residuo + recipiente, antes de la calcinación [27].

b = Masa, en g, del residuo + recipiente, después de la calcinación [27].

m = Masa, en g, de lodo tal como se recibió [27].

5.4.3 Sólidos Sedimentables

Son los sólidos en suspensión que se pueden sedimentar en condiciones de quietud por la influencia de la gravedad. Solo se sedimentan los sólidos en suspensión más gruesos y con un peso específico mayor que el agua. Los lodos son acumulaciones de sólidos que se sedimentan; la medición de estos es importante en la práctica de la ingeniería para definir la necesidad de unidades de sedimentación y el comportamiento físico de las corrientes de residuos que entran a los cuerpos de agua naturales [26].

Los sólidos en sistemas de alcantarillado constituyen uno de los mayores problemas en términos de reducción de capacidad y fuente de contaminación durante temporadas húmedas. Entre los años 1850 y 1900 se empezó a mirar de manera integral los sistemas de alcantarillado, en donde se involucra mejoras a los diseños (tubería auto-limpiantes) y método de control de sólidos en alcantarillados [28].

Las fuentes de sedimentos que ingresan a los hidrosistemas de saneamiento son muy diversas. De hecho, cualquier material de generación- particulado es una fuente potencial de ingreso.

En el 2004 Ashley, Bertrand-Krajewski, Hvited-Jacobsen y Verbanck presentaron como principales fuentes cinco ítems:

- ✓ Atmosfera, contiene partículas finas de polvo y aerosoles [29].
- ✓ Superficie de captación, donde los sólidos se acumulan durante periodos de clima seco y se lavan durante eventos de lluvia: tejados, calles, parqueaderos, avenidas etc [29].
- ✓ Alcantarillados residuales, este contiene grandes proporciones de sólidos orgánicos [29].
- ✓ Efluentes industriales, comerciales y sólidos de construcciones, estos contribuyen muy significativamente en el aporte altas cargas de sólidos [29].
- ✓ Medio ambiente y el proceso dentro del drenaje, interacción típica del cuerpo de agua, infiltración/exfiltración, decaimiento y degradación de sólidos en la red [29].

Los sedimentos son usualmente depositados durante periodos secos y después por resuspensión introducidos a los sistemas de alcantarillado durante eventos de precipitación [30]. Este transporte de los sólidos se da por parte de la energía aportada por el flujo ya que este promueve el movimiento de las partículas sólidas, sin embargo es difícil predecir el movimiento de sólidos en sistemas de alcantarillado, debido a que las condiciones de transporte son significativamente diferentes a las medidas en laboratorios [29]. La sedimentación de sólidos en sistemas de alcantarillado se encuentra asociado a factores climáticos, hidráulicos y a características físicas de los sedimentos [31].

5.5 Lodos

Son sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización [25]. Los tipos de lodos existentes son:

5.5.1 Lodos categoría A

Lodo sin restricciones sanitarias para la aplicación a suelo. En este punto, la EPA es más específica, al denominarlos Biosólidos de Calidad Excepcional, que son aquellos que son poco contaminantes y tienen reducción de patógenos Clase A y que han reducido el nivel de componentes degradables que atraen vectores (organismos capaces de transportar y transmitir agentes infecciosos tales como roedores, moscas y mosquitos) [32].

5.5.2 Lodo categoría B

Lodo apto para la aplicación al suelo, con restricciones sanitarias de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos [32].

La EPA los denomina como Biosólidos con concentración de contaminantes y los define como aquellos Biosólidos que también logran los mismos bajos límites de concentración de contaminantes de los de Clase A, pero solo logran una reducción de patógenos clase B y/o están sujetos a la administración en el sitio mismo, más que como una alternativa de tratamiento para reducir vectores [32].

5.5.3 Lodo categoría C

Lodo que no cumple con algún(o) de los parámetros definidos para las categorías A ó B y que son considerados como residuos peligrosos de acuerdo con la normativa ambiental vigente [32].

5.6 Tratamiento

El agua lluvia puede ser tratada usando los procesos físico-químicos tradicionales más comúnmente utilizados para el abastecimiento de agua y tratamiento de aguas residuales, aunque estos no son tan comunes como los SUDS (sistema de drenaje urbano sostenible) [8]. A continuación se presentaran diferentes técnicas de tratamiento para la remoción de algunos parámetros particularmente.

- **Arenas y Gravas**

Los desarenadores, en tratamiento de aguas residuales, se usan para remover arena, grava, partículas u otro material sólido pesado que tenga velocidad de asentamiento o peso específico bastante mayor que el de los sólidos orgánicos degradables de las aguas (lluvias y residuales) [33].

- **Concentraciones de Hierro**

Se recomienda utilizar una película de carbón activado para eliminar las altas concentraciones de hierro. Estos filtros se deben proponer como tratamiento para cada subcuenca [34].

- **pH**

La neutralización o ajuste de pH es un proceso que generalmente se realiza mediante la adición de un álcali o de un ácido a un residuo, para obtener un rango de pH más cercano a 7. Se usa para proteger fuentes receptoras de descargas

alcalinas o acidas fuertes, o para permitir el postratamiento de dichos residuos [33].

5.7 Humedad

La humedad del suelo mide el contenido en agua de un volumen de tierra. La capacidad máxima de humedad del suelo depende de su desarrollo, la vegetación presente y los usos del suelo. La humedad en un momento determinado, dependerá, entre otros factores, de la precipitación y la evapotranspiración que se hayan producido [35].

5.7.1 Procedimiento

La masa de suelo secada se obtiene colocando una muestra de suelo en la estufa a 110° C hasta obtener el peso constante de la muestra que, en la mayoría de los suelos, se logra entre 24 y 48 horas, dependiendo del tamaño de la muestra. A este estado se le denomina “suelo seco” y es de naturaleza constante y reproducible bajo varias condiciones ambientales [36].

Para el cálculo del porcentaje de humedad se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(a-b)}{(b-c)} * 100 \text{ [37].}$$

Dónde:

a= Peso muestra húmeda + recipiente (g) [37].

b= Peso de la muestra seca 110 °C+ recipiente (g) [37].

c= Peso del recipiente vacío (g) [37].

5.8 Granulometría

5.8.1 Método Bouyoucos

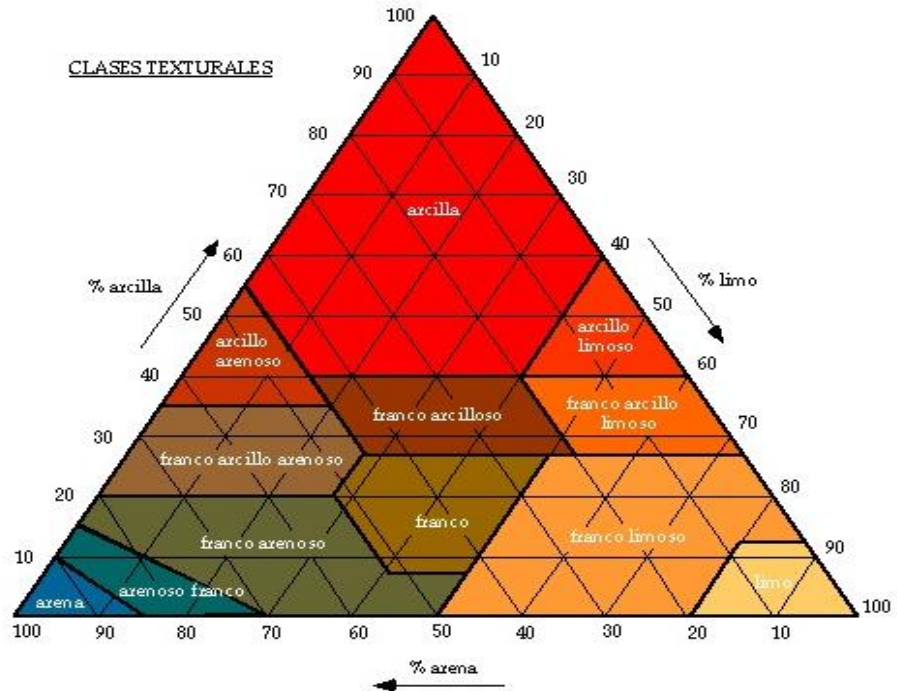
El método del hidrómetro implica dispersar las partículas de suelo con una solución de hexametafosfato de sodio. La cantidad de arena, limo y arcilla en la muestra de suelo está determinada, después de la dispersión, por un hidrómetro, que mide las partículas en suspensión. La cantidad de cada tipo de partícula se basa en el principio de la ley de Stokes, que determina el porcentaje de partícula presente por la velocidad a la que cada tipo de ellas cae fuera de suspensión, con base a su tamaño [38].

Figura 2. Escala de tamaño de granos basada y modificada de Wentword (1922).

CLASES DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS					
	NOMBRE	MILIMETROS	TAMAÑO EN MICRONES	PHI	PRODUCTO LITIFICADO
GRAVA	Bloque	256,0		- 8,0	Conglomerado
	Guijarro	64,0		- 6,0	Conglomerado
	Guijo	4,0		- 2,0	Conglomerado
	Gránulo	2,0		- 1,0	Conglomerado
ARENA	Arena muy gruesa	1,0		0,0	Arenita muy gruesa
	Arena gruesa	0,5	500,0	1,0	Arenita gruesa
	Arena media	¼	250,0	2,0	Arenita media
	Arena fina	1/8	125,0	3,0	Arenita fina
	Arena muy fina	1/16	62,5	4,0	Arena muy fina
LODO	Limo grueso		31,0	5,0	Limolita
	Limo medio				
	Limo fino				
	Limo muy fino	1/256	3,9	8,0	
	Arcilla	< 1/256			Arcillolita

Fuente: INGEOMINAS [39].

Figura 3. Clasificación de suelos según la textura.



Fuente: Datateca UNAD [40].

5.8.2 Procedimiento

El suelo seco a 110 °C se tamiza por malla de 2,0 mm, se pesan 50 g de la muestra para suelos de textura fina y 100 g para suelos arenosos o de textura gruesa. La cantidad del suelo pesada se pasa luego a la copa de dispersión de la licuadora y se llena con agua destilada por debajo del borde. Se agregan 10 cm³ del dispersante (hexametáfosfato de sodio); se coloca la copa en el agitador haciendo funcionar el aparato 10 minutos [38].

Se vierte el contenido en una probeta, lavando bien la copa, y se llena la probeta con agua hasta 1000 ml, se agita vigorosamente la suspensión, tapando la probeta con la palma de la mano. Tan pronto se termine la agitación se sumerge suavemente el hidrómetro en la suspensión haciendo la primera lectura a los 40 segundos y la segunda a las 2 h [38].

Para el cálculo del porcentaje de arenas, limos y arcillas, con base a la muestra de los sedimentos del sistema de saneamiento pluvial recolectados, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Limos + arcillas (\%)} = \frac{b}{m} * 100 \text{ [38].}$$

Dónde:

b = segunda lectura del hidrómetro (a las 2 horas) [38].

m = Masa, en g de la muestra [38].

$$\text{Arcillas (\%)} = \frac{a}{m} * 100 \text{ [38].}$$

Dónde:

a = primera lectura del hidrómetro (a los 40 segundos) [38].

m = Masa, en g de la muestra [38].

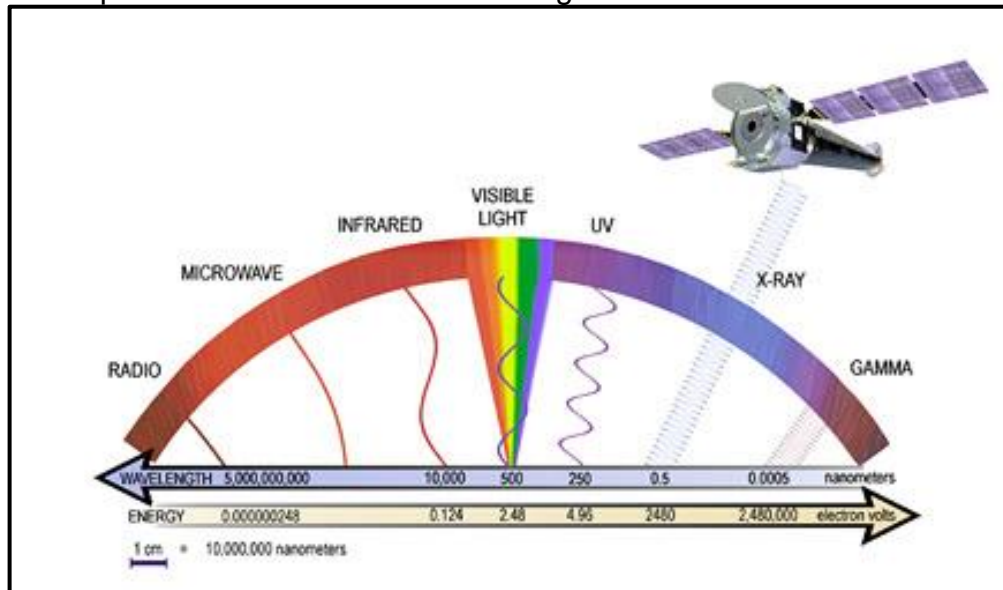
$$\text{Limos (\%)} = (\% \text{limos} + \% \text{arcillas}) - \% \text{arcillas [38].}$$

$$\text{Arenas (\%)} = (100 - (\% \text{limos} + \% \text{arcillas})) \text{ [38].}$$

5.9 Espectrómetro de fluorescencia de rayos X.

Es una técnica de análisis químico basada en la propiedad que tienen casi todos los elementos químicos de la tabla periódica. La fluorescencia de rayos X tiene a lugar cuando una sustancia es irradiada por radiación electromagnética comprendida en el rango de los rayos X (figura 5) la cual tiene una longitud de onda en el intervalo de 10^{-8} nm a 10^{-10} nm, una frecuencia mayor a 30 PHz y una energía mayor a $20 * 10^{-18}$ J [41].

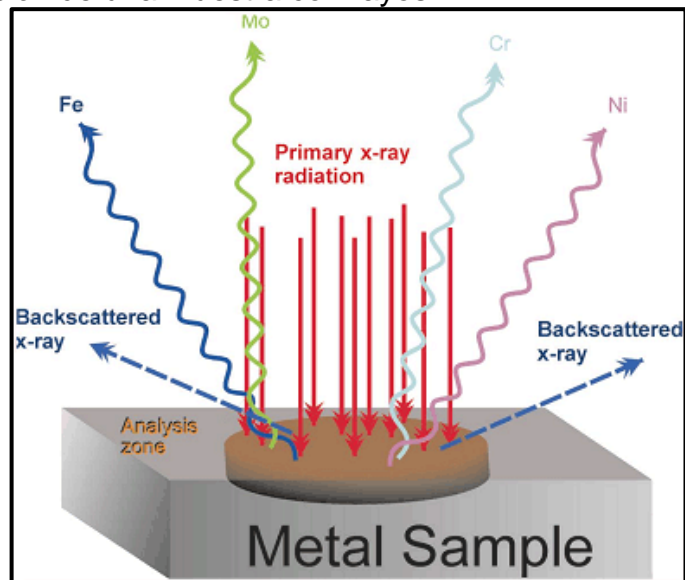
Figura 4. Espectro de la radiación electromagnética.



Fuente: Capacitación de análisis químico por fluorescencia de rayos x [42].

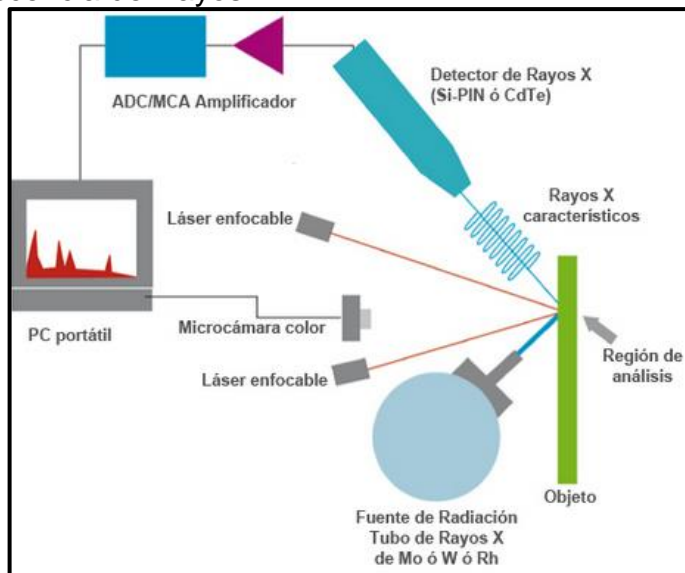
De esta manera se observa que la energía se proyecta con los rayos X y comienza a generar una fluorescencia de diferente intensidad para cada elemento o compuesto, la radiación actúa como un semi conductor de Silicio-Germanio, lo libera, lo transforma en voltaje corriente y lo convierte en un pico; la posición del pico determina el elemento o compuesto, mientras que la altura y el ancho corresponden a la concentración (véase en la figura 6 y 7) [42].

Figura 5. Irradiación de una muestra con rayos X.



Fuente: Capacitación de análisis químico por fluorescencia de rayos X [42].

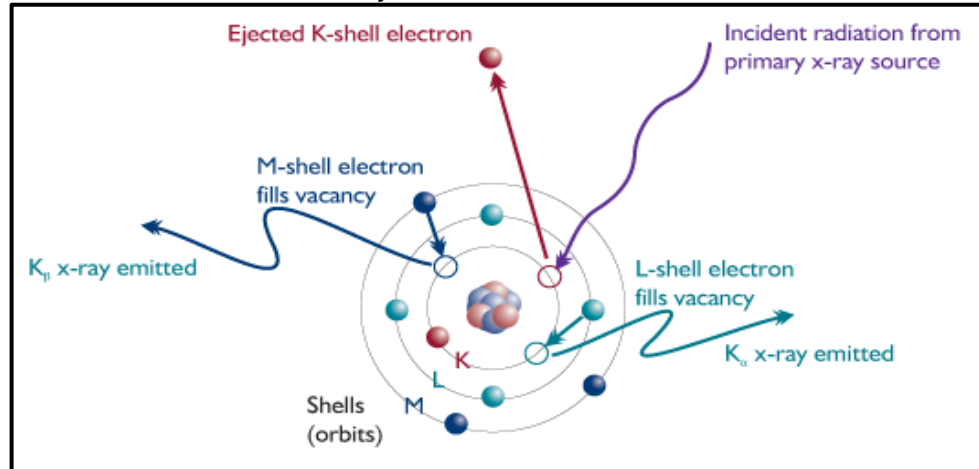
Figura 6. Fluorescencia de Rayos X.



Fuente: UNAM [43].

Ademas en la figura 8 se muestra que el espectrómetro bombardea con rayos X, y por ser una radiación de alta intensidad penetra al interior del núcleo e interactúa con los electrones más internos; la radiación excita al electrón y lo eyecta creando un vacio electrónico. Como es un análisis no destructivo recompone al electrón y lo rellena con el más cercano mediante la energía de transición que se le denomina fluorescencia de rayos X [42].

Figura 7. Átomo irradiado con rayos X.



Fuente: Capacitación de análisis químico por fluorescencia de rayos X [42].

Fotografía 1. Espectrómetro de fluorescencia de rayos x Shimadzu EDX-720 de la Universidad Autónoma.



Fuente: Los autores.

Este equipo tiene las siguientes funciones y características:

- Permite determinar en un solo análisis, la composición elemental de cualquier muestra desconocida [42].

- Identifica y cuantifica todos los elementos de la tabla periódica comprendidos entre el Sodio (Na) y el Uranio (U) [42].
- Permite analizar muestras sólidas, en polvo y líquidas.
- Permite hacer análisis de elementos a nivel de trazas (bajas concentraciones) [42].
- Los análisis son muy rápidos (aproximadamente 7 minutos) [42].
- Permite hacer análisis cualitativos-semicuantitativos sin necesidad de construir curvas de calibración [42].
- Permite medir espesores de películas (hasta 50 μm) [42].
- Permite analizar muestras sólidas de hasta 15 cm de alto y 30 cm de diámetro [42].

En un solo análisis es posible determinar y cuantificar casi todos los elementos de la tabla periódica o compuestos. No es necesario hacer ajustes o acoples para analizarlos [42].

Los análisis por FRX no son destructivos y en la mayoría de los casos no es necesario una preparación previa de la muestra. Esto quiere decir que se analiza directamente sin hacerle ningún tratamiento, y después del análisis la muestra queda exactamente igual que antes del análisis. Esto es ideal para muestras valiosas tal como joyas y obras de arte o cuando se dispone de poca muestra y esta debe ser usada para otros análisis (por ejemplo análisis de sangre) [42].

5.10 Análisis multivariado de datos estadísticos

5.10.1 R

Es un software que sirve para programar análisis estadístico y gráfico, fue creado en 1993 por Robert Gentleman y Ross Ihaka del Departamento de estadística de la Universidad de Auckland-Nueva Zelanda y desde 1997 se desarrolla con aportes de diversas partes del mundo, bajo la coordinación del equipo principal de desarrollo de R (R Core Team Development) (R Project) [44].

Esencialmente R funciona como un lenguaje de programación, es decir, para realizar una acción, hay que escribir una secuencia de instrucciones que luego serán ejecutadas, sin embargo, en una sesión de R, se puede instalar y cargar una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI), creada por John Fox: el paquete R Commander, con el cual es posible programar usando ventanas [44].

5.10.2 Análisis de componentes principales (ACP)

El Análisis de Componentes Principales (ACP) pertenece a un grupo de técnicas estadísticas multivariantes, eminentemente descriptivas. Permite reducir la dimensionalidad de los datos, transformando el conjunto de p variables originales en otro conjunto de q variables incorrelacionadas ($q \leq p$) llamadas componentes principales. Las p variables son medidas sobre cada uno de los n individuos, obteniéndose una matriz de datos de orden np ($p < n$) [45].

En el ACP existe la opción de usar la matriz de correlaciones o bien, la matriz de covarianzas. En la primera opción se le está dando la misma importancia a todas y a cada una de las variables; esto puede ser conveniente cuando el investigador considera que todas las variables son igualmente relevantes. La segunda opción se puede utilizar cuando todas las variables tengan las mismas unidades de medida y además, cuando el investigador juzga conveniente destacar cada una de las variables en función de su grado de variabilidad [45].

5.10.3 Ade4

El paquete ade4 propone una gran variedad explicativa de métodos para analizar conjuntos de datos multivariado. Como sugiere el ade4 acrónimo (Análisis de datos Ecológicos y Ambientales en el marco de los métodos exploratorios euclidianas), el paquete está dedicado a los ecologistas, pero podría ser útil en muchos otros campos. Los métodos disponibles en el paquete son particulares casos del diagrama de la dualidad y la implementación de las funciones sigue la descripción de esta herramienta matemática unificador (clase dudi) [46].

5.10.4 Prueba de Kruskal-Wallis

La prueba de Kruskal-Wallis es no paramétrica; es el método más adecuado para comparar poblaciones cuyas distribuciones no son normales. Incluso cuando las poblaciones son normales. También es adecuado cuando las desviaciones típicas de los diferentes grupos no son iguales entre sí, sin embargo, el Anova de un factor es muy robusto y sólo se ve afectado cuando las desviaciones típicas difieren en gran magnitud [47].

5.10.5 Prueba de T-test.

Una prueba t pareada se utiliza para comparar dos medias poblacionales donde se tienen dos muestras en que las observaciones de una se pueden combinar con las observaciones de la otra, esta evalúa si existe diferencia media entre pares/observaciones coincidentes y si son significativamente diferentes de cero [48].

6. MARCO LEGAL

Tabla 9. Matriz legal aplicable al proyecto de grado.

Legislación	Autoridad que emite	Título	Art. Aplicables	Nivel de la norma	Observaciones
Directiva 86/278/CEE	Unión Europea		Todos	Internacional	Esta directiva trata temas como la protección del medio ambiente y, en particular del suelo, los lodos de aguas residuales que se utiliza en la agricultura, En la cual se regula la utilización de lodos de plantas de tratamiento en la agricultura para evitar efectos nocivos en los suelos, vegetación, animales y seres humanos y se fijan límites a las concentraciones de determinadas sustancias en estos lodos [49]
Norma 40 CFR Part 503	EPA		503	Internacional	Los biosólidos se clasifican según el contenido de patógenos y el nivel de clases pesados en Clase A o Clase B. Estos biosólidos no tienen ninguna restricción para su aplicación en cultivos agrícola y solo es necesario solicitar permiso para avalar la norma. La clasificación según la concentración de materiales pesados, tiene en cuenta la máxima concentración de mg/kg de un contaminante inorgánico encontrado en el biosólidos [11].

Tabla 10. Matriz legal aplicable al proyecto de grado.

Real Decreto 1310/1990	Gobierno de España, Ministerio de la presidencia.		Internacional	Por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario establece, en España, el marco normativo necesario para compaginar la producción de lodos procedentes de procesos de depuración de aguas y su empleo agrario [50].
RAS 2000	República de Colombia, Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico	D.1. Aspectos generales de los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales. D.2. Redes de colectores. D.4. Redes de sistemas de alcantarillado pluvial. D.6. Estructuras complementarias.	Nacional	El cual establece las condiciones requeridas para la concepción y desarrollo de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales. De esta manera permite orientar la planificación, diseño, construcción, supervisión técnica, operación, mantenimiento y seguimiento de estos sistemas y sus componentes [1].
NMHSPE 2000	Ministerio de la infraestructura y Medio Ambiente Holanda.	Anexo A, B, C, D.	Internacional	Anexo A. Se ocupa de los valores objetivo, los valores de intervención de rehabilitación de suelos y los niveles indicativos de contaminación grave [51]. Anexo B. Contiene las reglas para la determinación y análisis de suelo / sedimento y las aguas subterráneas de las sustancias enumeradas en el anexo A [51].

Resolución de 14 de junio de 2001	Gobierno de España, Ministerio de la presidencia.	Internacional	Anexo C. Da los datos necesarios para determinar la urgencia de remediación y la fecha límite de remediación para las sustancias de la parte A [51]. Anexo D. Proporciona una guía para tratar con sustancias para las que no existen normas [51].
NOM-004SEMARNAT-2002	Secretaria De Medio Ambiente Y Recursos Naturales de México	Internacional	La cual dispone la publicación del Acuerdo de Consejo de Ministros, de 1 de junio de 2001, por el que se aprueba el Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales 2001-2006 [52]. Norma oficial mexicana por la cual se establece la protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final [25].
I.N.V. E – 220 – 07	Instituto nacional de Vías Colombia	Nacional	Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir, para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados, por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguido de secado al horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los poros permeables [53].

Tabla 11. Matriz legal aplicable al proyecto de grado.

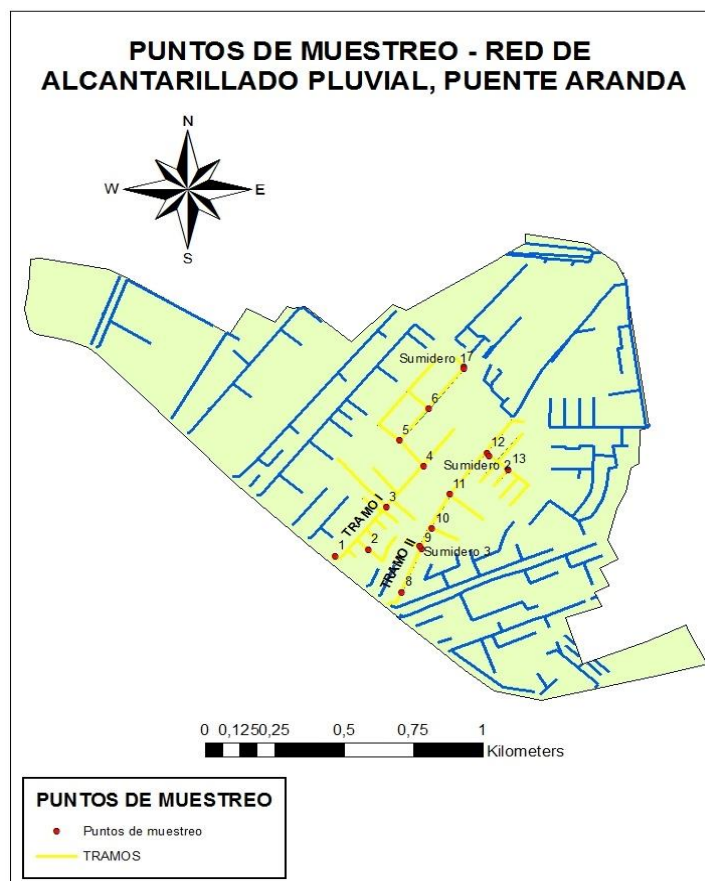
Real Decreto 1620/2007	Gobierno de España, Ministerio de la presidencia.			Internacional	Por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas [54].
NS-085/2009	EAB Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá.			Nacional	Esta norma define las directrices para el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial y sanitario de la ciudad, tanto para proyectos tipo expansión como para proyectos que requieren el remplazo o la sustitución de sistemas existentes por redensificación o cambio en el uso del suelo [23].
Documento Guía para el uso beneficioso de biosólidos municipales 2012	Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente.			Internacional	Esta guía describe el uso beneficioso y la buena gestión de los biosólidos municipales, lodos municipales y residuos sépticos tratados, y contiene información para ayudar a los reguladores y generadores para gestionar tres categorías de residuos de aguas residuales en un beneficio sostenible para el medio ambiente [50].
Proyecto de acuerdo 118 de 2013	Concejo de Bogotá D.C. Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.	Título II. Componente urbano Capítulo I. Políticas de ordenamiento territorial en el suelo urbano	188, 190, 199	Distrital	"Por medio del cual se modifican excepcionalmente las normas urbanísticas del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C, adoptado mediante Decreto Distrital 619 de 2000, revisado por el Decreto Distrital 469 de 2003 y compilado por el Decreto 190 de 2004" [55].

Fuente: Los autores.

7. METODOLOGÍA

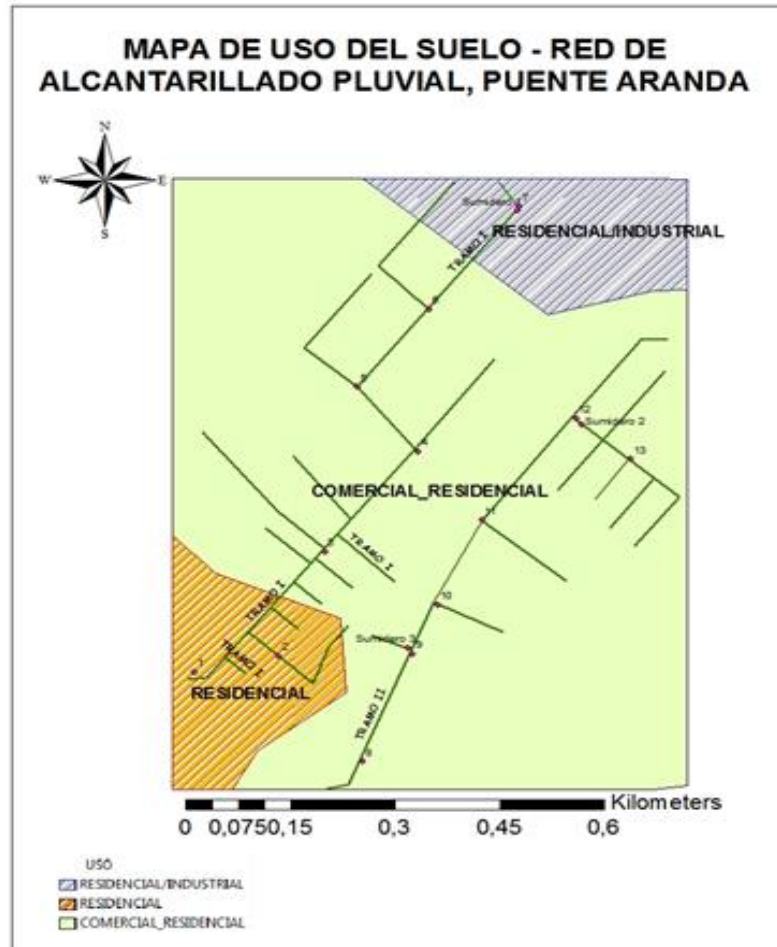
A continuación se muestra el procedimiento llevado a cabo en el presente trabajo de grado, el cual se desarrolló en la localidad de Puente Aranda. Inicialmente se hizo una averiguación de las localidades que tenían las redes de alcantarillado separadas, y se eligió la plancha H78 por la facilidad de acceso, variación de usos del suelo, sistema de alcantarillado separado y por recomendación de la EAB. De igual forma se seleccionaron dos tramos de acuerdo a tres criterios: (1) estructural, que indica la existencia del sistema de alcantarillado pluvial separado; (2) usos del suelo urbano con influencia de zonas residenciales, industriales y comerciales; (3) longitud, donde los tramos escogidos eran los que más ramificaciones tenían y más redes abarcaban (tramo I que va desde el canal de los Comuneros ubicado en la calle 3 # 53B hasta la carrera 53 C Bis # 5C, y el tramo II que inicia en la calle 3 #50 hasta la transversal 46 # diagonal 5C Bis), como se observa en el mapa 3.

Mapa 3. Puntos de muestreo- red de alcantarillado pluvial localidad de Puente Aranda.



Fuente: Los autores.

Mapa 4. Usos del suelo- red de alcantarillado pluvial, localidad de Puente Aranda.



Fuente: Los autores.

El número de pozos para cada tramo se escogió teniendo en cuenta el tamaño de la muestra a través de la fórmula de poblaciones finitas:

$$n = \frac{N * z^2 * p * q}{E^2 * (N - 1) + z^2 * p * q} [56].$$

Dónde:

n=Tamaño de la muestra (número de pozos a muestrear)

N=Tamaño de la población (número de pozos)

z=Tablas de la distribución normal 1,23 (cuando el nivel de confianza es del 78%)

p=Factor proporcional (0,5)

q=Nivel de confianza (0,5)

E=Error de estimación 22%.

- **Tamaño de la muestra tramo I**

N= 56 pozos

$$n = \frac{56 * 1.23^2 * 0.5 * 0.5}{0.22^2 * (56 - 1) + 1.23^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = \frac{56 * 1.5129 * 0.5 * 0.5}{(0.0484 * 55) + (1.5129 * 0.5 * 0.5)}$$

$n = 6,96$
 $n \sim 7$ Pozos.

- **Tamaño de la muestra tramo II**

N= 32 pozos

$$n = \frac{32 * 1.23^2 * 0.5 * 0.5}{0.22^2 * (32 - 1) + 1.23^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = \frac{32 * 1.5129 * 0.5 * 0.5}{(0.0484 * 31) + (1.5129 * 0.5 * 0.5)}$$

$n = 6,44$
 $n \sim 6$ Pozos.

Dentro de la zona se seleccionaron 13 puntos de muestreo 7 para el tramo I y 6 para el tramo II, Además se eligieron 3 sumideros; 1 sumidero en el tramo I, ya que este tenía influencia industrial, residencial y comercial, y 2 sumideros para el tramo II porque se evidenció en campo la presencia masiva de talleres y restaurantes, también tenía influencia residencial. La clasificación de los usos del suelo se realizó de acuerdo a lo visto en campo como se observa en el mapa 4; en la zona se encontraron locales comerciales como droguerías, cafeterías, panaderías, restaurantes, tiendas de barrio, papelerías, talleres mecánicos, lavanderías, industria de elaboración de bebidas (Postobón) y por ultimo colegios, (véase anexo 2).

Se identificaron en campo los puntos previamente seleccionados con acompañamiento del supervisor encargado de la zona 3; allí se destaparon las alcantarillas (véase fotografía 2) para verificar que pertenecieran a la red de alcantarillado pluvial usando algunas herramientas como pica, pala, vara, arnés, lazo y los implementos de señalización proporcionadas por EAB como se muestra en la fotografía 3.

Fotografía 2. Identificación de puntos de muestreo.



Fuente: los autores.

Fotografía 3. Señalización.



Fuente: los autores.

- **Muestreo**

El muestreo se desarrolló durante los meses de febrero, marzo y abril del año 2015, esperando tener una temporada seca en el mes de febrero, medio húmeda en marzo y muy húmeda en abril; por pozo se realizaron tres repeticiones de la muestra durante cada mes, esto con el fin de que los datos fueran confiables y seguros; para lo cual se obtuvo un total de 135 muestras.

Antes de ingresar a la red de alcantarillado fue necesario usar los elementos de protección personal (overol impermeable, botas de caucho con punta de acero, casco, guantes de nitrilo, mascarilla, recogedor para sedimentos) como se observa en la fotografía 4.

Fotografía 4. Uso de los elementos de protección personal.



Fuente: Los autores.

Después se tomaron las coordenadas de cada punto a muestrear con el GPS Garmin etrex handheld 20, esta información se encuentra en las tablas 10 y 11; se levantaron las tapas de la red de alcantarillado (véase fotografía 5) y como medida de prevención por parte de la Empresa de Acueducto de Bogotá se esperaron 15 minutos para la evacuación de los gases que podrían ser peligrosos para la salud; se accedió a la red (véase fotografía 6), se midió la profundidad del sedimento con una vara de acero y con una cinta métrica se registró la medida, se tomó la temperatura y el pH (véase fotografía 9), se llevó a cabo la recolección de 3 muestras en cada pozo, sumidero y canal, donde previamente se realizó una mezcla de los sedimentos encontrados, almacenándolas en bolsas ziploc y frascos etiquetados con anterioridad como se evidencia en la fotografía 10. Una vez finalizado el muestreo se llevaron a las neveras de icopor refrigerando a una temperatura de 4° C hasta el análisis.

De igual modo se llevó a cabo el mismo procedimiento para la recolección de muestras en los sumideros y el canal.

Fotografía 5. Levantamiento de las tapas de alcantarillado.



Fuente: Los autores.

Fotografía 6. Ingreso al canal de los comuneros (pozo 1).



Fuente: Los autores.

Fotografía 7. Sumidero 1.



Fuente: Los autores.

Fotografía 8. Sumidero 3.



Fuente: Los autores.

Fotografía 9. Toma del pH y temperatura (pozo 2).



Fuente: Los autores.

Fotografía 10. Muestra rotulada (pozo 9).



Fuente: Los autores.

Tabla 12. Datos puntos de muestreo tramo 1 canal comuneros- Sumidero 1.

TRAMO	ID	DIRECCIÓN	Precisión	N (Latitud)	W (Longitud)
1	1	Canal comuneros Calle 3 # 53 B	4m	4°37' 01,11"	74°06' 59,23"
	2	Calle 4 # 51 A- 66	3m	4°37' 1,95"	74°06' 55,32"
	3	Calle 4 B # 53 B -37	7m	4°37' 7,29"	74° 06' 53,20"
	4	Calle 4 F # 53 B	7m	4°37'12,42"	74°06'48,86"
	5	Calle 4 F # 53 B	6m	4° 37' 15,74	74° 06' 51,69"
	6	Calle 5 A # 53 C Bis	9m	4°37' 19,71"	74°06' 48,35"
	7	Calle 5 C # 53 C Bis	8m	4° 37' 24,98"	74°06' 44,18"
		Sumidero 1: Calle 5 C # 53 C Bis	9m	4°37' 24,77"	74°06' 44,23"

Fuente: Los autores.

Tabla 13. Datos puntos de muestreo tramo 2 transversal 42- calle 5A y sumideros 2 y 3.

TRAMO	ID	DIRECCIÓN	Precisión	N (Latitud)	W (Longitud)
2	8	Transversal 42 A # 50- 06	6m	4°36' 56,53"	74°06' 51,41"
	9	Calle 4 A # 50	7m	4°37' 2,06"	74°06' 49,10"
	10	Calle 4 B# 50	7m	4°37' 4,56"	74°06' 47,96"
	11	Calle 4 F # 50	8m	4°37' 8,91"	74°06' 45,89"
	12	Calle 5 A # 50	10m	4°37' 14,12"	74°06' 41,53"
	13	Calle 5 A# 44	9m	4°37' 12,03"	74°06' 38,98"
		Sumidero 2: Calle 4 F # 50	7m	4°37' 13,81"	74°06' 41,25"
		Sumidero 3: Carrera 49 # 4 A-03	8m	4°37' 2,36"	74°06' 49,33"

Fuente: Los autores.

Posteriormente se procedió a realizar los análisis de laboratorio de: Humedad, granulometría, sólidos volátiles y la caracterización química.

Caracterización física.

% Humedad.

Inicialmente se pesó un recipiente vacío en una balanza de precisión de 0,01 g, además se pesaron 500 g de la muestra húmeda (véase fotografía 11), se introdujeron al horno a una temperatura de 110° C durante 24 horas (véase fotografía 12), después de transcurrido el tiempo se pesó nuevamente.

Fotografía 11. Pesar la muestra.



Fuente: Los autores.

Fotografía 12. Secar la muestra.



Fuente: Los autores.

Granulometría método de Bouyoucos.

Después de analizar el porcentaje de humedad, se maceró la muestra y se tamizó por la malla número 10 (2.00 mm) (véase figura 13 y 14), enseguida se pesó la muestra resultante; para el caso de la arena se pesaron 100 g, y para los granos más finos se pesaron 50 gramos. Por medio del tacto y la vista se diferenciaron los finos de los gruesos [38].

Fotografía 13. Tamizar material.



Fuente: Los autores.

Fotografía 14. Material tamizado 2.00 mm



Fuente: Los autores.

En segunda instancia se realizó el ensayo de granulometría por hidrómetro donde inicialmente se corrigió la temperatura y la densidad con agua destilada para cada probeta con el fin de minimizar el error en las mediciones.

Al momento de empezar el ensayo se agregó en la copa 10 cm³ de hexametáfosfato de sodio, la muestra y agua destilada; enseguida se llevó la copa a la batidora y se dejó funcionando 10 minutos (véase fotografía 15), luego se agregó la mezcla en una probeta, se lavó el vaso con agua destilada y se llenó la hasta completar los 1000 ml, se agitó la suspensión de un lado al otro con la palma de la mano volteándolo de arriba para abajo y viceversa por 30 segundos hasta que no quedara sedimento en la parte baja de la probeta, pasados 40 segundos, se colocó el cilindro en la mesa y se introdujo el hidrómetro (véase fotografía 16), y finalmente se registró la temperatura y la densidad; transcurridas dos horas se hizo una lectura nuevamente.

Fotografía 15. Batir la muestra.



Fuente: Los autores.

Fotografía 16. Método de Bouyoucos.



Fuente: Los autores.

Sólidos volátiles.

Una vez pesada la muestra seca a 110 °C; temperatura a la cual únicamente pierde el contenido de agua; se tomó 20 g y se colocó en un crisol debidamente pesado, luego se llevó a la mufla a una temperatura de 550° C por dos horas donde pierde toda la fracción de sólidos volátiles debido a la oxidación (véase fotografía 17 y 18), en seguida se disminuyó la temperatura a 200 °C durante 15 minutos solo para efectos de enfriamiento, transcurrido el tiempo se retiró y se pesó.

Este procedimiento se realizó como lo recomienda el método estándar para el análisis de aguas y aguas residuales de la Asociación Americana de Salud Pública, la Asociación Americana de Obras de Agua y la Federación Ambiental del Agua.

Fotografía 17. Secar en la mufla.



Fuente: Los autores.

Fotografía 18. Muestra seca.



Fuente: Los autores.

Caracterización química.

En primer lugar se homogenizó la muestra seca y se llevó el 10% de la misma al porta muestra con el film, el cual es un plástico protector transparente que permite que la muestra se mantenga en el frasco con volumen (véase fotografía 19 y 20); se introdujo en el espectrómetro de fluorescencia de rayos X, donde se puso en funcionamiento el equipo para determinar los parámetros químicos que contenía cada muestra.

Fotografía 19. Homogenización de la muestra.



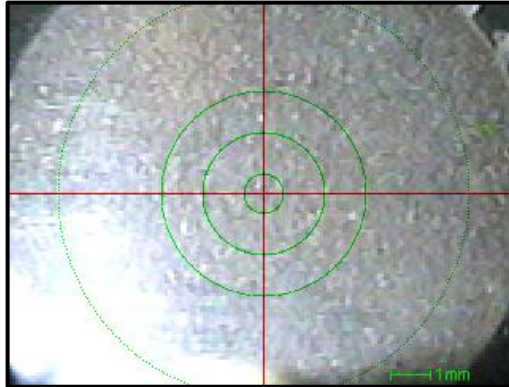
Fuente: Los autores.

Fotografía 20. Porta muestra y film.



Fuente: Los autores.

Fotografía 21. Muestra seca analizada lodos de alcantarillado pluvial de Bogotá.



Fuente: Los autores.

Análisis hidráulico.

Para el análisis hidráulico en primer lugar fue necesario recolectar información de longitud, diámetro, cota rasante, cota clave (inicial y final) de la tubería, que se encontró en la plancha H-78 de la EAB.

Además se realizó el cálculo de la diferencia de nivel, pendiente, radio hidráulico a tubo lleno y esfuerzo cortante, para cada tramo; esto con el fin de comparar con la norma NS – 085 de la EAB, y de esta forma determinar si cumple con los criterios de diseño y verificar el valor del esfuerzo cortante, ya que para los sistemas pluviales debe tener un valor mayor o igual a $3,0 \text{ N/m}^2$ ($0,3 \text{ Kg/m}^2$), con esto se evitará la acumulación de los sedimentos y garantizará la autolimpieza en la red [23].

Las ecuaciones utilizadas fueron:

$$\text{Diferencia de nivel} = (\text{Cota clave Inicial} - \text{Cota clave Final}) \text{ [57].}$$

$$\text{Radio hidráulico (m)} = \frac{\text{Diámetro (m)}}{4} \text{ [58].}$$

$$\text{Pendiente} = \frac{\text{Diferencia de nivel (m)}}{\text{Longitud (m)}} \text{ [58].}$$

Para ello también fue necesario calcular el caudal de diseño, ya que al ser la tubería de la localidad de Puente Aranda mayor a 40 años, no se tenían estos datos por parte de la EAB. Por lo tanto se calculó a través de la ecuación del método racional.

Para el caso de la intensidad se utilizó:

$$I = C1 * (DURACIÓN + X0)^{C2} [23].$$

Donde C1,C2 y X0 son datos proporcionados por la EAB, ya que tienen sistematizados estos datos según las coordenadas de los puntos de interés. Mientras que la duración se calculó para un tiempo de retorno de 5 años ya que los tramos seleccionados tienen un área menor a 10 Ha.

$$DURACIÓN = \text{Tiempo de concentración} [1].$$

Se asume que el tiempo de entrada para el primer pozo que es de 15 minutos; para los siguientes pozos es el tiempo del pozo anterior. Y el tiempo transcurrido se calculó a través de la ecuación:

$$Tt = \frac{L}{V * 60} [1].$$

Tt=Tiempo de concentración en minutos [23].

V=velocidad (m/s) [23].

L=Longitud (m) [23].

Para ello la velocidad se calculó según la ecuación de Manning.

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} [23].$$

Donde:

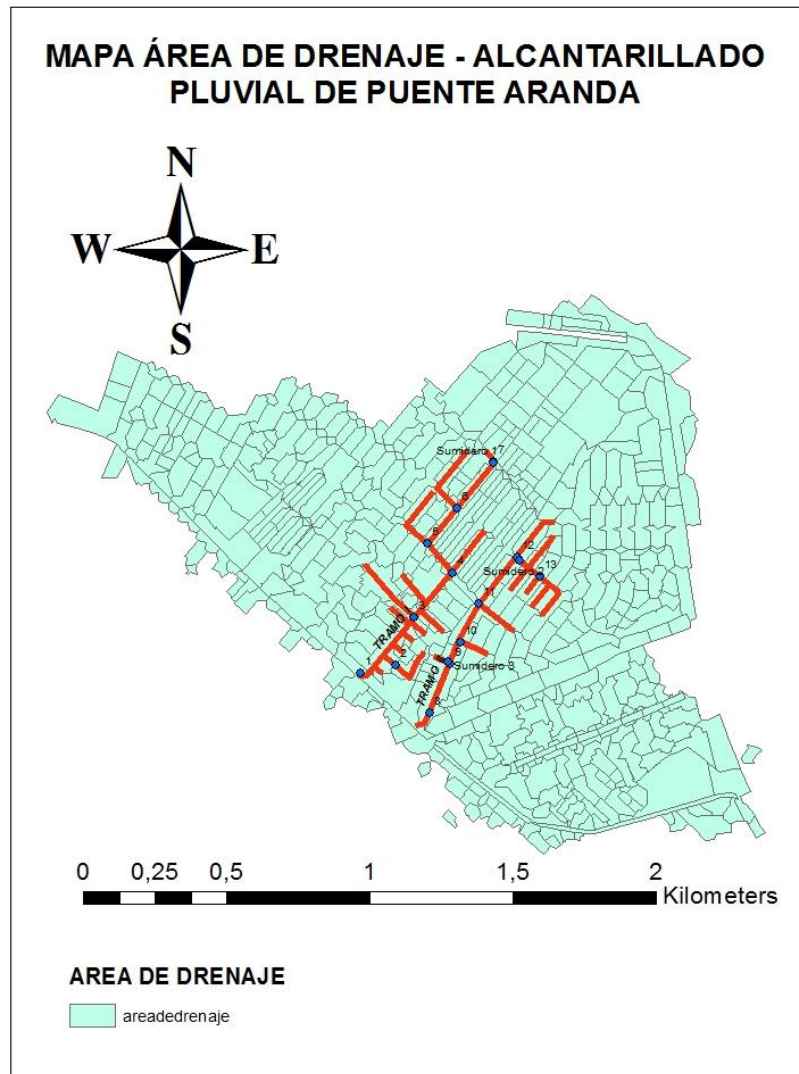
R= Radio hidráulico (m) [23].

S= Pendiente (adimensional) [23].

n= n de manning, que para este caso se tomó para el material más rugoso (0,015) [23].

En cuanto al área de drenaje, se determinó según el mapa 5, con la herramienta de calculate geometry de ArcGis, sin embargo es importante mencionar que se realizó la suma de algunas áreas con el fin de obtener la mayor cantidad de área que drena hacia los pozos, ya que en éste mapa no eran muy claras y no permitían observar toda el área real.

Mapa 5. Áreas de drenaje sistema de alcantarillado pluvial localidad de puente aranda.



Fuente: Los autores.

Análisis estadístico.

Inicialmente se creó una tabla en excel con todas las variables cuantitativas caracterizadas en el presente trabajo, las cuales fueron: elementos hallados con el espectrómetro de fluorescencia de rayos X, pH, temperatura, sólidos volátiles, humedad, porcentaje de limos, arcillas y arenas, profundidad, pendiente, esfuerzo cortante, diferencia de nivel, diámetro y longitud de la tubería; además variables cualitativas como lugar (pozos/sumideros), uso del suelo, vías principales y secundarias, tiempo (mes) y precipitación la cual se definió como alta, media y

baja según el promedio de precipitación diaria de la estación camavieja (véase tabla 14).

Tabla 14. Clasificación de la precipitación en rangos.

Mes	Precipitación	(mm)
Febrero	Baja	1,68
Abril	Media	1,76
Marzo	Alta	3,63

Fuente: Los autores.

Luego se introdujeron los datos en el programa RStudio con el fin de realizar el análisis estadístico; se elaboró el (ACP) análisis de componentes principales con la prueba de Spearman, a la vez se activó el paquete ADE4 para la ejecución de los métodos factoriales descriptivos básicos. Posteriormente el ACP generó un gráfico de sedimentación el cual se utilizó para observar el punto de inflexión y elegir el número de componentes, luego se creó la matriz de diagramas de dispersión de los compuestos y las arcillas para analizar la correlación entre estos, después se produjo el gráfico de posición de las mediciones; el gráfico de componentes donde se ubicaron los datos de lugar, precipitación y usos del suelo, y finalmente el círculo de correlaciones.

Con ayuda del programa SPSS se generaron las tablas de estadísticos descriptivos, comunalidades, varianza total explicada, matriz de componentes y matriz de componentes rotados, con el fin de tener mayor calidad en los resultados.

Enseguida se realizó la prueba de Kruskal- Wallis donde se generó una tabla para cada variable identificando la significancia de cada variable cuantitativa con las tres cualitativas (lugar, uso del suelo y precipitación), así mismo se trabajó con la siguiente hipótesis nula y alternativa:

Ho: K muestras provienen de la misma población (=).

Ha: K muestras provienen de diferente población (\neq).

Por último se elaboró el T-test que es una prueba paramétrica la cual calcula la comparación por pares entre los niveles de grupo con correlaciones para múltiples pruebas, con la función pairwise.t.test en RStudio; la prueba de Wilcoxon a pesar de ser no paramétrica, no se realizó debido a que se rankean las posiciones, dejando las comparaciones no significativamente diferentes.

En este paso se comparó cada variable cuantitativa con las cualitativas, generando un blox plot por cada comparación y una tabla de significancia.

Para la aplicación de los sedimentos se realizó una búsqueda global de las normas y guías técnicas de diferentes materiales de construcción en las que se encuentran la NTC 30 (norma técnica Colombiana) que trata sobre el cemento Pórtland, la clasificación y nomenclatura, que tiene como base la norma COPANT 3:1-009. La NTC 31 para las puzolanas, además establece las definiciones relacionadas con la fabricación de los diferentes tipos de cementos, algunas de sus propiedades, subproductos y componentes. La NTC 4913 para los cementos, especificaciones para las adiciones. La ASTM C150 especificación normalizada para cemento Pórtland y por último las UNE 80303-3:2001 cementos de bajo calor de hidratación, UNE 80304-3:2001 cálculo de la composición potencial del Clinker Pórtland, la UNE 80305:2001 para cementos blancos UNE 80 302:85 cementos, especificaciones químicas para sus constituyentes y la ENV 197-1:1992 composición especificaciones y criterios de conformidad para cementos.

Sin embargo solo fue posible acceder a información de la NTC 30, NTC 31, NTC 4913 y ASTM 150, debido a que no son públicas, por lo tanto son costosas.

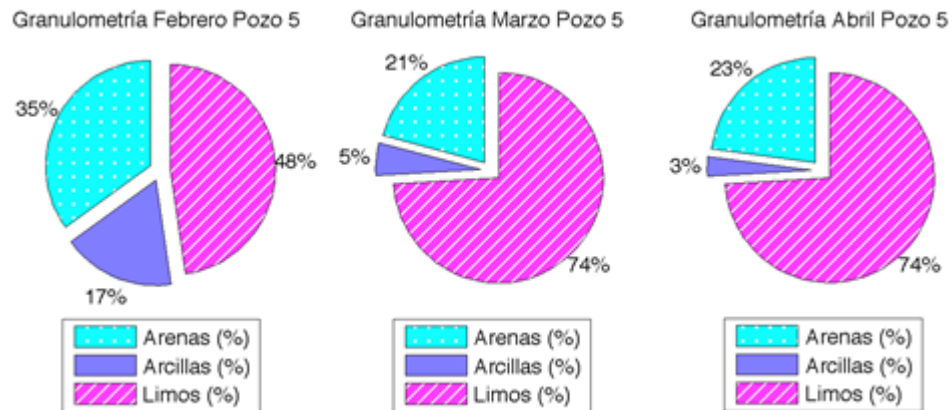
8. RESULTADOS

Granulometría.

La granulometría se realizó a través del método de Bouyoucos, con el fin de determinar el porcentaje de arenas, limos y arcillas, y por consiguiente hallar la textura de los sedimentos encontrados. En las gráficas 2, 3 y 4, se puede observar estos porcentajes en los meses de febrero, marzo y abril, para los pozos 5, 8 y sumidero 1 respectivamente; cabe aclarar que solo se seleccionaron estos puntos debido a que son una muestra representativa del comportamiento de la granulometría dentro del sistema, es decir que tienen mayor porcentaje de limos aunque no en las mismas magnitudes.

En el gráfico 2 se observa que en el pozo 5 durante los tres meses el contenido de limos es mayor en comparación con las arenas y arcillas, para los meses de marzo y abril es del 74%, mientras que para el mes de febrero es del 48%. Según el triángulo textural se evidencia que para febrero presenta una textura franco limoso, mientras que para marzo y abril es limoso.

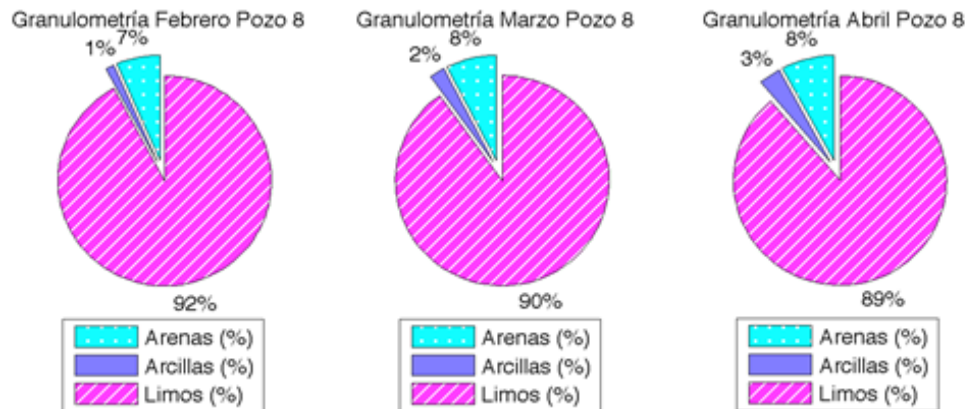
Gráfico 2. Granulometría meses de febrero, marzo y abril pozo 5.



Fuente: Los autores.

En el gráfico 3 se observa que para el pozo 8 en los tres meses el contenido de limos supera el 89%. Según el triángulo textural se observa que en los meses de febrero, marzo y abril los sedimentos presentan una textura limosa.

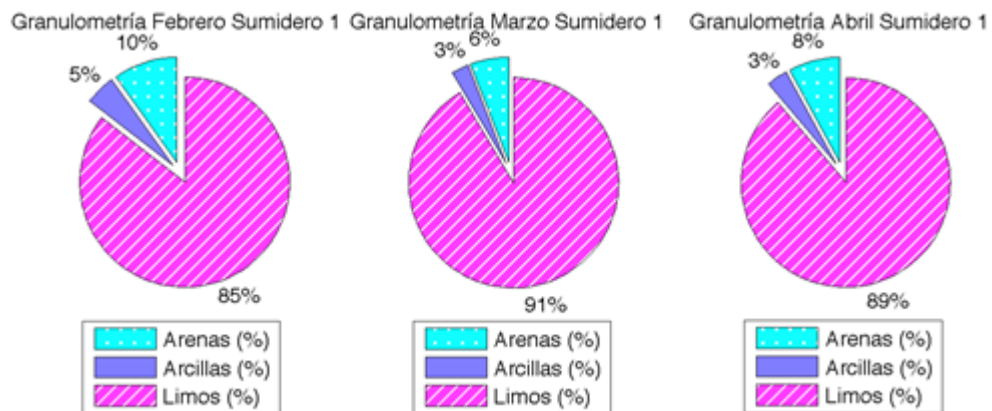
Gráfico 3. Granulometría meses de febrero, marzo y abril pozo 8.



Fuente: Los autores.

En el gráfico 4 se observa que el sumidero 1 en los tres meses tiene un contenido de limos mayor en comparación con las arenas y las arcillas, donde los limos superan el 85%. Según el triángulo textural se evidencia que para el mes de febrero, los sedimentos presentan una textura franco limoso, mientras que para marzo y abril tienen una textura limosa.

Gráfico 4. Granulometría meses de febrero, marzo y abril sumidero 1.



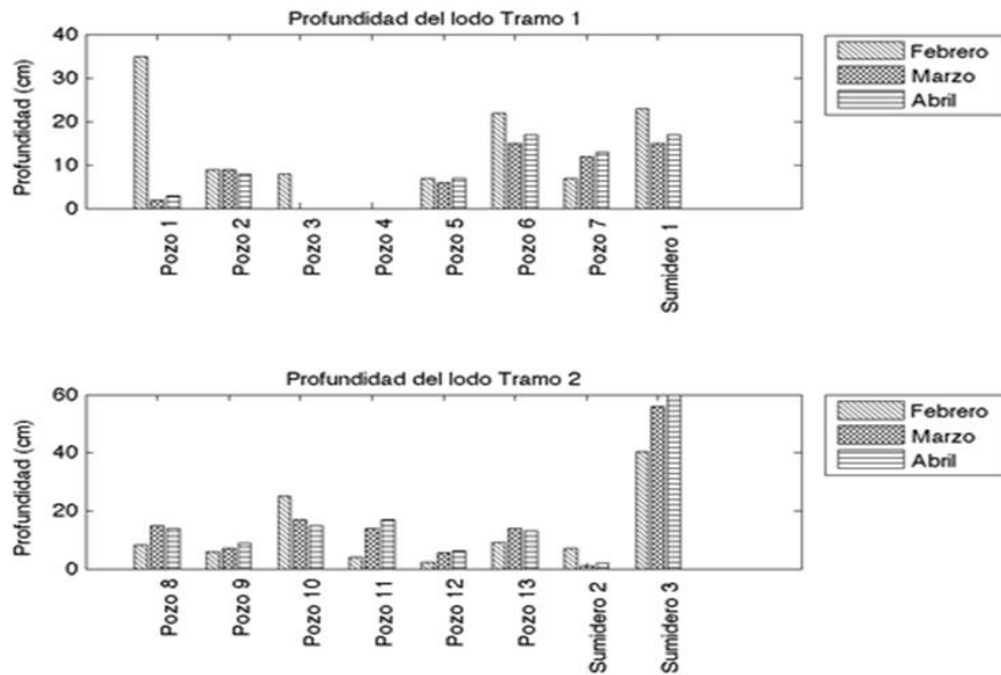
Fuente: Los autores.

Profundidad del lodo.

La profundidad del lodo se tomó en campo, donde se introdujo una varilla de acero al pozo, sumidero o canal, y con un metro se medía la profundidad de la mancha; así se realizó en cada muestreo por los meses de febrero, marzo y abril.

En la gráfica 5 se aprecia que la mayor acumulación de sedimentos se presenta en el mes de febrero para el tramo I, presentando los valores más altos en el pozo 1 que pertenece al canal de los Comuneros, con una profundidad del lodo de 35 cm y el pozo 6 con 22 cm; es decir que en el mes de febrero, mes seco, para la ciudad de Bogotá, es donde se produce la mayor acumulación de sedimentos en la red de saneamiento pluvial, mientras que para marzo y abril, meses húmedos, la acumulación de sedimentos disminuye, esto debido al arrastre de material por el sistema de alcantarillado que no permite su acumulación.

Gráfico 5. Profundidad del lodo tramo 1 y 2 para los meses de febrero, marzo y abril.



Fuente: Los autores.

Para el pozo 3 solo se encontraron sedimentos en el mes de febrero con una profundidad de 8 cm, mientras que en marzo y abril no se evidenció acumulación de estos. En el pozo 4 en ninguno de los tres meses se encontraron, debido a que el pozo siempre estuvo inundado.

Por otra parte se observa que en los sumideros se acumula mayor cantidad de sedimentos en comparación con los pozos, debido a que estos cumplen con la función de captar las aguas de escorrentía y a su vez amortiguar todos los residuos de las vías que llegan por arrastre. La gráfica 5 presenta un pico en el sumidero 3, con un valor de 60 cm en el mes de abril y 56 cm para el mes de

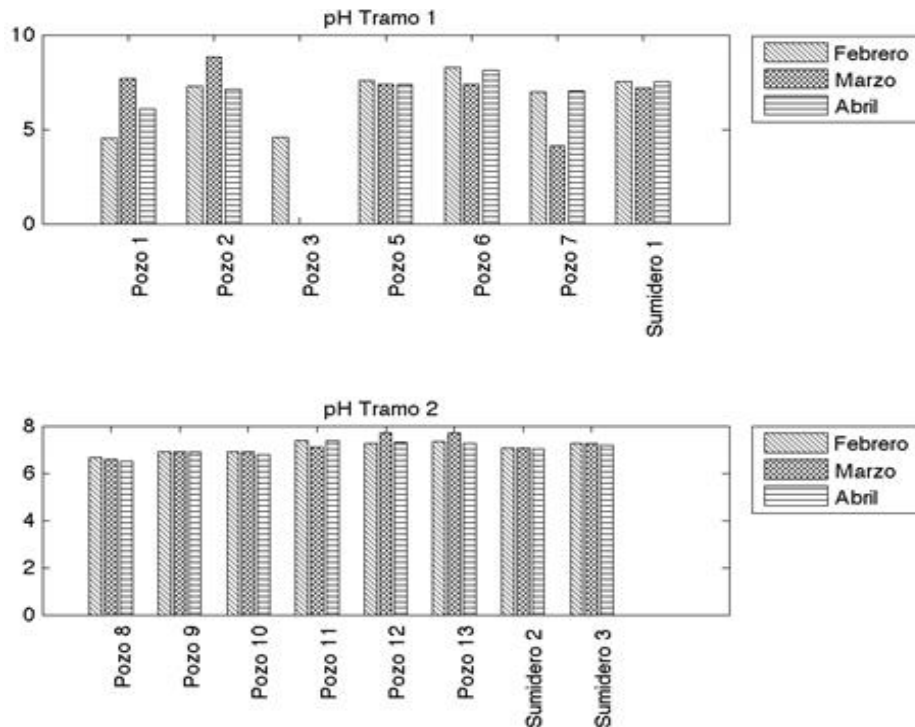
marzo, debido a que el sumidero recibe toda clase de residuos como empaques de comida, cauchos, armas corto punzantes y gran cantidad de sedimentos ya que los carros que llegan a los talleres mecánicos traen consigo polvo y al lavarlos van a parar al sumidero.

En el sumidero 2 frente al local comercial de tacos se evidencia que en los meses húmedos la cantidad de sedimentos acumulados disminuyó debido a que al realizar el muestreo, este se encontraba lleno de basura y los sedimentos eran mínimos. Para el tramo dos en comparación con el tramo uno se acumularon más sedimentos en los meses húmedos que en el mes seco, exceptuando el pozo 10 donde en el primer muestreo se registró una profundidad de 25 cm, en marzo de 17 cm y en abril de 15 cm.

pH

En el gráfico 6 se observa que para el tramo I, durante febrero y abril el pozo 1 presenta un pH ácido menor a 6,5, al igual que en el pozo 3 en febrero y en el 7 en marzo; por otra parte el pozo 2 en marzo registra un pH básico mayor a 8,5; mientras que los demás pozos tienen un pH neutro, de igual forma ocurre en el tramo II.

Gráfico 6. pH tramo I y II para los meses de febrero, marzo y abril.

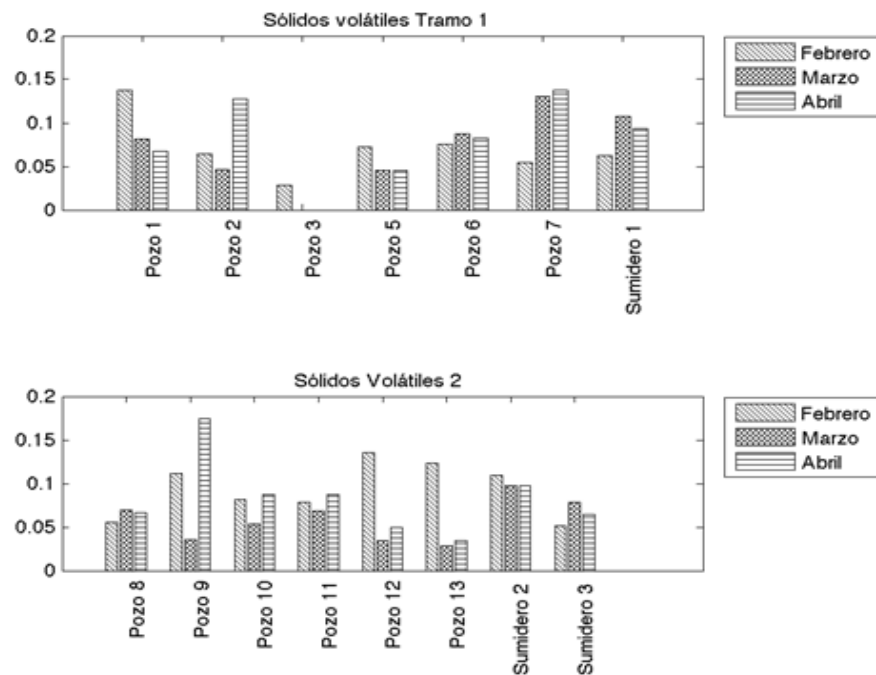


Fuente: Los autores.

Sólidos Volátiles.

El porcentaje de sólidos que se volatilizan a los 550 °C representa la materia orgánica que se oxida a una velocidad razonable formando CO₂ y H₂O [59]. En el gráfico 7 se observa que el porcentaje de sólidos volátiles que se halló en los sedimentos en el tramo 1 se encuentran en un rango de [0,0285 - 0,1373%]. Mientras que para el tramo 2 éstos se encuentran en un rango de [0,0285 - 0,1749%]. Sin embargo estos porcentajes son muy bajos.

Gráfico 7. % Sólidos volátiles tramo 1 y 2 para los meses de febrero, marzo y abril.

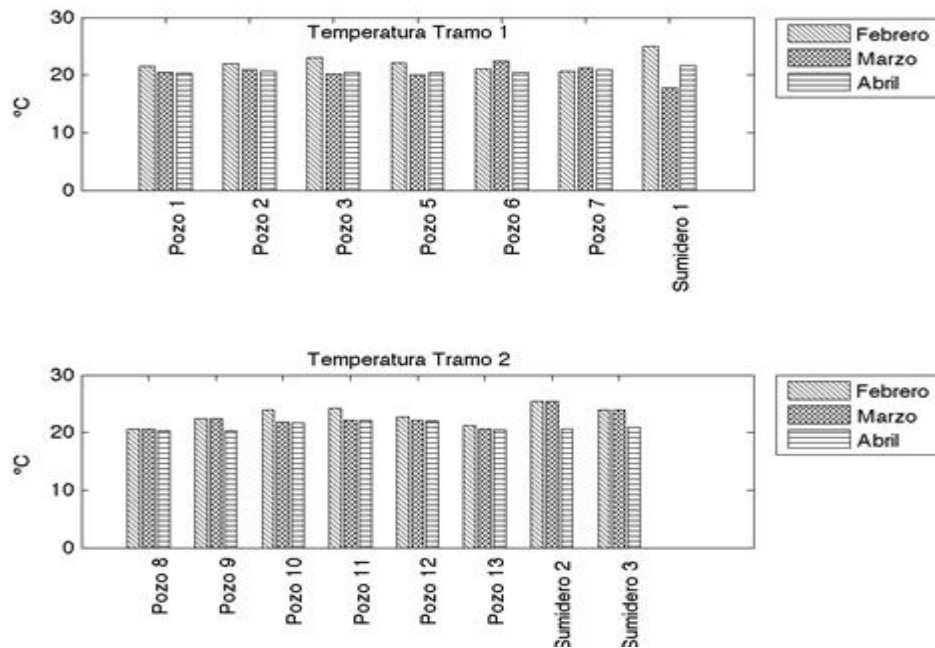


Fuente: Los autores.

Temperatura.

En el gráfico 8 se observa que la temperatura del sistema se encuentra en un rango de [17,8 - 25,4 °C], y no se evidencian conexiones erradas por parte de las industrias debido a que no se superan los 40 °C por encima de lo normal, según la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el artículo 5.

Gráfico 8. Temperatura tramo 1 y 2 para los meses de febrero, marzo y abril.



Fuente: Los autores.

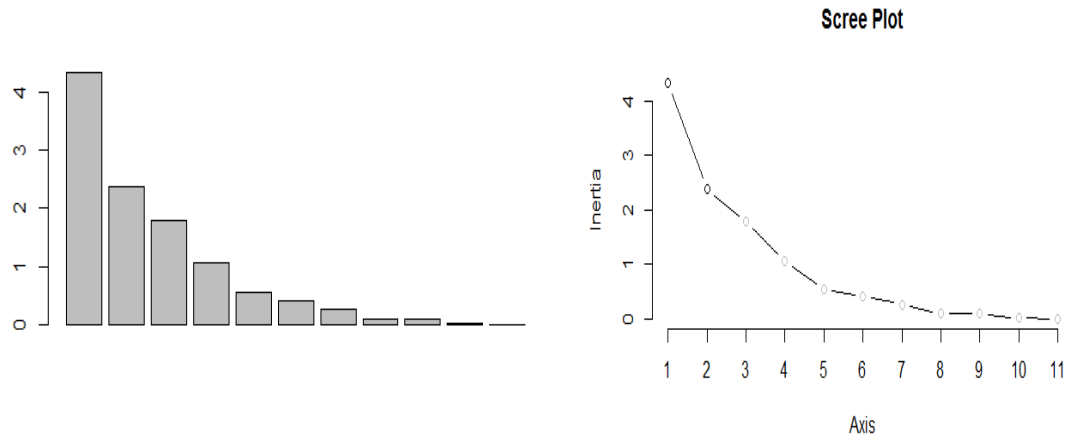
Análisis de componentes principales (ACP)

De acuerdo a la metodología planteada inicialmente al realizar el ACP fue necesario reducir el número de variables, hasta dejar una variabilidad total explicada del 61% eliminando las siguientes: mes, vía, pH, temperatura, profundidad del lodo, sólidos volátiles, humedad, arena, limos, CuO, CrO, SrO, MnO₂, V₂O₅, Ni₂O₃, Pb₃O₄, Ac₂O₃, Au₂O₃, GeO, Rb₂O, Y₂O₃, Sm₂O₃, ZrO₂, Cs₂O, PoO₂, Eu₂O₃, BaO, Ta₂O₅, Lu₂O₃, esfuerzo cortante, diámetro, longitud, pendiente y diferencia de nivel; debido a que estas presentaban repetición o redundancia en la información.

De la tabla se eliminaron, las arenas y los limos porque presentan una relación con las arcillas; el pH y la temperatura dado que no tenían correlación con ninguna de las variables muestreadas; los sólidos volátiles y los compuestos anteriormente mencionados puesto que su porcentaje no era representativo; la profundidad del lodo, el esfuerzo cortante, la longitud, el diámetro, la diferencia de nivel y la pendiente considerando que no presentan influencia en el comportamiento de las demás variables. Finalmente el análisis estadístico se desarrolló con 42 datos definitivos, con un total de 14 variables 3 cualitativas y 11 cuantitativas.

En el gráfico 9 se observa que el punto de inflexión se da en el segundo componente, para este análisis se eligió el modelo con dos componentes debido a que explica en un 61,01% la varianza total.

Gráfico 9. Gráfico de sedimentación.



Fuente: Los autores.

En la tabla 15 se aprecia que la sílice es la variable que registra los mayores porcentajes de la media con un 65,25%, seguido por la cal 10,42%, alúmina 9,57%, óxido férrico 6,51%, anhídrido sulfúrico 2,58%, anhídrido fosforoso 1,75%, óxido de potasio 1,56%, óxido titánico 1,21%, dióxido de rutenio 1% y óxido de zinc 0,19%.

Tabla 15. Estadísticos descriptivos.

	Media	Desviación típica	N del análisis
ARCILLAS	3,47537	3,180456	43
SiO2	65,25922	10,458811	43
Al2O3	9,57178	1,867178	43
Fe2O3	6,51383	2,307976	43
CaO	10,42528	9,021815	43
SO3	2,58118	,844627	43
P2O5	1,75653	,693206	43
TiO2	1,21976	,395872	43
K2O	1,56164	,376636	43
Ru2O	1,00604	,400411	43
ZnO	,19936	,128620	43

Fuente: Los autores.

La comunalidad de una variable es la proporción de su varianza que puede ser explicada. El método de extracción por análisis de componentes principales que actúa por defecto, asume que es posible explicar el 100% de la varianza observada y, por ello, todas las comunalidades iniciales son iguales a la unidad [60].

En la tabla 16 se evidencia que la variable anhídrido sulfúrico es explicada en un 71,4%, el dióxido de rutenio 82,6%, la alúmina 83,6%, anhídrido fosforoso 84,5%, arcillas 88,6%; mientras que la sílice, óxido férrico, cal, óxido de potasio y óxido de zinc son explicadas en más del 90%. La variable óxido titánico es la peor explicada, debido a que el modelo solo es capaz de reproducir el 71,3% de su variabilidad original.

Tabla 16. Comunalidades.

	Inicial	Extracción
ARCILLAS	1,000	,886
SiO2	1,000	,973
Al2O3	1,000	,836
Fe2O3	1,000	,961
CaO	1,000	,971
SO3	1,000	,714
P2O5	1,000	,845
TiO2	1,000	,713
K2O	1,000	,908
Ru2O	1,000	,826
ZnO	1,000	,930

Fuente: Los autores.

En la tabla 17 se observa la varianza total explicada en cada componente, en la parte izquierda de la tabla (total) se encuentran los autovalores mayores que uno, que son los cuatro primeros, pero para el presente estudio se tomaron las dos primeras componentes, porque se evidencia que estas son las que más peso tienen al momento de explicar los datos, la primera explica un 39,40% y la segunda un 21,61% de la varianza total, con lo que en total explican un 61,01%.

Tabla 17. Varianza total explicada.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción	
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza
1	4,335	39,405	39,405	4,335	39,405
2	2,377	21,606	61,012	2,377	21,606
3	1,779	16,174	77,186	1,779	16,174
4	1,074	9,760	86,946	1,074	9,760
5	,542	4,924	91,869		
6	,411	3,739	95,608		
7	,270	2,451	98,059		
8	,104	,942	99,001		
9	,092	,837	99,839		
10	,016	,147	99,986		
11	,002	,014	100,000		

Fuente: Los autores.

En la tabla 18 se aprecia que las variables arcillas, alúmina, óxido férrico, cal, anhídrido fosforoso, óxido titánico, óxido de potasio, dióxido de rutenio y óxido de zinc están relacionadas en mayor medida con la primera componente mientras que las variables sílice y anhídrido sulfúrico lo están con la segunda componente.

Tabla 18. Matriz de componentes.

	Componente			
	1	2	3	4
ARCILLAS	,396	,080	-,129	,841
SiO ₂	-,599	,727	-,214	,201
Al ₂ O ₃	,520	-,199	-,720	-,081
Fe ₂ O ₃	,965	-,109	,115	-,073
CaO	,274	-,866	,349	-,155
SO ₃	-,341	,359	,684	-,018
P ₂ O ₅	,446	,703	-,133	-,367
TiO ₂	,702	-,163	,249	,363
K ₂ O	,808	,239	-,432	-,106
Ru ₂ O	,622	,456	,479	,034
ZnO	,834	,354	,313	-,108

Fuente: Los autores.

La matriz de componentes rotados consiste en una combinación lineal de la primera que explica la misma cantidad de varianza inicial. Los factores rotados tratan de que cada una de las variables originales tenga una correlación lo más próxima a uno, y correlaciones próximas a cero con los restantes, consiguiendo así correlaciones altas con un grupo de variables y baja con el resto [61].

En la tabla 19 al rotar las componentes se observa que las variables arcillas, alúmina, óxido férrico, óxido de potasio, anhídrido fosforoso, dióxido de rutenio y óxido de zinc están altamente relacionadas con la primera componente; mientras que la cal está altamente relacionada con la segunda componente. La sílice tiene una relación altamente negativa en las dos componentes, el óxido titánico se encuentra relacionado de manera similar y el anhídrido sulfúrico presenta una relación baja con la primera componente.

Tabla 19. Matriz de componentes rotados.

	Componente			
	1	2	3	4
ARCILLAS	,093	-,098	,170	,916
SiO2	-,178	-,940	-,239	-,019
Al2O3	,099	,089	,902	,067
Fe2O3	,722	,510	,348	,241
CaO	-,113	,978	,002	-,033
SO3	,135	-,152	-,813	-,108
P2O5	,764	-,406	,214	-,225
TiO2	,425	,440	,077	,577
K2O	,639	-,047	,692	,135
Ru2O	,843	,042	-,242	,237
ZnO	,936	,162	,032	,165

Fuente: Los autores.

En cuanto al análisis de correlaciones en el gráfico 10 y en la tabla 20 se observa que las arcillas presentan una correlación positiva con la alúmina, óxido férrico, óxido titánico, óxido de potasio, dióxido de rutenio y óxido de zinc mientras que con la sílice, la cal y el anhídrido sulfúrico presentan una correlación negativa.

La sílice muestra una relación directamente proporcional solo con el anhídrido sulfúrico, y se evidencia una inversamente proporcional con la alúmina, el óxido férrico, la cal, el anhídrido fosforoso, el óxido titánico, óxido de potasio, dióxido de rutenio y óxido de zinc. La alúmina tiene una relación directamente proporcional con el óxido férrico, la cal, el óxido titánico, el óxido de potasio, el anhídrido fosforoso y el óxido de zinc; por otra parte una relación inversamente proporcional

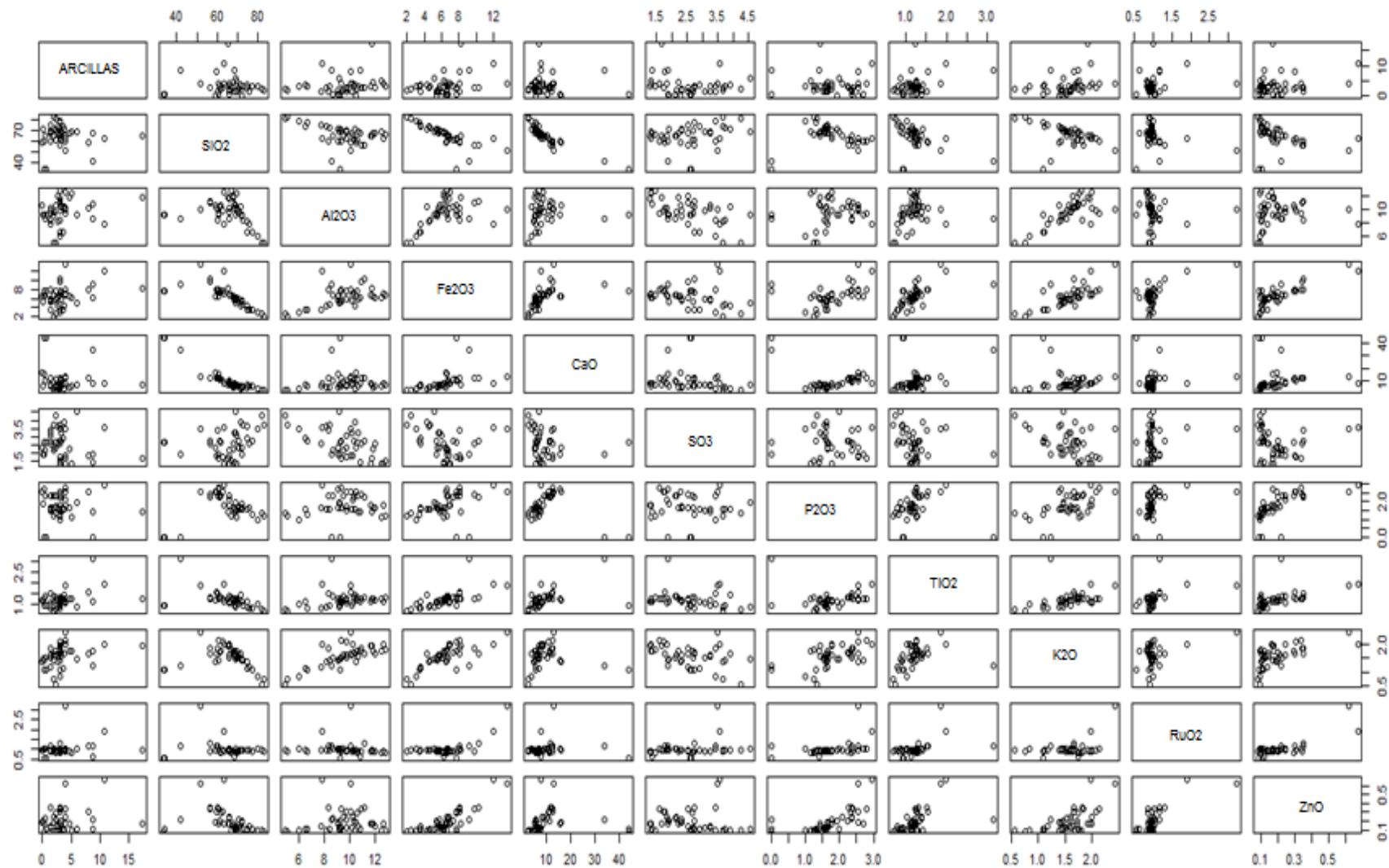
con el anhídrido sulfúrico y el dióxido de rutenio. Las relaciones de los demás compuestos se pueden observar en la tabla 20 y el gráfico 10.

Tabla 20. Matriz de correlación de los compuestos y las arcillas.

	Arcillas	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	SO₃	P₂O₃	TiO₂	K₂O	RuO₂	ZnO
Arcillas	1	-0,0507	0,2881	0,2451	-0,0828	-0,1412	-0,0285	0,3080	0,4763	0,1580	0,1176
SiO₂	-0,0507	1	-0,3789	-0,9135	-0,9272	0,3532	-0,4270	-0,5906	-0,4467	-0,1330	-0,5941
Al₂O₃	0,2881	-0,3789	1	0,4089	0,1895	-0,5288	0,1163	0,3594	0,6572	-0,3728	0,2019
Fe₂O₃	0,2451	-0,9135	0,4089	1	0,8002	-0,3993	0,4815	0,6945	0,6631	0,2253	0,7404
CaO	-0,0828	-0,9272	0,1895	0,8002	1	-0,3493	0,4327	0,4520	0,2961	0,1314	0,5527
SO₃	-0,1412	0,3532	-0,5288	-0,3993	-0,3493	1	-0,1272	-0,2857	-0,4275	0,2027	-0,2616
P₂O₃	-0,0285	-0,4270	0,1163	0,4815	0,4327	-0,1272	1	0,5021	0,5329	0,4942	0,8124
TiO₂	0,3080	-0,5906	0,3594	0,6945	0,4520	-0,2857	0,5021	1	0,5795	0,4279	0,6677
K₂O	0,4763	-0,4467	0,6572	0,6631	0,2961	-0,4275	0,5329	0,5795	1	0,0870	0,6078
RuO₂	0,1580	-0,1330	-0,3728	0,2253	0,1314	0,2027	0,4942	0,4279	0,0870	1	0,4915
ZnO	0,1176	-0,5941	0,2019	0,7404	0,5527	-0,2616	0,8124	0,6677	0,6078	0,4915	1

Fuente: Los autores.

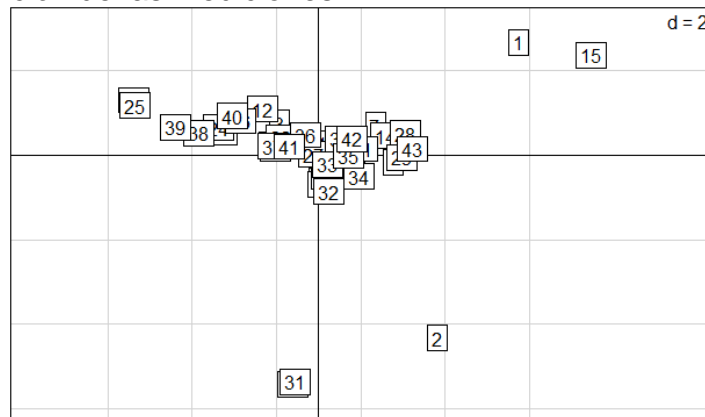
Grafico 10. Matriz de diagramas de dispersión de las variables.



Fuente: Los autores.

En el grafico 11 se observa la posición de las mediciones con respecto a los dos componentes principales seleccionados; se evidencia que las mediciones 1, 2, 15 y 31 se encuentran más dispersos con relación a los demás puntos, es decir que estos tienen mayor varianza, los cuales representan respectivamente los datos del pozo 1, pozo 2, sumidero 3 para el mes de febrero y pozo 2 para el mes de abril. En este caso el punto 33 es quien mejores datos contiene, mostrando la medición del pozo 6 para el mes de abril.

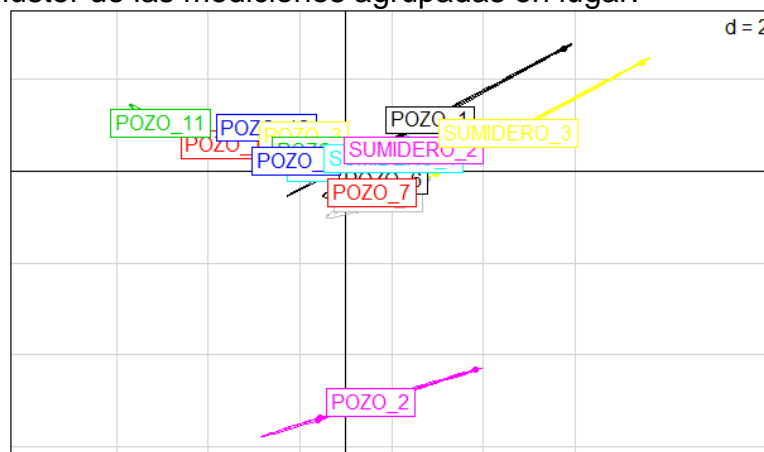
Grafico 11. Posición de las mediciones.



Fuente: Los autores.

En el grafico 12 se observan los pozos y sumideros, en este caso se puede apreciar que el pozo 2 presenta mayor variabilidad con respecto a los demás lugares. Además se evidencia que el pozo 6, 7, sumidero 1 y 2 están más cercanos al centro, mientras que el pozo 1, 2, 11 y sumidero 3 están más alejados del mismo.

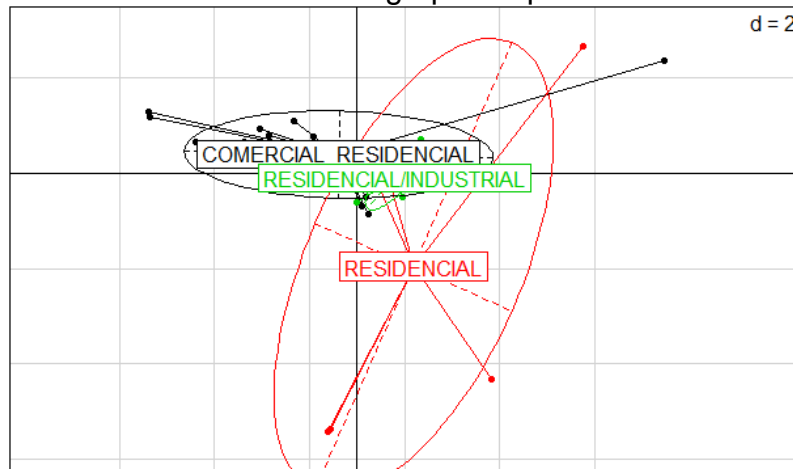
Grafico 12. Cluster de las mediciones agrupadas en lugar.



Fuente: Los autores.

En el grafico 13 se puede apreciar que la zona presenta uso residencial, comercial – residencial y residencial- industrial, además se observa que el uso residencial es quien mayor variabilidad tiene. Este se encuentra relacionado con la componente 2, mientras que el uso comercial/ residencial y residencial/ industrial se encuentran mejor explicados por la componente 1.

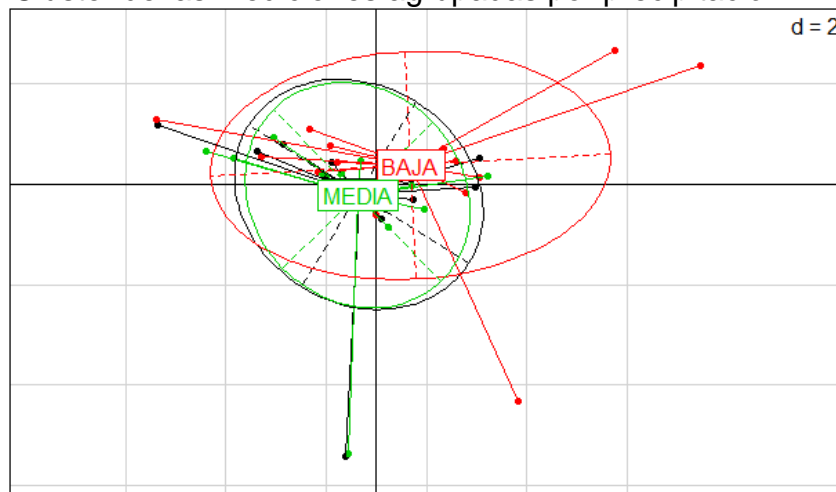
Grafico 13. Cluster de las mediciones agrupadas por usos del suelo.



Fuente: Los autores.

En el grafico 14 se observa que la precipitación registrada para los meses de marzo (alta) y abril (media) presentan un comportamiento similar de los datos, mientras que el mes de febrero (baja) los más variables.

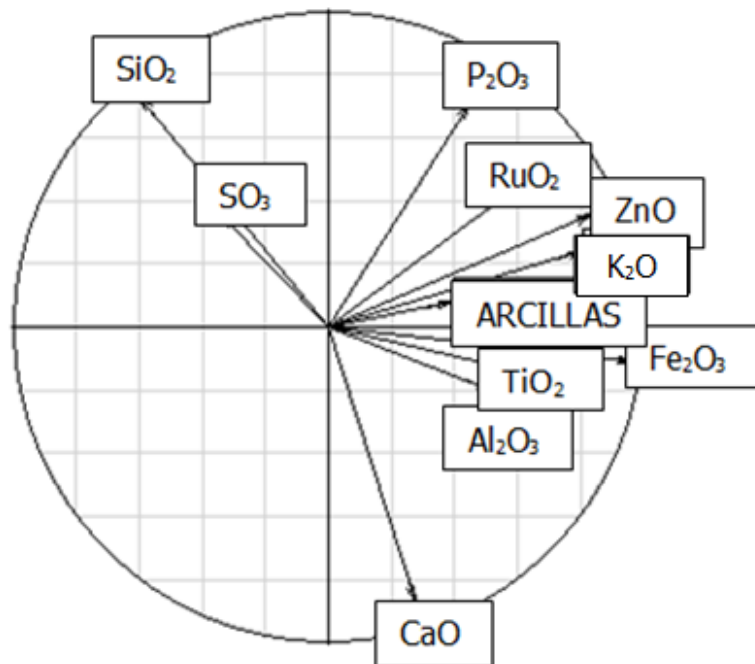
Grafico 14. Cluster de las mediciones agrupadas por precipitación.



Fuente: Los autores.

En el grafico 15 se observa la representación de las variables sobre un círculo de centro 0 y radio 1; donde las variables cal, sílice, óxido férrico y óxido de zinc son las que presentan mayor correlación, siendo la sílice quien presenta una relación negativa con respecto a las dos componentes. Las arcillas, el óxido férrico, la alúmina, el óxido de potasio, el anhídrido sulfúrico, el anhídrido fosforoso, el óxido titánico, el dióxido de rutenio y el óxido de zinc se encuentran altamente relacionadas con la primera componente, mientras que la cal está altamente correlacionada con la segunda componente. Finalmente la sílice tiene una relación altamente negativa con la segunda componente.

Grafico 15. Circulo de correlaciones.



Fuente: Los autores.

Kruskal- Wallis.

Se evidencia en el análisis de la prueba de Kruskal- Wallis que al comparar cada variable con el lugar, el uso del suelo y la precipitación, solo muestra la significancia de la variable con el lugar y la precipitación, ya que solo encontró relación con estas dos variables. Los grados de libertad en este caso Df hacen referencia al número de variables $n - 1$, es decir 42 variables en total. Sum Sq es la suma de cuadrados, Mean Sq es el error cuadrático promedio, f value es el f valor y Pr (>F) es el p valor donde se evidencia la significancia, a través de la presencia del asterisco (*) que se muestra cuando esta es menor a 0,05.

Tabla 21. Análisis de varianza Kruskal Arcillas.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LUGAR	14	2496.0	178.29	15.590	0.15878
PRECIPITACIÓN	2	1152.6	576.29	50.391	0.01414 *
Residuals	26	2973.4	114.36		

Fuente: Los autores.

En la tabla 21 se percibe que para las arcillas se acepta la hipótesis alternativa por tanto hay diferencia significativa con la precipitación.

Tabla 22. Análisis de varianza Kruskal SiO₂.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LUGAR	14	6305.3	450.38	386.587	8.243e-14 ***
PRECIPITACIÓN	2	13.8	6.88	0.5906	0.5612
Residuals	26	302.9	11.65		

Fuente: Los autores.

En la tabla 22 se evidencia que para la sílice se acepta la hipótesis alternativa con el lugar, por tanto hay diferencia significativa, al igual que para la alúmina, la cal, anhídrido sulfúrico, anhídrido fosforoso, óxido de potasio cómo se puede ver en el ANEXO D.

Tabla 23. Análisis de varianza Kruskal Fe₂O₃.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LUGAR	14	5896.7	421.19	192.685	3.05e-10 ***
PRECIPITACIÓN	2	157.0	78.50	35.912	0.04196 *
Residuals	26	568.3	21.86		

Fuente: Los autores.

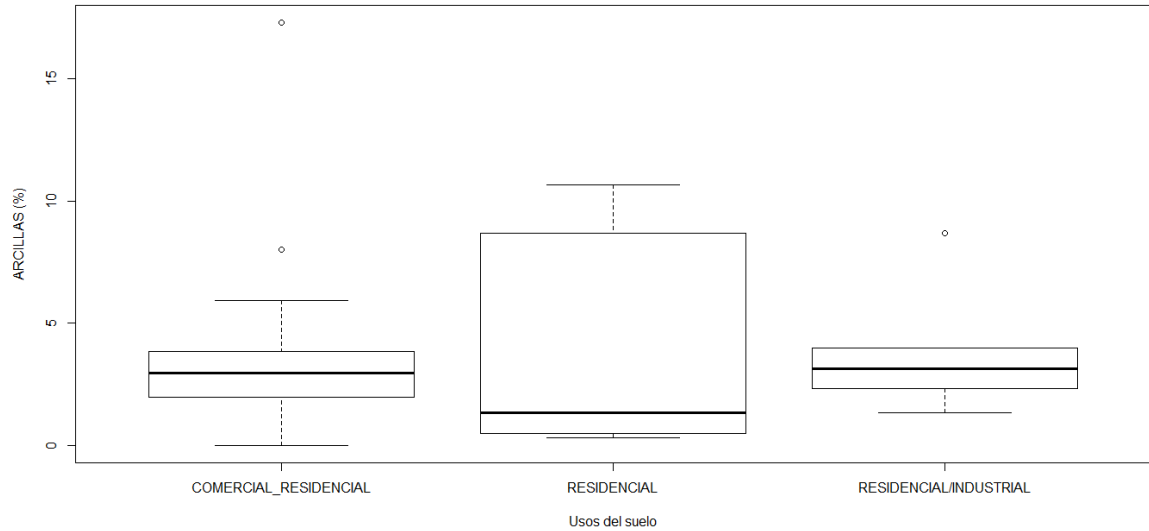
De la tabla 23 se infiere que para el hierro se acepta la hipótesis alternativa con el lugar y la precipitación, es decir que hay diferencia significativa con estas dos variables, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, al igual que óxido titánico, y el óxido de zinc.

Para el caso del dióxido de rutenio no presenta significancia con ninguno de los dos, por lo cual se puede decir que se va a encontrar en el sistema de alcantarillado pluvial sin importar el lugar y la precipitación, cómo se puede ver en el ANEXO D.

Prueba T-test.

En el gráfico 16 se observa que la distribución de las arcillas con respecto al uso del suelo comercial-residencial es simétrica; también se identifica la presencia de dos datos atípicos que son 17,29% y 8%. El uso residencial presenta mayor variabilidad de los datos y la concentración de los mismos se encuentra en un rango de [0,33- 10,6%]. En cuanto al uso residencial-industrial se aprecia la presencia de un dato atípico que tiene un valor de 8,66%. Además en la tabla 24 se evidencia que las arcillas no son significativamente diferentes con los usos del suelo. De manera similar ocurre con el anhídrido fosforoso, óxido titánico, dióxido de rutenio y óxido de potasio (véase ANEXO D).

Gráfico 16. Box plot %arcillas vs usos del suelo.



Fuente: Los autores.

Tabla 24. Significancia con t-test Arcillas con usos del suelo.

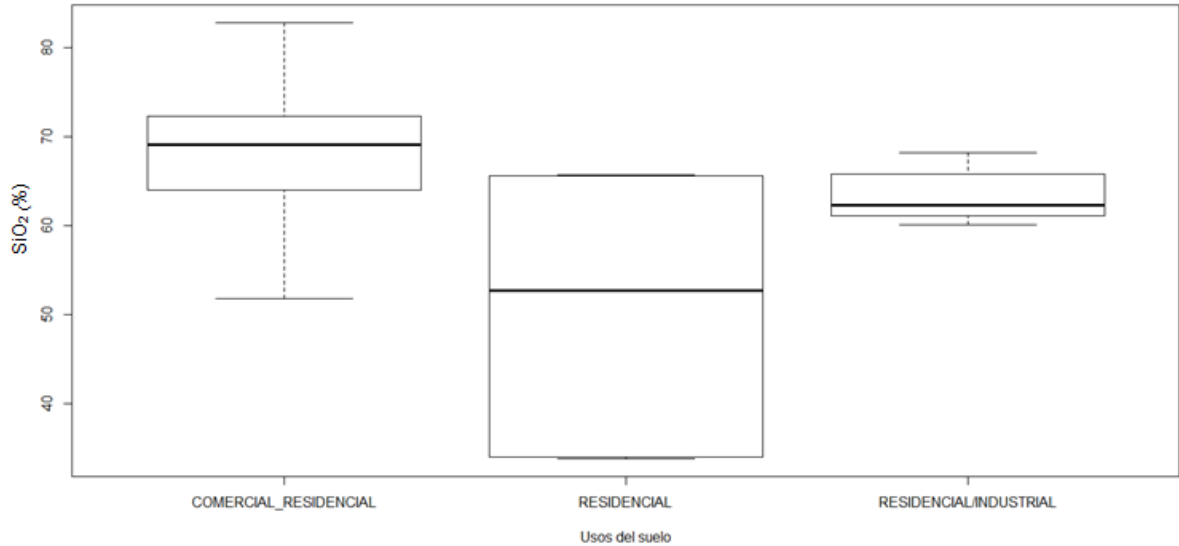
	Comercial- Residencial	Residencial
Residencial	1	-
Residencial/Industrial	1	1

Fuente: Los autores.

En el gráfico 17 se percibe que el uso del suelo residencial presenta mayor variabilidad de los datos, la concentración de los datos se encuentra en un rango de [33,7- 65,7%]. Por otra parte en la tabla 25 se evidencia que el silicio en usos de suelo residencial y comercial, e industrial y residencial es significativamente

diferente, mientras que para industrial y comercial no lo es; al igual se presenta con la cal (ANEXO D).

Gráfico 17. Box plot %SiO₂ vs usos del suelo.



Fuente: Los autores.

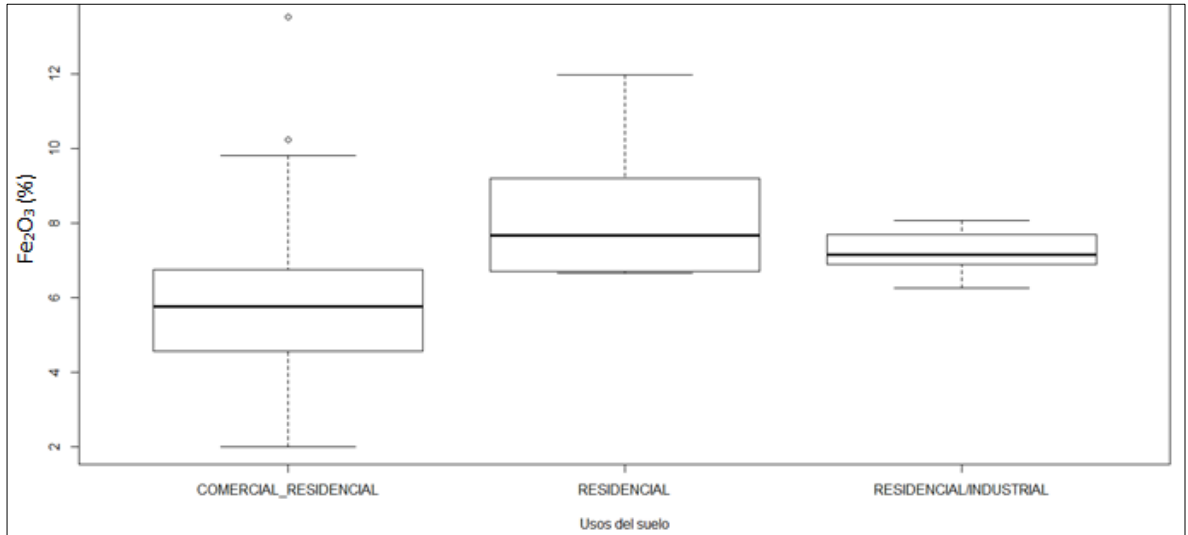
Tabla 25. Significancia con t-test SiO₂ con usos del suelo.

	Comercial- Residencial	Residencial
Residencial	0.00013	-
Residencial/Industrial	0.58226	0.04781

Fuente: Los autores.

En el gráfico 18 se evidencia que el uso del suelo comercial-residencial presenta la mayor variabilidad de los datos, la concentración de los datos se encuentra en un rango de [2- 9,82%]; también se observan dos datos atípicos que son 10,2% y 13,5%. Además en la tabla 26 se evidencia que el óxido férrico en usos de suelo residencial y comercial es significativamente diferente, mientras que para industrial y comercial e industrial y residencial no lo es. De manera análoga ocurre con la alúmina, el óxido de zinc y el anhídrido sulfúrico.

Gráfico 18. Box plot %Fe₂O₃ vs usos del suelo.



Fuente: Los autores.

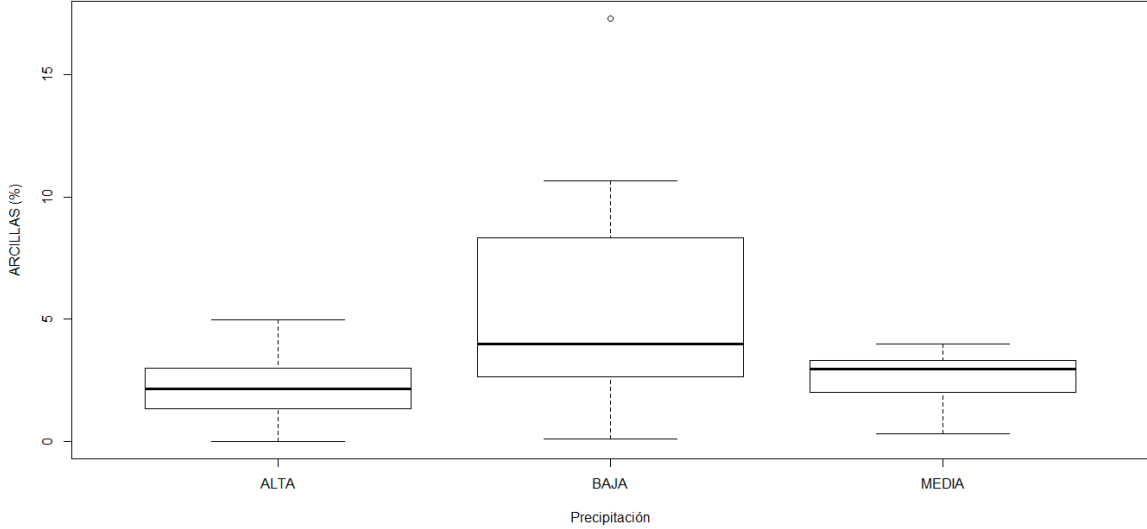
Tabla 26. Significancia con t-test Fe₂O₃ con usos del suelo.

	Comercial- Residencial	Residencial
Residencial	0.076	-
Residencial/Industrial	0.721	1.000

Fuente: Los autores.

En el gráfico 19 se evidencia que la precipitación baja presenta la mayor variabilidad de los datos, con una concentración en un rango de [0,09 -10,6%]; también se aprecia la presencia de un dato atípico que tiene un valor de 17,2%. Además en la tabla 27 se observa que las arcillas con la precipitación baja- alta y media- baja son significativamente diferentes; a diferencia de la media- alta que no lo es.

Gráfico 19. Box plot %Arcillas vs precipitación.



Fuente: Los autores.

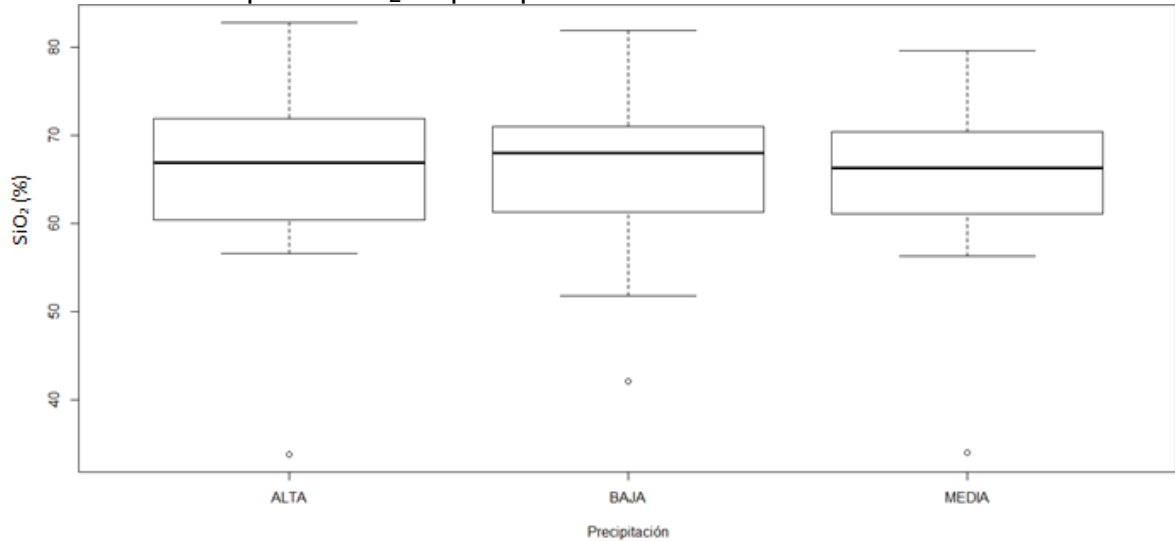
Tabla 27. Significancia con t-test arcillas con precipitación.

	ALTA	BAJA
BAJA	0.0081	-
MEDIA	1.00	0.0219

Fuente: Los autores.

En el gráfico 20 se evidencia que la precipitación baja presenta la mayor variabilidad de los datos, con una concentración de los datos en un rango de [42 - 81,9%]. También se aprecia la presencia de un dato atípico para la precipitación alta, baja y media con valores de 33,7%, 42% y 33,9% respectivamente. Por otra parte en la tabla 28 se observa que la sílice no es significativamente diferente para los rangos de precipitación.

Gráfico 20. Box plot %SiO₂ vs precipitación.



Fuente: Los autores.

Tabla 28. Significancia con t-test SiO₂ con precipitación.

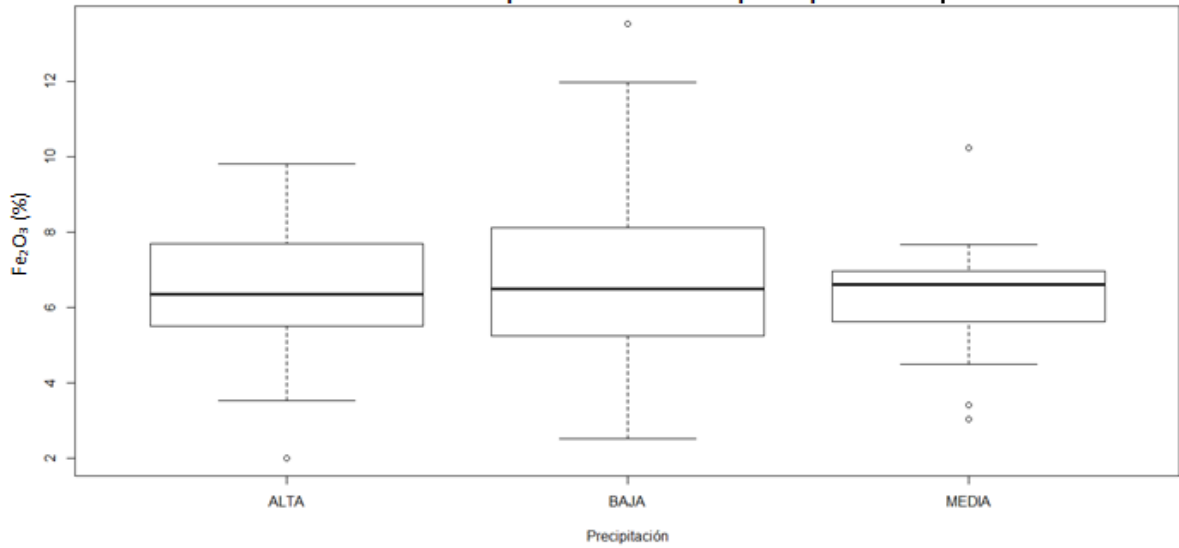
	ALTA	BAJA
BAJA	1	-
MEDIA	1	1

Fuente: Los autores.

En el gráfico 21 se observa que la precipitación baja presenta la mayor variabilidad de los datos, con una concentración en un rango de [2,50- 11,9%]; también se identifica un dato atípico con un valor de 13,5%. La precipitación alta cuenta con un valor atípico de 2%; mientras que la precipitación media cuenta con tres valores atípicos dos por debajo de la media con valores de 3,02%, 3,4% y uno por encima de la máxima 10,2%. Por otra parte en la tabla 29 se observa que el óxido férrico no es significativamente diferente para los rangos de precipitación.

Así mismo ocurre con los demás compuestos, a excepción de la cal que tiene la mayor variabilidad en la precipitación alta, y el anhídrido fosforoso donde la presenta en la precipitación media (ANEXO D).

Gráfico 21. Box plot %Fe₂O₃ vs precipitación.



Fuente: Los autores.

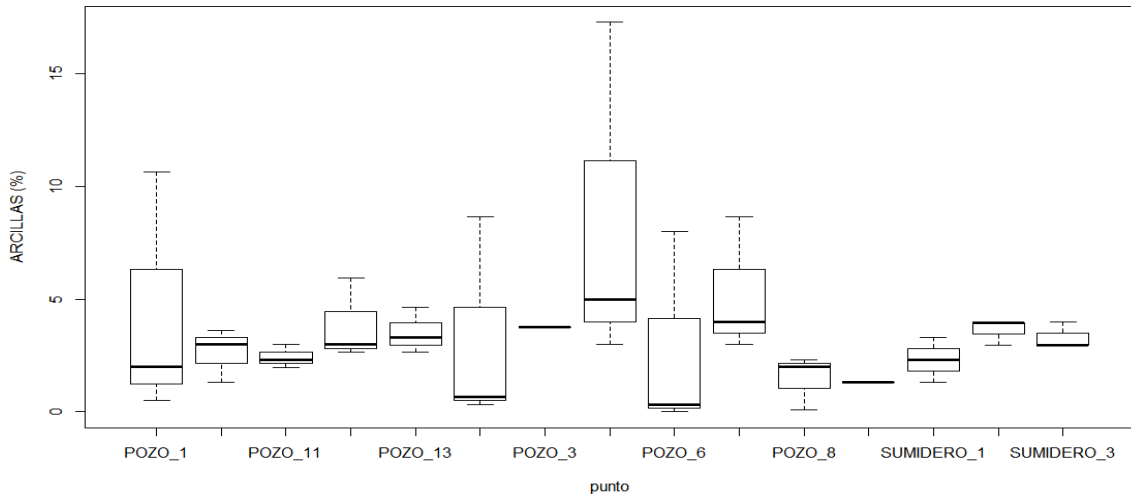
Tabla 29. Significancia con t-test Fe₂O₃ con precipitación.

	ALTA	BAJA
BAJA	1	-
MEDIA	1	1

Fuente: Los autores.

En el gráfico 22 se observa que el pozo 5 presenta mayor variabilidad de los datos, con una concentración en un rango de [2,99- 17,3%]. Además en la tabla 30 se aprecia que las arcillas son significativamente diferentes en el pozo 5 con el pozo 8, 9, sumideros 1 y 3; mientras que para los demás puntos no son significativamente diferentes.

Gráfico 22. Box plot %Arcillas vs. Lugar.



Fuente: Los autores.

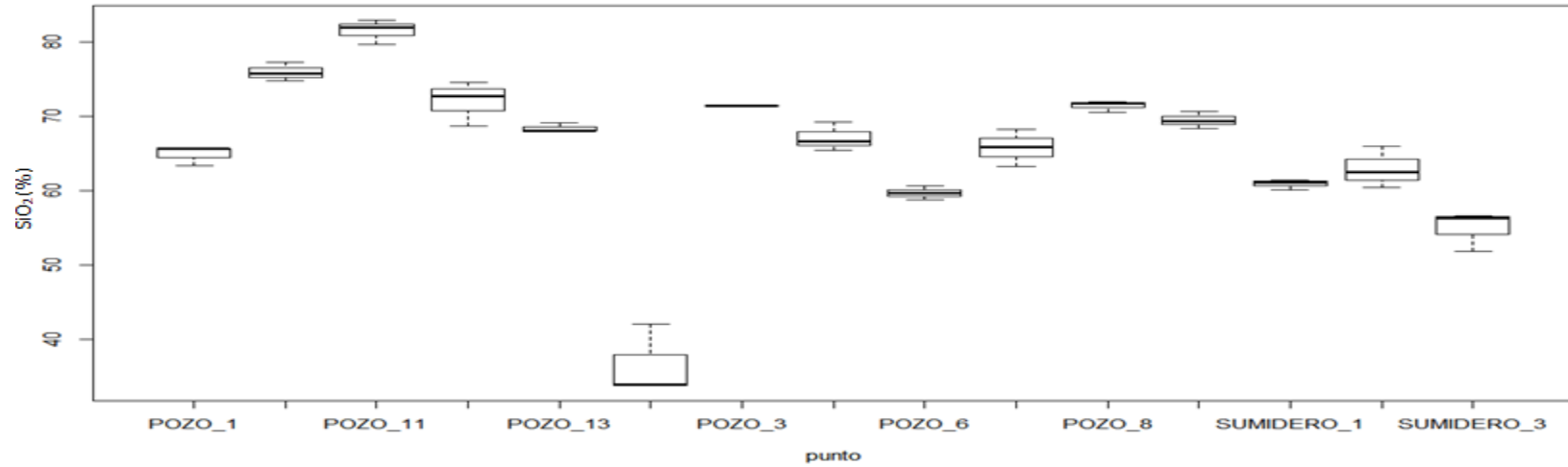
Tabla 30. Significancia con t-test Arcillas con lugar.

	Pozo 1	Pozo 10	Pozo 11	Pozo 12	Pozo 13	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 5	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8	Pozo 9	Sumidero 1	Sumidero 2
Pozo 10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 11	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 12	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 13	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 2	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 3	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 5	1	0.1067	0.0714	0.8847	0.5141	0.3027	1	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 6	1	1	1	1	1	1	1	0.1362	-	-	-	-	-	-
Pozo 7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-
Pozo 8	1	1	1	1	1	1	1	0.0105	1	1	-	-	-	-
Pozo 9	1	1	1	1	1	1	1	0.0077	1	1	1	-	-	-
Sumidero 1	1	1	1	1	1	1	1	0.0575	1	1	1	1	-	-
Sumidero 2	1	1	1	1	1	1	1	0.6202	1	1	1	1	1	-
Sumidero 3	1	1	1	1	1	1	1	0.3551	1	1	1	1	1	1

Fuente: Los autores.

En el gráfico 23 se observa que el pozo 2 presenta mayor variabilidad de los datos, con una concentración en un rango de [33,8- 42,1%]. Además en la tabla 31 se evidencia que la sílice no es significativamente diferente en el pozo 1 con pozo 5, 7 y sumidero 2; el pozo 10 con el 3; pozo 13 con 3, 5 y 9; pozo 3 con 8 y 9; pozo 5 con 7 y 9; pozo 6 con sumidero 1; pozo 7 con sumidero 2 y por último sumidero 1 con el sumidero 2; mientras que para los demás puntos es significativamente diferente.

Gráfico 23. Box plot %SiO₂ vs. Lugar.



Fuente: Los autores.

Tabla 31. Significancia con t-test Sílice con lugar.

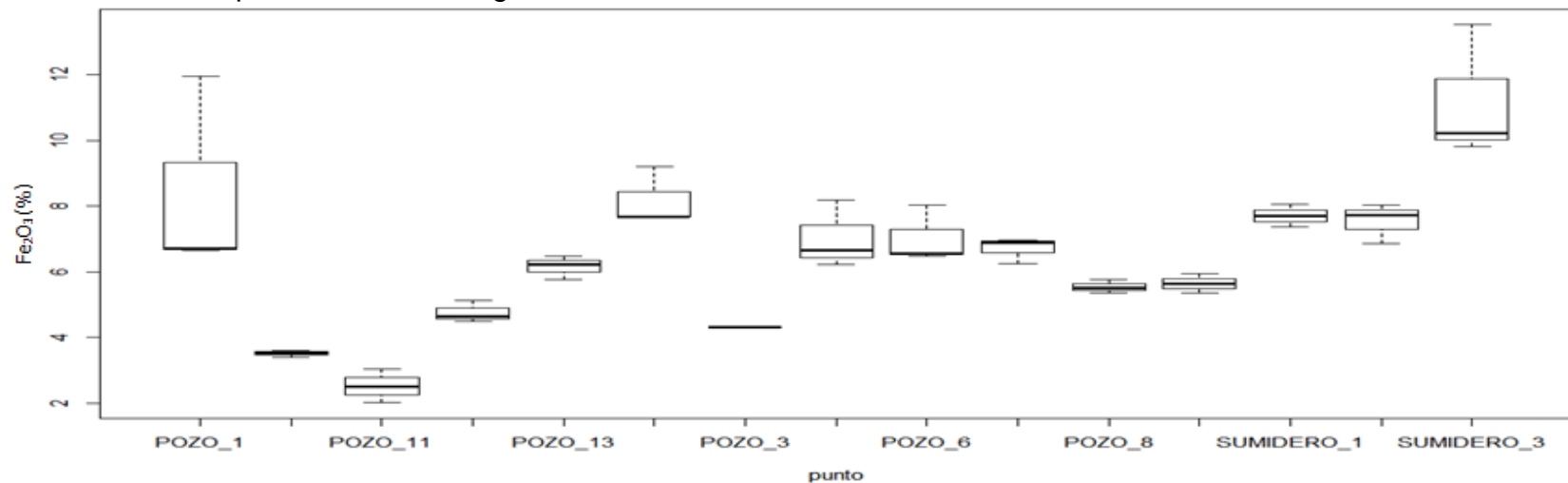
	Pozo 1	Pozo 10	Pozo 11	Pozo 12	Pozo 13	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 5	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8	Pozo 9	Sumidero 1	Sumidero 2
Pozo 10	6.6e-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 11	< 2e-16	0.00047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 12	2.0e-06	0.07795	2.1e-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 13	0.27922	3.6e-07	3.1e-16	0.20511	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 2	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 3	0.01072	0.59546	1.7e-06	1	1	< 2e-16	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 5	1	3.1e-09	< 2e-16	0.00480	1	< 2e-16	0.87938	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 6	0.00155	< 2e-16	< 2e-16	6.1e-15	4.7e-09	< 2e-16	2.2e-08	5.6e-07	-	-	-	-	-	-
Pozo 7	1	1.9e-11	< 2e-16	5.0e-05	1	< 2e-16	0.07031	1	7.4e-05	-	-	-	-	-
Pozo 8	1.7e-05	0.01393	2.3e-11	1	0.90642	< 2e-16	1	0.02888	5.1e-14	0.00038	-	-	-	-
Pozo 9	0.01308	1.8e-05	1.5e-14	1	1	< 2e-16	1	1	8.3e-11	0.17437	1	-	-	-

Sumidero 1	0.05999	< 2e-16	< 2e-16	4.7e-13	4.0e-07	< 2e-16	5.0e-07	4.1e-05	1	0.00395	4.1e-12	7.2e-09	-	-
Sumidero 2	1	4.7e-16	< 2e-16	1.2e-09	0.00069	< 2e-16	0.00010	0.03850	0.52378	1	1.1e-08	1.7e-05	1	-
Sumidero 3	3.3e-11	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	6.0e-14	8.0e-15	0.00614	1.2e-12	< 2e-16	< 2e-16	0.00012	5.9e-08

Fuente: Los autores.

En el gráfico 24 se evidencia que el pozo 1 presenta mayor variabilidad de los datos, con una concentración en un rango de [6,65- 11,9%]. Por otra parte en la tabla 32 se observa que el hierro no es significativamente diferente en el pozo 1 con pozo 2, 5, 6, sumidero 1 y 2; el pozo 10 con el 12 y 3; pozo 11 con 3; pozo 12 con 13, 3, 8 y 9; pozo 30 con 3, 5, 6, 7, 8, 9 y sumidero 2; pozo 2 con 5, 6, 7, y sumideros 1 y 2; pozo 3 con pozo 8 y 9; pozo 5 con 6, 7, 8, 9 sumidero 1 y 2; pozo 6 con 8, 9, sumidero 1 y 2; pozo 7 con 8, 9, sumidero 1 y 2; pozo 8 con 9 y por último sumidero 1 con el sumidero 2; mientras que para los demás puntos el óxido férrico es significativamente diferente.

Gráfico 24. Box plot %Fe₂O₃ vs. Lugar.



Fuente: Los autores.

Tabla 32. Significancia con t-test óxido férrico con lugar.

	Pozo 1	Pozo 10	Pozo 11	Pozo 12	Pozo 13	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 5	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8	Pozo 9	Sumidero 1	Sumidero 2
Pozo 10	1.1e-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 11	7.1e-14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 12	1.2e-06	1	0.02083	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 13	0.01547	0.00165	1.7e-06	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 2	1	7.9e-10	4.9e-13	7.8e-06	0.07214	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 3	0.00026	1	1	1	1	0.00091	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 5	1	4.3e-06	2.8e-09	0.01830	1	1	0.13519	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 6	1	4.1e-06	2.7e-09	0.01764	1	1	0.13201	1	-	-	-	-	-	-
Pozo 7	0.33562	4.0e-05	3.0e-08	0.11230	1	1	0.43560	1	-	-	-	-	-	-
Pozo 8	0.00031	0.06716	0.00012	1	1	0.00179	1	1	1	1	-	-	-	-
Pozo 9	0.00060	0.03856	6.4e-05	1	1	0.00333	1	1	1	1	1	-	-	-
Sumidero 1	1	2.8e-08	1.7e-11	0.00022	0.87152	1	0.00790	1	1	1	0.03407	0.05953	-	-
Sumidero 2	1	9.5e-08	5.7e-11	0.00067	1	1	0.01616	1	1	1	0.08781	0.14950	1	-
Sumidero 3	0.00085	< 2e-16	< 2e-16	1.8e-15	5.2e-11	0.00014	1.9e-10	3.2e-08	3.4e-08	3.1e-09	5.7e-13	1.2e-12	5.0e-06	1.5e-6

Fuente: Los autores.

Como se evidencia en las gráficas y tablas anteriores la prueba T- test para el lugar permite identificar el sitio donde se pueden recolectar los sedimentos para cada compuesto; cabe resaltar que para cada uno es diferente el pozo en que se encontrará; por lo tanto los demás se podrán ver en el ANEXO D.

Hidráulica

Los cálculos realizados de diferencia de nivel, pendiente, radio hidráulico a tubo lleno, cota batea, esfuerzo cortante, intensidad, duración, tiempo transcurrido, velocidad y caudal de diseño se pueden observar en el ANEXO E, así como las áreas de drenaje.

La tubería de los tramos seleccionados no cumple con el esfuerzo cortante requerido según la norma NS- 085 de la EAB en un 58%; para lo concerniente a nuestro proyecto se evidencia en los cálculos realizados que los siguientes PLT Y PLO no cumplen con las condiciones de autolimpieza: PLT21963, PLT21960, PLT22005, PLT22004, PLT21965, PLT21966, PLT21967, PLT22001, PLT22474, PLT22475, PLT22469, PLT22472, PLT22470, PLT22471, PLT22477, PLT22506, PLT22577, PLO22469, PLO22475, PLT22034, PLT22502, para el tramo I; y PLT109820, PLT21933, PLT21995, PLT21996, PLT22025, PLT36976, PLT36975, PLT22031, PLT22601, PLT22597, PLT22595 y PLT 22596 para el tramo II.

Al no obtener las condiciones de autolimpieza en esta tubería se produce una reducción en el diámetro debido a la adherencia de algunos sedimentos que con el tiempo son imposibles de retirar, esto a su vez hace que se colmate con mayor facilidad y posiblemente genere inundaciones en época de lluvia.

Los caudales de diseño calculados al final de los tramos fueron 16,4 L/seg para el tramo I, y 7,2 L/seg para el tramo II. Si se llegase a sobrepasar estos caudales se podrían producir inundaciones, sin embargo estos son una aproximación debido a la falta de datos, por lo cual no se puede tomar como una restricción ya que no se tiene seguridad de que sean los caudales máximos.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En primera instancia se debe decir que los parámetros de temperatura, humedad y pH no resultan ser variables importantes en el estudio, ya que no alteran la composición química de los sedimentos.

También se encontró que el porcentaje de materia orgánica para los pozos muestreados es muy bajo, lo cual se puede presentar porque en la zona no hay presencia de vegetación abundante, ni zonas verdes, y es normal que en el alcantarillado pluvial no se genere materia orgánica. Sin embargo, según los resultados en el tramo I, el sitio con mayor contenido de materia orgánica es el pozo 1 correspondiente al Canal de los Comuneros, ya que allí llegan aguas sanitarias y pluviales; y para el tramo II se presentan en el pozo 9 donde pueden existir conexiones erradas. Sin embargo es importante recalcar que esto se determinó a través de los sólidos volátiles, el cual no es un método muy preciso para hallar la materia orgánica.

Con respecto a la granulometría realizada en el presente estudio, los sedimentos contienen mayor porcentaje de limos, en menor porcentaje arcillas y arenas, sin embargo al hacer una revisión bibliográfica se evidenció que la sílice en las arenas se presenta en mayor porcentaje [62], mientras que en la presente investigación se evidenció la presencia de limos en mayor medida, lo que resulta ser contradictorio; con esto se comprueba que este análisis mediante granulometría (Bouyoucus) genera errores para la determinación de arcillas, limos y arenas en los sedimentos de alcantarillado pluvial, por tal motivo no se tuvieron en cuenta para la aplicación.

Análisis de resultados estadísticos

Es importante recalcar que los compuestos con mayor porcentaje promedio son: sílice, cal, alúmina y óxido de hierro, mientras que el anhídrido sulfúrico, anhídrido fosforoso, óxido de potasio, óxido titánico, dióxido de rutenio y óxido de zinc se encuentran en menor proporción.

A su vez se observó en el ACP que la sílice y el anhídrido sulfúrico tienen una relación opuesta con los demás compuestos analizados. Por otra parte en la prueba de Kruskal se evidenció que la presencia de la mayoría de los compuestos obedece al lugar, excepto el óxido de hierro, óxido titánico y óxido de zinc que además del lugar están condicionados por la precipitación.

Con respecto a la prueba T-test se corroboró lo anteriormente dicho mediante los box plot y las tablas de significancia. Se identificó que el mayor contenido de RuO_2 , P_2O_3 , K_2O y TiO_2 se da en el uso del suelo residencial, por esta razón lo

más conveniente es recolectar los sedimentos en los pozos con dicho uso, ya que los porcentajes del comercial e industrial contienen al residencial; aunque se podría ir a cualquiera de los tres usos. De forma similar ocurre con el SiO_2 y CaO donde el residencial contiene al comercial y presenta diferentes porcentajes en el uso industrial. Por el contrario en el Al_2O_3 , ZnO , Fe_2O_3 y SO_3 es el comercial quien contiene los porcentajes de los demás usos, por lo cual es más apropiado ir a los pozos de uso comercial.

De acuerdo a lo anterior es importante considerar la procedencia de los compuestos identificados; para el caso del dióxido de rutenio posiblemente se halló por la presencia de industrias de fabricación de aparatos y equipos eléctricos; cabe mencionar que todos los compuestos del rutenio deben ser considerados como altamente tóxicos y carcinógenos [63]. Para el anhídrido fosforoso se pudo haber dado por la presencia de la industria de elaboración de alimentos, fabricación de productos textiles, químicos, metalúrgicos, elaborados de metal y plástico; este compuesto se presenta en mayor porcentaje en el Canal de los Comuneros. Para el óxido titánico por la presencia de industrias de pinturas, litografías, plásticos y productos químicos.

En cuanto a la sílice y la alúmina se encuentran en grandes porcentajes debido a que son el segundo y tercer elemento más abundante de la corteza terrestre [63]. Además son utilizados para la fabricación de productos metalúrgicos, productos elaborados de metal y aparatos eléctricos, para los cuales existen este tipo de actividades económicas presentes en el sector (ver ANEXO C). Específicamente para la alúmina se evidenció en campo la presencia de talleres mecánicos y la irresponsabilidad de los mismos al verter los residuos de las partes eléctricas de los carros al sumidero 3. El anhídrido sulfúrico también es un elemento importante a considerar, puesto que se presenta en las industrias de fabricación de productos de caucho, aparatos eléctricos, productos farmacéuticos, químicos como jabones, textiles, plásticos, blanqueadores y pinturas etc [63]. Por su parte la presencia de cal se le puede atribuir a la posible existencia de alguna industria clandestina de pinturas y adhesivos, resaltando que en campo se percibió la existencia de los mismos a través de la observación y el olfato, específicamente en el pozo 2.

Igualmente con esta prueba se logró observar en cuales pozos y el porcentaje en el que se pueden encontrar los diferentes compuestos; para ser más específicos dependerá del uso que se le quiera dar a los sedimentos, por ejemplo si lo que se requiere es que estos contengan mayor porcentaje de SiO_2 se puede recolectar en cualquier pozo o sumidero exceptuando el pozo 2; si por el contrario lo que se necesita son altos contenidos de CaO se puede dirigir al pozo 2, lo cual se puede verificar en los box plot de lugar.

Por otra parte se deduce que la precipitación no tiene mayor relevancia en el comportamiento y/o características de los sedimentos porque se constata que no hay significancia con ningún compuesto; aunque para TiO_2 , ZnO y RuO_2 se presenta la mayor variabilidad de los datos en la precipitación baja que

corresponde al mes seco, lo cual indica que en un periodo de tiempo más largo podría tener influencia sobre los resultados. Sin embargo en comparación con la profundidad del lodo se observa que tienen relación, ya que en tiempo seco se presentan las mayores profundidades.

Análisis de resultados normativos para usos

Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva acerca de las posibles aplicaciones para los sedimentos hallados teniendo en cuenta las características encontradas en los mismos. Por lo cual se dedujo que puede existir una aplicación en la fabricación de cemento Pórtland y puzolanas.

En primera instancia cabe mencionar que el cemento Pórtland es el pegante hidráulico, es decir, el material que en determinadas condiciones es capaz de fraguar y endurecer con el transcurso del tiempo, uniendo a los otros materiales heterogéneos del concreto (agregados gruesos y finos) [3]. Y cuya composición química se observa en la siguiente tabla, según la normativa colombiana NTC 30 y la internacional ASTM C150.

Tabla 33. Constituyentes del cemento Pórtland.

Compuesto	Símbolo químico	Límites en % según NTC 30	Límites en % según ASTM C150
Cal	CaO	60-67	60,6 - 66,3
Sílice	SiO ₂	17-25	18,7 - 22
Alúmina	Al ₂ O ₃	3-8	4,7 - 6,3
Óxido de hierro	Fe ₂ O ₃	0,5-6	1,6 - 4,4
Óxido de magnesio	MgO	0,1-7	0,7 - 4,3
Anhídrido sulfúrico	SO ₃	1-3,5	1,8 - 4,6

Fuente: Los autores basada en información de la NTC 30 y ASTM C150.

Al comparar éstos con los resultados obtenidos en el trabajo de investigación se puede apreciar que, para el caso de la cal no alcanza a cumplir con los porcentajes necesarios para ser componente del cemento Pórtland, mientras que para la sílice sobrepasa los límites de las dos normas.

Tabla 34. % de compuestos.

Lugar	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%SO ₃	%K ₂ O
Pozo 1	64,9125	8,7078	8,4448	9,3190	2,6038	1,6997
Pozo 2	36,6038	9,0283	8,1816	40,4763	2,3613	1,1441
Pozo 3	71,4193	10,3953	4,3103	4,0410	3,8967	1,6777
Pozo 5	67,1329	12,3863	7,0171	6,5623	1,4876	1,5770
Pozo 6	59,7121	9,9343	7,0232	14,8958	1,9869	1,8702
Pozo 7	65,7957	11,7148	6,7023	8,3624	1,3300	1,7342
Sumidero 1	60,8812	9,7754	7,7049	11,6966	2,9370	1,6216
Pozo 8	71,4111	9,3737	5,5472	5,6752	2,1773	1,5357
Pozo 9	69,4498	9,7853	5,6439	7,0060	3,0121	1,2581
Pozo 10	75,9279	6,9988	3,5074	6,2426	2,7284	0,9030
Pozo 11	81,4831	5,3582	2,5137	3,2796	3,7839	1,1239
Pozo 12	71,9872	8,6001	4,7546	5,6801	3,9746	1,5588
Pozo 13	68,3926	11,4969	6,1544	5,7764	2,6662	1,9508
Sumidero 2	62,9508	9,7996	7,5393	10,6232	1,7320	1,8593
Sumidero 3	54,9350	10,7708	11,1937	12,4864	2,9169	2,0139

Fuente: Los autores.

Sin embargo la alúmina se cumple en los pozos 10 y 11, el óxido de hierro en los pozos 8, 9, 10, 11 y 12 para los límites establecidos por la NTC 30, y el anhídrido sulfúrico se cumple en todos los pozos para la restricción internacional. Por lo tanto se infiere que tiene algunas características que pueden ser aplicables a éste tipo de cemento, y para los compuestos que no cumple se les podría realizar un tratamiento antes de ser usado, o simplemente se puede hacer una separación inicial de los componentes y utilizar los que sirven.

También se les puede dar una aplicación en la fabricación de puzolanas, que son adiciones del cemento muy ricas en sílice y alúmina; estas son un material que no son cementantes por sí solas, pero cuando se encuentran pulverizadas, y en presencia de humedad, reaccionan con el hidróxido de calcio liberado naturalmente de la reacción entre el cemento y el agua, y allí se vuelve cementante [3]. Por tanto según las características de los sedimentos hallados se le podría dar este uso en Colombia.

Existen las puzolanas ricas en sílice y en alúmina, para éste caso el uso puede ser para cualquiera de las dos, aunque como se evidencia en la tabla 32, los sedimentos hallados contienen más sílice, lo que las hace resistentes a los sulfatos. Mientras que la alúmina contiene porcentajes bajos en comparación con la sílice, pero resulta ser un buen componente para las puzolanas ricas en aluminio.

Comparando la tabla 32 y 33 se evidencia que los sedimentos encontrados tienen una composición química similar a las puzolanas de origen volcánico, ya que la sílice, la alúmina, el óxido férrico, el óxido de potasio y la cal cumplen con los límites establecidos, sin embargo no se cumple para la cal en el pozo 2 y el anhídrido sulfúrico en ninguno, por esta razón se infiere que al utilizar los sedimentos como fuente de elaboración de las puzolanas se evitaría el proceso de extracción de las volcánicas.

Tabla 35. Valores de la composición química límite y media de las puzolanas de origen volcánico.

Composición		Valores Límites	Valores Medios
Óxido de silicio	SiO ₂	42 – 85	65
Óxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	5 – 20	12.5
Óxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	1 – 14	5
Óxido de Calcio	CaO	0 – 12	3.5
Óxido de Potasio	K ₂ O	0 – 5	2
Óxido de Sodio	Na ₂ O	0 – 5	2
Óxido de Magnesio	MgO	0 – 11	1.5
Trióxido de Azufre	SO ₃	0 - 1	0.5
Pérdida por calcinación	P.C.	0 – 15	6

Fuente: Estudio, caracterización y evaluación de puzolanas locales en la masa cerámica de ladrillo [64].

Finalmente es importante recalcar que las puzolanas se usan por ser una alternativa que beneficia al ambiente y del mismo modo disminuyen costos en el proceso de fabricación.

10. CONCLUSIONES

- Los sedimentos que se acumulan en los sistemas de saneamiento pluvial de la localidad de Puente Aranda en Bogotá se pueden aprovechar en la fabricación de puzolanas y de cemento Pórtland, aunque se requiere de algunos tratamientos previos. Para el caso de las puzolanas se pueden aprovechar la sílice, la alúmina, el óxido de hierro, el óxido de potasio y la cal según los valores límites de las puzolanas volcánicas; y para el cemento Pórtland la alúmina, el óxido de hierro y el anhídrido sulfúrico ya que cumplen con las normas NTC 30 y ASTM C150.
- Según el análisis estadístico se concluye que la alúmina, el óxido férrico, el anhídrido sulfuroso y el óxido de zinc se pueden encontrar en los pozos con uso del suelo comercial; y la cal, la sílice, el anhídrido fosforoso y el óxido de potasio en el residencial; esto facilita la extracción de los sedimentos para el aprovechamiento en la fabricación de cemento Pórtland y puzolanas.
- Del análisis normativo para usos se deduce que a los sedimentos se les debe realizar un proceso de secado y pulverizado para que sean más eficientes en el potencial aprovechamiento para la fabricación de puzolanas.
- Se infiere que al aprovechar estos sedimentos en la fabricación de puzolanas se tendrá un beneficio económico, ya que sus características son similares a las de las puzolanas volcánicas, las cuales generan altos costos en el proceso de extracción; de igual manera se obtendrá un beneficio ambiental debido a que se evitará la disposición inadecuada de los sedimentos.
- La caracterización química permitió realizar la propuesta de aprovechamiento de los sedimentos, mientras que la física fue muy precaria debido a la falta de herramientas tecnológicas y de laboratorio.
- Los sedimentos del sistema de saneamiento pluvial de los tramos elegidos en la localidad de Puente Aranda no tienen aplicación agrícola ya que contienen poca materia orgánica y faltaría determinar otros parámetros

como, coliformes totales, coliformes fecales, nitritos, nitratos, fosfatos, Salmonella spp., huevos de helmintos, mercurio y sólidos totales necesarios para compararlos.

- Los porcentajes obtenidos de limos, arcillas y arenas no se tuvieron en cuenta al momento de realizar la propuesta de aplicación, debido a que el análisis de granulometría realizada por el método de Bouyoucus presentó errores.
- El análisis estadístico realizado en el presente estudio de investigación facilita la toma de decisiones según las condiciones que se establezcan.
- La estadística realizada a través de programa RStudio permitió determinar el sitio y tiempo específico en el que se pueden recolectar los sedimentos con características particulares según la necesidad que se tenga.
- Gracias a las pruebas estadísticas de Kruskal- Wallis y T-test fue posible identificar que el lugar, el cual está relacionado con los usos del suelo, es quien altera la composición química de los sedimentos.
- Se evidenció que la presencia de la mayoría de contaminantes no se ve influenciada por la dinámica climática, mientras que la variabilidad granulométrica sí.
- Los compuestos eliminados para el análisis estadístico no se tuvieron en cuenta en el análisis de resultados ya que eran trazas y no hay restricción en las normas de los mismos.
- Según el triángulo de clasificación textural se evidenció que todos los pozos y sumideros presentan una textura limosa en los tres meses muestreados; para el caso de la aplicación en construcción no son recomendables los sedimentos encontrados, ya que los limos son más inestables que las arcillas y las arenas; por lo tanto es recomendable realizar un tratamiento antes de reutilizarlos.

- En el pozo 1 se presentó un pico de profundidad del lodo en el mes de febrero debido a que el flujo de agua era menor en comparación con los otros meses muestreados, por ser este un mes seco.
- El pozo 2 presentó la mayor variabilidad de los datos según el análisis estadístico; como se evidencia en el análisis de componentes principales (ACP), y en la prueba T-test se observan los compuestos que lo hacen diferente a los demás lugares; para el caso de la sílice y el anhídrido fosforoso presenta los porcentajes más bajos, para la cal los más altos y para el óxido titánico es quien contiene los porcentajes de los demás pozos.
- Los cálculos hidráulicos se realizaron para la tubería mas no para los pozos, por lo tanto se infiere que la hidráulica no afecta las características de los sedimentos, sin embargo estos si la alteran; aunque la autolimpieza de las tuberías permitió la depositación de los sedimentos en los pozos.
- La tubería de la localidad de Puente Aranda en principio no estaba diseñada para los usos del suelo que existen actualmente, porque hace 40 años la zona estaba cubierta de pastos, por lo cual no cumple con los criterios de diseño.
- Las tuberías de los tramos seleccionados no cumplen en un 58% con el esfuerzo cortante, por esta razón las alcantarillas pluviales se convierten en un depósito de sedimentos, es decir que hidráulicamente está mal diseñado.

11. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar el tiempo de muestreo en el sistema de saneamiento pluvial con el fin de verificar la importancia de esta variable en la acumulación de sedimentos.
- Se sugiere realizar el análisis por granulometría láser para determinar la cantidad de arenas, arcillas y limos en la muestra con el objetivo de disminuir el porcentaje de error, además mejorar y ampliar la propuesta de aplicación.
- Se propone hallar la relación profundidad/ volumen con el fin de determinar la cantidad de sedimentos y de la misma forma definir el volumen a aprovechar.
- Se aconseja realizar pruebas de densidad aparente, nitritos, nitratos, fosfatos, sulfatos, resistencia del material, características plásticas, coliformes totales, coliformes fecales, Salmonella spp., huevos de helmintos, mercurio y sólidos totales para mejorar la calidad de los resultados y ejecutar una mejor propuesta de aprovechamiento.
- Se propone realizar el muestreo en otras zonas de Bogotá, con el propósito de evaluar el comportamiento de los sedimentos en sitios con diferentes características al ya muestreado.
- Se recomienda a la EAB realizar jornadas de limpieza para la tubería de la localidad de Puente Aranda con el fin de evitar la adherencia y colmatación de sedimentos en la misma.
- Se sugiere aprovechar los sedimentos que se extraen en las jornadas de limpieza, con el fin de no depositarlos en rellenos sanitarios y de la misma forma generar ingresos económicos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Desarrollo Económico; Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico;, Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, título D, sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales, Bogotá D.C, 2000.
- [2] BOLINAGA, Juan, Drenaje urbano, Caracas : Instituto nacional de obras sanitarias , 1979.
- [3] MATA LLANA RODRÍGUEZ, Ricardo , Fundamentos de concreto aplicados a la construcción, Bogotá: Instituto colombiano de productores de cemento , 2006.
- [4] Portafolio, «Limpiar sumideros en Bogotá sale caro,» *Portafolio*, 17 Junio 2013.
- [5] Consorcio Duque Sima, Diagnóstico, zonificación y prospectiva de la cuenca del rio Fucha, Bogotá : Alcaldia local de Puente Aranda , 2007.
- [6] SKIPWORTH, P. J. S; TAIT, S. J. y SAUL, A. J., The first flush in combined sewers: an investigation of the causes, Urban Water, 2000.
- [7] BERNAL CONDE, Jorge, Diagnóstico local con participación social Puente Aranda, Bogotá, 2007.
- [8] JIMENEZ, «Evaluacion de alternativas de tratamiento y manejo de lodo de alcantarillado sanitario y pluvial,» 2004. [En línea]. Available: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/15058/1/LozanoAcostaLuisaFernanda2014.pdf>. [Último acceso: Abril 20 2015].
- [9] JIMENEZ, B; MENDEZ,J.M; BARRIOS, J.A; SALGADO, G. y SHEINBAUM, C., Characterization and evaluation of potential reuse options for wastewater sludge and combined sewer system sediments, México: Water Science and Technology, 2004.
- [10] LISSALDE, Anne Marie, Caracterisation, traitement et valorisation des sous-produits d'assainissement pluvial, France: École nationale de la

santé publique, 2002.

- [11] Environmental Protection Agency EPA , Police CFR 40 part 503, United states, 1994.

- [12] GASPERY; ROCHER; CELAUDON; MOILERON y CHEEBBO, Hydrocarbons and heavy metals fixed to the fit station sediment of Paris combiend sewer network, Water Science & Technology, 2005.

- [13] BRESTERS ALBERCHT, C.I; DEAK, Bela; MATTER, Bernhard; SAABYE, Alice; SPINOSA, Ludivico; UTVIK, Adne, Sludge Treatment and Disposal Management Approaches and Experiences, European Environment Agency, 1997.

- [14] FRANCOIS, Petavy, Traitement et valorization des sediments de l'assainissement pluvial, Tesis de Doctorado., 2007.

- [15] FRANCOIS, Petavy; RUBAN, V.; CONIL, P., Treatment of stormwater sediments: Efficiency of an attrition scriber – laboratory and pilot – scale studies, Chemical Engineering Joournal,, 2009.

- [16] PIERRE-YVES, Scordia, Caracterisation et valorisation de sediments fluviaux pollues et traites dans les materiaux routiers, Tesis de Phd., Universidad de Lile., 2008.

- [17] DPAE, Plan local de prevención y atención de emergencias, Bogotá : Alcaldía mayor de Bogotá , 2008.

- [18] Secretaria distrital de Gobierno- Alcaldía local Puente Aranda, Plan ambiental local Puente Aranda, Bogotá, 2012.

- [19] DAMA, Inventario de fuentes fijas de las localidades de la ciudad de Bogotá. Puente Aranda, Bogotá, 2001.

- [20] Alcaldia Mayor de Bogota D.C, «Bogotá humana,» 4 Octubre 2014. [En línea]. Available: <http://bogota.gov.co/content/acueducto-de-bogot%C3%A1-anuncia-medidas-para-el-invierno>. [Último acceso: 20 Abril 2015].

- [21] Universidad Nacional abierta y a distancia UNAD, «Clasificación de los sistemas de alcantarillado,» [En línea]. Available: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Residuales_Contentido_en_linea/leccin_6__clasificacin_de_los_sistemas_de_alcantarillado.html. [Último acceso: 23 Diciembre 2014].
- [22] EPM, Guía para el diseño Hidráulico de Redes de Alcantarillado, Medellín, 2009.
- [23] EAB Empresa de Acueducto, Norma Técnica de Servicio NS-085. Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado, Bogotá: Acueducto SISTEC, 2009.
- [24] CORREA MAYA, Carlos Arturo, Fenómenos químicos, Medellín : Universidad EAFIT, 2004.
- [25] Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Norma Oficial Mexicana NOM-004SEMARNAT-2002, Protección ambiental. Lodos y biosólidos, Mexico, 2002.
- [26] SAWYER, Clair N.; MCCARTY, Perry L. y PARKIN, Gene F., Química para ingeniería ambiental, 4ta ed., MC Graw Hill, 2001.
- [27] American Public Health Association, «Fixed and volatile solids ignited at 550°C,» de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, New York, Port City Press, Baltimore, Maryland, 2005, pp. 2-59.
- [28] ASHLEY, Richard; ALASDAIR, Fraser; BIRROWS Richar y BLANKSBY Jhon, The management of sediments, Urban water, 2000.
- [29] ASHLEY, Richard; BERTRAND-KRAJEWSKY, J.L.; HVITED-JACOBSEN, T. y VERBANCK, M., Solids in sewers characteristics, effects and control of sewer solids and associated pollutants, Scientific and Technical Report No. 14, IWA publishing, 2004.
- [30] BERLAMONT JEAN, E.; TORFS HILDE, M., Modelling (partly) cohesive sediment transport in sewer systems, Water Science & Technology, 1996.
- [31] CHEBBO, G.; BACHOC, A.; LAPLACE, D. y LE GUENNEC, B., The

transfer of solids in combined sewer networks, Water Science & Technology, 1995.

- [32] GALVIS TORO, Juliana y RIVERA GUERRERO, Ximena, Caracterización físicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) de la empresa jugos Hit de la ciudad de Pereira, Pereira: Universidad tecnológica de Pereira, 2013.
- [33] ROMERO ROJAS, Jairo Alberto, Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño, Bogotá : Escuela Colombiana de ingeniería, 2010.
- [34] TORRES, Andres; MENDEZ FAJARDO, Sandra; LARA BORRERO, Jaime; ESTUPIÑAN PERDOMO, Jorge Luis, ZAPARA GARCIA Hector Obvidio y TORRES MURILLO, Oscar Mauricio, Hacia equipamientos urbanos sostenibles: Aprovechamiento de aguas lluvias en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2012.
- [35] Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, «Sistema de indicadores del agua,» Gobierno de España, 2009. [En línea]. Available: http://servicios2.marm.es/sia/indicadores/ind/ficha.jsp?cod_indicador=08&factor=estado. [Último acceso: 28 Abril 2015].
- [36] FLORES DELGADILLO, Lourdes y ALCALÁ MARTÍNEZ, Jorge René, Manual de Procedimientos Analíticos. Laboratorio de Física de Suelos, México: Universidad nacional autónoma de México.
- [37] Instituto nacional de normalización - INN-CHILE, Mecánica de suelos - Determinación de la humedad (norma oficial), Chile, 1979.
- [38] CAMPOS SEGURA, Ricardo, Manual de suelos. Guías de laboratorio y campo, Bogotá: Unisalle, 2012.
- [39] CAICEDO ANDRADE, Juan Carlos, Toma de datos en la libreta de campo, Bogotá: INGEOMINAS, 2003.
- [40] UNAD, «Datateca UNAD,» 13 Abril 2015. [En línea]. Available: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358013/ContenidoEnLinea/leccin_7_propiedades_fisicas_del_suelo_estructura_textura_color_densidad_y_p

rosidad.html.

- [41] ROJAS MONSALVO, Katherine, Radiación electromagnética, Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana , 2009.
- [42] FONSECA, Rafael , Interviewee, *Capacitación de análisis químico por fluorescencia de rayos x*. [Entrevista]. 13 Abril 2015.
- [43] UNAM, «Física Andream,» [En línea]. Available: <http://www.fisica.unam.mx/andream/tecnicas Equipos/xrf.html>. [Último acceso: 28 Mayo 2015].
- [44] COLLATÓN CHICANA, Rosario, Introducción al uso de R y R Commander para el análisis estadístico de datos en ciencias sociales, Perú, 2014.
- [45] GONZÁLEZ MARTÍN, Pilar; DÍAZ DE PASCUAL, Amelia; TORRES LEZAMAN, Enrique y GARNICA OLMOS, Elsy, Una aplicación del análisis de componentes principales en el área educativa, Venezuela: Revista Economía No. 9.
- [46] CHESSEL, Daniel; DUFOUR, Anne B. y THIOULOUSE, Jean, The ade4 package - I : One-table methods, Rnews, 2004.
- [47] Universidad de Castilla La Mancha, Anova un factor y Kruskal-Wallis, España: UCML.
- [48] SHIER, Rosie, Statistics: 1.1 Paired t-tests, United Kingdom: Mathematics Learning Support Centre, 2004.
- [49] Unión Europea, «EUR Lex,» 12 Junio 1986. [En línea]. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX:31986L0278>. [Último acceso: 21 Abril 2015].
- [50] Gobierno de España, Real decreto 1310/2007, España : BOE- Boletín oficial del estado , 2007.
- [51] Ministerie Van Volkshuisvensting Ruintelijke Ordening en Milieubeheer, NMHSPE. Dutch Target and Intervention Values, Holanda: Esdat, 2000.
- [52] Gobierno de España, Resolución de 14 de junio, España: BOE- boletín

oficial del estado , 2001.

- [53] INVIAS, Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o magnesio, Colombia, 2007.
- [54] Canadian Council of Ministers of the Environment, Guidance document for the beneficial use of municipal biosolids, municipal sludge and treated septage, Canadian, 2012.
- [55] Secretaría general de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, «Régimen Legal de Bogotá D.C.,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=53315>. [Último acceso: 21 Abril 2015].
- [56] MATÍNEZ BENCARDIO, Ciro, Estadística y muestreo, 12 ed., Bogotá: Ecoediciones, 2005.
- [57] PAVCO; MEXICHEM soluciones integrales, Tutorial hidráulica EAB, Bogotá.
- [58] SALDARRIAGA V, Juan G., Hidráulica de tuberías, Bogotá: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S A., 1998.
- [59] MINERVA JUÁREZ, J.; OLIVIA FRANCO, H.; VELIA, P. y ASCENCIO, R., Manual de prácticas de laboratorio de química ambiental I, Mexico, 2009.
- [60] Universidad Complutense de Madrid, Análisis factorial: El procedimiento análisis factorial, España.
- [61] BERNAL GARCÍA, Juan Jesús, MARTÍNEZ, María Dolores y SÁNCHEZ GARCÍA, Juan Francisco, Modelización de los factores más importantes que caracterizan un sitio en la red, España: ASEPUMA.
- [62] Lenntech BV , «Lenntech BV,» [En línea]. Available: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/si.htm>. [Último acceso: 5 Junio 2015].
- [63] I. WAZAMTU EMAIL, N. ABDULLAHI SANI, A. KURA ABDULSALAM y U. ABUBAKAR ABDULLAHI, Extraction and quantification of silicon from silica sand obtained from Zauma river, Zamfara state, Nigeria, Nigeria:

European Scientific Journal, 2013.

- [64] MELLA STAPPUNG, Alejandro, Estudio, caracterización y evaluación de puzolanas locales en la masa cerámica de ladrillo, Concepción, Chile: Universidad del Bio Bio, 2004.

ANEXOS

ANEXO A. Datos tomados en campo

Anexo 1. Identificación de puntos de muestreo.

Tramo	ID	Dirección	Identificación	Acceso	Características hidráulicas ubicación alcantarilla	Características del sector	
1	1	Canal comuneros Calle 3 # 53 B	Se encuentra un árbol grande, está al lado del puente amarillo peatonal.	Lazo, arnés y todos los epp.	Ingreso al canal.	Residencial	
	2	Calle 4 # 51 A- 66	Calle cerrada	Todos los epp.	Tapa metálica	Residencial	
	3	Calle 4 A Bis # 53 B-37				Comercial y residencial	
	4	No se encontraron sedimentos					
	5	Calle 4 F # 53 B	Lava éxito, panadería y cafetería Viviana, droguería san Rafael J.L.	Difícil acceso	Tapa metálica	Comercial y residencial	
	6	Calle 5 A # 53 C Bis	Limpiaseco san Rafael, almacén de víveres			Comercial y residencial	
	7	Calle 5 C # 53 C Bis Sumidero 1 Calle 5 C # 53 C Bis	Postobón Postobón.	Fácil acceso Fácil acceso	Se encuentra un puesto de empanadas en frente del sumidero. 2 pozos seguidos para el cambio de dirección; alcantarilla tapa verde. Separador calzado	Residencial e industrial Residencial e Industrial Comercial y residencial (Locales que realizan cambios de aceite,	
	8	Transversal 42 A # 50 -	Lubricantes la mancha	Trípode			

	06	amarilla			oriental, pozo sin escalones 30m al norte de la glorieta.	talleres de mecánica)
2	9	Calle 4 A # 50	Liceo Diana Paola, audio alarmas sencars. Droguería servi salud MR, ornamentación González, lujos Dakar, amortiguadores siglo XXI	Fácil acceso	2 pozos seguidos y la red pasa al costado oriental.	Comercial y residencial
10		Calle 4 B# 50	Restaurante brisas de Santander, autocereinza, colegio reja azul.	Difícil acceso	Separador peatonal	Comercial y residencial
11		Calle 4 F # 50	Locales comerciales: Tacos y rico broaster, semáforo.	Fácil acceso	Separador centro calzada	Comercial y residencial
12		Calle 5 A # 50	Papelería. Net, restaurante 8 fm.	Difícil acceso	Al costado sur este, costado noreste, este sur, este norte.	Comercial y residencial
13		Calle 5 A# 44	Al frente de tacos	Fácil acceso		Comercial y residencial
		Sumidero 2 Calle 5 A # 50				Comercial y residencial
		Sumidero 3 Carrera 49 # 4 A-03	Cauchos car, audio alarmas.	Fácil acceso		Comercial y residencial

Fuente: Los autores.

Anexo 2. Datos puntos de muestreo tramo 1 y 2 canal comuneros- sumideros: 25 y 27 de febrero de 2015.

TRAMO	ID	DIRECCIÓN	pH	T (°C)	Profundidad del lodo	Hora toma de muestra
1	1	Canal comuneros Calle 3 # 53 B	4,55	21,5	35 cm	11:00 am
	2	Calle 4 # 51 A- 66	7,26	22	9 cm	12:00 pm
	3	Calle 4 B # 53 B -37	4,6	23	8 cm	12:50 pm
	4	Calle 4 F # 53 B	No se encontraron sedimentos.			
	5	Calle 4 F # 53 B	7,6	22,1	7 cm	1:45 pm
	6	Calle 5 A # 53 C Bis	8,26	21,1	22 cm	2:30 pm
	7	Calle 5 C # 53 C Bis	6,99	20,7	7 cm	3:15 pm
		Sumidero 1 Calle 5 C # 53 C Bis	7,52	25	23 cm	1:15 pm
	8	Transversal 42 A # 50- 06	6,66	20,6	8,2 cm	10:57 am
	9	Calle 4 A # 50	6,89	22,4	6 cm	11:30 am
	10	Calle 4 B# 50	6,89	23,9	25 cm	11:50 am
	11	Calle 4 F # 50	7,40	24,2	4,2 cm	12:10 pm
2	12	Calle 5 A # 50	7,28	22,8	2,3 cm	12:30 pm
	13	Calle 5 A# 44	7,34	21,2	9,2 cm	12:48 pm
		Sumidero 2 Calle 4 F # 50	7,05	25,4	7 cm	12:53 pm
		Sumidero 3 Carrera 49 # 4 A-03	7,28	24	40,5 cm	1:40 pm

Fuente: Los autores.

Anexo 3. Datos puntos de muestreo tramo 1 y 2 canal comuneros- sumideros: 17 de marzo de 2015.

TRAMO	ID	DIRECCIÓN	pH	T (°C)	Profundidad del lodo	Hora toma de muestra	
1	1	Canal comuneros Calle 3 # 53 B	7,7	20,5	2 cm	10:20 am	
	2	Calle 4 # 51 A- 66	8,83	20,9	9 cm	10:40 am	
	3	Calle 4 B # 53 B - 37		20,1	No se encontraron sedimentos, pozo combinado.		
	4	Calle 4 F # 53 B	No se encontraron sedimentos.				
	5	Calle 4 F # 53 C Bis	7,37	20	6 cm	11:08 am	
	6	Calle 5 A # 53 C Bis	7,38	22,5	15 cm	11:16 am	
	7	Calle 5 C # 53 C Bis	4,14	21,3	12 cm	11:30 am	
		Sumidero 1: Calle 5 C # 53 C Bis	7,17	17,8	15 cm	Presencia de grasa	11:36 am
	8	Transversal 42 A # 50- 06	6,6	20,6	15 cm 7 cm.	12:20 pm	
	9	Calle 4 A # 50	6,9	22,4	Se evidencia gran cantidad de piedra		12:29 pm
2	10	Calle 4 B# 50	6,9	21,9	17 cm	12:50 pm	
	11	Calle 4 F # 50	7,10	22,2	14 cm	1:02 pm	
	12	Calle 5 A # 50	7,72	22,2	5,5 cm	11:59 pm	
	13	Calle 5 A# 44	7,70	20,7	14 cm	12:05 pm	
		Sumidero 2: Calle 4 F # 50	7,05	25,4	1 cm	11:49 am	
	Sumidero 3: Carrera 49 # 4 A-03	7,28	24	56 cm	12:38 pm		

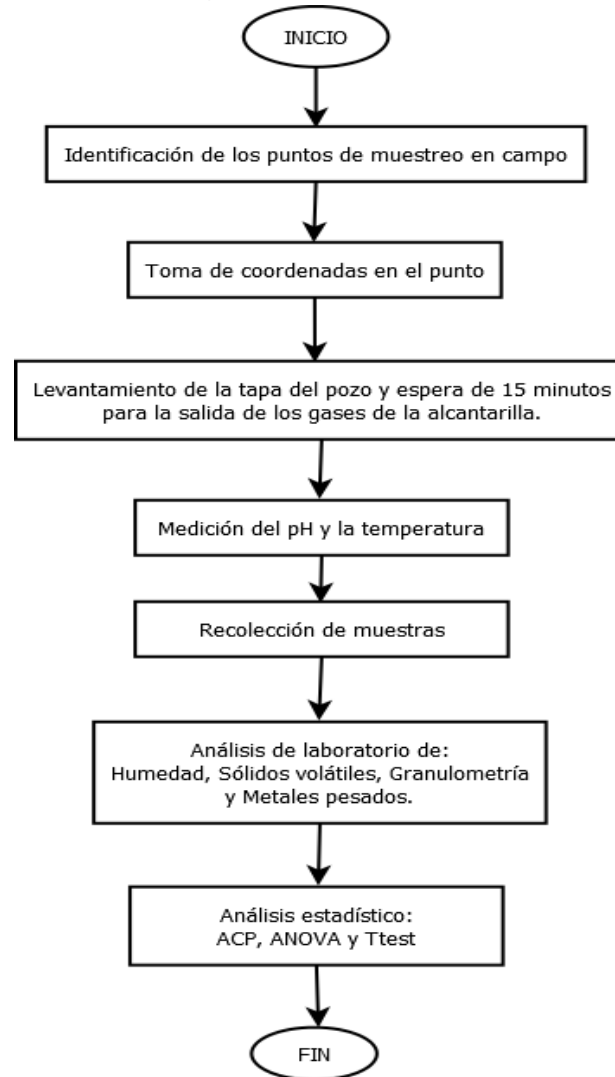
Fuente: Los autores.

Anexo 4. Datos puntos de muestreo tramo 1 y 2 canal comuneros- sumideros: 6 de abril de 2015.

TRAMO	ID	DIRECCIÓN	pH	T (°C)	Profundidad del lodo	Hora toma de muestra	
1	1	Canal comuneros Calle 3 # 53 B	6,1	20,4	3 cm	10:00 am	
	2	Calle 4 # 51 A- 66	7,15	20,7	8 cm	10:20 am	
	3	Calle 4 B # 53 B - 37		20,5	No se encontraron sedimentos, pozo combinado.		
	4	Calle 4 F # 53 B	No se encontraron sedimentos.				
	5	Calle 4 F # 53 C Bis	7,4	20,5	7 cm	11:00 am	
	6	Calle 5 A # 53 C Bis	8,13	20,5	17 cm	11:26 am	
	7	Calle 5 C # 53 C Bis	7,02	21	13 cm	11:38 am	
		Sumidero 1: Calle 5 C # 53 C Bis	7,51	21,6	17 cm presencia de grasas	11:26 am	
	8	Transversal 42 A # 50- 06	6,49	20,3	14 cm	12:10 pm	
			6,9		9 cm.		
2	9	Calle 4 A # 50		20,4	Se evidencia gran cantidad de piedra	12:39 pm	
	10	Calle 4 B# 50	6,78	21,7	15 cm	12:45 pm	
	11	Calle 4 F # 50	7,37	22,1	17 cm	1:12 pm	
	12	Calle 5 A # 50	7,29	22	6,2 cm	11:59 pm	
	13	Calle 5 A# 44	7,27	20,5	13 cm	12:05 pm	
		Sumidero 2: Calle 4 F # 50	7,04	20,7	2 cm	11:39 am	
		Sumidero 3: Carrera 49 # 4 A-03-	7,19	20,9	60 cm	12:21 pm	

Fuente: Los autores.

Anexo 5. Diagrama de flujo de la metodología del proyecto.



Fuente: Los autores.

ANEXO B. Análisis de laboratorio

Anexo 6. % Humedad mes de febrero.

% HUMEDAD MES DE FEBRERO								
Tramo	ID	Peso recipiente vacío (g)	Peso muestra húmeda + recipiente (g)	Peso muestra húmeda (g)	Peso muestra seca + recipiente 106°C	% Humedad	Promedio % Humedad	
I	1A	47,68	500,42	452,74	353,27	48,2	61,7	
	1C	53,78	500,14	446,36	287,18	91,2		
	1B	52,88	500,47	447,59	360,13	45,7		
	2C	50,13	500,68	450,55	383,01	35,3	53,1	
	2B	50,83	500,51	449,68	364,53	43,3		
	2A	39,94	500,69	460,75	294,99	80,7		
	3A	30,62	500,79	470,17	387,35	31,8	44,7	
	3C	51,8	257	205,2	169,58	74,2		
	3B	44,74	500,16	455,42	399,94	28,2		
	5B	42,38	497	454,62	359,1	43,5	63,8	
	5C	44,4	295	250,6	181,92	82,2		
	5A	52,53	429,01	376,48	279,75	65,7		
	6C	40,1	500,84	460,74	329,71	59,1	55,4	
	6B	51,81	500,39	448,58	354,71	48,1		
	6A	42,93	500,97	458,04	330,9	59,1		
	7C	44,25	500,93	456,68	356,65	46,2	41,5	
	7A	49,51	500,24	450,73	377,14	37,6		
	7B	39,38	500,37	460,99	366,78	40,8		
		Sumidero 1-1	47,18	502,19	455,01	359,78	45,6	56,9
		Sumidero 1-2	39,47	529,00	489,53	320,07	74,5	
	Sumidero 1-3	51,46	524,87	473,41	365,66	50,7		

	8A	43,68	500,1	456,42	345,54	51,2	
	8B	40,73	500,59	459,86	306,72	72,9	60,9
	8C	52,28	500,78	448,5	334,86	58,7	
	9A	41,46	513,24	471,78	427,38	22,2	
	9B	40,43	404,42	363,99	317,52	31,4	25,2
	9C	53,97	427,24	373,27	360,08	21,9	
	10A	40,93	500,18	459,25	394,67	29,8	
	10B	43,2	496,61	453,41	405,85	25,0	29,0
	10C	50,01	500,77	450,76	391,18	32,1	
	11-A	49,32	519,63	470,31	439,76	20,5	
II	11-B	48,57	534,07	485,5	448,53	21,4	21,6
	11-C	35,95	517,77	481,82	427,44	23,1	
	12-A	52,91	521,63	468,72	427,05	25,3	
	12-B	44,15	558,40	514,25	489,03	15,6	18,1
	12-C	51,58	648,66	597,08	578,45	13,3	
	13-A	43,26	586,72	543,46	410,84	47,8	
	13-B	50,23	548,89	498,66	398,03	43,4	54,4
	13-C	51,98	508,30	456,32	317,17	72,1	
	Sumidero 2-3	38,82	419,58	380,76	339,23	26,7	
	Sumidero 2-2	50,38	437,09	386,71	330,21	38,2	37,5
	Sumidero 2-1	42,11	524,68	482,57	368,83	47,7	
	Sumidero 3-3	43,36	523,66	480,3	401,96	33,9	
	Sumidero 3-2	52,31	517,96	465,65	329,98	67,7	61,8
	Sumidero 3-1	40,95	500,73	459,78	291,33	83,6	

Fuente: Los autores.

Anexo 7. % Humedad mes de marzo.

% HUMEDAD MES DE MARZO								
TRAMO	ID	Peso recipiente vacío (g)	Peso muestra húmeda + recipiente (g)	Peso muestra húmeda (g)	Peso muestra seca + recipiente 106 °C	% Humedad	Promedio % Humedad	
I	1A	51,94	552,72	500,78	380,16	52,6	49,7	
	1B	49,7	551,03	501,33	391,25	46,8		
	2A	49,38	549,51	500,13	346,48	68,3	78,5	
	2B	50,35	551,23	500,88	314,11	89,9		
	2C	48,98	549,11	500,13	331,03	77,3		
	5A	51,59	551,98	500,39	397,93	44,5	46,7	
	5B	50,43	540,92	490,49	379,96	48,8		
	6A	39,66	541,25	501,59	412,04	34,7	36,5	
	6B	42,57	542,7	500,13	413,93	34,7		
	6C	43,3	543,6	500,3	400,56	40,0		
	7A	47,18	547,18	500	378,41	51,0	48,7	
	7B	51,8	552,53	500,73	391,04	47,6		
	7C	48,57	549,19	500,62	388,18	47,4		
		Sumidero 1-1	48,77	496,52	447,75	269,57	102,8	98,1
		Sumidero 1-2	39,57	541,18	501,61	286,8	102,9	
		Sumidero 1-3	39,66	541,25	501,59	305,57	88,6	
	II	8A	38,85	535,8	496,95	363,14	53,2	49,5
8B		39,79	539,95	500,16	366,95	52,9		
8C		51,28	551,61	500,33	402,6	42,4	23,1	
9A		38,66	539,54	500,88	463,68	17,8		
9B		41,68	369,42	327,74	298,46	27,6		
		9C	52,05	553,2	501,15	456,88	23,8	33,0
		10A	38,87	540,67	501,8	414,62	33,5	

10B	48,93	549,38	500,45	421,08	34,5	
10C	51,14	551,54	500,4	432,79	31,1	
11A	49,57	549,58	500,01	417,32	36,0	
11B	50,28	550,73	500,45	424,53	33,7	33,6
11C	45,85	545,92	500,07	427,13	31,2	
12A	52,8	553,51	500,71	461,91	22,4	
12B	44,16	544,83	500,67	447,74	24,1	25,2
12C	48,02	548,06	500,04	435,46	29,1	
13A	43,11	544,43	501,32	432,39	28,8	
13B	43,39	359,6	316,21	293,97	26,2	30,0
13C	50,57	551,26	500,69	421	35,2	
Sumidero 2-1	40,1	243,38	203,28	195,28	31,0	31,0
Sumidero 3-1	51,48	383,87	332,39	262,7	57,4	
Sumidero 3-2	49,73	417,41	367,68	232,35	101,3	90,7
Sumidero 3-3	36,28	532,76	496,48	268,78	113,5	

Fuente: Los autores.

Anexo 8. % Humedad mes de abril.

% HUMEDAD MES DE ABRIL							
TRAMO	ID	Peso recipiente vacío (g)	Peso muestra húmeda + recipiente (g)	Peso muestra húmeda (g)	Peso muestra seca + recipiente 106°C	% Humedad	Promedio % Humedad
I	1A	51,94	552,74	500,8	380,16	52,6	49,5
	1B	49,7	550	500,3	391,25	46,5	
	2A	49,38	549,68	500,3	346,48	68,4	78,5
	2B	50,35	551,15	500,8	314,11	89,9	
	2C	48,98	549,08	500,1	331,03	77,3	48,3
	5A	51,59	552,5	500,91	397,93	44,6	
	5B	50,43	550,94	500,51	379,96	51,9	36,4
	6A	39,66	540,64	500,98	412,04	34,5	
	6B	42,57	542,68	500,11	413,93	34,7	48,7
	6C	43,3	543,55	500,25	400,56	40,0	
	7A	47,18	547,19	500,01	378,41	51,0	47,4
	7B	51,8	552,54	500,74	391,04	47,6	
	7C	48,57	549,26	500,69	388,18	47,4	102,8
	Sumidero 1-1	48,77	496,56	447,79	269,57	102,8	
	Sumidero 1-2	39,57	541,25	501,68	286,8	102,9	98,2
	Sumidero 1-3	39,66	541,51	501,85	305,57	88,7	
II	8A	38,85	540	501,15	363,14	54,5	49,9
	8B	39,79	539,97	500,18	366,95	52,9	
	8C	51,28	551,64	500,36	402,6	42,4	23,1
	9A	38,66	539,65	500,99	463,68	17,9	
	9B	41,68	369,42	327,74	298,46	27,6	33,1
	9C	52,05	553,2	501,15	456,88	23,8	
	10A	38,87	540,67	501,8	414,62	33,5	

10B	48,93	549,81	500,88	421,08	34,6	33,7	
10C	51,14	551,61	500,47	432,79	31,1		
11A	49,57	549,68	500,11	417,32	36,0		
11B	50,28	551,13	500,85	424,53	33,8		
11C	45,85	546,8	500,95	427,13	31,4		
12A	52,8	553,57	500,77	461,91	22,4		25,2
12B	44,16	545,14	500,98	447,74	24,1		
12C	48,02	548,16	500,14	435,46	29,1		
13A	43,11	544,49	501,38	432,39	28,8		30,1
13B	43,39	359,66	316,27	293,97	26,2		
13C	50,57	551,28	500,71	421	35,2		
Sumidero 2-1	40,1	243,46	203,36	195,28	31,0		31,0
Sumidero 3-1	51,48	383,9	332,42	262,7	57,4		90,8
Sumidero 3-2	49,73	417,42	367,69	232,35	101,3		
Sumidero 3-3	36,28	533,07	496,79	268,78	113,7		

Fuente: Los autores.

Anexo 9. Hidrometría mes de Febrero.

HIDRÓMETRO MES FEBRERO

Tramo	Muestra	LECTURA 1		LECTURA 2		Tº (°C) Corr	Dens corr	Tº1 (°C) corr	Dens 1 corr (g/l) 40"	Tº 2 (°C) corr	Dens 2 corr (g/l) 2h	Peso muestra (g)	% Arenas	% Arcillas	% Limos	% Arenas	% Arcillas	% Limos
		Tº 1	Dens 1	Tº2	Dens 2													
I	1A	17,8	37	18,1	15	3,7	2	14,1	35	14,4	13	100,02	34,99	13,00	52,01	28,00	10,67	61,34
	1B	18	20	17,9	10	4	1	14	19	13,9	9	50	38	18	44			
	1C	16,7	12	16,8	2	4,1	1	12,6	11	12,7	1	100	11	1	88			
	2A	17,9	17	17,8	7	3,7	1	14,2	16	14,1	6	50,01	31,99	12,00	56,01			
	2B	17,1	21	17	3	3,9	1	13,2	20	13,1	2	100	20	2	78			
	2C	16,6	17	16,8	7	3,7	1	12,9	16	13,1	6	50	32	12	56			
	3A	17,4	11	17,5	6	3,8	1	13,6	10	13,7	5	100	10	5	85			
	3B	17,2	11	17,2	5	3,7	1	13,5	10	13,5	4	100	10	4	86			
	3C	16,8	7	17	4	3,7	2	13,1	5	13,3	2	88,79	5,63	2,25	92,12			
	5A	17,6	25	17,6	13	3,7	1	13,9	24	13,9	12	50	48	24	28			
	5B	16,7	41	17,1	25	3,8	1	12,9	40	13,3	24	100	40	24	36			
	5C	16,5	14	17,1	4	3,7	1	12,8	13	13,4	3	77,18	16,84	3,89	79,27			
	6A	16,7	25	17	6	3,8	1	12,9	24	13,2	5	100	24	5	71			
	6B	16,9	29	17,4	8	3,9	1	13	28	13,5	7	100	28	7	65			
	6C	17,6	27	17,5	13	3,7	1	13,9	26	13,8	12	100	26	12	62			
	7A	16,8	12	17,1	7	4	1	12,8	11	13,1	6	50	22	12	66			
	7B	17,6	18	17,5	6	3,8	1	13,8	17	13,7	5	100	17	5	78			
	7C	17,8	24	17,3	10	3,7	1	14,1	23	13,6	9	100	23	9	68			
	Sumidero 1-1	17	16	17,1	4	3,7	0	13,3	16	13,4	4	100,15	16,0	4,0	80,0			
Sumidero 1-2	19,9	2	17,5	2	3,7	0	16,2	2	13,8	2	50,08	4,0	4,0	92,0				
Sumidero 1-3	16,8	5	17	4	3,7	0	13,1	5	13,3	4	100,36	5,0	4,0	91,0				
II	8A	17,1	6	17,7	1	3,7	0	13,4	6	14	1	100,22	6,0	1,0	93,0			

8B	16,9	6	17,6	1	3,7	0	13,2	6	13,9	1	100,92	5,9	1,0	93,1			
8C	17,3	8	17,8	2	3,7	0	13,6	8	14,1	2	100,81	7,9	2,0	90,1			
9A	17,2	3	18,1	1	3,7	0	13,5	3	14,4	1	1000,26	0,3	0,1	99,6			
9B	17,2	5	18,1	1	3,7	0	13,5	5	14,4	1	1000,89	0,5	0,1	99,4	0,37	0,10	99,53
9C	17,4	3	18,2	1	3,7	0	13,7	3	14,5	1	1000,25	0,3	0,1	99,6			
10A	17,1	2	18,4	1	3,7	0	13,4	2	14,7	1	50,2	4,0	2,0	94,0			
10B	17,3	2	18,1	1	3,7	0	13,6	2	14,4	1	100,62	2,0	1,0	97,0	2,66	1,33	96,02
10C	17,2	2	18,3	1	3,7	0	13,5	2	14,6	1	100,28	2,0	1,0	97,0			
11A	17,3	12	17,2	5	3,7	0	13,6	12	13,5	5	100,85	11,9	5,0	83,1			
11B	17,3	4	17,2	2	3,7	0	13,6	4	13,5	2	100,24	4,0	2,0	94,0	7,27	3,63	89,10
11C	17,2	3	17,1	2	3,7	0	13,5	3	13,4	2	50,69	5,9	3,9	90,1			
12A	16,9	3	18,1	2	3,7	0	13,2	3	14,4	2	100,08	3,0	2,0	95,0			
12B	17,2	3	17,3	2	3,7	0	13,5	3	13,6	2	100,25	3,0	2,0	95,0	3,32	2,32	94,36
12C	17,1	4	17,2	3	3,7	0	13,4	4	13,5	3	100,9	4,0	3,0	93,1			
13A	16,9	8	17,2	5	3,7	0	13,2	8	13,5	5	50,43	15,9	9,9	74,2			
13B	16,8	12	17,3	3	3,7	0	13,1	12	13,6	3	50,82	23,6	5,9	70,5	15,80	5,93	78,27
13C	17,3	8	17,3	2	3,7	0	13,6	8	13,6	2	100,96	7,9	2,0	90,1			
Sumidero 2-1	17,2	13	17,4	3	3,7	0	13,5	13	13,7	3	100,95	12,9	3,0	84,2			
Sumidero 2-2	17,2	7	17,4	2	3,7	0	13,5	7	13,7	2	50,59	13,8	4,0	82,2	13,24	2,97	83,79
Sumidero 2-3	16,8	13	17	2	3,7	0	13,1	13	13,3	2	100,06	13,0	2,0	85,0			
Sumidero 3-1	16,9	7	17,2	2	3,7	0	13,2	7	13,5	2	50,96	13,7	3,9	82,3			
Sumidero 3-2	17,1	4	17,2	3	3,7	0	13,4	4	13,5	3	50,12	8,0	6,0	86,0	9,90	4,63	85,47
Sumidero 3-3	16,8	8	17,1	4	3,7	0	13,1	8	13,4	4	100,36	8,0	4,0	88,0			

Fuente: Los autores.

Anexo 10. Hidrometría mes de marzo.

HIDRÓMETRO MES MARZO

Tramo	MUESTRA	LECTURA 1		LECTURA 2		Tº (°C) Corr	Dens corr	Tº1 (°C) corr	Dens 1 corr (g/l) 40"	Tº 2 (°C) corr	Dens 2 corr (g/l) 2h	Peso muestra (g)	% Arenas	% Arcillas	% Limos	% Arenas	% Arcillas	% Limos
		Tº 1	Dens1	Tº2	Dens2													
I	1A	16,5	5	17,1	3	3,7	2	12,8	3	13,4	1	100,03	3,0	1,0	96,0	3,99	0,50	95,51
	1B	16,3	6	17	1	4	1	12,3	5	13	0	100,25	5,0	0,0	95,0			
	2A	16,6	11	17,2	1	3,7	1	12,9	10	13,5	0	91	11,0	0,0	89,0			
	2B	17,1	15	17,3	2	3,9	1	13,2	14	13,4	1	100,21	14,0	1,0	85,0			
	2C	16,5	14	16,9	1	3,7	1	12,8	13	13,2	0	97,65	13,3	0,0	86,7			
	5A	16,4	11	16,7	3	3,7	1	12,7	10	13	2	50,41	19,8	4,0	76,2			
	5B	16,1	12	16,9	4	3,8	1	12,3	11	13,1	3	50,03	22,0	6,0	72,0			
	6A	16,5	3	16,8	1	3,8	1	12,7	2	13	0	100,1	2,0	0,0	98,0			
	6B	16,5	7	16,9	1	3,9	1	12,6	6	13	0	100,45	6,0	0,0	94,0			
	6C	16,5	5	16,8	1	3,7	1	12,8	4	13,1	0	100,23	4,0	0,0	96,0			
	7A	16,6	10	17,1	4	4	1	12,6	9	13,1	3	100,25	9,0	3,0	88,0			
	7B	16,8	8	17,2	3	3,8	1	13	7	13,4	2	100,81	6,9	2,0	91,1			
	7C	16,7	4	17	3	3,7	1	13	3	13,3	2	50,33	6,0	4,0	90,1			
	Sumidero 1-1	16,8	3	17,3	2	3,7	0	13,1	3	13,6	2	50,48	5,9	4,0	90,1			
	Sumidero 1-2	16,7	6	17,2	3	3,7	0	13	6	13,5	3	100,69	6,0	3,0	91,1			
Sumidero 1-3	17	3	17,3	2	3,7	0	13,3	3	13,6	2	100,44	3,0	2,0	95,0				
II	8A	16,8	5	17,2	1	3,7	0	13,1	5	13,5	1	100,74	5,0	1,0	94,0	7,63	2,32	90,05
	8B	16,7	6	16,9	2	3,7	0	13	6	13,2	2	50,17	12,0	4,0	84,1			
	8C	16,6	3	17,1	1	3,7	0	12,9	3	13,4	1	50,24	6,0	2,0	92,0			
	9A	16,8	5	17	3	3,7	0	13,1	5	13,3	3	100,42	5,0	3,0	92,0			
	9B	16,4	3	16,8	2	3,7	0	12,7	3	13,1	2	100,01	3,0	2,0	95,0			

9C	16,5	4	17,3	1	3,7	0	12,8	4	13,6	1	100,54	4,0	1,0	95,0			
10A	16,6	3	17,2	1	3,7	0	12,9	3	13,5	1	100,6	3,0	1,0	96,0			
10B	16,5	3	17,1	1	3,7	0	12,8	3	13,4	1	100,03	3,0	1,0	96,0	2,99	1,33	95,69
10C	16,7	3	16,9	2	3,7	0	13	3	13,2	2	100,7	3,0	2,0	95,0			
11A	16,5	2	17,1	1	3,7	0	12,8	2	13,4	1	50,43	4,0	2,0	94,1			
11B	16,6	3	17,2	1	3,7	0	12,9	3	13,5	1	100,2	3,0	1,0	96,0	2,98	1,32	95,69
11C	16,2	2	16,2	1	3,7	0	12,5	2	12,5	1	100,86	2,0	1,0	97,0			
12A	16,5	4	17,1	2	3,7	0	12,8	4	13,4	2	100,81	4,0	2,0	94,0			
12B	16,7	11	17,1	2	3,7	0	13	11	13,4	2	100,05	11,0	2,0	87,0	6,64	1,99	91,37
12C	16,5	5	17	2	3,7	0	12,8	5	13,3	2	100,95	5,0	2,0	93,1			
13A	16,8	6	17,1	3	3,7	0	13,1	6	13,4	3	100,76	6,0	3,0	91,1			
13B	16,7	4	16,9	3	3,7	0	13	4	13,2	3	100,19	4,0	3,0	93,0	6,63	2,98	90,39
13C	16,6	10	17	3	3,7	0	12,9	10	13,3	3	100,6	9,9	3,0	87,1			
Sumidero 2-1	16,6	3	17,3	2	3,7	0	12,9	3	13,6	2	50,51	5,9	4,0	90,1	5,94	3,96	90,10
Sumidero 3-1	16,4	4	16,8	2	3,7	0	12,7	4	13,1	2	50,75	7,9	3,9	88,2			
Sumidero 3-2	16,4	3	17	1	3,7	0	12,7	3	13,3	1	50,14	6,0	2,0	92,0	5,95	2,64	91,40
Sumidero 3-3	16,4	2	17	1	3,7	0	12,7	2	13,3	1	50,02	4,0	2,0	94,0			

Fuente: Los autores.

Anexo 11. Hidrometría mes de abril.

HIDRÓMETRO MES ABRIL

Tramo	MUESTRA	LECTURA 1		LECTURA 2		T° (°C) Corr	Dens corr	T°1 (°C) corr	Dens 1 corr (g/l) 40"	T° 2 (°C) corr	Dens2 corr (g/l) 2h	Peso muestra (g)	% Arenas	% Arcillas	% Limos	% Arenas	% Arcillas	% Limos
		T° 1	Dens1	T°2	Dens2													
I	1A	16,5	7	17,1	3	3,9	1	12,6	6	13,2	2	100,3	6,0	2,0	92,0	4,99	2,00	93,02
	1B	17	4	17	2	3,9	0	13,1	4	13,1	2	100,15	4,0	2,0	94,0			
	2A	16,5	12	17,2	2	3,7	1	12,8	11	13,5	1	100,02	11,0	1,0	88,0			
	2B	16,5	14	17,3	2	4	2	12,5	12	13,3	0	100	12,0	0,0	88,0	12,64	0,66	86,69
	2C	16,5	16	16,9	2	3,8	1	12,7	15	13,1	1	100,5	14,9	1,0	84,1			
	5A	16,4	12	16,7	2	3,6	1	12,8	11	13,1	1	50,41	21,8	2,0	76,2	22,90	2,99	74,11
	5B	16,1	13	16,9	3	3,8	1	12,3	12	13,1	2	50,03	24,0	4,0	72,0			
	6A	16,6	4	16,8	2	3,8	1	12,8	3	13	1	100,1	3,0	1,0	96,0			
	6B	17,1	6	16,9	1	3,9	2	13,2	4	13	-1	100,5	4,0	-1,0	97,0	3,99	0,33	95,68
	6C	16,5	6	16,8	2	3,7	1	12,8	5	13,1	1	100,2	5,0	1,0	94,0			
	7A	16,6	9	17,1	5	4	1	12,6	8	13,1	4	100,2	8,0	4,0	88,0			
	7B	16,8	9	17,2	5	3,8	1	13	8	13,4	4	100,1	8,0	4,0	88,0	7,97	3,99	88,04
	7C	16,7	5	17	3	3,7	1	13	4	13,3	2	50,33	7,9	4,0	88,1			
	Sumidero 1-1	16,8	2	17,3	2	3,7	0	13,1	2	13,6	2	50,83	3,9	3,9	92,1			
	Sumidero 1-2	16,7	7	17,2	4	3,6	1	13,1	6	13,6	3	100,66	6,0	3,0	91,1	4,29	2,97	92,74
Sumidero 1-3	17	3	17,3	2	3,7	0	13,3	3	13,6	2	100,48	3,0	2,0	95,0				
II	8A	16,2	6	17,2	4	3,7	0	12,5	6	13,5	4	100,4	6,0	4,0	90,0			
	8B	16,7	5	16,9	2	3,6	0	13,1	5	13,3	2	50,17	10,0	4,0	86,0	7,96	3,32	88,72
	8C	16,6	4	17,1	1	3,7	0	12,9	4	13,4	1	50,4	7,9	2,0	90,1			
	9A	16,8	5	17	3	3,9	0	12,9	5	13,1	3	100,42	5,0	3,0	92,0	4,66	2,33	93,01
	9B	16,4	5	16,8	2	3,8	0	12,6	5	13	2	100,01	5,0	2,0	93,0			

9C	16,5	4	17,3	2	3,7	0	12,8	4	13,6	2	100,05	4,0	2,0	94,0			
10A	16,6	4	17,2	2	3,7	0	12,9	4	13,5	2	100,6	4,0	2,0	94,0			
10B	16,5	3	17,1	1	3,7	0	12,8	3	13,4	1	100	3,0	1,0	96,0	2,99	1,33	95,69
10C	16,7	3	16,9	2	3,7	1	13	2	13,2	1	100,7	2,0	1,0	97,0			
11A	16,5	4	17,1	3	3,7	0	12,8	4	13,4	3	50,3	8,0	6,0	86,1			
11B	16,6	3	17,2	2	3,8	0	12,8	3	13,4	2	100,2	3,0	2,0	95,0	4,31	2,98	92,71
11C	16,8	2	16,2	1	3,9	0	12,9	2	12,3	1	100,8	2,0	1,0	97,0			
12A	16,5	4	17,1	2	3,7	0	12,8	4	13,4	2	100,12	4,0	2,0	94,0			
12B	16,7	11	17,1	5	4	0	12,7	11	13,1	5	100,05	11,0	5,0	84,0	6,65	2,99	90,35
12C	16,5	5	17	2	3,7	0	12,8	5	13,3	2	100,54	5,0	2,0	93,0			
13A	16,8	6	17,1	3	3,8	0	13	6	13,3	3	100,67	6,0	3,0	91,1			
13B	16,3	5	16,9	2	3,7	1	12,6	4	13,2	1	100,21	4,0	1,0	95,0	6,63	2,65	90,72
13C	16,6	10	17	4	4	0	12,6	10	13	4	100,63	9,9	4,0	86,1			
Sumidero 2-1	16,6	3	17,3	2	3,7	0	12,9	3	13,6	2	50,18	6,0	4,0	90,0	5,98	3,99	90,04
Sumidero 3-1	17	4	16,8	1	3,9	0	13,1	4	12,9	1	50,75	7,9	2,0	90,1			
Sumidero 3-2	16,4	3	17	2	3,7	0	12,7	3	13,3	2	50,14	6,0	4,0	90,0	7,93	3,31	88,77
Sumidero 3-3	17	5	17	2	3,8	0	13,2	5	13,2	2	50,45	9,9	4,0	86,1			

Fuente: Los autores.

Anexo 12. Sólidos volátiles mes de febrero.

SÓLIDOS VOLÁTILES MES FEBRERO

Tramo	Muestra	Peso Del Crisol (G)	Peso Crisol + Muestra (G)	Peso Muestra (G)	Peso De La Muestra Después De La Mufla +Recipiente (G)	Peso De La Muestra Después De Mufla (G)	Sv	Promedio Sv	
I	1A	38,4	58,4	20	54,9	16,5	0,175	0,13733	
	1B	41,19	61,19	20	59,44	18,25	0,0875		
	1C	41,46	61,46	20	58,47	17,01	0,1495		
	2A	42,53	62,53	20	60,98	18,45	0,0775	0,06433	
	2B	42,98	62,98	20	61,68	18,7	0,065		
	2C	40,44	60,44	20	59,43	18,99	0,0505		
	3A	39,05	59,05	20	58,64	19,59	0,0205	0,02850	
	3B	40,18	60,18	20	59,67	19,49	0,0255		
	3C	41,33	61,33	20	60,54	19,21	0,0395		
	5A	19,58	39,58	20	38,24	18,66	0,067	0,07217	
	5B	17,49	37,49	20	35,41	17,92	0,104		
	5C	27,69	47,69	20	46,78	19,09	0,0455		
	6A	43,56	63,56	20	61,75	18,19	0,0905	0,07600	
	6B	41,12	61,12	20	59,75	18,63	0,0685		
	6C	38,64	58,64	20	57,26	18,62	0,069		
	7A	15,97	35,97	20	34,89	18,92	0,054	0,05500	
	7B	35,76	55,76	20	54,78	19,02	0,049		
	7C	21,68	41,68	20	40,44	18,76	0,062		
	Sumidero	1-1	42,27	63,18	20,91	61,99	19,72	0,0569	0,06260
	Sumidero	1-2	35,88	55,95	20,07	55,35	19,47	0,0299	
	Sumidero	1-3	40,43	60,63	20,2	58,59	18,16	0,1010	

II	8A	42,98	63,81	20,83	62,32	19,34	0,0715	
	8B	41,18	61,42	20,24	60,9	19,72	0,0257	0,05531
	8C	40,17	60,69	20,52	59,28	19,11	0,0687	
	9A	40,43	61,06	20,63	59,33	18,9	0,0839	
	9B	41,45	62,28	20,83	59,39	17,94	0,1387	0,11173
	9C	38,39	58,55	20,16	56,28	17,89	0,1126	
	10A	42,52	62,83	20,31	61,07	18,55	0,0867	
	10B	39,03	59,19	20,16	56,48	17,45	0,1344	0,08116
	10C	35,87	55,96	20,09	55,51	19,64	0,0224	
	11A	42,52	62,61	20,09	60,93	18,41	0,0836	
	11B	41,1	61,42	20,32	60,28	19,18	0,0561	0,07870
	11C	39,02	59,77	20,75	57,77	18,75	0,0964	
	12A	17,48	37,9	20,42	37,21	19,73	0,0338	
	12B	40,18	60,25	20,07	53,47	13,29	0,3378	0,13509
	12C	35,66	56,45	20,79	55,75	20,09	0,0337	
	13A	38,39	59,1	20,71	56,46	18,07	0,1275	
	13B	43,31	64,01	20,7	61,95	18,64	0,0995	0,12331
	13C	37,9	58,82	20,92	55,83	17,93	0,1429	
	Sumidero							
	2-1	21,68	42,37	20,69	40,4	18,72	0,0952	
	Sumidero							
	2-2	38,21	58,87	20,66	56,29	18,08	0,1249	0,10995
	Sumidero							
	2-3	41,19	61,6	20,41	59,36	18,17	0,1098	
	Sumidero							
	3-1	42,99	63,34	20,35	62,16	19,17	0,0580	
	Sumidero							
3-2	35,76	56,66	20,9	55,83	20,07	0,0397	0,05176	
Sumidero								
3-3	40,18	60,5	20,32	59,33	19,15	0,0576		

Fuente: Los autores.

Anexo 13. Sólidos volátiles mes de marzo.

SÓLIDOS VOLÁTILES MES MARZO

Tramo	Muestra	Peso Del Crisol (G)	Peso Crisol + Muestra (G)	Peso Muestra (G)	Peso De La Muestra Después De La Mufla +Recipiente (G)	Peso De La Muestra Después De Mufla (G)	Sv	Promedio Sv	
I	1A	19,61	40,35	20,74	38,36	18,75	0,0959	0,08105	
	1B	62,62	83,48	20,86	82,1	19,48	0,0662		
	2A	54,22	74,63	20,41	73,62	19,4	0,0495	0,04640	
	2B	20,56	40,83	20,27	40,56	20	0,0133		
	2C	43,31	63,34	20,03	61,81	18,5	0,0764		
	5A	27,68	48,09	20,41	47,22	19,54	0,0426	0,04508	
	5B	41,11	61,31	20,2	60,35	19,24	0,0475		
	6A	21,68	42,39	20,71	39,48	17,8	0,1405	0,08784	
	6B	19,58	40,47	20,89	39,21	19,63	0,0603		
	6C	35,65	56,23	20,58	54,94	19,29	0,0627		
	7A	43,31	63,31	20	57,7	14,39	0,2805	0,13045	
	7B	27,68	48,5	20,82	47,32	19,64	0,0567		
	7C	35,66	55,78	20,12	54,69	19,03	0,0542		
		Sumidero 1-1	15,97	36,63	20,66	35,78	19,81	0,0411	0,10738
		Sumidero 1-2	42,27	63,04	20,77	61,86	19,59	0,0568	
		Sumidero 1-3	17,49	37,74	20,25	33,2	15,71	0,2242	
II	8A	19,58	40,34	20,76	39,25	19,67	0,0525	0,06993	
	8B	38,21	58,34	20,13	56,94	18,73	0,0695		
	8C	35,87	56,73	20,86	54,9	19,03	0,0877	0,03592	
	9A	37,9	58,75	20,85	58,02	20,12	0,0350		

9B	35,66	48,23	12,57	47,68	12,02	0,0438	
9C	21,68	42,37	20,69	41,77	20,09	0,0290	
10A	54,24	74,79	20,55	73,42	19,18	0,0667	
10B	38,64	59,3	20,66	58,02	19,38	0,0620	0,05399
10C	35,87	56,57	20,7	55,88	20,01	0,0333	
11A	43,32	64,25	20,93	63,86	20,54	0,0186	
11B	3,16	24,09	20,93	20,56	17,4	0,1687	0,06854
11C	43,56	64,3	20,74	63,92	20,36	0,0183	
12A	38,22	58,23	20,01	57,38	19,16	0,0425	
12B	37,9	58,42	20,52	57,98	20,08	0,0214	0,03407
12C	35,77	56,67	20,9	55,87	20,1	0,0383	
13A	42,25	62,35	20,1	61,93	19,68	0,0209	
13B	41,11	61,75	20,64	61,21	20,1	0,0262	0,02858
13C	35,77	56,2	20,43	55,41	19,64	0,0387	
Sumidero 2-1	41,1	61,35	20,25	59,38	18,28	0,0973	0,09728
Sumidero 3-1	17,48	37,61	20,13	36,23	18,75	0,0686	
Sumidero 3-2	21,68	42,39	20,71	39,62	17,94	0,1338	0,07827
Sumidero 3-3	27,67	47,98	20,31	47,32	19,65	0,0325	

Fuente: Los autores.

Anexo 14. Sólidos volátiles mes de abril.

SÓLIDOS VOLÁTILES MES ABRIL

Tramo	Muestra	Peso Del Crisol (G)	Peso Crisol + Muestra (G)	Peso Muestra (G)	Peso De La Muestra Después De La Mufla +Recipiente (G)	Peso De La Muestra Después De Mufla (G)	Sv	Promedio Sv
I	1A	19,61	40,01	20,4	37,36	17,75	0,1299	0,06788
	1B	62,62	83,12	20,5	83	20,38	0,0059	
	2A	54,22	74,62	20,4	70,62	16,4	0,1961	0,12721
	2B	20,56	40,66	20,1	40,2	19,64	0,0229	
	2C	43,31	64,21	20,9	60,81	17,5	0,1627	
	5A	27,68	48,09	20,41	47,22	19,54	0,0426	0,04508
	5B	41,11	61,31	20,2	60,35	19,24	0,0475	
	6A	21,68	41,78	20,1	39,48	17,8	0,1144	0,08260
	6B	19,58	40,48	20,9	39,21	19,63	0,0608	
	6C	35,65	56,45	20,8	54,94	19,29	0,0726	
	7A	43,31	63,81	20,5	57,7	14,39	0,2980	0,13725
	7B	27,68	48,48	20,8	47,32	19,64	0,0558	
	7C	35,66	55,86	20,2	54,69	19,03	0,0579	
		Sumidero 1-1	15,97	36,63	20,66	35,78	19,81	0,0411
	Sumidero 1-2	42,27	62,97	20,7	61,86	19,59	0,0536	
	Sumidero 1-3	17,49	37,99	20,5	34,2	16,71	0,1849	
II	8A	19,58	40,18	20,6	39,25	19,67	0,0451	0,06623
	8B	38,21	58,51	20,3	56,94	18,73	0,0773	
	8C	35,87	56,47	20,6	54,9	19,03	0,0762	0,17492
	9A	37,9	58,4	20,5	58,02	20,12	0,0185	

9B	35,66	55,63	19,97	47,9	12,24	0,3871	
9C	21,68	42,58	20,9	40,09	18,41	0,1191	
10A	54,24	74,74	20,5	72,92	18,68	0,0888	
10B	38,64	59,24	20,6	58,2	19,56	0,0505	0,08765
10C	35,87	56,57	20,7	54,01	18,14	0,1237	
11A	43,32	64,25	20,93	62,8	19,48	0,0693	
11B	3,16	23,46	20,3	20,56	17,4	0,1429	0,08705
11C	43,56	63,96	20,4	62,96	19,4	0,0490	
12A	38,22	58,23	20,01	56,38	18,16	0,0925	
12B	37,9	58,4	20,5	57,98	20,08	0,0205	0,04993
12C	34,87	55,77	20,9	55	20,13	0,0368	
13A	42,25	62,35	20,1	61,9	19,65	0,0224	
13B	41,11	61,95	20,84	61,1	19,99	0,0408	0,03411
13C	35,77	56,2	20,43	55,4	19,63	0,0392	
Sumidero 2-1	41,1	61,35	20,25	59,38	18,28	0,0973	0,09728
Sumidero 3-1	17,48	37,61	20,13	36,23	18,75	0,0686	
Sumidero 3-2	21,68	41,79	20,11	39,93	18,25	0,0925	0,06479
Sumidero 3-3	27,67	47,77	20,1	47,1	19,43	0,0333	

Fuente: Los autores.

Anexo 15. Porcentaje de compuestos mes de febrero.

Tramo	Muestras	Compuestos (%) mes de febrero																							
		SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	SO3	P2O3	TiO2	K2O	RuO2	ZnO	CuO	CrO	SrO	MnO2	V2O5	Ni2O3	Pb3O4	Ac2O3	Au2O3	GeO	Rb2O	Y2O3	Sm2O3	ZrO2
I	Pozo1	63,4	7,9	12,0	8,1	3,5	2,9	2,0	2,0	1,9	0,7	0,31	0,15	0,12	0,09	0,07	0,07	0,09	0,06	0,04	NA	NA	NA	NA	NA
	Pozo2	42,1	8,6	9,2	34,0	1,9	NA	3,1	1,2	1,2	0,2	0,07	NA	0,16	0,09	0,08	NA	NA	NA	0,03	NA	NA	NA	NA	NA
	Pozo3	71,4	10,4	4,3	4,0	3,9	1,6	1,4	1,7	1,0	0,1	0,04	NA	0,04	NA	0,05	NA	NA	NA	NA	0,02	NA	NA	NA	NA
	Pozo5	65,5	11,8	8,2	7,1	1,7	1,4	1,2	1,9	1,0	0,2	0,07	NA	0,08	0,08	0,06	NA	0,08	0,02	0,03	NA	0,02	0,02	NA	NA
	Pozo6	59,7	10,1	8,0	12,8	1,8	2,5	1,5	1,7	1,2	0,3	0,09	NA	0,10	0,07	0,05	NA	0,08	0,06	0,04	NA	NA	0,02	NA	NA
	Pozo7	68,2	10,8	6,3	7,8	1,4	1,4	1,1	1,7	0,6	0,1	0,04	NA	0,08	0,06	0,04	NA	NA	NA	0,02	NA	NA	NA	0,17	NA
	SUM1	60,1	8,4	8,1	12,3	3,4	2,4	1,5	1,8	1,2	0,3	0,07	NA	0,12	0,10	0,05	NA	0,07	0,04	0,02	NA	NA	NA	NA	0,13
	Pozo9	70,6	9,4	5,4	6,6	2,7	1,6	1,1	1,5	0,9	0,1	0,05	NA	0,06	0,06	0,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Pozo10	74,8	6,5	3,6	7,0	2,9	1,6	1,1	1,1	0,9	0,1	0,04	NA	0,05	0,06	NA	NA	NA	NA	0,03	NA	NA	NA	NA	0,19
	Pozo11	81,9	5,0	2,5	2,9	4,3	1,3	0,7	0,6	0,9	0,1	0,03	NA	0,03	0,08	0,03	NA	NA	NA	0,03	0,02	NA	NA	0,22	NA
II	Pozo12	68,6	9,2	5,1	6,9	4,5	2,0	0,9	1,5	1,0	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	NA	NA	NA	NA	0,02	NA	NA	NA	NA
	Pozo13	68,1	11,8	6,5	5,5	2,2	1,7	1,2	1,7	0,9	0,2	0,06	NA	NA	0,05	0,06	NA	0,09	NA	0,03	NA	NA	NA	NA	NA
	SUM2	62,5	9,8	7,7	10,8	1,7	2,6	1,2	2,1	1,0	0,3	0,07	NA	0,11	0,10	0,04	NA	0,04	0,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	SUM3	51,8	10,1	13,5	13,0	3,5	2,6	1,9	2,4	3,2	0,6	0,17	0,05	0,23	0,14	0,11	NA	NA	NA	0,03	NA	NA	NA	NA	NA

Fuente: Los autores.

Anexo 16. Porcentaje de compuestos mes de marzo.

Tramo	Muestras	Compuestos (%) mes de marzo																									
		SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	SO3	P2O3	TiO2	K2O	RuO2	ZnO	CuO	CrO	SrO	MnO2	V2O5	Ni2O3	Pb3O4	Ac2O3	Au2O3	GeO	Y2O3	Cs2O	PoO2	Eu2O3	BaO	
I	Pozo1	65,6	8,7	6,7	10,5	2,1	2,3	1,4	1,5	1,0	0,2	0,15	0,05	0,08	NA	0,04	NA	0,04	0,01	0,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Pozo2	33,8	9,2	7,7	43,8	2,6	NA	0,9	1,1	0,6	0,1	0,04	0,03	0,10	NA	0,03	NA	NA	NA	NA	NA	0,01	NA	NA	NA	NA	NA
	Pozo5	69,3	12,5	6,2	5,7	1,3	1,2	1,3	1,8	0,8	0,1	0,05	NA	0,07	NA	0,05	NA	0,02	0,03	0,02	NA	0,01	NA	NA	NA	NA	NA
	Pozo6	58,8	10,5	6,5	16,3	2,3	2,5	1,2	1,4	0,9	0,2	0,06	NA	NA	NA	0,05	NA	0,06	NA	0,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Pozo7	65,9	11,7	6,9	8,6	1,3	1,8	1,2	2,0	0,9	0,2	0,05	NA	0,08	NA	0,05	NA	0,04	0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	SUM1	61,4	10,6	7,7	11,5	2,7	2,3	1,3	1,7	0,8	0,3	0,06	0,04	0,10	NA	0,05	NA	0,09	0,05	0,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Pozo8	72,0	9,1	5,5	5,5	2,3	1,6	1,1	1,4	1,0	0,2	0,05	NA	0,06	NA	0,06	NA	0,04	0,01	0,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Pozo9	69,4	9,8	6,0	7,2	3,1	1,5	1,1	1,5	0,9	0,1	0,05	NA	0,06	NA	0,04	NA	0,05	0,02	0,02	0,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Pozo10	75,7	7,8	3,5	5,9	2,5	1,7	0,8	1,2	0,9	0,1	0,04	NA	0,06	NA	0,04	NA	NA	NA	0,03	NA	NA	0,13	NA	NA	NA	NA
	Pozo11	82,9	5,1	2,0	2,8	3,7	1,2	0,7	0,8	0,9	0,1	0,03	NA	0,03	NA	0,03	NA	NA	NA	0,04	NA	NA	NA	0,04	0,25	NA	NA
	II	Pozo12	72,7	8,5	4,6	5,2	3,7	1,6	0,9	1,4	1,0	0,1	0,06	NA	0,03	NA	NA	0,03	NA	NA	0,03	0,05	NA	0,29	NA	NA	NA
Pozo13		68,0	12,0	6,2	6,0	2,5	1,7	1,2	1,6	0,9	0,1	0,07	0,05	NA	0,04	NA	0,06	NA	0,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
SUM2		60,4	9,3	8,0	12,7	1,6	2,8	1,3	2,1	1,0	0,3	0,08	NA	0,10	0,11	0,04	NA	NA	0,05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	SUM3	56,6	11,0	9,8	12,5	2,5	2,4	1,2	1,8	0,9	0,3	0,13	NA	0,13	NA	0,10	NA	0,04	0,06	0,03	NA	0,02	NA	NA	NA	1,07	

Fuente: Los autores.

Anexo 17. Porcentaje de compuestos mes de abril.

Tramo	Muestras	Compuestos (%) mes de abril																											
		SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	SO3	P2O3	TiO2	K2O	RuO2	ZnO	CuO	CrO	SrO	MnO2	V2O5	Pb3O4	Ac2O3	Au2O3	GeO	Rb2O	Y2O3	Sm2O3	Ta2O5	Lu2O3	Cs2O	BaO		
I	Pozo1	65,7	9,6	6,7	9,4	2,1	2,4	1,4	1,6	1,0	0,25	0,14	0,06	0,08	0,06	0,04	0,05	0,01	0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	Pozo2	34,0	9,2	7,7	43,7	2,6	NA	0,9	1,1	0,5	0,11	0,04	NA	0,11	0,10	0,03	NA	NA	0,01	NA	NA	0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	Pozo5	66,7	12,8	6,6	6,9	1,5	1,2	1,3	1,8	0,8	0,10	0,05	NA	0,06	0,06	0,04	NA	0,04	0,02	NA	0,02	0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	Pozo6	60,6	9,1	6,6	15,6	1,9	2,7	1,2	1,4	1,0	0,17	0,08	NA	0,07	0,06	0,06	0,05	0,01	NA	0,02	NA	0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	Pozo7	63,3	12,7	7,0	8,6	1,3	1,8	1,1	2,0	0,8	0,17	0,05	NA	0,08	0,06	0,04	0,04	0,04	0,02	NA	0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	SUM1	61,1	10,4	7,4	11,3	2,7	2,2	1,3	1,7	0,9	0,20	0,06	NA	0,10	0,10	0,05	NA	0,05	0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Pozo8	70,5	9,8	5,8	5,7	2,3	1,8	1,2	1,6	1,0	0,21	0,05	NA	0,06	0,07	0,04	0,07	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	Pozo9	68,3	10,2	5,6	7,3	3,2	1,6	0,9	1,6	0,9	0,12	0,05	NA	0,06	0,04	0,03	0,05	NA	0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	Pozo10	77,3	6,7	3,4	5,8	2,7	1,3	0,8	1,1	0,9	0,11	0,03	NA	0,04	NA	0,03	NA	NA	0,03	0,02	NA	NA	0,18	NA	NA	NA	NA	NA	
	Pozo11	79,7	6,0	3,0	4,1	3,4	1,0	1,0	0,8	1,0	0,09	0,03	NA	0,04	0,06	NA	NA	NA	0,04	NA	NA	NA	NA	0,10	NA	NA	NA	NA	
II	Pozo12	74,6	8,2	4,5	4,9	3,7	1,6	0,9	1,4	1,0	0,10	0,05	NA	0,05	0,05	0,03	NA	NA	0,03	NA	NA	NA	NA	NA	0,05	0,28	NA		
	Pozo13	69,1	10,7	5,8	5,8	3,3	1,4	1,2	1,6	0,9	0,14	0,53	NA	0,05	0,05	0,04	NA	NA	0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	SUM2	66,0	10,3	6,9	8,4	1,8	2,1	1,0	2,0	0,9	0,25	0,07	NA	0,09	0,10	0,04	0,04	NA	NA	NA	0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	SUM3	56,4	11,2	10,2	12,0	2,7	2,3	1,3	1,7	1,3	0,35	0,13	0,05	0,13	0,07	0,11	NA	0,07	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1,08	

Fuente: Los autores.

Anexo 18. Promedio de % de compuestos.

LUGAR	%ARCILLAS	%SiO₂	%Al₂O₃	%Fe₂O₃	%CaO	%SO₃
Pozo 1	10,6658002	63,391	7,874	11,967	8,114	3,543333
Pozo 2	8,66586683	42,07033	8,608	9,195667	34,01167	1,864333
Pozo 3	3,7508353	71,41933	10,39533	4,310333	4,041	3,896667
Pozo 5	17,2956725	65,46567	11,792	8,190667	7,103	1,674667
Pozo 6	8	59,67333	10,135	8,028667	12,78733	1,787
Pozo 7	8,66666667	68,241	10,82267	6,258	7,810667	1,365
Sumidero 1	1,32420629	60,14633	8,39	8,059	12,28533	3,419
Pozo 8	0,09995336	71,77167	9,247	5,367667	5,798333	1,906333
Pozo 9	1,32769263	70,632	9,354667	5,354	6,556	2,714667
Pozo 10	3,6328737	74,773	6,546333	3,589667	6,997	2,919333
Pozo 11	2,32221819	81,915	4,963667	2,509667	2,912667	4,254667
Pozo 12	5,93296786	68,64167	9,18	5,124667	6,881333	4,548
Pozo 13	4,63197764	68,05833	11,83967	6,485	5,481667	2,216
Sumidero 2	2,9746398	62,49533	9,777667	7,729	10,76267	1,744
Sumidero 3	3,99109029	51,815	10,1225	13,53233	12,99167	3,497
Pozo 1	0,49985005	65,6095	8,6945	6,7095	10,482	2,13
Pozo 2	0,3326348	33,78867	9,242	7,687	43,763	2,600333
Pozo 5	4,98193447	69,2655	12,5275	6,216	5,714	1,33
Pozo 6	0	58,82767	10,53667	6,477667	16,26633	2,303667
Pozo 7	2,98340732	65,85867	11,66767	6,889	8,627	1,300667
Sumidero 1	2,3231821	61,411	10,57733	7,696667	11,525	2,653667
Pozo 8	1,99396057	71,97867	9,099	5,499333	5,525333	2,315333
Pozo 9	1,32661107	69,38067	9,800333	5,951	7,180667	3,085333
Pozo 10	1,32414133	75,7068	7,760667	3,529	5,913333	2,539333
Pozo 11	1,98803649	82,86833	5,087667	2,002	2,808	3,674667
Pozo 12	2,98459671	72,746	8,469333	4,642	5,209667	3,717333
Pozo 13	2,64483422	67,98933	11,98233	6,226667	6,022667	2,53
Sumidero 2	3,95961196	60,396	9,332	8,035	12,704	1,618
Sumidero 3	2,97754851	56,63467	10,97133	9,822333	12,466	2,526333
Pozo 1	1,99551122	65,737	9,555	6,658	9,361	2,138
Pozo 2	0,66494164	33,95233	9,235	7,662	43,65433	2,619333
Pozo 5	2,99066741	66,6675	12,8395	6,6445	6,87	1,458
Pozo 6	0,33399337	60,63533	9,131333	6,563333	15,63367	1,87
Pozo 7	3,98726435	63,28733	12,654	6,96	8,649667	1,324333
Sumidero 1	3,31821227	61,08633	10,359	7,359	11,2795	2,738333
Pozo 8	2,32875107	70,483	9,775	5,774667	5,702	2,310333
Pozo 9	1,32704008	68,33667	10,201	5,626667	7,281333	3,236333

Pozo 10	2,9840954	77,304	6,689333	3,403667	5,817333	2,726667
Pozo 11	2,99478738	79,666	6,023333	3,029333	4,118	3,422333
Pozo 12	2,65096531	74,574	8,151	4,497	4,949333	3,658333
Pozo 13	3,30786524	69,13	10,66867	5,751667	5,825	3,252667
Sumidero 2	3,98565165	65,961	10,289	6,854	8,403	1,834
Sumidero 3	2,96848664	56,35533	11,21867	10,22633	12,00167	2,727333

Fuente: Los autores.

ANEXO C. Información localidad de Puente Aranda

Anexo 19. Actividades económicas presentes en la zona de muestreo.

Código CIIU	ACTIVIDAD ECONÓMICA	# DE EMPRESAS
C10	Elaboración de productos alimenticios	13
C13	Fabricación de productos textiles	38
C20	Fabricación de sustancias y productos químicos	20
C22	Fabricación de productos de caucho y de plástico	4
C16	Transformación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de cestería y espartería	7
C18	Actividades de impresión y de producción de copias a partir de grabaciones originales	24
C21	Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico	2
C23	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	7
C24	Fabricación de productos metalúrgicos básicos	1
C25	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo	7
C27	Fabricación de aparatos y equipo eléctrico	6
C28	Fabricación de maquinaria y equipo n.c.p.	9
C31	Fabricación de muebles, colchones y somieres	1
C32	Otras industrias manufactureras	1
E38	Recolección, tratamiento y disposición de desechos, recuperación de materiales	1
G45	Comercio, mantenimiento y reparación de vehículos automotores y motocicletas, sus partes, piezas y accesorios	7
I56	Actividades de servicios de comidas y bebidas	10
P85	Educación	2
C11	Elaboración de bebidas	1

Fuente: Los autores basada en información de la alcaldía local de Puente Aranda y la CCB.

ANEXO D. Resultados estadísticos

Anexo 20. Datos usados en el programa RStudio.

Lugar	Uso	Precipitación	% Arcillas	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% CaO	% SO ₃	% P ₂ O ₃	% TiO ₂	% K ₂ O	% RuO ₂	% ZnO
Pozo 1	Residencial	Baja	10,67	63,39	7,87	11,97	8,11	3,54	2,95	1,97	1,97	1,89	0,68
Pozo 2	Residencial	Baja	8,67	42,07	8,61	9,20	34,01	1,86	0,00	3,14	1,23	1,18	0,22
Pozo 3	Comercial/Residencial	Baja	3,75	71,42	10,40	4,31	4,04	3,90	1,62	1,42	1,68	0,98	0,10
Pozo 5	Comercial/Residencial	Baja	17,30	65,47	11,79	8,19	7,10	1,67	1,42	1,23	1,92	0,98	0,17
Pozo 6	Comercial/Residencial	Baja	8,00	59,67	10,14	8,03	12,79	1,79	2,53	1,54	1,66	1,17	0,30
Pozo 7	Residencial/Industrial	Baja	8,67	68,24	10,82	6,26	7,81	1,37	1,40	1,13	1,74	0,63	0,12
Sumidero 1	Residencial/Industrial	Baja	1,32	60,15	8,39	8,06	12,29	3,42	2,37	1,52	1,83	1,17	0,35
Pozo 8	Comercial/Residencial	Baja	0,10	71,77	9,25	5,37	5,80	1,91	1,91	1,14	1,46	0,93	0,20
Pozo 9	Comercial/Residencial	Baja	1,33	70,63	9,35	5,35	6,56	2,71	1,63	1,06	1,51	0,91	0,12
Pozo 10	Comercial/Residencial	Baja	3,63	74,77	6,55	3,59	7,00	2,92	1,59	1,14	1,12	0,93	0,11
Pozo 11	Comercial/Residencial	Baja	2,32	81,92	4,96	2,51	2,91	4,25	1,32	0,74	0,57	0,92	0,10
Pozo 12	Comercial/Residencial	Baja	5,93	68,64	9,18	5,12	6,88	4,55	1,99	0,86	1,47	1,01	0,11
Pozo 13	Comercial/Residencial	Baja	4,63	68,06	11,84	6,49	5,48	2,22	1,66	1,25	1,73	0,86	0,18
Sumidero 2	Comercial/Residencial	Baja	2,97	62,50	9,78	7,73	10,76	1,74	2,56	1,25	2,06	0,97	0,31
Sumidero 3	Comercial/Residencial	Baja	3,99	51,82	10,12	13,53	12,99	3,50	2,56	1,85	2,42	3,22	0,62
Pozo 1	Residencial	Alta	0,50	65,61	8,69	6,71	10,48	2,13	2,35	1,39	1,52	1,03	0,23
Pozo 2	Residencial	Alta	0,33	33,79	9,24	7,69	43,76	2,60	0,00	0,95	1,10	0,55	0,09
Pozo 5	Comercial/Residencial	Alta	4,98	69,27	12,53	6,22	5,71	1,33	1,16	1,27	1,75	0,83	0,10
Pozo 6	Comercial/Residencial	Alta	0,00	58,83	10,54	6,48	16,27	2,30	2,54	1,21	1,38	0,93	0,19
Pozo 7	Residencial/Industrial	Alta	2,98	65,86	11,67	6,89	8,63	1,30	1,78	1,16	1,95	0,90	0,17
Sumidero 1	Residencial/Industrial	Alta	2,32	61,41	10,58	7,70	11,53	2,65	2,34	1,29	1,74	0,84	0,29
Pozo 8	Comercial/Residencial	Alta	1,99	71,98	9,10	5,50	5,53	2,32	1,65	1,13	1,43	0,96	0,19
Pozo 9	Comercial/Residencial	Alta	1,33	69,38	9,80	5,95	7,18	3,09	1,53	1,08	1,53	0,90	0,12

Pozo 10	Comercial/Residencial	Alta	1,32	75,71	7,76	3,53	5,91	2,54	1,65	0,79	1,18	0,94	0,14
Pozo 11	Comercial/Residencial	Alta	1,99	82,87	5,09	2,00	2,81	3,67	1,24	0,69	0,76	0,89	0,08
Pozo 12	Comercial/Residencial	Alta	2,98	72,75	8,47	4,64	5,21	3,72	1,55	0,92	1,42	0,97	0,11
Pozo 13	Comercial/Residencial	Alta	2,64	67,99	11,98	6,23	6,02	2,53	1,68	1,21	1,64	0,91	0,15
Sumidero 2	Comercial/Residencial	Alta	3,96	60,40	9,33	8,04	12,70	1,62	2,80	1,26	2,13	1,02	0,34
Sumidero 3	Comercial/Residencial	Alta	2,98	56,63	10,97	9,82	12,47	2,53	2,40	1,23	1,85	0,87	0,34
Pozo 1	Residencial	Media	2,00	65,74	9,56	6,66	9,36	2,14	2,37	1,40	1,61	0,99	0,25
Pozo 2	Residencial	Media	0,66	33,95	9,24	7,66	43,65	2,62	0,00	0,92	1,10	0,54	0,11
Pozo 5	Comercial/Residencial	Media	2,99	66,67	12,84	6,64	6,87	1,46	1,23	1,29	1,79	0,81	0,10
Pozo 6	Comercial/Residencial	Media	0,33	60,64	9,13	6,56	15,63	1,87	2,71	1,24	1,43	1,05	0,17
Pozo 7	Residencial/Industrial	Media	3,99	63,29	12,65	6,96	8,65	1,32	1,77	1,10	2,00	0,85	0,17
Sumidero 1	Residencial/Industrial	Media	3,32	61,09	10,36	7,36	11,28	2,74	2,23	1,34	1,72	0,88	0,20
Pozo 8	Comercial/Residencial	Media	2,33	70,48	9,78	5,77	5,70	2,31	1,77	1,19	1,60	0,97	0,21
Pozo 9	Comercial/Residencial	Media	1,33	68,34	10,20	5,63	7,28	3,24	1,58	0,92	1,61	0,88	0,12
Pozo 10	Comercial/Residencial	Media	2,98	77,30	6,69	3,40	5,82	2,73	1,32	0,82	1,09	0,88	0,11
Pozo 11	Comercial/Residencial	Media	2,99	79,67	6,02	3,03	4,12	3,42	0,98	1,02	0,84	1,00	0,09
Pozo 12	Comercial/Residencial	Media	2,65	74,57	8,15	4,50	4,95	3,66	1,61	0,90	1,38	0,97	0,10
Pozo 13	Comercial/Residencial	Media	3,31	69,13	10,67	5,75	5,83	3,25	1,43	1,19	1,56	0,90	0,14
Sumidero 2	Comercial/Residencial	Media	3,99	65,96	10,29	6,85	8,40	1,83	2,09	1,03	2,00	0,94	0,25
Sumidero 3	Comercial/Residencial	Media	2,97	56,36	11,22	10,23	12,00	2,73	2,27	1,31	1,67	1,30	0,35

Fuente: Los autores.

Anexo 21. Prueba de Kruskal- Wallis.

Análisis de varianza Kruskal Al_2O_3 .

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LUGAR	14	5751.3	410.81	145.396	7.039e-09 ***
PRECIPITACIÓN	2	136.0	68.02	24.075	0.1098
Residuals	26	734.6	28.25		

Fuente: Los autores.

Análisis de varianza Kruskal CaO .

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LUGAR	14	6266.7	447.62	333.470	4.92e-13 ***
PRECIPITACIÓN	2	6.3	3.17	0.2359	0.7915
Residuals	26	349.0	13.42		

Fuente: Los autores.

Análisis de varianza Kruskal SO_3 .

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LUGAR	14	5693.3	406.67	120.067	5.477e-08 ***
PRECIPITACIÓN	2	48.0	24.02	0.7093	0.5013
Residuals	26	880.6	33.87		

Fuente: Los autores.

Análisis de varianza Kruskal P_2O_3 .

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LUGAR	14	5901.3	421.52	185.966	4.562e-10 ***
PRECIPITACIÓN	2	129.3	64.67	28.529	0.07583
Residuals	26	589.3	22.67		

Fuente: Los autores.

Análisis de varianza Kruskal TiO_2 .

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LUGAR	14	5003.8	357.42	74.160	6.61e-06 ***
PRECIPITACIÓN	2	364.6	182.29	37.823	0.03616 *
Residuals	26	1253.1	48.20		

Fuente: Los autores.

Análisis de varianza Kruskal K₂O.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LUGAR	14	5922.0	423.00	192.577	3.07e-10 ***
PRECIPITACIÓN	2	128.9	64.45	29.343	0.07095
Residuals	26	571.1	21.97		

Fuente: Los autores.

Análisis de varianza Kruskal RuO₂.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LUGAR	14	3016.0	215.43	19.401	0.06978
PRECIPITACIÓN	2	718.9	359.45	32.371	0.05555
Residuals	26	2887.1	111.04		

Fuente: Los autores.

Análisis de varianza Kruskal ZnO.

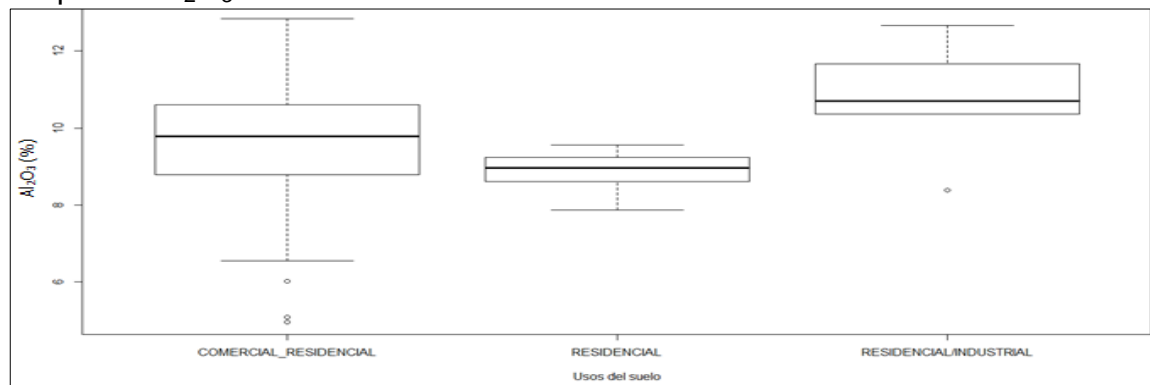
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LUGAR	14	5578.3	398.45	132.913	1.859e-08 ***
PRECIPITACIÓN	2	263.7	131.86	43.986	0.02262 *
Residuals	26	779.4	29.98		

Fuente: Los autores.

Anexo 22. Prueba T-test

Compuestos con usos del suelo

Box plot % Al₂O₃ vs usos del suelo.



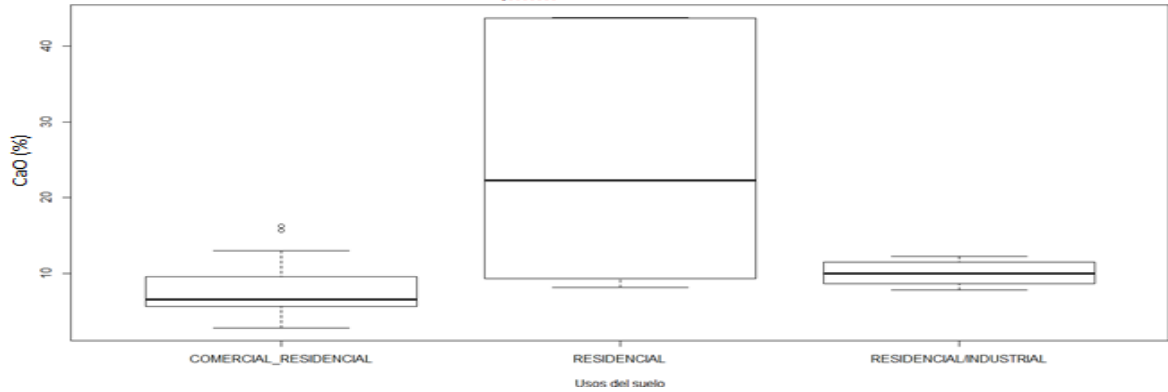
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test Al_2O_3 con usos del suelo.

	Comercial- Residencial	Residencial
Residencial	1.00	-
Residencial/Industrial	0.39	0.25

Fuente: Los autores.

Box plot % CaO vs usos del suelo.



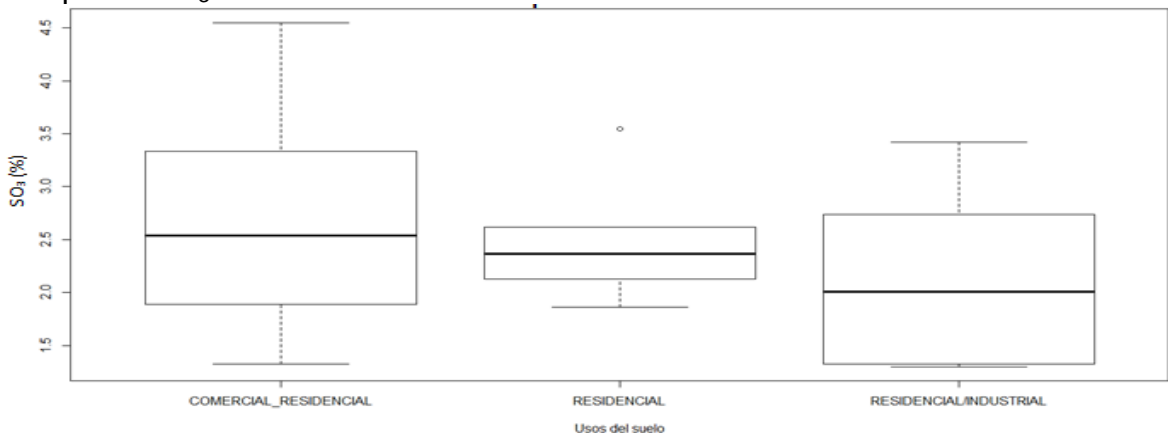
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test CaO con usos del suelo.

	Comercial- Residencial	Residencial
Residencial	6.1e-06	-
Residencial/Industrial	1.00	0.0019

Los autores.

Box plot % SO_3 vs usos del suelo.



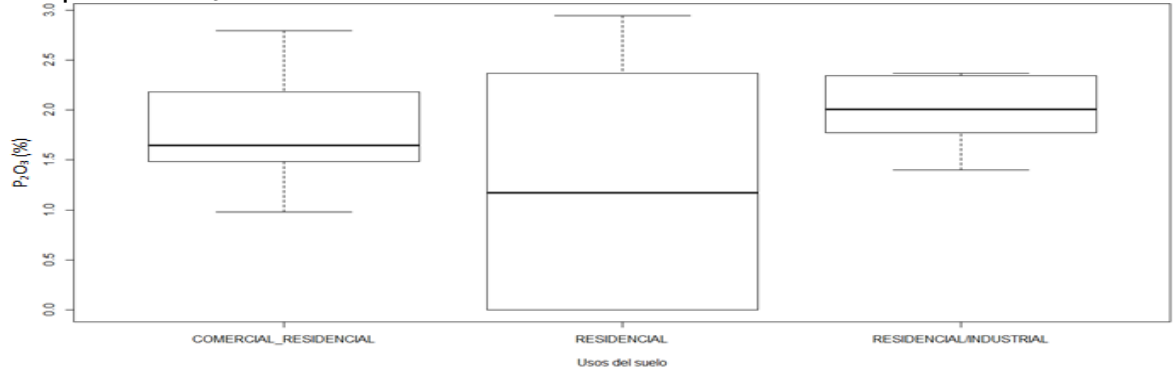
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test SO_3 con usos del suelo.

	Comercial- Residencial	Residencial
Residencial	1.00	-
Residencial/Industrial	0.45	1.00

Fuente: Los autores.

Box plot $\%P_2O_3$ vs usos del suelo.



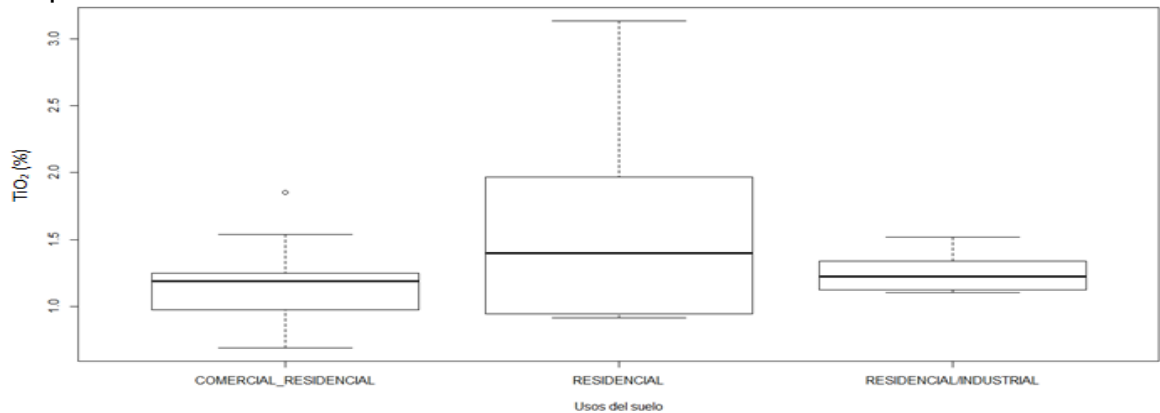
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test P_2O_3 con usos del suelo.

	Comercial- Residencial	Residencial
Residencial	0.26	-
Residencial/Industrial	1.00	0.24

Fuente: Los autores.

Box plot $\%TiO_2$ vs usos del suelo.



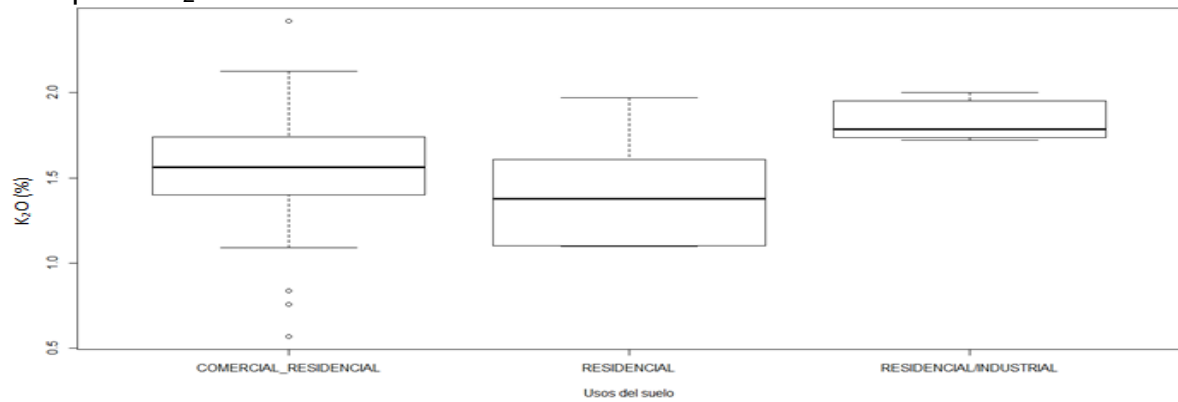
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test TiO_2 con usos del suelo.

	Comercial- Residencial	Residencial
Residencial	0.013	-
Residencial/Industrial	1.000	0.259

Fuente: Los autores.

Box plot $\%K_2O$ vs usos del suelo.



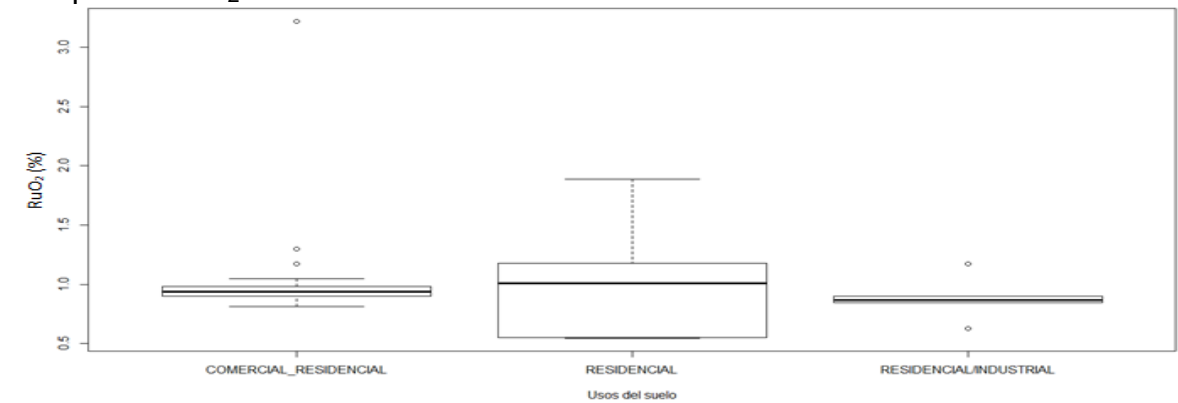
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test K_2O con usos del suelo.

	Comercial- Residencial	Residencial
Residencial	1.00	-
Residencial/Industrial	0.24	0.18

Fuente: Los autores.

Box plot $\%RuO_2$ vs usos del suelo.



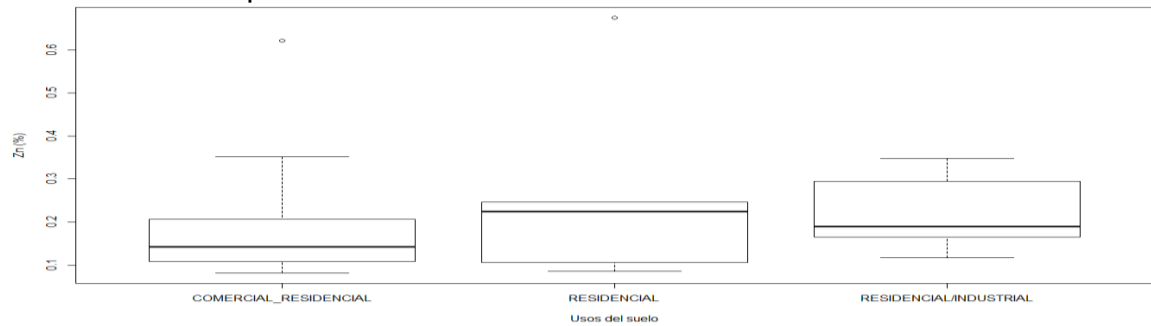
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test RuO₂ con usos del suelo.

	Comercial- Residencial	Residencial
Residencial	1	-
Residencial/Industrial	1	1

Fuente: Los autores.

Gráfico 25. Box plot %ZnO vs usos del suelo.



Fuente: Los autores.

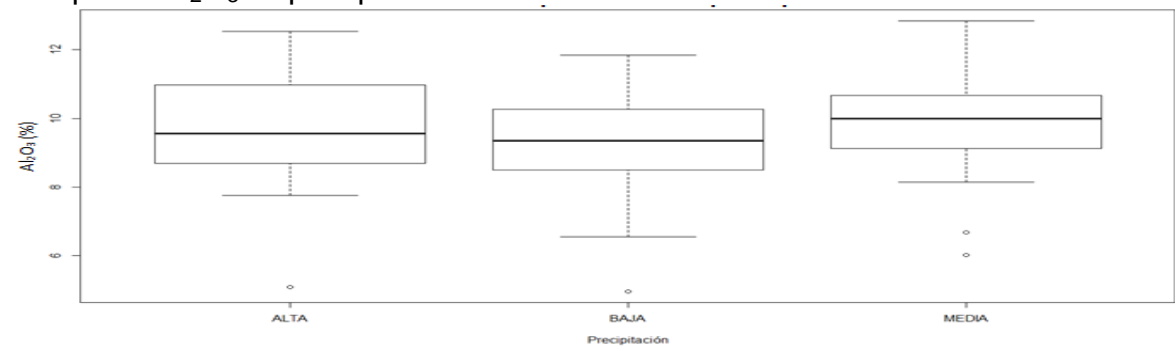
Significancia con t-test ZnO con usos del suelo.

	Comercial- Residencial	Residencial
Residencial	0.59	-
Residencial/Industrial	1.00	1.00

Fuente: Los autores.

Compuestos con precipitación

Box plot %Al₂O₃ vs precipitación.



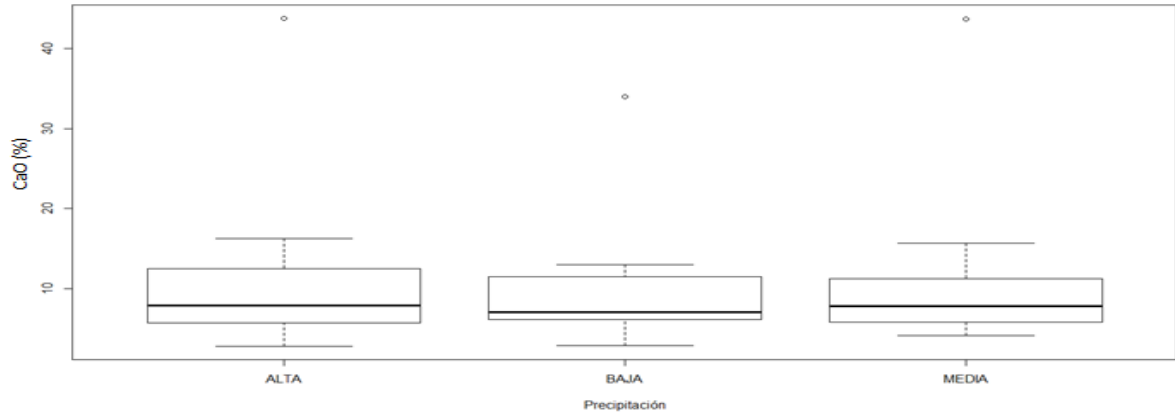
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test Al_2O_3 con precipitación.

	ALTA	BAJA
BAJA	1	-
MEDIA	1	1

Fuente: Los autores.

Box plot %CaO vs precipitación.



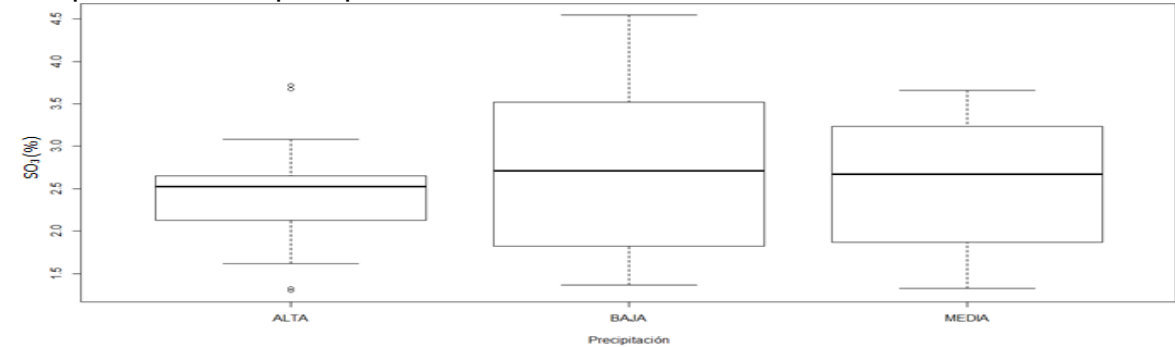
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test CaO con precipitación.

	ALTA	BAJA
BAJA	1	-
MEDIA	1	1

Fuente: Los autores.

Box plot %SO₃ vs precipitación.



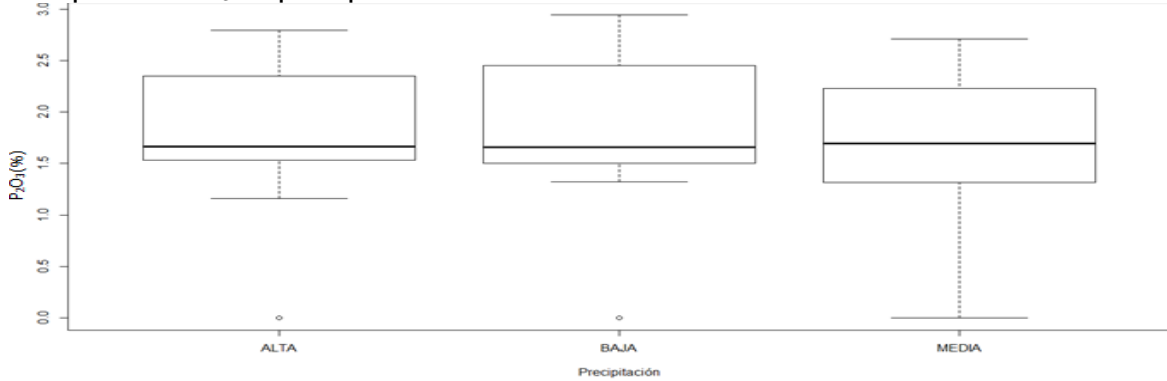
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test SO_3 con precipitación.

	ALTA	BAJA
BAJA	1	-
MEDIA	1	1

Fuente: Los autores.

Box plot $\%P_2O_3$ vs precipitación.



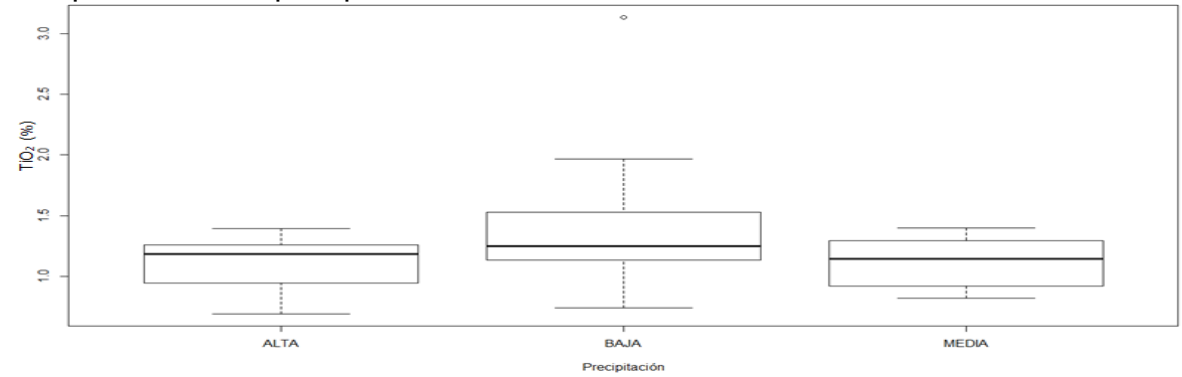
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test P_2O_3 con precipitación.

	ALTA	BAJA
BAJA	1	-
MEDIA	1	1

Fuente: Los autores.

Box plot $\%TiO_2$ vs precipitación.



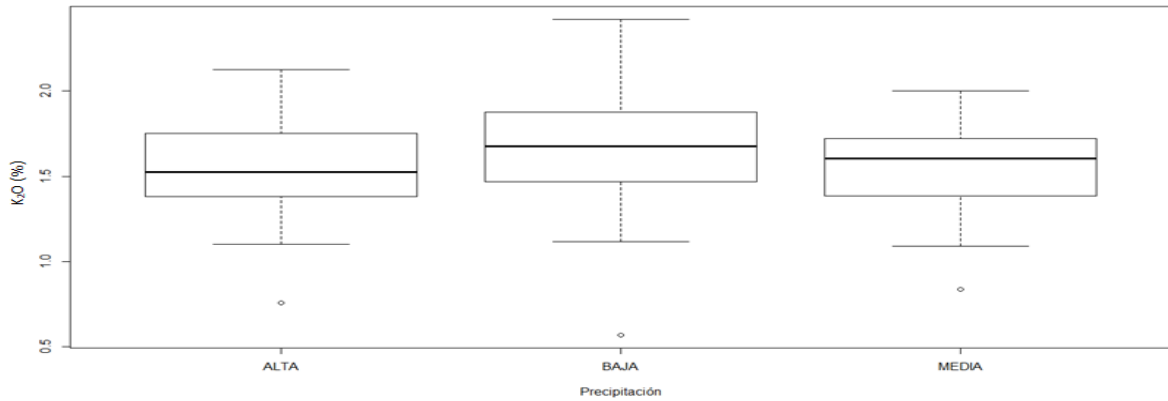
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test TiO_2 con precipitación.

	ALTA	BAJA
BAJA	0.11	-
MEDIA	1.00	0.12

Fuente: Los autores.

Box plot $\%K_2O$ vs precipitación.



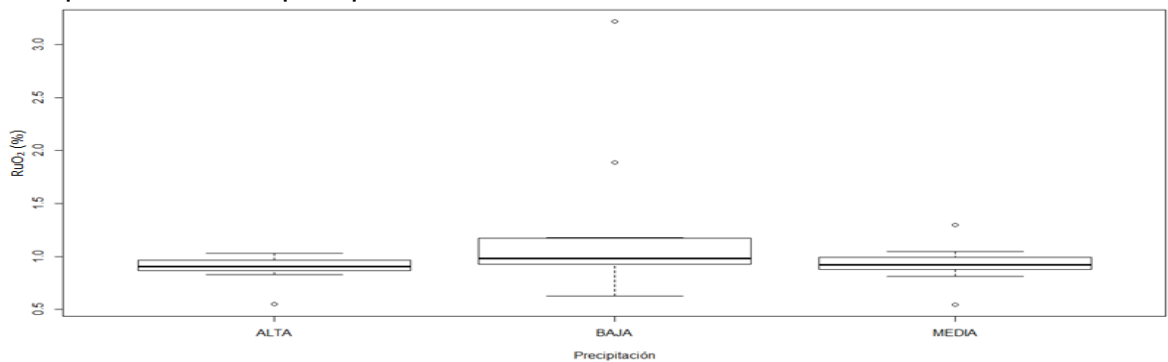
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test K_2O con precipitación.

	ALTA	BAJA
BAJA	1	-
MEDIA	1	1

Fuente: Los autores.

Box plot $\%RuO_2$ vs precipitación.



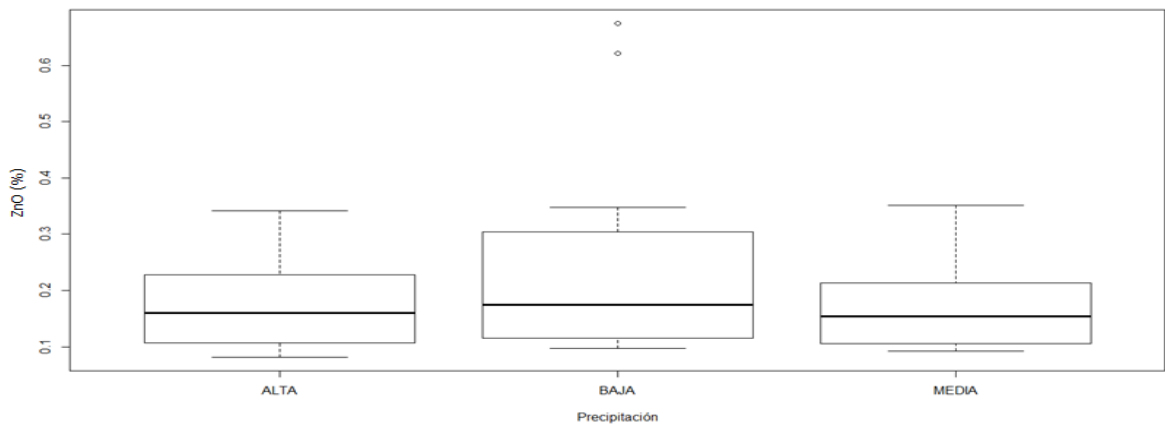
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test RuO₂ con precipitación.

	ALTA	BAJA
BAJA	0.16	-
MEDIA	1.00	0.24

Fuente: Los autores.

Box plot %ZnO vs precipitación.



Fuente: Los autores.

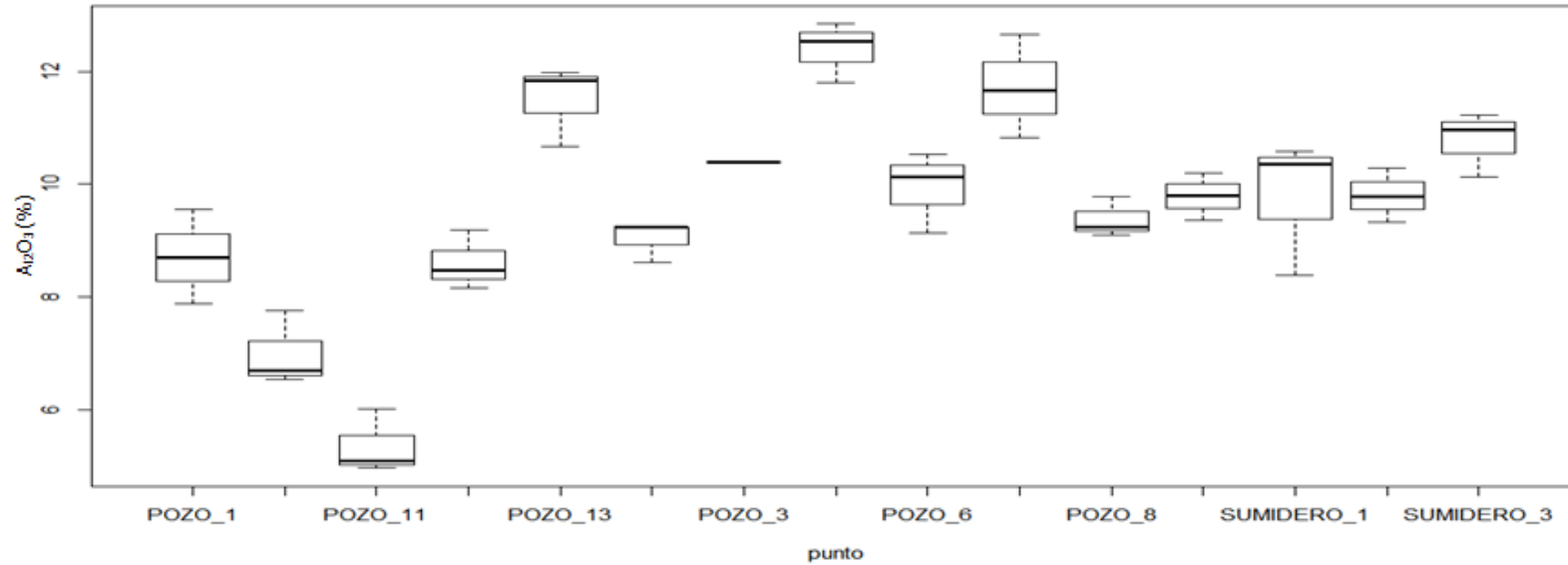
Significancia con t-test ZnO con precipitación.

	ALTA	BAJA
BAJA	0.54	-
MEDIA	1.00	0.35

Fuente: Los autores.

Compuestos con lugar

Box plot %Al₂O₃ vs. Lugar



Fuente: Los autores.

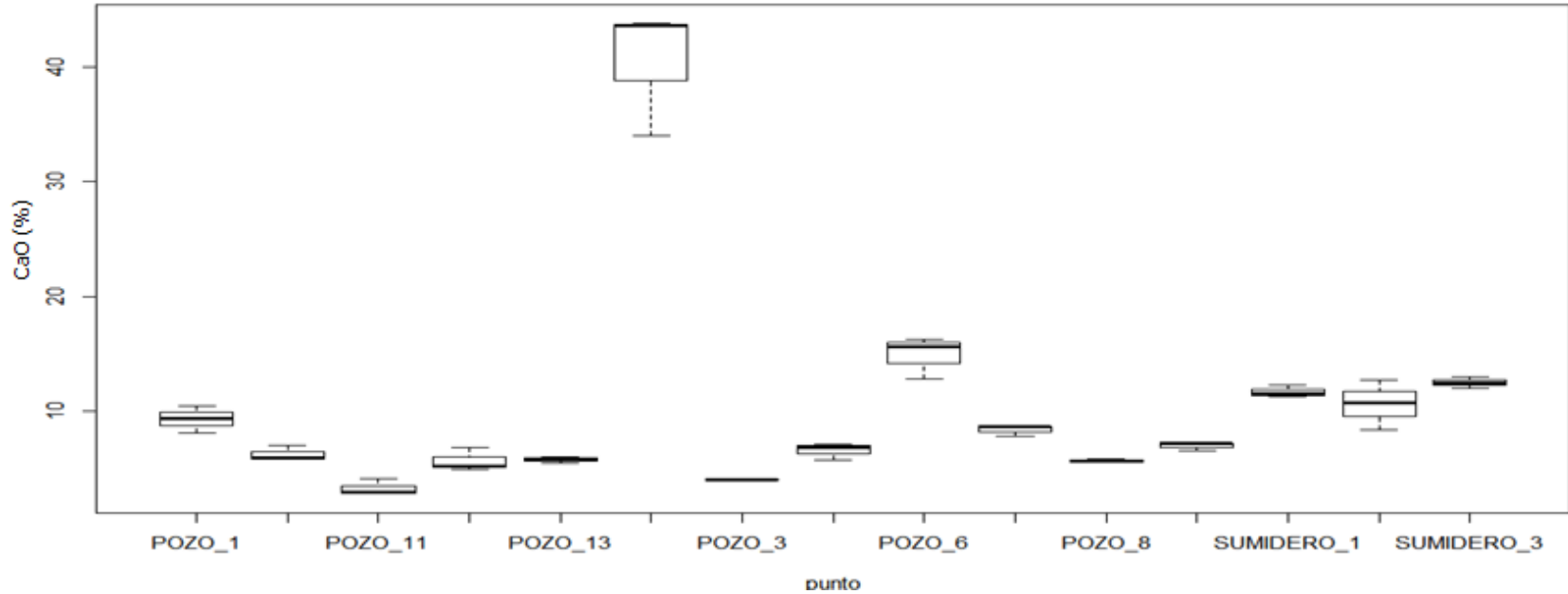
Significancia con t-test Alúmina con lugar.

	Pozo 1	Pozo 10	Pozo 11	Pozo 12	Pozo 13	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 5	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8	Pozo 9	Sumidero 1	Sumidero 2
Pozo 10	0.00053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 11	1.4e-12	0.00113	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 12	1	0.00172	5.3e-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 13	1.4e-09	< 2e-16	< 2e-16	3.7e-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 2	1	1.4e-05	2.9e-14	1	7.1e-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 3	0.10054	1.6e-07	1.1e-13	0.04946	1	0.70615	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 5	2.7e-14	< 2e-16	< 2e-16	7.4e-15	1	1.3e-12	0.01280	-	-	-	-	-	-	-

Pozo 6	0.07399	2.3e-10	< 2e-16	0.02652	0.00260	1	1	8.7e-08	-	-	-	-	-	-
Pozo 7	9.4e-11	< 2e-16	< 2e-16	2.5e-11	1	4.9e-09	0.92222	100.000	0.00024	-	-	-	-	-
Pozo 8	1	2.2e-07	5.0e-16	1	4.6e-06	1	1	8.8e-11	1	3.4e-07	-	-	-	-
Pozo 9	0.28082	1.4e-09	< 2e-16	0.10818	0.00052	1	1	1.4e-08	1	4.4e-05	1	-	-	-
Sumidero 1	0.30566	1.6e-09	< 2e-16	0.11835	0.00047	1	1	1.2e-08	1	4.0e-05	1	-	-	-
Sumidero 2	0.24838	1.2e-09	< 2e-16	0.09499	0.00061	1	1	1.7e-08	1	5.2e-05	1	1	1	-
Sumidero 3	9.4e-06	8.7e-15	< 2e-16	2.6e-06	1	0.00037	1	0.00148	1	0.84596	0.01424	0.60623	0.55927	0.68016

Fuente: Los autores.

Box plot %CaO vs. Lugar.



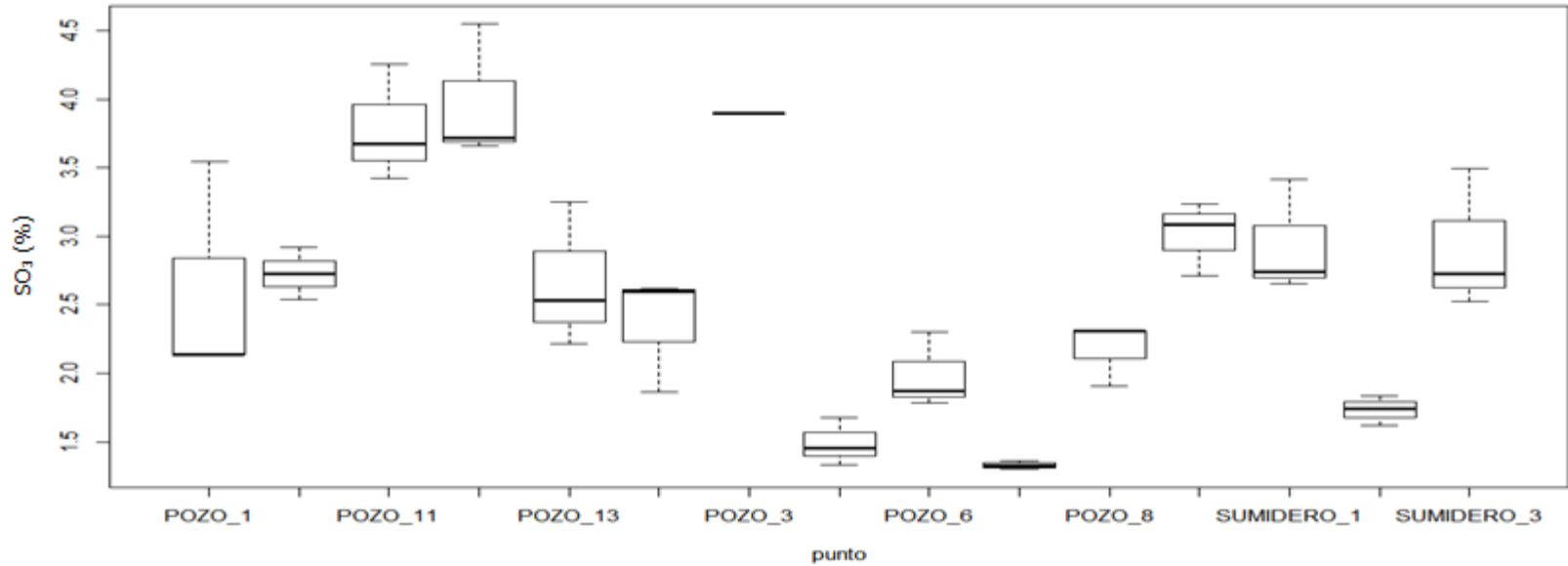
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test cal con lugar.

	Pozo 1	Pozo 10	Pozo 11	Pozo 12	Pozo 13	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 5	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8	Pozo 9	Sumidero 1	Sumidero 2
Pozo 10	0.12878	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 11	6.3e-07	0.18898	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 12	0.01704	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 13	0.02443	1	0.83012	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 2	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 3	0.01197	1	1	1	1	< 2e-16	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 5	0.37102	1	0.06273	1	1	< 2e-16	1	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 6	5.1e-06	3.3e-12	< 2e-16	2.5e-13	3.9e-13	< 2e-16	3.1e-10	1.5e-11	-	-	-	-	-	-
Pozo 7	1	1	4.6e-05	0.46957	0.63335	< 2e-16	0.13822	1	6.5e-08	-	-	-	-	-
Pozo 8	0.01673	1	1	1	1	< 2e-16	1	1	2.4e-13	0.46241	-	-	-	-
Pozo 9	1	1	0.01223	1	1	< 2e-16	1	1	1.2e-10	1	1	-	-	-
Sumidero 1	1	8.9e-06	9.9e-12	7.0e-07	1.1e-06	< 2e-16	1.1e-05	3.7e-05	0.08424	0.05222	6.8e-07	0.00025	-	-
Sumidero 2	1	0.00091	1.5e-09	8.4e-05	0.00013	< 2e-16	0.00029	0.00332	0.00142	1	8.3e-05	0.01849	1	-
Sumidero 3	0.09409	2.5e-07	2.6e-13	1.8e-08	2.9e-08	< 2e-16	8.6e-07	1.1e-06	1	0.00258	1.8e-08	7.9e-06	1	1

Fuente: Los autores.

Box plot %SO₃ vs Lugar.



Fuente: Los autores.

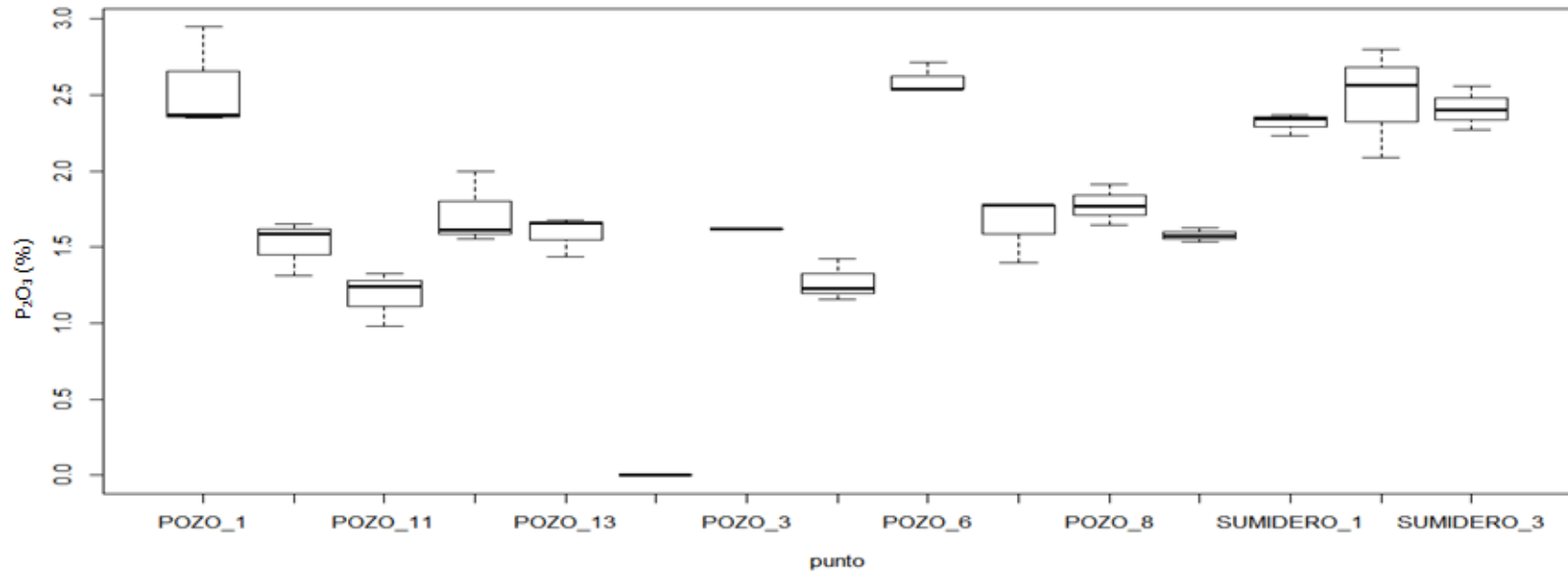
Significancia con t-test anhídrido sulfúrico con lugar.

	Pozo 1	Pozo 10	Pozo 11	Pozo 12	Pozo 13	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 5	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8	Pozo 9	Sumidero 1	Sumidero 2
Pozo 10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 11	2.7e-05	0.00029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 12	6.0e-07	7.3e-06	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 13	1	1	8.8e-05	2.1e-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 2	1	1	2.1e-07	4.2e-09	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 3	0.00369	0.01663	1	1	0.00792	0.00016	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 5	9.1e-05	8.1e-06	3.9e-15	< 2e-16	2.7e-05	0.00744	6.6e-10	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 6	0.41391	0.06507	9.6e-11	1.9e-12	0.16812	1	9.1e-07	1	-	-	-	-	-	-

Pozo 7	4.2e-06	3.4e-07	< 2e-16	< 2e-16	1.2e-06	0.00045	6.6e-11	1	0.23385	-	-	-	-	-
Pozo 8	1	1	4.9e-09	9.5e-11	1	1	1.3e-05	0.14386	1	0.01165	-	-	-	-
Pozo 9	1	1	0.04033	0.00157	1	0.25553	0.36686	2.6e-08	0.00050	1.0e-09	0.01438	-	-	-
Sumidero 1	1	1	0.01174	0.00040	1	0.72796	0.16999	1.2e-07	0.00196	4.8e-09	0.04892	1	-	-
Sumidero 2	0.00769	0.00085	5.2e-13	1.1e-14	0.00260	0.34737	2.3e-08	1	1	1	1	3.7e-06	1.6e-05	-
Sumidero 3	1	1	0.00835	0.00027	1	0.95014	0.13746	1.8e-07	0.00280	7.3e-09	0.06714	1	1	2.4e-5

Fuente: Los autores.

Box plot %P₂O₃ vs. Lugar.



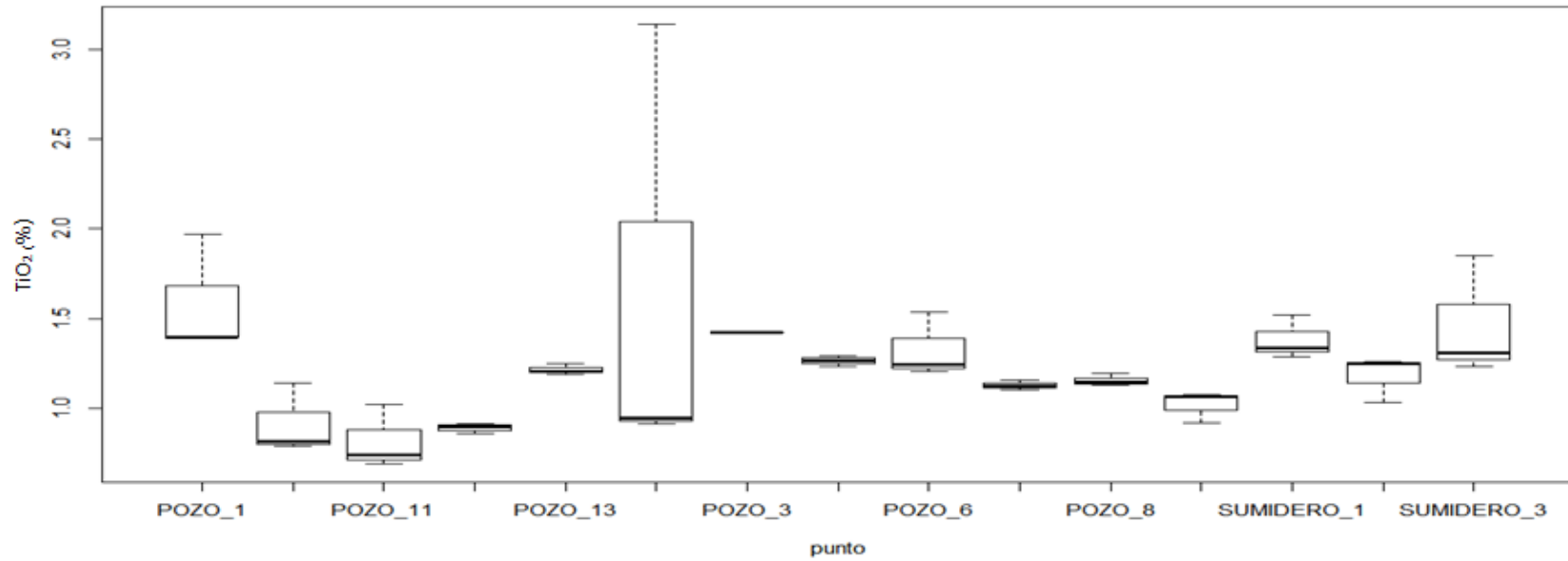
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test óxido fosfórico con lugar.

	Pozo 1	Pozo 10	Pozo 11	Pozo 12	Pozo 13	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 5	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8	Pozo 9	Sumidero 1	Sumidero 2
Pozo 10	3.0e-14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 11	< 2e-16	0.09911	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 12	1.9e-10	1	5.4e-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 13	6.1e-13	1	0.00881	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 2	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 3	3.1e-07	1	0.24731	1	1	3.2e-16	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 5	< 2e-16	1	1	0.00181	0.17885	< 2e-16	1	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 6	1	5.3e-15	< 2e-16	3.1e-11	1.0e-13	< 2e-16	8.9e-08	< 2e-16	-	-	-	-	-	-
Pozo 7	9.1e-12	1	0.00085	1	1	< 2e-16	1	0.02255	1.5e-12	-	-	-	-	-
Pozo 8	2.3e-09	1	5.1e-06	1	1	< 2e-16	1	0.00020	3.8e-10	1	-	-	-	-
Pozo 9	4.0e-13	1	0.01246	1	1	< 2e-16	1	0.24152	6.9e-14	1	1	-	-	-
Sumidero 1	1	9.1e-10	4.9e-16	5.7e-06	2.0e-08	< 2e-16	0.00034	2.0e-14	0.57527	3.0e-07	6.0e-05	1.3e-08	-	-
Sumidero 2	1	6.1e-13	< 2e-16	4.1e-09	1.3e-11	< 2e-16	2.6e-06	< 2e-16	1	2.0e-10	4.9e-08	8.5e-12	1	-
Sumidero 3	1	1.4e-11	< 2e-16	9.4e-08	3.0e-10	< 2e-16	2.2e-05	3.7e-16	1	4.6e-09	1.1e-06	2.0e-10	1	1

Fuente: Los autores.

Box plot %TiO₂ vs. Lugar.



Fuente: Los autores.

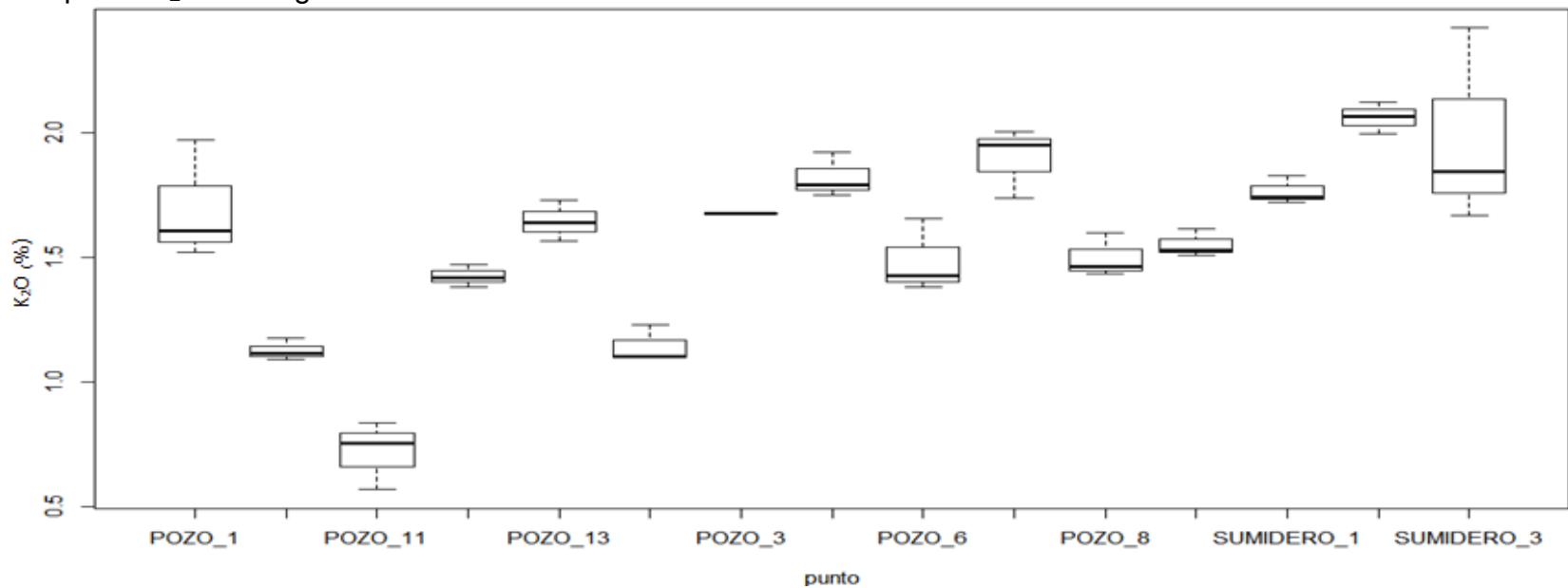
Significancia con t-test óxido titánico con lugar.

	Pozo 1	Pozo 10	Pozo 11	Pozo 12	Pozo 13	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 5	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8	Pozo 9	Sumidero 1	Sumidero 2
Pozo 10	0.0944	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 11	0.0173	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 12	0.0614	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 13	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 2	1	0.0246	0.0041	0.0156	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 3	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 5	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 6	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-

Pozo 7	1	1	1	1	1	0.7356	1	1	1	-	-	-	-	-
Pozo 8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-
Pozo 9	0.4827	1	1	1	1	0.1420	1	1	1	1	1	-	-	-
Sumidero 1	1	1	0.4976	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-
Sumidero 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
Sumidero 3	1	0.6390	0.1403	0.4368	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Los autores.

Box plot %K₂O vs. Lugar.



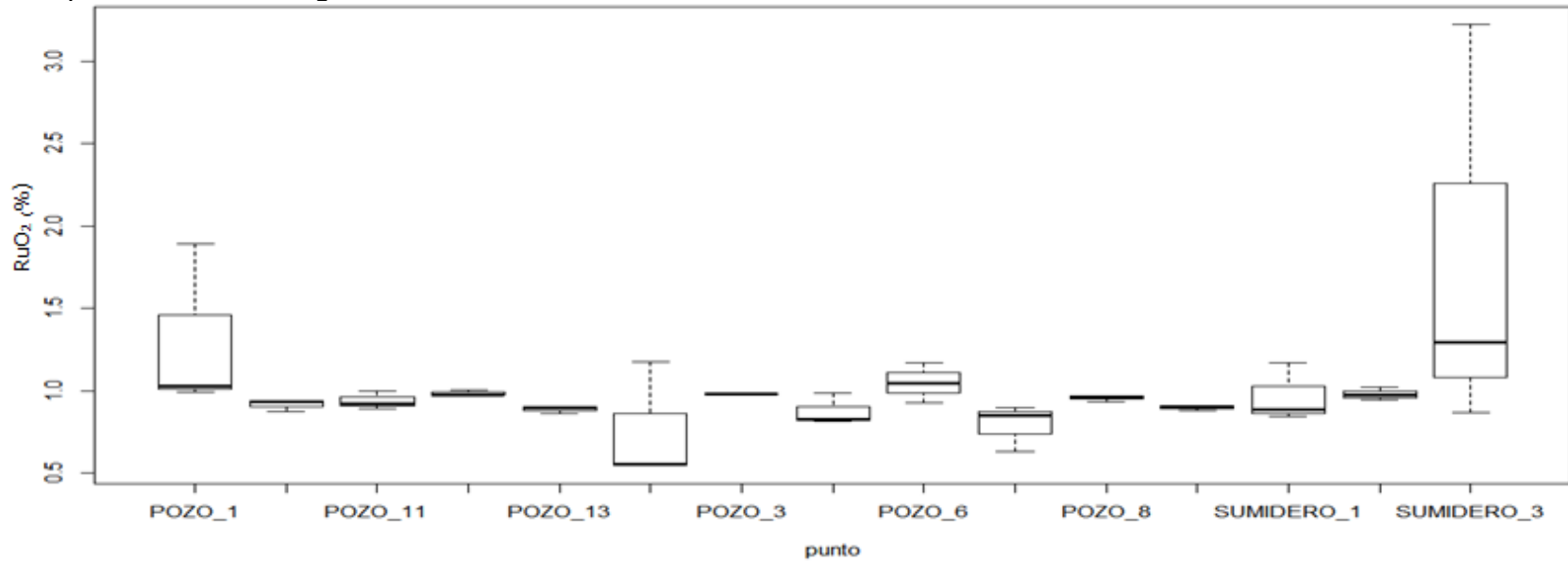
Fuente: Los autores.

Significancia con t-test óxido de potasio con lugar.

	Pozo 1	Pozo 10	Pozo 11	Pozo 12	Pozo 13	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 5	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8	Pozo 9	Sumidero 1	Sumidero 2
Pozo 10	2.0e-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 11	< 2e-16	0.00014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 12	0.07030	0.02473	1.3e-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 13	1	4.2e-07	< 2e-16	0.62470	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 2	5.0e-08	1	6.0e-05	0.05159	1.0e-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 3	1	0.00034	6.2e-11	1	1	0.00062	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 5	1	2.2e-11	< 2e-16	0.00023	1	5.6e-11	1	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 6	0.77590	0.00143	4.4e-13	1	1	0.00322	1	0.00468	-	-	-	-	-	-
Pozo 7	1	3.6e-13	< 2e-16	4.7e-06	0.16238	9.0e-13	1	1	0.00012	-	-	-	-	-
Pozo 8	1	0.00080	2.3e-13	1	1	0.00182	1	0.00815	1	0.00021	-	-	-	-
Pozo 9	1	5.8e-05	1.4e-14	1	1	0.00014	1	0.07950	1	0.00275	1	-	-	-
Sumidero 1	1	5.4e-10	< 2e-16	0.00389	1	1.4e-09	1	1	0.06111	1	0.10072	0.74857	-	-
Sumidero 2	0.00126	< 2e-16	< 2e-16	5.6e-10	7.8e-05	< 2e-16	0.07653	0.27738	1.7e-08	1	3.3e-08	5.7e-07	0.02547	-
Sumidero 3	0.05804	4.6e-15	< 2e-16	5.9e-08	0.00486	1.1e-14	0.77149	1	1.7e-06	1	3.2e-06	5.0e-05	0.74262	1

Fuente: Los autores.

Box plot %RuO₂ vs. Lugar.



Fuente: Los autores.

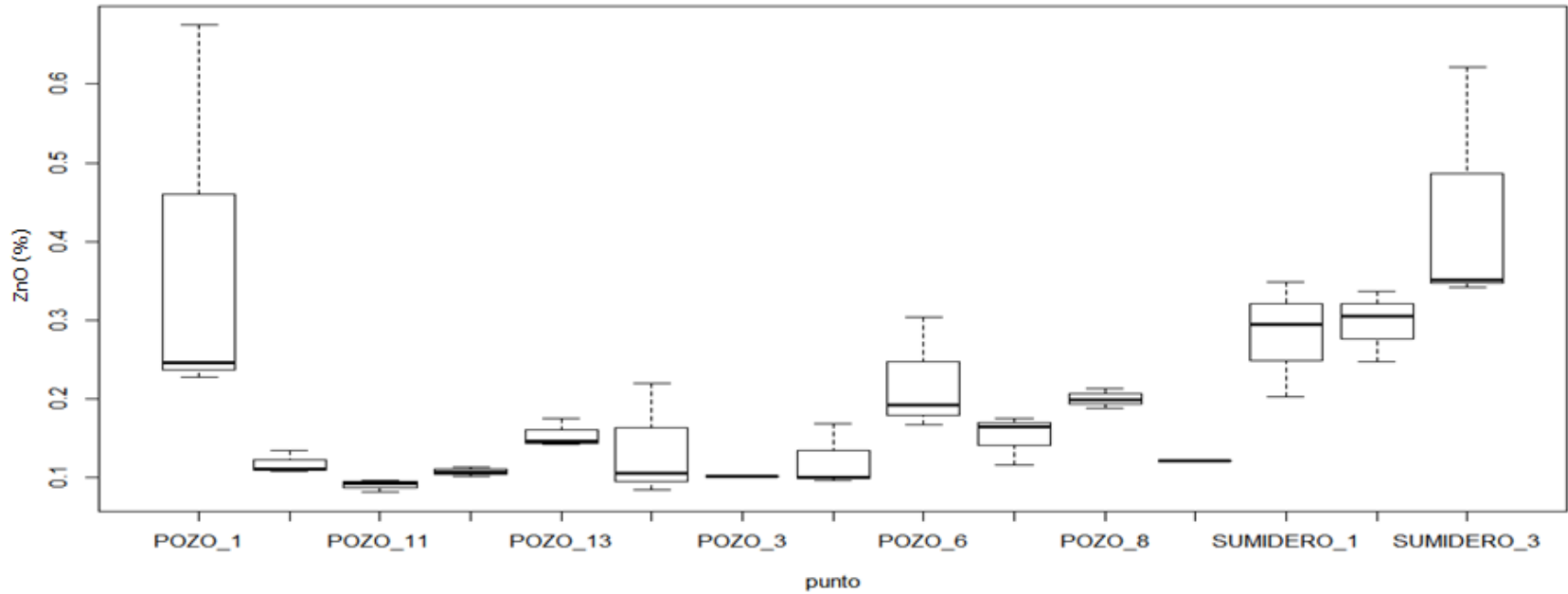
Significancia con t-test dióxido de rutenio con lugar.

	Pozo 1	Pozo 10	Pozo 11	Pozo 12	Pozo 13	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 5	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8	Pozo 9	Sumidero 1	Sumidero 2
Pozo 10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 11	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 12	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 13	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 2	0.71792	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 3	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 5	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 6	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-

Pozo 7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-
Pozo 8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-
Pozo 9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-
Sumidero 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-
Sumidero 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
Sumidero 3	1	0.00293	0.00429	0.01023	0.00172	0.00014	0.47067	0.00135	0.03158	0.00027	0.00606	0.00210	0.00742	0.00910	

Fuente: Los autores.

Box plot % ZnO vs. Lugar.



Fuente: Los autores.

Significancia con t-test óxido de zinc con lugar.

	Pozo 1	Pozo 10	Pozo 11	Pozo 12	Pozo 13	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 5	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8	Pozo 9	Sumidero 1	Sumidero 2
Pozo 10	1.8e-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 11	1.4e-06	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 12	6.9e-06	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 13	0.00042	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 2	9.4e-05	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 3	0.00460	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 5	2.5e-05	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-
Pozo 6	0.07192	1	0.58018	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-
Pozo 7	0.00034	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-
Pozo 8	0.01626	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-
Pozo 9	2.4e-05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-
Sumidero 1	1	0.06391	0.00790	0.02929	0.70715	0.23350	0.70272	0.08409	1	0.60874	1	0.08088	-	-
Sumidero 2	1	0.02214	0.00250	0.00978	0.28225	0.08675	0.36931	0.02953	1	0.24045	1	0.02835	1	-
Sumidero 3	1	1.1e-07	8.3e-09	4.2e-08	3.2e-06	6.5e-07	0.00018	1.6e-07	0.00099	2.5e-06	0.00018	1.5e-07	0.10525	0.28021

Fuente: Los autores.

ANEXO E. Resultados de hidráulica.

Anexo 23. Hidráulica sistema de alcantarillado pluvial localidad de Puente Aranda tramo I y II.

HIDRÁULICA SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL LOCALIDAD DE PUENTE ARANDA TRAMO I Y II

IDSIG	TRAMO I											
	Inicial		Final		Diferencia de nivel	Longitud (m)	S	Diámetro (m)	R (m)	τ (N/m ²)	Cota Batea	
	Rasante	Clave	Rasante	Clave							Inicial	final
PLT22007	2555,33	2553,84	2555,22	2553,67	0,17	37,94	0,004480	0,3048	0,0762	3,349466	8378,74	8378,18
PLT21963	2554,95	2553,42	2555,22	2553,4	0,02	33,77	0,000592	1,3	0,325	1,888214	1964,17	1964,15
PLT22006	2555,13	2553,33	2554,8	2553,1	0,23	50,51	0,004553	0,4572	0,1143	5,105822	5584,71	5584,21
PLT21960	2555,19	2554,07	2555,15	2554,06	0,01	33,77	0,000296	1,3	0,325	0,9441072	1964,67	1964,66
PLT22005	2554,87	2553,47	2555,13	2553,33	0,14	71,53	0,001957	0,4572	0,1143	2,194598	5585,02	5584,71
PLT22004	2554,89	2553,6	2554,87	2553,45	0,15	60,71	0,002470	0,4064	0,1016	2,462599	6283,46	6283,10
PLT21965	2554,8	2553,44	2554,8	2553,43	0,01	50,47	0,000198	0,3	0,075	0,145779	8511,47	8511,43
PLT22002	2555,05	2553,77	2554,8	2553,5	0,27	52,12	0,005180	0,3048	0,0762	3,872427	8378,51	8377,62
PLT21966	2554,8	2553,45	2554,8	2553,44	0,01	27,61	0,000362	1,3	0,325	1,154744	1964,19	1964,18
PLT21967	2554,82	2553,47	2554,8	2553,45	0,02	27,61	0,000724	1,3	0,325	2,309489	1964,21	1964,19
PLT22001	2554,96	2553,73	2554,82	2553,57	0,16	53,83	0,002972	0,3048	0,0762	2,221874	8378,38	8377,85
PLT21999	2555,08	2553,95	2554,95	2553,59	0,36	71,28	0,005050	0,3048	0,0762	3,775363	8379,10	8377,92
PLT22022	2554,93	2553,91	2554,92	2553,37	0,54	85,46	0,006318	0,3048	0,0762	4,723401	8378,97	8377,20
PLT22040	2554,63	2553,51	2554,78	2553,38	0,13	48,92	0,002657	0,6096	0,1524	3,972929	4188,83	4188,62
PLT109780	2554,63	2553,51	2554,78	2553,38	0,13	45,3	0,002869	0,508	0,127	3,575344	5026,59	5026,34
PLT22041	2554,67	2553,87	2554,5	2553,56	0,31	71,01	0,004365	0,3048	0,0762	3,263368	8378,84	8377,82
PLT22020	2555,04	2553,74	2555,06	2553,43	0,31	56,41	0,005495	0,3048	0,0762	4,107991	8378,41	8377,40
PLT22000	2554,84	2554,06	2555,04	2553,78	0,28	55,92	0,005007	0,3048	0,0762	3,742957	8379,46	8378,54
PLT22029	2554,7	2553,62	2554,99	2553,44	0,18	88,22	0,002040	0,9144	0,2286	4,575627	2792,67	2792,48
PLT22478	2554,53	2553,75	2554,7	2553,53	0,22	83,88	0,002622	0,9144	0,2286	5,881789	2792,81	2792,57

PLT22474	2554,41	2553,77	2554,7	2553,73	0,04	70,01	0,000571	0,8636	0,2159	1,210100	2957,12	2957,08
PLT22475	2554,27	2553,7	2554,41	2553,69	0,01	69,24	0,000144	0,762	0,1905	0,269902	3351,31	3351,30
PLT22469	2554,09	2553,63	2554,27	2553,55	0,08	95,61	0,000836	0,6096	0,1524	1,250951	4189,03	4188,89
PLT22472	2554,49	2553,84	2555,77	2553,74	0,1	50,51	0,001979	0,508	0,127	2,466580	5027,24	5027,05
PLT22470	2554,45	2553,9	2554,49	2553,84	0,06	80,72	0,000743	0,508	0,127	0,926067	5027,36	5027,24
PLT22471	2554,4	2553,95	2554,45	2553,92	0,03	71,05	0,000422	0,508	0,127	0,526053	5027,46	5027,40
PLT22476	2554,43	2553,63	2554,27	2553,51	0,12	49,6	0,002419	0,508	0,127	3,014201	5026,83	5026,59
PLT22477	2554,4	2553,7	2554,43	2553,67	0,03	49,6	0,000604	0,508	0,127	0,753550	5026,97	5026,91
PLT22578	2554,46	2553,91	2554,09	2553,54	0,37	110,03	0,003362	0,4064	0,1016	3,351608	6284,23	6283,32
PLT22506	2554,63	2554,04	2554,46	2553,95	0,09	49,475	0,00181	0,3556	0,0889	1,586453	7182,34	7182,09
PLT22577	2554,47	2553,91	2554,4	2553,68	0,23	102,024	0,002254	0,4064	0,1016	2,246923	6284,23	6283,66
PLO22469	2554,09	2553,63	2554,27	2553,55	0,08	95,61	0,000836	0,6096	0,1524	1,250951	4189,03	4188,89
PLO22475	2554,27	2553,7	2554,41	2553,69	0,01	89,24	0,000112	0,762	0,1905	0,209413	3351,31	3351,30
PLT22034	2554,99	2554,63	2555,02	2554,53	0,1	88,22	0,001133	0,9144	0,2286	2,542015	2793,78	2793,67
PLT22502	2554,4	2554,05	2554,47	2553,84	0,21	69,366	0,003027	0,3048	0,0762	2,263062	8379,43	8378,74
TRAMO II												
PLT21912	2555,68	2554,02	2555,78	2552,88	1,14	30,88	0,03691	1,1	0,275	99,5931023	2321,84	2320,80
PLT109820	2554,99	2554,02	2555,68	2554,02	0	48,82	0	1,1	0,275	0	2321,84	2321,84
PLT21933	2555,25	2554,05	2555,02	2554,03	0,02	103,06	0,000194	1,1	0,275	0,523529	2321,86	2321,85
PLT21934	2555,52	2555,04	2555,25	2554,03	1,01	70,26	0,014375	1,1	0,275	38,78063	2322,76	2321,85
PLT21994	2555,26	2554,38	2555,54	2553,93	0,45	59,9	0,007512	0,254	0,0635	4,679812	10056,61	10054,84
PLT21995	2555,72	2554,04	2555,54	2554,02	0,02	82,21	0,000243	1,1	0,275	0,656307	2321,85	2321,84
PLT21996	2555,79	2554,03	2555,72	2554,01	0,02	58,26	0,000343	0,4572	0,1143	0,384923	5586,24	5586,20
PLT22025	2555,68	2554,08	2555,68	2554,06	0,02	87,44	0,000228	0,254	0,0635	0,142482	10055,43	10055,35
PLT36976	2555,69	2554,15	2555,68	2554,13	0,02	52,53	0,000380	0,4572	0,1143	0,426911	5586,50	5586,46
PLT36975	2555,4	2554,2	2555,69	2554,16	0,04	52,73	0,000758	0,4572	0,1143	0,850584	5586,61	5586,53
PLT22031	2555,03	2554,23	2555,4	2554,22	0,01	101,99	9,8049E-05	0,4572	0,1143	0,109940	5586,68	5586,66
PLT22601	2555	2554,15	2555,03	2554,01	0,14	100,02	0,001399	0,4572	0,1143	1,569482	5586,50	5586,20
PLT22597	2555,08	2554,25	2555	2554,16	0,09	57,15	0,00157	0,4572	0,1143	1,7658	5586,72	5586,53

PLT22598	2555,19	2554,26	2554,21	2554,16	0,1	20,26	0,004935	0,4572	0,1143	5,534466	5586,75	5586,53
PLT22600	2555,07	2554,22	2555,03	2554,12	0,1	57,233	0,001747	0,762	0,1905	3,265257	3351,99	3351,86
PLT22591	2555,08	2554,25	2555,07	2554,17	0,08	47,29	0,001691	0,762	0,1905	3,161437	3352,03	3351,93
PLT22044	2555,45	2554,71	2555,07	2554,12	0,59	100,99	0,005842	0,4064	0,1016	5,822860	6286,20	6284,74
PLT22595	2555,06	2554,19	2555,07	2554,07	0,12	63,54	0,001888	0,3556	0,0889	1,647042	7182,76	7182,42
PLT22596	2555,14	2554,41	2555,06	2554,18	0,23	76,99	0,00298	0,3048	0,0762	2,233147	8380,61	8379,86
PLT22589	2555,1	2554,39	2555,08	2554,13	0,26	78,94	0,003293	0,4572	0,1143	3,693103	5587,03	5586,46
PLT22590	2555,3	2554,61	2555,16	2554,21	0,4	101,36	0,003946	0,4064	0,1016	3,933291	6285,95	6284,97
PLT22148	2555,15	2554,02	2554,85	2553,1	0,92	101,9	0,009028	0,3556	0,0889	7,873800	7182,28	7179,70

Fuente: Los autores.

Anexo 24. Cálculo caudal de diseño sistema de alcantarillado pluvial localidad de Puente Aranda tramo I.

ID	Tiempo de retorno 5 años			Velocidad (m/s)	Te (min)	Tt (min)	Duración (min)	Intensidad (L/s/Ha)	Coeficiente de escorrentía	Área de drenaje (Ha)	Q diseño
	C1	X0	C2								
A	4744	28,7	-1,10206	0,5664	15	5241,22	5256,22	0,37	0,8	0,61	0,1826
B	4744	28,7	-1,10206	0,5634	5241,22	5268,95	10510,17	0,17	0,8	1,58	0,4037
C	4744	28,7	-1,10206	0,8418	5268,95	7842,95	13111,90	0,14	0,8	0,78	0,4893
D	4744	28,7	-1,10206	0,5502	7842,95	10426,28	18269,22	0,10	0,8	1,61	0,6119
E	4744	28,7	-1,10206	0,2336	10426,28	22916,69	33342,96	0,05	0,8	0,83	0,6445
F	4744	28,7	-1,10206	0,5735	22916,69	7324,60	30241,29	0,05	0,8	0,74	0,6769
G	4744	28,7	-1,10206	0,6593	15	6312,72	6327,72	0,31	0,8	0,75	0,8601
H	4744	28,7	-1,10206	0,6892	6312,72	8881,84	15194,56	0,12	0,8	0,93	0,9469
I	4744	28,7	-1,10206	0,4143	8881,84	7184,04	16065,88	0,11	0,8	0,8	1,0170
J	4744	28,7	-1,10206	0,8285	7184,04	3592,02	10776,06	0,17	0,8	0,26	1,0524
K	4744	28,7	-1,10206	0,3461	15	12316,64	12331,64	0,15	0,8	0,41	1,1006
L	4744	28,7	-1,10206	0,4592	12316,64	10546,37	22863,00	0,07	0,8	0,41	1,1250
M	4744	28,7	-1,10206	0,7495	10546,37	4043,64	14590,01	0,12	0,8	0,71	1,1942
N	4744	28,7	-1,10206	0,7495	4043,64	4043,64	8087,28	0,23	0,8	1,08	1,3958
Q	4498,73	28	-1,09595	1,1147	4043,64	4748,73	8792,37	0,21	0,8	0,67	1,5101
R	4744	28,7	-1,10206	1,2765	15	3942,77	3957,77	0,51	0,8	2,74	2,6293
S	4744	28,7	-1,10206	1,1258	3942,77	4701,53	8644,30	0,22	0,8	55,37	12,2324
T	4498,73	28	-1,09595	0,8392	4701,53	6307,77	11009,30	0,17	0,8	1,03	12,3699
U	4498,73	28	-1,09595	0,8392	6307,77	6307,77	12615,53	0,14	0,8	1,03	12,4883
Y	4498,73	28	-1,09595	0,8883	6307,77	3810,30	10118,07	0,18	0,8	1	12,6347
Z	4498,73	28	-1,09595	0,8883	3810,30	3810,30	7620,60	0,25	0,8	0,24	12,6826
AA	4498,73	28	-1,09595	0,8479	3810,30	3957,11	7767,41	0,24	0,8	0,94	12,8663
AB	4498,73	28	-1,09595	0,8479	3957,11	3957,11	7914,21	0,24	0,8	1,9	13,2300
AC	4498,73	28	-1,09595	0,9805	3957,11	2993,49	6950,59	0,28	0,8	1,77	13,6205
AD	4498,73	28	-1,09595	0,9805	2993,49	2993,49	5986,97	0,32	0,8	0,82	13,8334
AE	4498,73	28	-1,09595	0,9805	2993,49	2993,49	5986,97	0,32	0,8	1,94	14,3370

AF	4498,73	28	-1,09595	0,9023	2993,49	3012,19	6005,68	0,32	0,8	1,34	14,6837
AG	4498,73	28	-1,09595	0,7917	3012,19	5381,51	8393,70	0,22	0,8	1,62	14,9746
AH	4498,73	28	-1,09595	0,8338	5381,51	1986,88	7368,39	0,26	0,8	1,9	15,3678
AI	4498,73	28	-1,09595	0,8516	1986,88	5022,34	7009,22	0,27	0,8	0,44	15,4640
AJ	4498,73	28	-1,09595	0,9525	5022,34	5383,36	10405,70	0,18	0,8	0,31	15,5080
AK	4498,73	28	-1,09595	0,9525	5383,36	5383,36	10766,72	0,17	0,8	2,41	15,8376
AL	4498,73	28	-1,09595	0,8482	5383,36	1953,16	7336,52	0,26	0,8	0,82	16,0081
AM	4498,73	28	-1,09595	0,6533	1953,16	4944,05	6897,21	0,28	0,8	0,24	16,0615
AN	4498,73	28	-1,09595	0,5997	4944,05	2762,19	7706,23	0,25	0,8	1,77	16,4104
AO	4498,73	28	-1,09595	0,8624	1953,16	3626,02	5579,19	0,35	0,8	0,31	16,0951
AP	4498,73	28	-1,09595	0,1669	4944,05	18144,78	23088,82	0,07	0,8	1,69	16,1619
AQ	4498,73	28	-1,09595	1,0595	2762,19	2860,31	5622,50	0,35	0,8	0,53	16,5577
AR	4498,73	28	-1,09595	0,6946	3626,02	6178,46	9804,48	0,19	0,8	0,72	16,2041
AS	4498,73	28	-1,09595	0,7215	18144,78	5048,45	23193,23	0,07	0,8	0,32	16,1808
AT	4498,73	28	-1,09595	0,7215	15	5048,45	5063,45	0,39	0,8	0,85	16,8226
AU	4498,73	28	-1,09595	0,7669	6178,46	2642,01	8820,47	0,21	0,8	2,21	16,5800
AV	4498,73	28	-1,09595	0,8021	5048,45	2838,10	7886,55	0,24	0,8	1,3	16,4306

Fuente: Los autores.

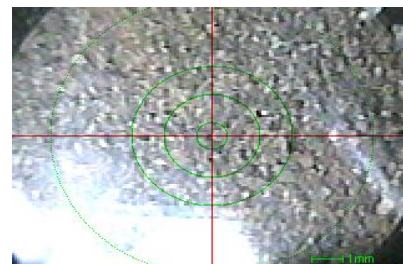
Anexo 25. Cálculo caudal de diseño sistema de alcantarillado pluvial localidad de Puente Aranda tramo II.

ID	Tiempo de retorno 5 años			Velocidad (m/s)	Te (min)	Tt (min)	Duración minutos	Intensidad (L/s/Ha)	Coeficiente de escorrentía	Área de drenaje (Ha)	Q diseño
	C1	X0	C2								
BA	4744	28,7	-1,10206	1,103	15	1101,97	1116,97	2,0178	0,8	1,36	2,1953
BB	4744	28,7	-1,10206	1,103	1101,97	1101,97	2203,94	0,9673	0,8	0,62	2,6751
BC	4744	28,7	-1,10206	0,623	1101,97	5503,19	6605,16	0,2913	0,8	1,82	3,0992
BD	4744	28,7	-1,10206	0,5874	5503,19	10215,93	15719,12	0,1123	0,8	2,55	3,3284
BE	4744	28,7	-1,10206	0,5874	10215,93	10215,93	20431,86	0,0842	0,8	1,05	3,3991
BF	4508,47	28,3	-1,09161	0,9226	10215,93	3722,05	13937,98	0,1347	0,8	1,01	3,5079
BG	5167,85	29,9	-1,11356	0,5770	3722,05	6606,24	10328,29	0,1746	0,8	0,24	3,5414
BH	5167,85	29,9	-1,11356	0,6549	15	7053,31	7068,31	0,2660	0,8	1,02	3,7584
BI	4508,47	28,3	-1,09161	1,1094	7053,31	5461,41	12514,72	0,1514	0,8	0,92	3,8699
BJ	4508,47	28,3	-1,09161	0,9011	5461,41	5256,18	10717,59	0,1793	0,8	0,94	4,0047
BK	4508,47	28,3	-1,09161	0,9078	5256,18	3125,51	8381,70	0,2343	0,8	1,19	4,2277
BL	4508,47	28,3	-1,09161	0,9118	3125,51	6669,34	9794,86	0,1977	0,8	2,55	4,6310
BM	4508,47	28,3	-1,09161	0,9118	6669,34	6669,34	13338,69	0,1413	0,8	0,49	4,6864
BN	4508,47	28,3	-1,09161	1,2617	6669,34	4845,53	11514,88	0,1658	0,8	3,17	5,1069
BO	4508,47	28,3	-1,09161	1,2617	4845,53	4845,53	9691,07	0,2000	0,8	2,52	5,5101
BP	4498,73	28	-1,09595	0,4324	4845,53	7315,90	12161,44	0,1496	0,8	1,69	5,7124
BQ	4498,73	28	-1,09595	0,3063	7315,90	10287,45	17603,36	0,0999	0,8	3,9	6,0240
BU	4498,73	28	-1,09595	0,1604	10287,45	32692,15	42979,60	0,0376	0,8	0,41	6,0363
BV	4498,73	28	-1,09595	0,2909	32692,15	12015,79	44707,94	0,0360	0,8	2,97	6,1218
BZ	4498,73	28	-1,09595	0,4397	12015,79	11217,41	23233,20	0,0737	0,8	1,82	6,2291
CA	4498,73	28	-1,09595	0,9197	11217,41	3907,75	15125,16	0,1179	0,8	0,17	6,2452
CB	4498,73	28	-1,09595	3,3801	3907,75	1247,16	5154,91	0,3820	0,8	2,66	7,0581
CC	4498,73	28	-1,09595	0,3927	1247,160	15744,93	16992,09	0,1038	0,8	2,29	7,2483
CD	4498,73	28	-1,09595	0	15744,93				0,8	2,88	
CE	4498,73	28	-1,09595	3,8760	0	478,00791			0,8	0,67	

Fuente: Los autores.

ANEXO F. Informes de laboratorio de espectrometría de fluorescencia de rayos x para el mes de febrero.

Sample : 1A
 Operator: APP
 Comment : Sólidos con película polyprop.
 Aire 2 canales CANAL COMUNEROS1 FEBRERO
 Group : Solid Air poly 10-mm
 Date : 2015-04-14 14:03:25
 Measurement Condition



 Instrument: EDX-720 Atmosphere: Air Collimator: 10(mm) Spin: Off

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	92-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	40
Na-Sc	Rh 15	1000-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	30

Qualitative Result

 SiO2, Pb3O4, SO3, Rb2O, Ac2O3, K2O, CaO, TiO2, V2O5, CrO, MnO2, Fe2O3, Ni2O3, CuO, ZnO, SrO, RuO2

Quantitative Result

 Analyte Result (Std.Dev.) Proc.-Calc. Line Int.(cps/uA)

====[No. 1 Layer]====< Layer1 >=====

	5.000 um	(-----) Fix	-----
CH2	100.000 %	(-----) Fix	-----

====[No. 2 Layer]====< Base

SiO2	62.182 %	(0.343)	Quan-FP	SiKa	0.3499
Fe2O3	15.082 %	(0.027)	Quan-FP	FeKa	31.8295
CaO	7.561 %	(0.028)	Quan-FP	CaKa	0.8231
SO3	3.264 %	(0.048)	Quan-FP	S Ka	0.0908
P2O3	3.043 %	(0.097)	Quan-FP	P Ka	0.0248
TiO2	2.575 %	(0.023)	Quan-FP	TiKa	1.6854
K2O	2.253 %	(0.023)	Quan-FP	K Ka	0.1561
RuO2	2.186 %	(0.008)	Quan-FP	RuKa	12.5644
ZnO	0.845 %	(0.006)	Quan-FP	ZnKa	2.9708
CuO	0.270 %	(0.005)	Quan-FP	CuKa	0.7984
CrO	0.206 %	(0.007)	Quan-FP	CrKa	0.2621
SrO	0.152 %	(0.002)	Quan-FP	SrKa	1.3338
MnO2	0.109 %	(0.006)	Quan-FP	MnKa	0.1732
V2O5	0.106 %	(0.010)	Quan-FP	V Ka	0.1007
Ni2O3	0.068 %	(0.005)	Quan-FP	NiKa	0.1572
Pb3O4	0.060 %	(0.006)	Quan-FP	PbLb1	0.1512
Ac2O3	0.039 %	(0.004)	Quan-FP	AcLa	0.1537