ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIADO DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA EN VERTIMENTOS URBANOS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

Luis Carlos Mira Olarte

Universidad de los Andes
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Diciembre de 2006
Bogotá D.C.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIADO DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA EN VERTIMENTOS URBANOS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

Trabajo de grado presentado al
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental por:

Luis Carlos Mira Olarte
199921544

Para optar por el Título de
Ingeniero Ambiental

Asesor de Tesis
Mario Díaz-Granados Msc.
Coasesor de Tesis
Isabel Cristina Raciny Msc.

Universidad de los Andes
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Diciembre de 2006
Bogotá D.C.

A mi familia,

Quien me ha apoyado tanto

en la terminación de los dos programas que decidí realizar.

A las personas que creyeron en mi,
todos los profesores que conocí durante la carrera,
que me brindaron su conocimiento,
y que me empujaron a desarrollar capacidades de ingeniero,
a mi asesor y a mi coasesor que me dieron ideas muy valiosas para el desarrollo de este trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO 4
ÍNDICE DE TABLAS 7
ÍNDICE DE FIGURAS 8
1 INTRODUCCIÓN 9
2 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN EN EL PROYECTO UNIANDES. 11
2.1 Cuenca Río Salitre. 14
2.1.1 Calle 45 Carrera 24. 14
2.1.2 Colector La Vieja. 15
2.1.3 Canal Río Negro. 15
2.1.4 Avenida Ciudad de Cali Calle 90B. 15
2.2 Cuenca Río Fucha. 16
2.2.1 Carrera 5ª Este Calle 12 Sur. 16
2.2.2 Canal Comuneros. 16
2.2.3 Clínica La Paz – Calle 13. 16
2.2.4 Interceptor del Sur -- Lafayette. 16
2.3 Cuenca Río Tunjuelo. 17
2.3.1 Salida Usme Valla Antonio Nariño. 17
2.3.2 San Benito. 17
2.3.3 Descarga Barrio La Coruña. 17
2.3.4 Interceptor Tunjuelo Medio. 17
3 METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN Y MUESTREO UTILIZADAS EN EL PROYECTO UNIANDES. 19
3.1 Mediciones In situ. 20
3.1.1 Equipos utilizados. 21
3.1.1.1 Sonda Multiparamétrica. 21
3.1.1.2 Mediciones de Nivel. 21
3.1.1.3 Mediciones de Precipitación. 22
3.2 Mediciones Ex situ – (en el laboratorio). 22
4 IMPORTANCIA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS. 25
4.1 Características de los Determinantes de Calidad del Agua. 25
4.1.1 Sólidos Suspendidos. 25
4.1.2 Oxígeno Disuelto. 26
4.1.3 Compuestos orgánicos. 26
4.1.4 Nitrógeno. 27
4.1.5 Fósforo. 27
4.1.6 Sulfuros. 28
4.1.7 Temperatura. 28

4.2 Impactos. 28
4.2.1 Decamiento del Oxígeno Disuelto. 29
4.2.2 Eutroficación. 29
4.2.3 Tóxicos. 29
4.2.4 Salud Pública. 30
4.2.5 Efecto Estético. 30
4.3 Fuentes de Contaminación. 30
4.3.1 Aguas Residuales. 31
4.3.1.2 Inodoro. 31
4.3.1.3 Comida. 32
4.3.1.4 Lavado de Ropas y Lavanderías. 32
4.3.1.5 Industria. 32
4.3.2 Aguas Lluvia. 33
4.3.2.2 Vehículos 33
4.3.2.3 Edificios y Carreteras. 34
4.3.2.4 Animales. 34
4.3.2.5 Escombros Urbanos. 34
5 MARCO TEÓRICO DEL TRATAMIENTO DE LOS DATOS Y LA ESTADÍSTICA MULTIVARIADA. 36
5.1 Tratamiento de los Datos Iniciales. 36
5.2 Introducción a las Técnicas de la Estadística Multivariada. 37
5.2.1 Componentes Principales. 38
5.2.2 Análisis de Factores. 39
5.2.3 Análisis de Clusters. 41
5.2.4 Regresión Lineal Multivariada. 42
6 APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS MULTIVARIADAS ESCOGIDAS A LOS DATOS. 43
6.1 Análisis de Estadísticas Básicas. 43
6.1.1 Cuenca Río Salitre. 43
6.1.2 Cuenca Río Fucha. 48
6.1.3 Cuenca Río Tunjuelo. 54
6.2 Análisis de Clusters o Conglomerados. 60
6.2.1 Análisis de Clusters Rango 9:00 pm – 5:00 am. 64
6.2.2 Análisis de Clusters Rango 5:00 am – 1:00 pm. 65
6.2.3 Análisis de Clusters Rango 1:00 pm – 9:00 pm. 66
6.3 Componentes Principales/Análisis de Factores. 67
6.3.1 Grupo 1 – Contaminación baja. 67
6.3.2 Grupo 2 – Contaminación media. 71
6.3.3 Grupo 3– Contaminación Media Alta. 75
6.3.4 Grupo 4– Contaminación Alta. 78
6.3.5 Grupo 5– Contaminación Muy Alta. 82

6.4 Regresiones Lineales Multivariadas 85
7 CONCLUSIONES. 89
8 BIBLIOGRAFÍA 92
9 ANEXOS. 0

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Sitios seleccionados para los monitoreos y muestreos.. 11
Tabla 2: Rangos de medición y resolución de las sondas multiparamétricas. 21
Tabla 3: Composición Típica de un agua residual sin tratar. 35
Tabla 4: Estadísticas básicas para el Sitio 1 Calle 45 Carrera 24, Cuenca Salitre. 44
Tabla 5: Estadísticas básicas para el Sitio 2 Colector La Vieja, Cuenca Salitre. 45
Tabla 6: Estadísticas básicas para el Sitio 3 Canal Río Negro, Cuenca Salitre. 46
Tabla 7: Estadísticas básicas para el Sitio 4 Avenida Ciudad de Cali, Cuenca Salitre. 47
Tabla 8: Estadísticas básicas para el Sitio 1 Carrera 5ª este Calle 12 Sur, Cuenca Fucha... 49
Tabla 9: Estadísticas básicas para el Sitio 2 Canal Comuneros, Cuenca Fucha. 50
Tabla 10: Estadísticas básicas para el Sitio 3 Calle 13 – Clínica La Paz, Cuenca Fucha. ... 51
Tabla 11: Estadísticas básicas para el Sitio 4 Interceptor del Sur -- Lafayette, Cuenca Fucha. 52
Tabla 12: Estadísticas básicas para el Sitio 1 Salida Usme, Cuenca Tunjuelo. 55
Tabla 13: Estadísticas básicas para el Sitio 2 San Benito, Cuenca Tunjuelo. 56
Tabla 14: Estadísticas básicas para el Sitio 3 La Coruña, Cuenca Tunjuelo. 57
Tabla 15: Estadísticas básicas para el Sitio 4 Interceptor Medio, Cuenca Tunjuelo. 58
Tabla 16: Eigenvalores Calle 45 Cra 24. 69
Tabla 17: CP/AF Calle 45 Cra24 70
Tabla 18: Eigenvalores Calle 13. 72
Tabla 19: CP/AF Calle 13. 73
Tabla 20: Eigenvalores Río Negro. 75
Tabla 21: CP/AF Río Negro. 77
Tabla 22: Eigenvalores Lafayette. 79
Tabla 23: CP/AF Lafayette. 80
Tabla 24: Eigenvalores San Benito. 83
Tabla 25: CP/AF San Benito. 84
Tabla 26: Resumen Regresiones Lineales Mutivariadas. 86
Tabla 27: Resumen Regresiones Lineales Mutivariadas Informe Final IIb. 87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Monitoreos y muestreos en la Cuenca del Rio Salitre. 12
Figura 2: Monitoreos y muestreos en la Cuenca del Rio Fucha. 13
Figura 3: Monitoreos y muestreos en la Cuenca del Rio Tunjuelo. 14
Figura 4: Dendograma General. 61
Figura 5: Dendograma General sin San Benito 62
Figura 6: Patrón Horario de Aguas Residuales.. 63
Figura 7: Análisis de Clusters para el rango 9:00 pm – 5:00 am. 64
Figura 8: Análisis de Clusters para el rango 5:00 am – 1:00 pm. 65
Figura 9: Análisis de Clusters para el rango 1:00 pm – 9:00 pm. 66
Figura 10: Screw Plot Calle 45 Cra 24 69
Figura 11: Screw Plot Calle 13. 72
Figura 12: Screw Plot Río Negro. 76
Figura 13: Screw Plot Lafayette. 79
Figura 14: Screw Plot San Benito. 83

1 INTRODUCCIÓN

Los ríos, y en general las aguas superficiales, juegan un papel muy importante en la asimilación, el transporte y la conducción de aguas residuales domésticas, industriales y de escorrentía. Esta importancia se magnifica si se tiene en cuenta su utilización en los sistemas de drenaje urbano. Por esta razón estos cuerpos de agua se ven afectados directamente por presiones de carácter antrópico como la contaminación que generan las descargas puntuales y distribuidas de aguas residuales o de contaminantes, por decir algunas, y otras presiones naturales como la precipitación, los procesos climáticos, etc. (Singh, Malik & Sinha 2005) a las que son sometidos durante su curso natural.

Dada la importancia que tiene el agua como recurso natural, y al creciente desarrollo de políticas y prácticas de manejo y gestión de la calidad del agua, se "ha llevado a la medición, análisis y comparación de concentraciones y cargas contaminantes generadas en ambientes urbanos"[1].

La Universidad de los Andes han realizado varios proyectos en los que ha hecho campañas de monitoreo y muestreo de parámetros de calidad de agua por medio de equipos de muestreo automático como por el ejemplo el proyecto de la subcuenca del Virrey, en Bogotá, realizado para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) en el 2002, el proyecto sobre la instrumentación y modelación del sistema de alcantarillado de la ciudad de Girardot, para la empresa de Acueducto de Girardot (Acuagir) en el 2005 y el proyecto sobre la instrumentación, monitoreo y estimación de cargas contaminantes afluentes a los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo y la PTAR Salitre (de ahora en adelante Informe

[1] Centro de Investigaciones de Ingeniería Ambiental, Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería."Instrumentación, Monitoreo, y Estimación de Cargas Contaminantes Afluentes a los Ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo y la PTAR Salitre. Fase II b Informe final. Año 2006

Final Fase IIb), realizado para la EAAB en el 2006. En estos estudios se han determinado las concentraciones de los parámetros de calidad que tienen las aguas que han sido sometidas a análisis, se ha estudiado la afectación de eventos de precipitación, se ha realizado la estimación de cargas contaminantes y se han estudiado algunas relaciones entre parámetros que ayuden a explicar de una mejor manera las condiciones y características que tienen los cuerpos de agua en cuestión.

En este trabajo de grado se realiza el análisis de los datos obtenidos para el Informe Final Fase IIb del estudio contratado por la EAAB, es decir el tercero de los proyectos realizados por la Universidad de los Andes mencionados anteriormente, para que por medio de herramientas de la Estadística Multivariada se generen resultados que permitan la mejor comprensión de los datos obtenidos en las campañas de muestreo realizadas.

2 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN EN EL PROYECTO UNIANDES.

El Informe Final IIb que hizo la Universidad de los Andes para la EAAB (2006), realizó muestreos en algunos vertimientos afluentes a los tres ríos de mayor importancia que tiene la ciudad de Bogotá D.C., ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo. Se seleccionaron 4 sitios de monitoreo en cada uno de los ríos. En la tabla 1 y en las figuras 1, 2 y 3 tomadas del Informe Final Fase IIb, se muestra información, características y localización de los sitios escogidos.

Tabla 1: Sitios seleccionados para los monitoreos y muestreos. (Tomada del Informe Final IIB, EAAB, 2006).

CUENCA RÍO FUCHA					
IDENTIFICACION DEL PUNTO		**ZONA**	**CÓDIGO**	**MARGEN DESCARGA**	**TIPO VERTIMIENTO***
1	Carrera 5A Este Calle 12 Sur.	4	FT-1-16	DERECHA	CO
2	Canal Comuneros	3	FT-2-149	DERECHA	CO
3	Calle 13 - Clínica La Paz	3	FT-3-46	DERECHA	AR
4	Interceptor del Sur	5	FT-4-03	IZQUIERDA	AR
CUENCA RÍO SALITRE					
IDENTIFICACION DEL PUNTO		**ZONA**	**CÓDIGO**	**MARGEN DESCARGA**	**TIPO VERTIMIENTO***
1	Calle 45 con Carrera 24	2	ST-2-23	IZQUIERDA	AR
2	Colector La Vieja	2	ST-3-155	DERECHA	CO
3	Canal Río Negro	2	ST-3-232	DERECHA	CO
4	Av. Ciudad de Cali Calle 90 B	2	ST-4-47	IZQUIERDA	CO
CUENCA RÍO TUNJUELO					

IDENTIFICACION DEL PUNTO		ZONA	CÓDIGO	MARGEN DESCARGA	TIPO VERTIMIENTO*
1	Salida Usme Valla Universidad Antonio Nariño	4	CTA-05	DERECHA	AR
2	Estación de Bombeo de San Benito	4	CTA -13	DERECHA	AR
3	Descarga Barrio La Coruña	4	CTB - 28	IZQUIERDA	CO
4	Interceptor Tunjuelo Medio	5	CTB-55	IZQUIERDA	AR

*CO: Combinado, AR: Agua Residual

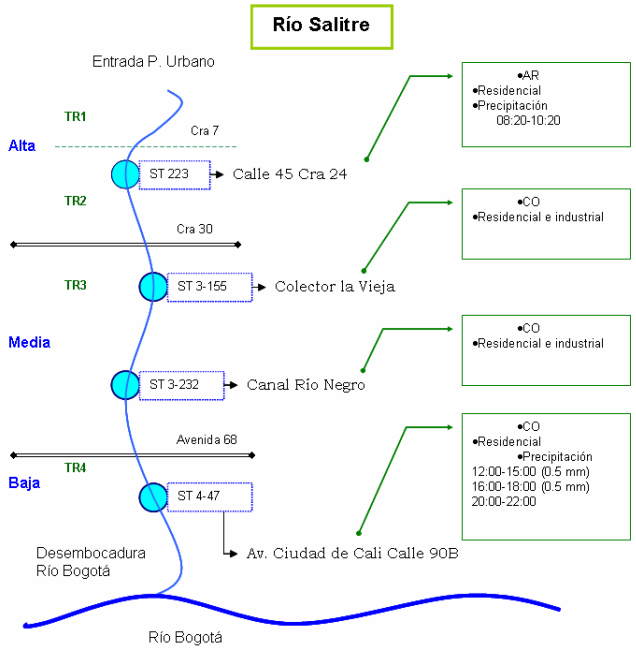

Figura 1: Monitoreos y muestreos en la Cuenca del Rio Salitre. (Tomada del Informe Final Fase IIb, EAAB, 2006)

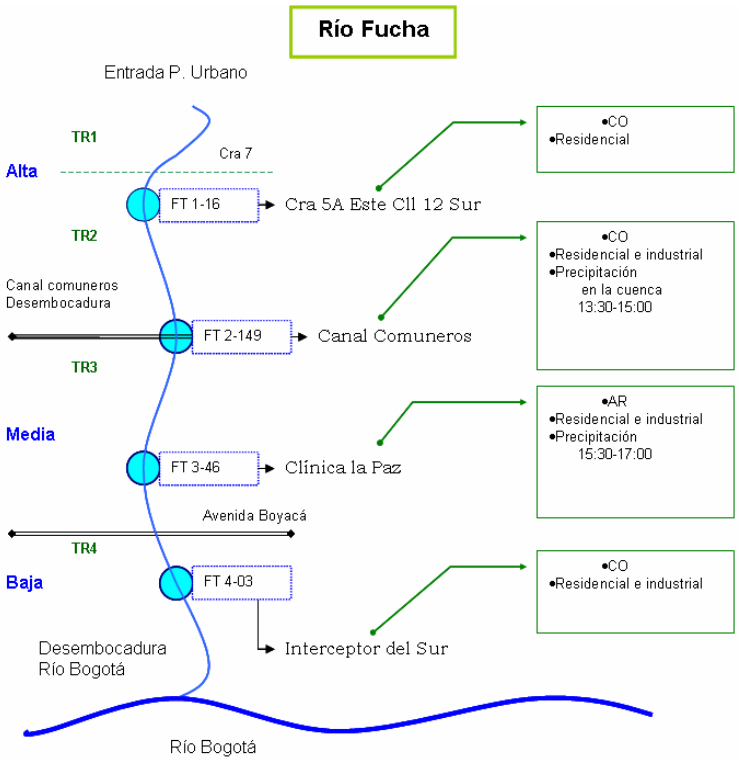

Figura 2: Monitoreos y muestreos en la Cuenca del Rio Fucha. (Tomada del Informe Final Fase IIb, EAAB, 2006)

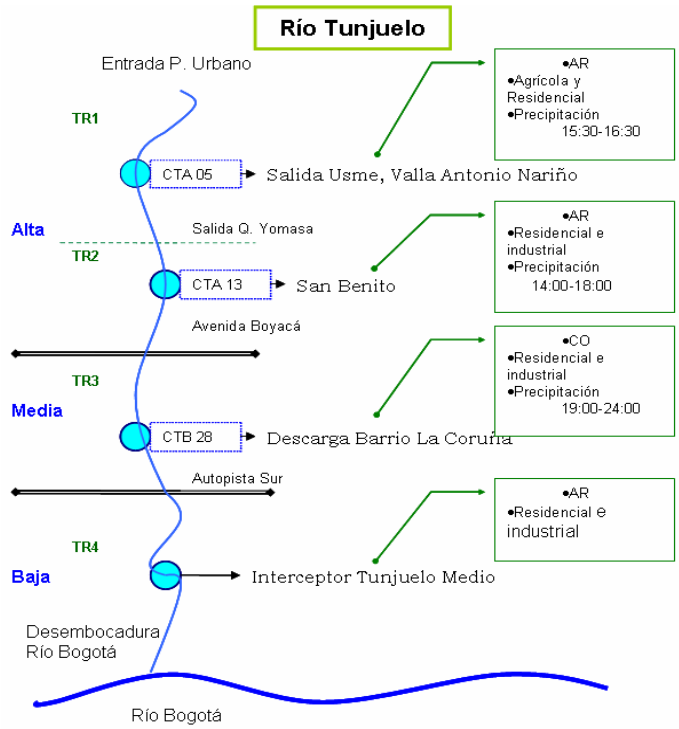

Figura 3: Monitoreos y muestreos en la Cuenca del Rio Tunjuelo. (Tomada del Informe Final Fase IIb, EAAB, 2006)

A continuación se presentan claramente las características principales que tiene cada uno de los sitios escogidos para el muestreo en los tres ríos. (Tomado del Informe Final Fase IIb, EAAB, 2006).

2.1 Cuenca Río Salitre.

2.1.1 Calle 45 Carrera 24.

Este sitio de monitoreo está situado en la parte alta de la cuenca del Río Salitre (Figura 1). Recibe aguas residuales residenciales y durante el tiempo en que se llevaron a cabo los monitoreos se presentaron algunos eventos de precipitación,

de los cuales el más significativo tuvo una duración de dos horas. La descarga en este punto está catalogada como un alivio de aguas residuales. El alivio es una estructura que se construye de tal manera que cuando el caudal del sistema de drenaje urbano supera cierto límite de capacidad se vierte el caudal de exceso en un cuerpo de agua superficial que esté fluyendo cerca del sistema de alcantarillado. El área asociada a la cuenca de descarga es de 194 Ha (hectáreas) y la característica del uso del suelo en este sector es de uso residencial.

2.1.2 Colector La Vieja.

El colector La Vieja está situado en la cuenca media del Río Salitre (Figura 1). Durante el tiempo de monitoreo no se presentaron eventos de precipitación. Recibe aguas residuales residenciales e industriales, y la descarga, se da por medio de un alivio. La descarga está catalogada como combinada, pues lleva tanto aguas residuales como aguas lluvias. El área de la cuenca que se asocia a esta descarga es de 119 Ha., y existe uso industrial en los suelos relacionados.

2.1.3 Canal Río Negro.

El sitio de monitoreo, Canal Río Negro, está situado también en la cuenca media del Río Salitre (Figura 1). Durante el tiempo de monitoreo no se llevaron a cabo eventos de precipitación. Recibe aguas residuales residenciales e industriales, como también aguas lluvias. Es una descarga directa combinada. El área de la cuenca que se asocia a esta descarga es de 1371 Ha de las cuales 927 Ha se encuentran dentro del perímetro urbano.

2.1.4 Avenida Ciudad de Cali Calle 90B.

Este sitio de monitoreo está situado en la cuenca baja del Río Salitre (Figura 1). Durante el tiempo de monitoreo se presentaron tres eventos de precipitación. Esta descarga está catalogada como combinada ya que lleva aguas residuales

residenciales y agua lluvias, y se da por medio de una estructura de alivio. El área de la cuenca que se asocia a esta descarga es de 459,33 Ha.

2.2 Cuenca Río Fucha.

2.2.1 Carrera 5ª Este Calle 12 Sur.

El sitio de monitoreo de la Carrera 5ª este Calle 12 sur está situado en la cuenca alta del Río Fucha (Figura 2). Durante el tiempo de monitoreo no se presentaron eventos de precipitación. Esta descarga está catalogada como una descarga directa y combinada pues lleva aguas residuales residenciales y aguas lluvias. El uso del suelo en esta cuenca es en su mayoría doméstico. El área de la cuenca asociada a esta descarga es de 52,72 Ha.

2.2.2 Canal Comuneros.

El sitio de monitoreo Canal Comuneros está situado en la cuenca alta del Río Fucha (Figura 2). Durante el tiempo en que se llevó a cabo el monitoreo se presentó un evento de precipitación. Esta descarga lleva aguas residuales residenciales e industriales y está catalogada como una descarga directa combinada. El área de la cuenca asociada a esta descarga es de 382,16 Ha.

2.2.3 Clínica La Paz – Calle 13.

Clínica La Paz – Calle está situado en la cuenca media del Río Fucha (Figura 2). Durante el tiempo en que se llevó a cabo el monitoreo se presentó un evento de precipitación. Esta descarga lleva aguas residuales residenciales e industriales y está catalogada como una descarga de aguas residuales solamente, por medio de un alivio. El área de la cuenca asociada a esta descarga es de 67 Ha.

2.2.4 Interceptor del Sur -- Lafayette.

El Interceptor del Sur—Lafayette está situado en la cuenca baja del Río Fucha (Figura 2). Durante el periodo de monitoreo no se presentó ningún evento de

precipitación. Esta descarga directa no es combinada pues solamente lleva aguas residuales industriales y residenciales. El área de la cuenca asociada a esta descarga es de 109 Ha.

2.3 Cuenca Río Tunjuelo.

2.3.1 Salida Usme Valla Antonio Nariño.

El sitio de monitoreo, Salida Usme valla Antonio Nariño, está situado en la cuenca alta del Río Tunjuelo (Figura 3). Durante el periodo de monitoreo se llevó a cabo un evento de precipitación. Esta descarga es combinada y lleva aguas residuales residenciales y agrícolas. Además está catalogada como descarga directa. El área de la cuenca asociada a esta descarga es de 15,15 Ha.

2.3.2 San Benito.

El sitio de monitoreo San Benito esttá situado en la cuenca alta del Río Tunjuelo (Figura 3). Durante el periodo de monitoreo se llevó a cabo un evento de precipitación. Esta descarga está catalogada como bombeo de agua residual industrial y residencial y el área de la cuenca asociada a esta es de 60,37 Ha.

2.3.3 Descarga Barrio La Coruña.

El sitio de monitoreo Barrio La Coruña está situado en la cuenca media del Río Tunjuelo (Figura 3). Durante el periodo de monitoreo se llevó a cabo un evento de precipitación. Esta descarga está catalogada como una descarga directa combinada y lleva aguas residuales residenciales e industriales. El área de la cuenca asociada a esta descarga es de 30,55 Ha.

2.3.4 Interceptor Tunjuelo Medio.

El Interceptor Tunjuelo Medio está situado en la parte baja de la cuenca del Río Tunjuelo (Figura 3). Durante el periodo de monitoreo no se presentaron eventos de precipitación. La descarga está catalogada como descarga directa de agua

residual residencial e industrial, y el área de la cuenca en la que incide es de 291,92 Ha.

En el Informe Final Fase IIb, EAAB, 2006, se caracterizan cada uno de los sitios de monitoreo, teniendo en cuenta factores de análisis como el hecho de que haya existido un evento de precipitación o no, si es una descarga combinada o solo de agua residual, y el tamaño de la cuenca.

3 METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN Y MUESTREO UTILIZADAS EN EL PROYECTO UNIANDES.

Para la obtención de datos precisos a la hora de realizar una investigación como la que llevó a cabo la Universidad de los Andes en este proyecto, se realizaron metodologías de medición y muestreo muy robustas. Estos procedimientos deben ser realizados con una gran minuciosidad ya que la veracidad de los análisis que se hagan con los datos obtenidos, dependen fundamentalmente del éxito de estas metodologías. Como bien lo dice la frase célebre dentro del argot de los investigadores que trabajan modelos de simulación, “Garbage in, garbage out” y son estos procedimientos los que permiten que los análisis realizados muestren de la mejor manera la realidad que se quiere caracterizar.

Teniendo en cuenta el documento que se ha venido citando en este trabajo de grado, las metodologías utilizadas en el proyecto fueron las siguientes:

- En primer lugar, y como ya se mencionó en el capítulo anterior, el primer paso fue la determinación de los sitios de medición. Aunque el papel de la Universidad en este caso fue validar los sitios escogidos por la EAAB.
- En segundo lugar se realizó una visita preliminar a los sitios seleccionados para reconocerlos y validarlos. Durantes estas visitas se evaluó la representatividad de los sitios escogidos, así como los usos del suelo y las actividades económicas que fueron presentadas también en el capítulo anterior.
- Teniendo en cuenta estas visitas de campo se determinaron aspectos importantes para la realización ordenada de las campañas de muestreo. Entre estos aspectos se encuentran por ejemplo la conformación de comisiones de campo conformada por 3 ó 4 técnicos, las actividades logísticas, tales como la seguridad, permisos, transporte, materiales y el

cronograma de muestreo, ya que se tenía que coordinar con el laboratorio de la EAAB la disponibilidad que este tenía para la recepción de las muestras.

Ya realizados estos análisis previos, se establecieron las actividades que se iban a realizar para llevar a cabo las mediciones en el sitio (in situ), y las mediciones en el laboratorio (ex situ), previstas en el estudio.

3.1 Mediciones In situ.

En la realización de las mediciones in situ se tuvieron en cuenta las siguientes actividades:

- Adecuación del sitio: teniendo en cuenta los sitios seleccionados se tuvieron que realizar adecuaciones necesarias para poder instalar los equipos de medición y poderlos poner en marcha sin ningún problema. Entre las actividades previstas en este punto se realizaron remociones de maleza, basuras entre otras cosas.
- Programación de los equipos: para realizar las mediciones in situ se utilizaron equipos de medición de nivel, precipitación y sondas multiparamétricas que fueron programadas para su correcto funcionamiento.
- Registro de las mediciones de campo: seguida la programación de los equipos se comenzó el registro automático de los datos durante 24 horas continuas con frecuencias de mediciones entre 1 y 5 minutos.
- Validación de las mediciones: Se realizaron mediciones manuales cada hora, para validar el correcto funcionamiento de las mediciones realizadas de manera automática.
- Recolección de los equipos: Se recolectaron y se limpiaron los diferentes equipos, después de la jornada de mediciones de 24 horas.

- Transferencia de datos: Se realizó la transferencia de los datos obtenidos por los equipos automáticos.

3.1.1 Equipos utilizados.

3.1.1.1 Sonda Multiparamétrica.

Las sondas multiparamétricas se utilizaron para monitorear en cada uno de los 12 sitios escogidos para la medición y monitoreo los siguientes determinantes de calidad:

- Oxígeno Disuelto (mg/L) - OD
- Conductividad (mS/cm)
- Temperatura (C°)
- pH

Tabla 2: Rangos de medición y resolución de las sondas multiparamétricas.
(Tomada del Informe Final Fase IIb, EAAB, 2006)

Parámetro	Rango	Resolución
Temperatura	De -40 a 100 ºC	0.1 ºC
Conductividad	0 a 100 mS/cm	0.01 mS/cm
Oxígeno Disuelto	0 a 20 mg/L	0.1 mg/L
pH	0 a 14	0.1

Como se puede observar, en la tabla 2 se ven los rangos que manejan las sondas multiparamétricas utilizadas en el proyecto. Se mencionó anteriormente que se tomaron datos manuales cada hora de estos 4 parámetros para validar los datos que se colectaron con las sondas.

3.1.1.2 Mediciones de Nivel.

Para la determinación de los caudales de los 12 sitios escogidos se utilizaron dos tipos de equipos para determinar este parámetro. Se utilizaron sensores de ultrasonido y sensores de área velocidad para determinar el nivel del agua. A partir

de los aforos realizados en cada uno de los puntos se obtuvo la curva de calibración de caudales para determinar el valor del caudal en cada instante de tiempo muestreado. De la misma manera se tomaron datos de caudal manualmente cada hora para validar los registros obtenidos con los medidores de nivel.

3.1.1.3 Mediciones de Precipitación.

Para llevar a cabo este tipo de mediciones se utilizaron pluviómetros de balancín conectados a equipos ISCO que permiten almacenar el registro de precipitación en el sitio de muestreo.

3.2 Mediciones Ex situ – (en el laboratorio).

Las muestras utilizadas para medición en el laboratorio fueron tomadas en el momento en que se hacía la validación horaria de los datos obtenidos para los equipos automáticos. Es decir que se recogieron muestras cada hora y fueron analizadas por el laboratorio de la EAAB. En la realización de las mediciones Ex situ se tuvieron en cuenta las siguientes actividades:

- Selección de los parámetros de calidad a muestrar: Estos parámetros fueron determinados conjuntamente por la Universidad de los Andes y por la EAAB y fueron los siguientes:
  - Amonio (mg N/l)
  - DBO_5 (mg O_2/l)
  - DQO (mg O_2/l)
  - Fósforo Soluble (mg P/l)
  - Fósforo Total (mg P/l)
  - Nitratos (mg N/l)
  - Nitritos (mg N/l)
  - Nitrógeno Kjelhald Total (mg N/l)

- Sólidos Suspendidos Totales (mg/l) – SST
- Sólidos Suspendidos Volátiles (mg/l) – SSV
- Sólidos Totales Volátiles (mg/l) – STV
- Sólidos Totales (mg/l) – ST
- Sulfatos (mg SO_4/l)
- Sulfuros (mg S/l)

Para cada uno de estos parámetros se determinaron los valores de concentración, para que por medio de la siguiente expresión matemática se obtuvieran las cargas de cada uno de los contaminantes teniendo en cuenta el caudal determinado en cada punto de medición.

$$C\arg a = c * Q$$

- Programación de los equipos: Se programaron los muestradores automáticos, para tomar muestras cada hora en un periodo de 24 horas seleccionado para el estudio.
- Preservación y transporte de las muestras: La muestras recolectadas fueron almacenadas y transportadas de manera refrigerada en el contenedor del muestreador automático hacia el laboratorio de la EAAB.
- Limpieza de los equipos: Después de realizar cada una de los 24 muestreos en cada sitio de medición se limpiaron los equipos en la forma en la que sugiere el fabricante.
- Análisis de las muestras de laboratorio: Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la EAAB. En total se tomaron 24 muestras, para cada una de ellas se analizaron los 14 determinantes de calidad del agua escogidos anteriormente lo cual da un total de 4032 muestras correspondientes a los 12 sitios analizados.
- Reporte de los análisis: El laboratorio de la EAAB reportó los datos que fueron analizados para cada uno de los sitios de medición.

Como se puede observar, las metodologías utilizadas están pensadas bajo un criterio de mejores prácticas, de tal manera que se garantiza una buena calidad en los datos obtenidos en la campaña de medición y muestreo, que es uno de los prerrequisitos para que los análisis realizados con estos datos tengan validez.

4 IMPORTANCIA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS.

Es fundamental establecer, cual es la importancia de los parámetros de calidad de las aguas residuales urbanas, que los caracterizan y cuales son las posibles fuentes contaminantes que aumentan las concentraciones en los cuerpos de agua analizados.

4.1 Características de los Determinantes de Calidad del Agua.

4.1.1 Sólidos Suspendidos.

Los sólidos suspendidos son aquellos sólidos que pueden ser percibidos por los sentidos. Las fracciones más finas de estos sólidos son eficientes portadores de contaminantes, (Butler y Davies, 2004). Altas concentraciones de sólidos suspendidos tienen efectos bastante nocivos en las aguas que los reciben ya que se aumenta su turbidez, se reduce la penetración de luz promoviendo sistemas anaerobios e interferencia con la vida acuática en general, (Butler y Davies, 2004). Cuando se dan procesos de sedimentación se aumenta el nivel de sólidos suspendidos en el cuerpo de agua generando un deterioro del hábitat acuático aumentando la mortalidad de algunos seres vivos, (Mayfield, 2006). Producen sobre todo impactos de tipo estético, y "proporciona sitios para la adsorción de sustancias químicas y biológicas"[2]. Por otro lado también pueden generar un hábitat propicio para que microorganismos se establezcan allí, y produzcan las sustancias que se generan en su metabolismo, (Kurita, 1999).

[2] Nota de Clase. Tratamiento Físico Químico del Agua. Profesor Jaime Plazas 2006-2.

4.1.2 Oxígeno Disuelto.

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno que puede estar disuelto en el agua en equilibrio con el aire. La concentración de OD es un indicador excelente de la salud de un cuerpo de agua, ya que la mayoría de las formas de vida de un río necesitan de este oxígeno para vivir. Por consiguiente, existe una gran correlación entre el OD y la biodiversidad de un cuerpo de agua, (Butler y Davies, 2004). Por otro lado, en los desechos líquidos, el OD determina que tipo de organismos, aeróbicos o anaerobios, son los causantes de los cambios biológicos que se presentan, (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001). Si la concentración de OD es muy baja predominan los organismos anaerobios cuyos productos finales de su metabolismo son contaminantes, (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001).

4.1.3 Compuestos orgánicos.

Las aguas residuales domésticas y las aguas lluvia de escorrentía contienen cantidades significativas de compuestos orgánicos tanto en forma particulada, como en forma suspendida. Estos compuestos son oxidados con facilidad en los cuerpos de agua de manera biológica o química para estabilizar productos tales como dióxido de carbono, nitratos, sulfatos y agua, (Butler y Davies, 2004). La descomposición de este tipo de compuestos, genera una demanda por el oxígeno disuelto lo cual produce un decaimiento en las concentraciones de este parámetro. Se puede medir de manera indirecta la cantidad de materia orgánica presente en el cuerpo de agua a partir de la medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) o de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Estos parámetros de agua son utilizados para determinar cuando un cuerpo de agua está contaminado y en el caso de la DBO_5, un río se considera contaminado si su concentración de DBO_5 excede los 5 mg/l (Butler y Davies, 2004). El parámetro DBO se usa para determinar la fuerza contaminante que tienen los residuos tanto industriales como

domésticos por la demanda de OD que se genera, (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001). Lo más importante de este parámetro es que determina la cantidad de materia orgánica que es susceptible de descomposición en condiciones aerobias, (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001). El parámetro de DQO es una muy buena aproximación del valor total de materia orgánica presente en el cuerpo de agua.

4.1.4 Nitrógeno.

El nitrógeno está presente en 4 formas principalmente. En forma orgánica (en forma de proteínas), amonio, nitritos y nitratos. La concentración de nitrógeno en aguas residuales residenciales es casi siempre relacionada con la DBO_5, (Butler y Davies, 2004). La carga excesiva de este tipo de sustancias promueve el crecimiento de plantas acuáticas y algas no deseadas, generando procesos de eutroficación. La ingestión de agua con una gran concentración de Nitratos, medidos como Nitrógeno puede generar el "síndrome del bebe azul" en niños por debajo de los seis meses de nacidos quienes tienen esa coloración y presentan dificultades para respirar, (Cheremisinoff, 2002). Los nitratos y los amonios especies en las que se haya el nitrógeno, son tóxicos para los organismos acuáticos y para los humanos, (Mayfield, 2006).

4.1.5 Fósforo.

El fósforo se puede expresar como total, orgánico o inorgánico. Aunque en las aguas residuales se encuentra en su mayoría como fósforo inorgánico, (Butler y Davies, 2004). El fósforo es otro de los nutrientes que pueden generar crecimiento de plantas acuáticas que promueven los procesos de eutroficación. (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001), (Mayfield, 2006).

4.1.6 Sulfuros.

Los sulfuros son encontrados en las aguas residuales en la forma de compuestos orgánicos y de sulfatos, (Butler y Davies, 2004) aunque es uno de los aniones con mayor presencia en las aguas naturales, (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001). Bajo condiciones anaerobias pueden producir H_2S que es un gas inflamable y muy venenoso que cuando se escapa al medio ambiente produce olores bastante desagradables.

4.1.7 Temperatura.

La temperatura es muy importante ya que "gobierna las especies biológicas y sus grados de actividad. La temperatura tiene una gran influencia en la mayoría de las reacciones químicas que ocurren en los sistemas naturales y es un factor importante que afecta la solubilidad de los gases. Por consiguiente un alto valor de este parámetro genera efectos sobre la diversidad de las especies biológicas, afecta las tasas de reacción y solubilidad de los gases y los sólidos, y además afecta las propiedades físicas del agua"[3]. Por otro lado, la temperatura también influencia en el crecimiento óptimo de microorganismos dependiendo del tipo de microorganismo presente en el agua, (Kurita, 1999).

4.2 Impactos.

Según Butler y Davies, 2004 los impactos que causa la contaminación de las aguas residuales se pueden dividir en tres efectos. En primer lugar los relacionados con la calidad del agua como el decaimiento del oxígeno disuelto (OD), la eutrofización y los tóxicos presentes en el agua, en segundo lugar efectos sobre la salud pública, y en tercer lugar influencias en la apariencia estética del cuerpo de agua.

[3] Nota de Clase. Tratamiento Físico Químico del Agua. Profesor Jaime Plazas 2006-2.

4.2.1 Decamiento del Oxígeno Disuelto.

Los fenómenos más importantes causados por descargas son las siguientes, (Butler y Davies, 2004):

- Mezcla de aguas con baja concentración de OD con las aguas receptoras.
- Degradación de la materia orgánica contenida en la descarga, generando una demanda inmediata del oxígeno disuelto presente en el agua receptora.
- Demanda de oxígeno por parte de los sedimentos que se depositan gracias a los procesos naturales de sedimentación, y que se resuspenden en los eventos de precipitación.

Como es de suponer, la magnitud de este tipo de efectos depende de la carga de contaminantes que tenga el agua de la descarga.

4.2.2 Eutroficación.

La eutroficación se da cuando se tienen gran cantidad de nutrientes como el nitrógeno o el fósforo presentes en la descarga que está recibiendo el cuerpo de agua receptora, (Butler y Davies, 2004). En este caso se promueve el crecimiento de macrófitas y de algas que producen los siguientes efectos:

- Decaimiento del oxígeno disuelto.
- Condiciones anaerobias en el fondo del cuerpo de agua.
- Muerte de pescados
- Problemas estéticos.

4.2.3 Tóxicos.

Las descargas de aguas residuales son una fuente significativa de niveles elevados de amonio (que es tóxico para los peces), cloruros, metales, hidrocarburos y trazas orgánicas. Todas estas sustancias pueden generar impactos tóxicos. La recepción de este tipo de sustancias presentes en las

descargas, generan una disminución inminente en la diversidad biótica presente en el cuerpo de agua receptora, (Butler y Davies, 2004).

4.2.4 Salud Pública.

Grandes concentraciones de una variedad de patógenos se encuentran en las descargas tanto de aguas residuales como en aguas lluvia, es decir en descargas catalogadas como combinadas, (Butler y Davies, 2004). Aunque el tiempo de vida de las bacterias en el agua puede ser muy corto, las aguas contaminadas pueden generar microsistemas donde se pueden establecer éstas y aumentar sus tiempos de vida. El verdadero problema en este caso depende de la exposición que tenga el hombre a este cuerpo de agua, sobretodo cuando el uso de 'este, aguas abajo sea por ejemplo para la recreación, (Butler y Davies, 2004).

4.2.5 Efecto Estético.

La percepción pública que se tenga de la calidad del cuerpo de agua es también un factor importante. Sobretodo por la dificultad que existe para la gente del común de establecer a simple vista cuando un cuerpo de agua se encuentra o no contaminado, (Butler y Davies, 2004).

4.3 Fuentes de Contaminación.

En los numerales anteriores se han caracterizado los diferentes parámetros de calidad de aguas residuales, y sus posibles efectos, pero es de gran importancia saber cuales son las fuentes de contaminación que hacen que estas descargas tengan las características anteriormente mencionadas.

4.3.1 Aguas Residuales.

4.3.1.1 Excretas Humanas.

Las excretas humanas son responsables de una gran proporción de los contaminantes presentes en las aguas residuales, (Butler y Davies, 2004). Los adultos generan en promedio al día entre 200 y 300 g de materias fecales, y entre 1 kg y 3 kg de orina, (Butler y Davies, 2004). En términos de DBO, la materia fecal y la orina proporcionan aproximadamente el 60% de los compuestos orgánicos encontrados en las aguas residuales. Gray & Becker, 2002 establecieron en un estudio hecho a las descargas de agua que se realizan en una casa que más o menos el 92% del nitrógeno provenía de los inodoros, la mayoría del amonio, el 56 % del fósforo y también el 60% de la demanda química de oxígeno. Por otro lado la cantidad de fósforo que se libera en las heces humanas es función de la cantidad de proteínas presentes en la dieta diaria. Gracias a este hecho se estimó que en Estados Unidos la cantidad de fósforo liberada al día es de 1,5 g por persona, (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001).

4.3.1.2 Inodoro.

El papel higiénico es fuente de sólidos suspendidos. En este caso el papel higiénico se desintegra rápidamente pero no es biodegradable rápidamente por causa de las fibras de celulosa que lo componen, (Butler & Davies, 2004). Algunos experimentos han probado que los papeles de colores contribuyen con el 15% de la demanda química de oxígeno presente en las aguas residuales, (Butler & Davies, 2004). Casi todas las cosas que la gente dispone en el inodoro genera contaminación, y entre las más usuales se tienen elementos como condones, toallas sanitarias, tampones, toallas de papel entre muchas otras. Las fuentes domésticas generan casi el doble de contaminación vía sólidos suspendidos en comparación con la escorrentía del agua lluvia, (Gray & Becker, 2002). El inodoro es una fuente muy importante del nitrógeno presente en el agua residual,

representando casi el 92% del total de nitrógeno que se produce en un agua residual doméstica, (Gray & Becker, 2002). Lo mismo sucede con el NH_3 y con el fósforo (Gray & Becker, 2002).

4.3.1.3 Comida.

La comida que no ha sido digerida, como por ejemplo mantequillas, margarinas, carnes, cereales entre otros, son fuentes de grasas en las aguas residuales, (Butler & Davies, 2004).

4.3.1.4 Lavado de Ropas y Lavanderías.

Las actividades de lavado de ropa utilizan jabones y detergentes que son luego dispuestos en las aguas residuales, (Butler & Davies, 2004). Por consiguiente se convierten en fuente de este tipo de sustancias, así como de concentraciones de fósforo si este está presente en la composición de estos productos para la limpieza. La gran mayoría de las fórmulas para detergentes que se han diseñado específicamente para el mercado doméstico contiene alrededor del 12 al 13% de fósforo, ó en su defecto más del 50% de polifosfatos, (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001). En este caso también se pueden encontrar cantidades significativas de grasas y aceites, (Gray & Becker, 2002).

4.3.1.5 Industria.

Las características de las aguas residuales industriales son muy parecidas a las residuales residenciales en cuanto a que contienen una gran proporción de agua, y que las impurezas se presentan como materiales suspendidos, disueltos o coloidales, (Butler & Davies, 2004).. Pero además de ésto una gran variedad de contaminantes se pueden generar por lo que una descarga de agua residual industrial puede contener contenidos orgánicos extremos, deficiencia de nutrientes, químicos inhibidores, compuestos orgánicos resistentes, metales pesados y compuestos orgánicos persistentes. La degradación de un cuerpo de

agua se puede explicar claramente cuando existe una descarga industrial cerca, ya que estas tienden a tener mayores cantidades de sólidos disueltos, presumiblemente por la acumulación de residuos solubles, (Zeng & Rasmussen, 2005).

4.3.2 Aguas Lluvia.

4.3.2.1 Contaminación Atmosférica.

La contaminación atmosférica generada por todas las actividades antropogénicas tales como la industria, el tráfico vehicular, entre otros, es absorbida o disuelta por la lluvia, (Butler & Davies, 2004).. Todas las sustancias presentes en la atmósfera son llevadas a las aguas superficiales cuando se dan los eventos de precipitación. Aunque también existen mecanismos mediante los cuales sin tener un evento de precipitación se pueden transportar los contaminantes atmosféricos a los cuerpos de agua, por ejemplo por medio del viento. En un estudio hecho en Gothenburg se identificó la lluvia como forma dominante de la contaminación atmosférica ya que representaba el 60% para nitrógeno, fósforo, plomo, zinc y cadmio, (Butler & Davies, 2004). Por otro lado los mecanismos como el viento son más importantes dentro de las áreas urbanas. En otro estudio citado por Butler y Davies, 2004, se muestra que en Suecia se estimó que el 20% de la materia orgánica, el 25% del fósforo y el 70% de nitrógeno total en el agua lluvia, se debe a eventos secos de transporte de contaminantes atmosféricos. Por otro lado, la escorrentía que genera la lluvia, lleva en su primer lavado muchos contaminantes que estaban en el suelo. Estos contaminantes dependerán del uso del suelo que tenga, (Zeng & Rasmussen, 2005).

4.3.2.2 Vehículos

Las emisiones de los vehículos incluyen sólidos volátiles, hidrocarburos poliaromáticos que se derivan de los combustibles usados para su funcionamiento,

(Butler & Davies, 2004). Además de estas emisiones también contaminan con las emisiones que hacen las llantas de sustancias como Zinc e hidrocarburos. Otra de las sustancias que se desprenden de los vehículos son partículas metálicas que se desprenden de los frenos y del embrague entre otros. Claro está que cuando se da un evento de precipitación, el primer lavado va a conducir todos estos contaminantes hacia el cuerpo de agua receptor.

4.3.2.3 Edificios y Carreteras.

La erosión urbana produce partículas de ladrillo, concreto, asfalto y vidrio que se convierten en un constituyente significativo en los sedimentos de un agua lluvia, (Butler & Davies, 2004). La contaminación en este caso dependerá de condición que estos materiales presenten a la hora de la erosión.

4.3.2.4 Animales.

Los animales también son fuente de contaminación de las aguas lluvia, sobretodo por sus excretas. En Bogotá ésta es una práctica realizada con bastante frecuencia, pues la mayoría de la gente que tiene mascotas, las saca a la calle para que hagan sus necesidades. Estas excretas, son fuente de contaminación patogénica en la forma de coniformes fecales y estreptococos fecales, (Butler & Davies, 2004).

4.3.2.5 Escombros Urbanos.

Las superficies urbanas contienen grandes cantidades de escombros en las calles, como polvo, tierra, materia en descomposición, entre otros, (Butler & Davies, 2004). La basura también es una fuente de contaminación, y ésta aumenta la cantidad de sólidos en el agua y la demanda por el oxígeno disuelto.

Los parámetros de calidad de las aguas residuales son muy importantes porque tienen muchos efectos negativos sobre los cuerpos de agua que las reciben,

además estos efectos pueden perjudicar directamente a la población si ésta entra en contacto con el agua contaminada, y son muchas las fuentes que generan contaminación de este tipo de aguas.

Para concluir este capítulo se mostrará en la tabla 3 la composición típica de una agua residual residencial sin tratar.

Tabla 3: Composición Típica de un agua residual sin tratar. (Tomada de Butler y Davies, 2004)

Contaminante	Mínimo (mg/L)	Promedio (mg/L)	Máximo (mg/L)
Sólidos totales	390	720	1230
Sólidos suspendidos totales	120	210	400
Sólidos volátiles	95	160	315
DBO_5 20˚C	110	190	350
DQO	250	430	800
Nitróg;eno total	20	40	70
Nitrógeno orgánico	8	15	25
Nitrógeno amoniacal	12	25	45
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo total	4	7	12
Fósforo orgánico	1	2	4
Fósforo inorgánico	3	5	10
Sulfatos	20	30	50

5 MARCO TEÓRICO DEL TRATAMIENTO DE LOS DATOS Y LA ESTADÍSTICA MULTIVARIADA.

Las herramientas de la estadística multivariada se han venido usando en la caracterización de la calidad de cuerpos de agua y en la planeación del monitoreo de los parámetros de calidad de agua, (Zenn & Rasmussen, 2005). Son muchos los métodos que se han utilizado para este fin en los estudios, entre los cuales se encuentra el uso de técnicas tales como Componentes Principales, Análisis de Factores, Análisis de Cluster, Análisis Discriminante, Regresiones Lineales Multivariadas principalmente. (Panda, et al., 2006; Singh, Malik & Sinha, 2005; Langley, 2004; Kupussamy & Giridha,r 2006; Papatheodorou, Demopoulou & Lambrakis, 2006; Zeng & Rasmussen, 2005; Petersen, et al., 2001; Sarbu & Pop, 2005; Praus, 2005) Por esta razón se ha querido llevar a cabo la aplicación de algunas de las técnicas estadísticas multivariadas mencionadas anteriormente a los datos obtenidos por La Universidad de los Andes en el proyecto "Instrumentación, Monitoreo y Estimación de Cargas Contaminantes Afluentes a los Ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo y la PTAR del Salitre", 2006, realizado para la EAAB.

A continuación se hará un pequeño marco teórico de algunas de las técnicas estadísticas multivariadas, y se dará mayor detalle en las que utilizaron en este estudio.

5.1 Tratamiento de los Datos Iniciales.

Algunos de los datos que se recolectaron en las campañas de muestreo del estudio de Uniandes tienen diferentes unidades, por lo que la aplicación eficiente de algunas de las técnicas multivariadas requiere que los datos estén estandarizados para evitar problemas de clasificación errónea esta diferencia, (Singh, Malik & Sinha, 2005). La estandarización tiende a minimizar la influencia

de las diferentes varianzas de los datos y elimina la diferencia en las unidades de medida y dejando a los datos adimensionales, (Singh, Malik & Sinha, 2005; Panda, et al., 2006). La estandarización que se sugiere en este caso es la del puntaje *z* que consiste en aplicar la siguiente expresión matemática a los datos:

$$Z = \frac{(x - \mu)}{\sigma}$$

Donde *x* es el dato observado

μ es el valor promedio es decir $\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$ y σ es valor de la desviación estándar cuya expresión matemática es la siguiente: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu)^2}{(n-1)}}$.

Cada una de las técnicas tiene además un preprocesamiento de los datos dependiendo de lo que el investigador quiera analizar, pero este tipo de preprocesos serán abordados cuando se esté explicando la aplicación de la técnica como tal.

5.2 Introducción a las Técnicas de la Estadística Multivariada.

La estadística multivariada tiene como objetivo analizar más de una variable a la vez, y se pueden clasificar en dos grandes grupos. Los métodos de dependencia y los métodos de interdependencia, (Sharma, 1996). Dentro de los métodos de dependencia se encuentra otra clasificación de acuerdo al número de variables independientes (una o mas de una), el número de variables dependientes (una o más de una), el tipo de escala utilizada para realizar la medición de la variable dependiente (métrica o no métrica) y el tipo de escala utilizada para la medición de la variable independiente (métrica o no métrica), (Sharma, 1996). (El tipo de escala no métrica es aquella que no tienen unidades de medida. Un ejemplo de

estas variables podría ser el caso del estado de salud de un grupo de personas. En este caso la variable representaría si la persona está sana o enferma) En el caso de una variable dependiente y una variable independiente se utilizan los métodos univariados, de los que se puede decir, son un caso especial de los multivariados. En el caso de una variable dependiente y más de una variable independiente se encuentran las siguientes técnicas: Regresión Múltiple, Análisis de Varianza (ANOVA), Análisis Discriminante, Regresión Logística, Análisis Discriminante Discreto y el Análisis Conjunto entre otras. En el caso en que se tenga mas de una variable independiente y mas de una dependiente se pueden encontrar técnicas como: Correlación Canónica, Análisis de Varianza Multivariada (MANOVA), Análisis Discriminante Multigrupo y el Análisis Discriminante Multigrupo Discreto entre otras, (Sharma, 1996). Dentro de los métodos de interdependencia se encuentran dos grandes grupos dependiendo si las variables analizadas están en escala métrica o no métrica. Para el caso de variables métricas tenemos técnicas como Análisis de Componentes Principales, Análisis de Factores y el Análisis de Clusters entre otros. Y para el caso de datos no métricos se tienen técnicas como los Modelos Loglineales y los Análisis de Correspondencia, (Sharma, 1996). Cabe anotar que sólo se están mencionando algunas de las técnicas ya que son bastante numerosas.

En el caso de este estudio, y teniendo en cuenta las técnicas más utilizadas en la literatura para el análisis de parámetros de calidad de agua, se decidió aplicar las siguientes: Componentes Principales, Análisis de Factores, Análisis de Cluster y Regresiones Lineales Multivariadas.

5.2.1 Componentes Principales.

El análisis de componentes principales (CP) es una técnica apropiada para formar nuevas variables a partir de combinaciones lineales de las variables originales. El número máximo de nuevas variables es el número de variables originales, y las

nuevas variables no se encuentran correlacionadas entre ellas, (Sharma, 1996). El análisis de CP se puede ver como una técnica para la reducción de dimensiones, es decir que reduce el número de variables que representan la variabilidad de los datos en una gran proporción. La idea básica es encontrar un número pequeño de combinaciones lineales no correlacionadas de las variables originales que son capaces de explicar la parte esencial de la estructura de covarianza de los datos de interés, (Petersen, et al., 2001). Los CP se pueden expresar de la siguiente manera: $z_{ij} = a_{i1}x_{1j} + a_{i2}x_{2j} + a_{i3}x_{3j} + ... + a_{im}x_{mj}$ donde a es la carga del componente, z el puntaje del componente, x la variable medida, i el número del componente, j el número de la muestra y m el número total de variables, (Singh, Malik & Sinha, 2005). Las cargas muestran la correlación existente entre las variables originales y las nuevas variables, y dan una indicación sobre hasta que punto las variables originales son importantes en la formación de las nuevas variables, (Sharma, 1996). En conclusión es una técnica de reducción de datos.

5.2.2 Análisis de Factores.

El objetivo del análisis de factores es buscar e identificar los factores que pueden explicar la intercorrelación existente entre los diferentes datos. Es una técnica poderosa utilizada para el reconocimiento de patrones cuyo objetivo principal es explicar la varianza de un gran grupo de variables intercorrelacionadas y transformarlas en un grupo de variables independientes. El concepto básico se puede expresar de la siguiente manera: $z_{ji} = a_{f1}f_{1i} + a_{f2}f_{2i} + a_{f3}f_{3i} + ... + a_{fm}f_{mi} + e_{fi}$ Donde z es el valor medido de la variable, a la carga del factor, f el puntaje del factor, e el residual de error o de otras fuentes de variación, i es el número de la muestra, j el número de la variable y m el número total de factores. Existe una similaridad entre la técnica de componentes principales y la de análisis de factores, ya que muchos investigadores usan indistintamente ambas técnicas para

la reducción de datos, pero el análisis de factores como ya fue mencionado anteriormente va un poco más allá, pues trata de reconocer factores latentes detrás de la estructura de correlación de los datos. Por otro lado es importante mencionar que existen varias técnicas para realizar el análisis de factores, uno de los más utilizados es el de Factorización por medio de Componentes Principales. En el caso de este estudio se decidió utilizar esta técnica donde se complementan las dos herramientas multivariadas.

En el análisis de factores existe una herramienta adicional, que ayuda en la interpretación de los factores por parte del investigador. Esta herramienta es la rotación de los ejes. Existen varios tipos de rotación que han sido discutidas y analizadas a través del desarrollo de esta técnica, entre las cuales se encuentran la rotación Varimax, donde el mayor objetivo es tener una estructura factorial en donde cada variable fortalece a un factor solamente y la rotación Quartimax cuyo principal objetivo es obtener un patrón de cargas tal que todas las variables tengan una carga mas o menos alta en un factor y que cada variable tenga otra carga fuerte en otro factor. El resto de las cargas cercanas a 0 para los factores flatantes, (Sharma, 1996). También se pueden encontrar otra variedad de rotaciones tales como la biquartimax o la equamax, (Zeng & Rasmussen, 2005). Cuando se decidió utilizar la técnica de Componentes Principales para abordar la generación de factores, la rotación de los componentes generados por la primera técnica genera los varifactores que se están buscando. Para el caso de este estudio se decidió realizar la rotación de los componentes principales generados con la rotación varimax, cuyo objetivo garantiza mayor comprensión e interpretabilidad de los datos. Si se tiene en cuenta la representación matemática que se hizo de las dos técnicas se debe decir que en representación de los componentes principales la variable z que es el puntaje del componente, está construida a partir de la combinación lineal de las variables muestreadas. Por el contrario, en la representación matemática del análisis de factores, la variable z

es el valor de la variable medida, construida a partir de una combinación de factores y un término residual que deja la posibilidad que el vector generado pueda incluir variables latentes, hipotéticas y no observables, (Singh, Malik & Sinha, 2005)

5.2.3 Análisis de Clusters.

El análisis de clusters es una técnica usada para combinar las observaciones entre grupo o clusters, de tal manera que cada grupo o cluster sea homogéneo o compacto con respecto a una característica específica. Es decir que las observaciones dentro de cada grupo son similares entres ellas. Así mismo cada grupo debe diferenciarse de los demás grupos con respecto a la misma característica, es decir que las observaciones de un grupo deberían ser diferentes de las observaciones que pertenecen a otros grupos. Existen dos tipos de aglomeración o de "clustering". Estos son la aglomeración jerárquica y la no jerárquica. En la aglomeración jerarquica no se sabe *a priori* cual es el número de clusters que se quieren obtener. Por el contrario en la aglomeración no jerárquica se sabe cual es el número de grupos que se van a tener y a partir de estos se empiezan a revisar todos los datos, para ver si salen o no del grupo en donde fueron asignados, (Sharma, 1996). En el caso del presente estudio es necesario realizar una aglomeración jerárquica ya que no se sabe de antemano el número de clusters que se quiere obtener. Existen varias metodologías para realizar el análisis de cluster entre las que se encuentran el método del centroide, el del vecino más cercano, el del vecino más lejano, el método de acoplamiento promedio y el método de Ward. Cada uno de estos métodos tiene un objetivo diferente y depende del investigador la escogencia de éste. En el caso de este estudio se decidió trabajar con el método de Ward cuyo objetivo es maximizar el agrupamiento a partir de una medida de homogeneidad, y no a partir del cómputo de distancias entre los clusters como lo hacen los otros métodos. Esta medida de

homogeneidad es la suma de cuadrados dentro del grupo, por consiguiente el objetivo de esta metodología se traduce en la minimización de esta suma de cuadrados para obtener los resultados.

5.2.4 Regresión Lineal Multivariada.

La regresión lineal es una técnica que se usa cuando la variable dependiente y las múltiples variables independientes son medidas utilizando una escala métrica, (Sharma, 1996). Esta herramienta trata de modelar la relación existente entre la variable dependiente con las variables independientes por medio del siguiente modelo: "$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + ... + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i$, $i = 1,2...,n.$ Y_i es la *i*-ésima observación de la respuesta para un conjunto de valores fijos $x_{i1}, x_{i2},..., x_{ik}$ de las variables de predicción, ε_i es el error aleatorio no observable asociado con Y_i, y $\beta_0, \beta_1,..., \beta_k$ parámetros lineales desconocidos".[4] Esta ecuación representa el modelo lineal general que da origen al la regresión lineal múltiple, (Canavos, 1999). La estimación de los parámetros lineales desconocidos se hace mediante varias técnicas pero en este estudio se utilizó la técnica de los mínimos cuadrados. Esta permite la estimación de los parámetros despejando la ecuación lineal general para el error y derivando con respecto a los diferentes parámetros. Finalmente se iguala cada derivada parcial a 0. Esta descripción corresponde al modelo lineal simple, puesto que para el modelo lineal general se realiza el mismo procedimiento pero desde el punto de vista matricial, dado que son múltiples variables independientes las que se están analizando.

[4] Canavos, George. "Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y Métodos." 1999, McGraw Hill. 651 pag.

6 APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS MULTIVARIADAS ESCOGIDAS A LOS DATOS.

Para el conocimiento inicial de los datos obtenidos en los 12 sitios de muestreo de vertimientos puntuales, se hizo un análisis de las estadísticas básicas como el promedio, el rango, la varianza y la desviación estándar entre otros. Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el paquete estadístico SPSS versión 14.

6.1 Análisis de Estadísticas Básicas.

6.1.1 Cuenca Río Salitre.

A continuación se muestran las tablas 4, 5 6 y 7 con los análisis de estadísticas básicas realizadas a los datos obtenidos en los sitios de muestreo de la cuenca del Río Salitre.

Tabla 4: Estadísticas básicas para el Sitio 1 Calle 45 Carrera 24, Cuenca Salitre.

	N		Mean	Std. Deviation	Variance	Range	Minimum	Maximum
	Valid	Missing						
NH4	24	0	18,42	7,89	62,30	28,20	4,50	32,70
DBO5	24	0	118,83	76,70	5883,10	321,00	9,00	330,00
DQO	24	0	305,83	175,63	30847,36	579,00	16,00	595,00
P_Soluble	24	0	3,80	2,28	5,20	7,63	0,23	7,86
P_Total	24	0	4,99	2,64	6,99	8,95	0,79	9,74
NO3	24	0	0,85	0,88	0,78	3,34	0,19	3,53
NO2	24	0	0,13	0,14	0,02	0,60	0,01	0,61
NTK	24	0	36,83	16,97	287,98	59,50	6,90	66,40
SST	24	0	115,42	76,73	5887,64	293,00	9,00	302,00
SSV	24	0	100,79	60,72	3687,48	213,00	9,00	222,00
STV	24	0	201,00	90,74	8233,39	294,00	49,00	343,00
ST	24	0	392,75	152,59	23283,41	485,00	151,00	636,00
SO4	24	0	28,50	12,78	163,39	50,00	10,00	60,00
Sulfuros	22	2	1,48	2,05	4,20	7,40	0,20	7,60
Cond	24	0	0,26	0,10	0,01	0,38	0,05	0,43
OD	24	0	1,74	0,55	0,30	2,06	1,10	3,16
T	24	0	17,44	0,59	0,35	2,46	15,66	18,11
pH	24	0	8,02	0,31	0,09	1,16	7,44	8,60
Carga_NH4	24	0	0,04	0,06	0,00	0,29	0,01	0,30
Carga_DBO5	24	0	0,33	0,46	0,21	1,96	0,01	1,97
Carga_DQO	24	0	0,90	1,46	2,12	6,51	0,02	6,53
Carga_P_Soluble	24	0	0,01	0,01	0,00	0,06	0,00	0,06
Carga_P_Total	24	0	0,01	0,02	0,00	0,07	0,00	0,07
Carga_NO3	24	0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
Carga_NO2	24	0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
Carga_NTK	24	0	0,09	0,11	0,01	0,52	0,01	0,52
Carga_SST	24	0	0,47	1,22	1,50	6,06	0,01	6,07
Carga_SSV	24	0	0,36	0,80	0,64	3,89	0,01	3,90
Carga_STV	24	0	0,60	0,99	0,98	4,48	0,06	4,54
Carga_ST	24	0	1,14	1,85	3,41	8,35	0,17	8,52
Carga_SO4	24	0	0,06	0,07	0,01	0,33	0,02	0,35
Carga_Sulfuros	22	2	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,03
Q	24	0	0,03	0,05	0,00	0,22	0,01	0,23

Tabla 5: Estadísticas básicas para el Sitio 2 Colector La Vieja, Cuenca Salitre.

	N		Mean	Std. Deviation	Variance	Range	Minimum	Maximum
	Valid	Missing						
NH4	24	0	19,388	6,272	39,344	21,100	5,700	26,800
DBO5	24	0	150,875	70,465	4965,332	226,000	20,000	246,000
DQO	24	0	304,500	142,600	20334,783	443,000	54,000	497,000
P Soluble	24	0	4,302	2,197	4,826	7,090	1,080	8,170
P Total	24	0	5,699	2,739	7,500	9,130	1,400	10,530
NO3	24	0	0,289	0,178	0,032	0,620	0,110	0,730
NO2	24	0	0,048	0,044	0,002	0,176	0,010	0,186
NTK	24	0	30,525	12,438	154,705	45,400	7,600	53,000
SST	24	0	123,750	100,315	10063,152	506,000	21,000	527,000
SSV	24	0	113,917	94,500	8930,167	480,000	20,000	500,000
STV	24	0	239,792	175,116	30665,476	865,000	46,000	911,000
ST	24	0	405,917	232,482	54047,906	1085,000	104,000	1189,000
SO4	24	0	36,375	12,082	145,984	47,000	15,000	62,000
Sulfuros	21	3	1,838	1,418	2,011	5,500	0,100	5,600
Cond	0	24						
OD	24	0	1,042	0,323	0,105	1,200	0,550	1,750
T	24	0	17,266	0,717	0,513	2,000	16,111	18,111
pH	24	0	7,504	0,332	0,110	1,600	6,900	8,500
Carga NH4	24	0	0,126	0,048	0,002	0,157	0,031	0,188
Carga DBO5	24	0	1,000	0,522	0,273	1,724	0,110	1,834
Carga DQO	24	0	2,034	1,103	1,217	3,623	0,290	3,913
Carga P Solu	24	0	0,029	0,017	0,000	0,058	0,006	0,064
Carga P Total	24	0	0,038	0,021	0,000	0,066	0,008	0,074
Carga NO3	24	0	0,002	0,001	0,000	0,003	0,001	0,004
Carga NO2	24	0	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Carga NTK	24	0	0,201	0,093	0,009	0,316	0,042	0,357
Carga SST	24	0	0,813	0,630	0,396	2,983	0,114	3,097
Carga SSV	24	0	0,747	0,587	0,345	2,850	0,088	2,938
Carga STV	24	0	1,583	1,129	1,276	5,147	0,207	5,353
Carga ST	24	0	2,686	1,610	2,593	6,499	0,488	6,987
Carga SO4	24	0	0,237	0,102	0,010	0,397	0,083	0,479
Carga Sulfuro	21	3	0,011	0,009	0,000	0,034	0,001	0,034
Q	24	0	0,074	0,011	0,000	0,052	0,051	0,103

Tabla 6: Estadísticas básicas para el Sitio 3 Canal Río Negro, Cuenca Salitre.

	N		Mean	Std. Deviation	Variance	Range	Minimum	Maximum
	Valid	Missing						
NH4	24	0	13,40	4,17	17,41	15,00	7,90	22,90
DBO5	24	0	88,42	31,53	993,91	128,00	40,00	168,00
DQO	24	0	185,58	48,77	2378,51	187,00	101,00	288,00
P Soluble	24	0	3,38	1,16	1,35	4,53	1,41	5,94
P Total	24	0	4,66	1,01	1,02	4,70	2,32	7,02
NO3	24	0	0,24	0,05	0,00	0,22	0,16	0,38
NO2	24	0	0,06	0,09	0,01	0,27	0,00	0,27
NTK	24	0	20,98	4,44	19,68	15,50	14,60	30,10
SST	24	0	72,67	27,09	733,80	132,00	12,00	144,00
SSV	24	0	52,50	19,24	370,17	90,00	10,00	100,00
STV	24	0	125,04	27,17	738,13	108,00	65,00	173,00
ST	24	0	287,25	64,15	4115,33	212,00	162,00	374,00
SO4	24	0	28,00	6,12	37,48	24,00	16,00	40,00
Sulfuros	17	7	0,22	0,09	0,01	0,30	0,10	0,40
Cond	19	5	0,31	0,07	0,00	0,21	0,19	0,40
OD	24	0	0,11	0,02	0,00	0,12	0,10	0,22
T	24	0	12,88	4,12	16,98	15,00	8,00	23,00
pH	24	0	7,14	0,12	0,01	0,44	6,94	7,37
Q	24	0	1,49	0,80	0,64	2,98	0,02	3,00
Carga NH4	24	0	1,61	0,88	0,77	3,78	0,05	3,82
Carga DBO5	24	0	10,00	4,41	19,46	19,86	0,26	20,11
Carga DQO	24	0	22,12	11,30	127,79	51,61	0,48	52,09
Carga P Soluble	24	0	0,40	0,22	0,05	0,96	0,01	0,97
Carga P Total	24	0	0,57	0,31	0,09	1,25	0,01	1,26
Carga NO3	24	0	0,03	0,02	0,00	0,10	0,00	0,10
Carga NO2	24	0	0,01	0,02	0,00	0,06	0,00	0,06
Carga NTK	24	0	2,59	1,37	1,88	5,80	0,06	5,85
Carga SST	24	0	9,68	7,69	59,08	29,48	0,12	29,60
Carga SSV	24	0	7,15	6,00	36,04	20,53	0,10	20,63
Carga STV	24	0	15,31	7,78	60,59	32,20	0,29	32,49
Carga ST	24	0	34,36	16,50	272,33	76,91	0,71	77,62
Carga SO4	24	0	3,47	2,02	4,08	8,95	0,07	9,03
Carga Sulfuros	17	7	0,03	0,03	0,00	0,10	0,01	0,10

Tabla 7: Estadísticas básicas para el Sitio 4 Avenida Ciudad de Cali, Cuenca Salitre.

	N		Mean	Std. Deviation	Variance	Range	Minimum	Maximum
	Valid	Missing						
NH4	24	0	4,679	3,389	11,483	10,500	1,000	11,500
DBO5	24	0	26,542	14,911	222,346	60,000	8,000	68,000
DQO	24	0	114,250	47,572	2263,065	206,000	55,000	261,000
P Soluble	24	0	0,747	0,647	0,419	2,260	0,090	2,350
P Total	24	0	1,270	0,811	0,657	2,960	0,130	3,090
NO3	24	0	2,340	1,300	1,691	4,410	0,710	5,120
NO2	24	0	0,139	0,054	0,003	0,179	0,054	0,233
NTK	24	0	7,867	4,200	17,643	14,200	3,200	17,400
SST	24	0	120,875	104,884	11000,723	344,000	33,000	377,000
SSV	24	0	41,625	35,064	1229,462	165,000	14,000	179,000
STV	24	0	93,167	27,833	774,667	110,000	65,000	175,000
ST	24	0	277,000	111,041	12330,174	457,000	181,000	638,000
SO4	23	1	16,565	8,179	66,893	33,000	2,000	35,000
Sulfuros	24	0	2,208	0,763	0,582	2,600	0,600	3,200
Cond	24	0	0,196	0,102	0,010	0,367	0,036	0,403
OD	24	0	5,406	0,879	0,772	3,500	3,500	7,000
T	24	0	17,543	0,657	0,431	3,241	16,778	20,019
pH	24	0	8,027	0,305	0,093	1,444	7,400	8,844
Carga NH4	24	0	0,028	0,047	0,002	0,230	0,001	0,231
Carga DBO5	24	0	0,194	0,314	0,099	1,405	0,008	1,413
Carga DQO	24	0	0,914	1,680	2,821	7,584	0,035	7,619
Carga P Soluble	24	0	0,005	0,010	0,000	0,047	0,000	0,047
Carga P Total	24	0	0,010	0,020	0,000	0,095	0,000	0,095
Carga NO3	24	0	0,018	0,040	0,002	0,199	0,001	0,200
Carga NO2	24	0	0,001	0,002	0,000	0,010	0,000	0,010
Carga NTK	24	0	0,048	0,068	0,005	0,323	0,002	0,325
Carga SST	24	0	1,307	2,988	8,927	13,448	0,035	13,483
Carga SSV	24	0	0,361	0,700	0,491	3,072	0,010	3,082
Carga STV	24	0	0,731	1,383	1,913	6,436	0,028	6,463
Carga ST	24	0	2,302	4,592	21,088	21,361	0,084	21,445
Carga SO4	23	1	0,112	0,220	0,048	1,065	0,005	1,070
Carga Sulfuros	24	0	0,016	0,025	0,001	0,097	0,001	0,098
Q	24	0	0,077	0,115	0,013	0,491	0,005	0,495

Al tener en cuenta los valores presentados en las tablas 4, 5, 6 y 7 y compararlos con los datos promedio de la tabla 3 tomada de Butler y Davies, 2004, se encuentra lo siguiente:

En primer lugar el valor promedio del nitrógeno amoniacal en los tres primeros sitios de muestreo, es decir las descargas localizadas en la parte media y alta de la cuenca presentan valores dentro del rango que se muestra en la tabla 3 ya que los valores están entre 12 y 45 mg/l, lo que no sucede con el valor para el Sitio Avenida Ciudad de Cali, que muestra un valor promedio de 4,67 mg/l. Esto se puede deber a efectos de dilución ya que en este sitio se presentaron tres eventos de precipitación, y además por ser una descarga de tipo combinado también se puede generar este tipo de fenómeno. Como es una descarga que lleva aguas

residuales domésticas que son las que, como se dijo anteriormente, fuente principal del nitrógeno amoniacal, y también aguas lluvias, la combinación puede estar generando la dilución de este parámetro en especial. El caso de la información presentada en la Tabla 3 para sólidos totales, la mayoría de los sitios de medición dentro de esta cuenca presentan valores que se encuentran por debajo del rango presentado en ésta, a excepción del sitio 2 cuyo valor alcanza a sobrepasar el valor mínimo presentado en la tabla que es de 390 mg/l contra 405,92 mg/l. Al comparar los valores para sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos volátiles (SV) se observa que el sitio 1 y el sitio 2 de esta cuenca muestran valores dentro de los rango presentados para estos parámetros en la Tabla 3 cuyo valor mínimo para SST y SV son 120 mg/l y 95 mg/l respectivamente. El valor promedio para estos parámetros en el sitio 1 de esta cuenca es 115,42 mg/l de SST y 201 mg/l de SV, y en el sitio 2, 123,7 mg/l de SST y 239,79 mg/l de SV. Como se puede ver el valor de los SV para el sitio 2 es alto y muestra que esta descarga está bastante cargada de materia orgánica. Este mismo punto se ve corroborado para los de medición 1 y 2 por el valor presentado para DQO, que fue de 305,83 mg/l y de 304,5 mg/l respectivamente, y como se dijo anteriormente la DQO es una buena aproximación del valor total de materia orgánica presente en un cuerpo de agua. Los parámetros restantes están dentro de los rangos promedio que se muestran en la Tabla 3.

6.1.2 Cuenca Río Fucha.

A continuación se muestran las tablas con los análisis de estadísticas básicas realizadas a los datos obtenidos en los sitios de muestreo de la cuenca del Río Fucha.

Tabla 8: Estadísticas básicas para el Sitio 1 Carrera 5ª este Calle 12 Sur, Cuenca Fucha.

	N		Mean	Std. Deviation	Variance	Range	Minimum	Maximum
	Valid	Missing						
NH4	24	0	15,888	7,078	50,100	29,100	5,600	34,700
DBO5	24	0	126,667	72,364	5236,493	270,000	5,000	275,000
DQO	24	0	260,333	152,964	23397,971	569,000	21,000	590,000
P Soluble	24	0	3,705	1,773	3,144	6,510	1,070	7,580
P Total	24	0	5,043	2,204	4,859	7,280	1,590	8,870
NO3	24	0	0,298	0,088	0,008	0,340	0,160	0,500
NO2	24	0	0,041	0,019	0,000	0,065	0,015	0,080
NTK	24	0	30,888	14,388	207,004	50,800	13,100	63,900
SST	24	0	116,417	59,900	3587,993	201,000	22,000	223,000
SSV	24	0	100,875	53,315	2842,462	166,000	16,000	182,000
STV	24	0	174,875	78,454	6155,071	258,000	30,000	288,000
ST	24	0	350,458	116,525	13578,172	346,000	140,000	486,000
SO4	24	0	31,417	6,756	45,645	26,000	22,000	48,000
Sulfuros	24	0	1,113	0,552	0,305	2,000	0,200	2,200
Cond	24	0	0,297	0,075	0,006	0,284	0,172	0,456
OD	24	0	0,728	0,133	0,018	0,540	0,380	0,920
T	24	0	14,805	0,331	0,110	1,100	14,300	15,400
pH	24	0	7,234	0,129	0,017	0,400	7,100	7,500
Carga NH4	24	0	0,009	0,005	0,000	0,020	0,003	0,022
Carga DBO5	24	0	0,073	0,048	0,002	0,193	0,002	0,196
Carga DQO	24	0	0,149	0,096	0,009	0,333	0,010	0,343
Carga P Soluble	24	0	0,002	0,001	0,000	0,004	0,000	0,005
Carga P Total	24	0	0,003	0,001	0,000	0,005	0,001	0,006
Carga NO3	24	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Carga NO2	24	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Carga NTK	24	0	0,017	0,010	0,000	0,037	0,004	0,041
Carga SST	24	0	0,067	0,041	0,002	0,135	0,009	0,144
Carga SSV	24	0	0,058	0,036	0,001	0,114	0,007	0,122
Carga STV	24	0	0,099	0,052	0,003	0,167	0,014	0,181
Carga ST	24	0	0,196	0,085	0,007	0,269	0,058	0,327
Carga SO4	24	0	0,017	0,005	0,000	0,021	0,007	0,029
Carga Sulfuros	24	0	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Q	24	0	0,006	0,001	0,000	0,004	0,004	0,008

Tabla 9: Estadísticas básicas para el Sitio 2 Canal Comuneros, Cuenca Fucha.

	N		Mean	Std. Deviation	Variance	Range	Minimum	Maximum
	Valid	Missing						
NH4	24	0	31,313	7,665	58,755	37,200	19,200	56,400
DBO5	24	0	108,458	39,687	1575,042	141,000	24,000	165,000
DQO	24	0	316,375	121,036	14649,810	382,000	96,000	478,000
P Soluble	24	0	2,296	0,666	0,444	2,800	1,330	4,130
P Total	24	0	5,668	1,699	2,887	6,860	1,990	8,850
NO3	24	0	0,180	0,069	0,005	0,260	0,070	0,330
NO2	24	0	0,037	0,013	0,000	0,051	0,003	0,054
NTK	24	0	42,546	10,954	119,983	49,000	24,400	73,400
SST	24	0	106,833	83,107	6906,841	275,000	16,000	291,000
SSV	24	0	75,375	57,169	3268,245	176,000	12,000	188,000
STV	24	0	130,250	50,915	2592,370	192,000	52,000	244,000
ST	24	0	361,917	85,194	7257,993	288,000	224,000	512,000
SO4	24	0	42,833	8,815	77,710	35,000	27,000	62,000
Sulfuros	23	1	3,400	1,399	1,956	4,400	0,800	5,200
Cond	24	0	2,177	0,316	0,100	1,035	1,700	2,735
OD	24	0	0,541	0,445	0,198	1,780	0,100	1,880
T	24	0	15,734	1,327	1,761	4,000	14,222	18,222
pH	24	0	7,148	0,601	0,361	3,120	4,380	7,500
Carga NH4	24	0	0,890	0,625	0,391	1,970	0,211	2,181
Carga DBO5	24	0	3,201	2,310	5,337	6,964	0,334	7,299
Carga DQO	24	0	10,005	8,308	69,024	25,711	1,330	27,040
Carga P Soluble	24	0	0,070	0,058	0,003	0,190	0,013	0,203
Carga P Total	24	0	0,167	0,131	0,017	0,416	0,028	0,445
Carga NO3	24	0	0,005	0,005	0,000	0,016	0,001	0,017
Carga NO2	24	0	0,001	0,001	0,000	0,003	0,000	0,003
Carga NTK	24	0	1,232	0,908	0,825	3,047	0,281	3,328
Carga SST	24	0	4,171	5,044	25,441	16,148	0,178	16,326
Carga SSV	24	0	2,656	2,927	8,569	10,065	0,140	10,205
Carga STV	24	0	4,181	3,981	15,847	15,270	0,590	15,860
Carga ST	24	0	11,095	9,152	83,755	31,015	2,266	33,281
Carga SO4	24	0	1,197	0,795	0,632	2,533	0,340	2,873
Carga Sulfuros	24	0	0,095	0,080	0,006	0,273	0,000	0,273
Q	24	0	0,319	0,207	0,043	0,655	0,101	0,756

Tabla 10: Estadísticas básicas para el Sitio 3 Calle 13 – Clínica La Paz, Cuenca Fucha.

	N		Mean	Std. Deviation	Variance	Range	Minimum	Maximum
	Valid	Missing						
NH4	24	0	18,308	3,179	10,108	13,000	13,900	26,900
DBO5	24	0	191,208	77,504	6006,868	240,000	105,000	345,000
DQO	24	0	811,333	65,087	4236,319	222,000	680,000	902,000
P Soluble	24	0	1,703	0,525	0,275	1,990	0,960	2,950
P Total	24	0	6,437	2,654	7,045	10,940	1,970	12,910
NO3	23	1	0,090	0,059	0,003	0,190	0,020	0,210
NO2	24	0	0,011	0,004	0,000	0,018	0,002	0,020
NTK	24	0	33,800	9,785	95,740	36,700	17,800	54,500
SST	24	0	130,417	74,274	5516,601	294,000	64,000	358,000
SSV	24	0	110,042	50,678	2568,303	173,000	60,000	233,000
STV	24	0	611,000	93,287	8702,522	435,000	461,000	896,000
ST	24	0	2622,333	482,304	232617,101	1842,000	1792,000	3634,000
SO4	23	1	130,087	27,311	745,901	105,000	87,000	192,000
Sulfuros	23	1	3,187	1,275	1,627	4,900	0,400	5,300
Cond	24	0						
OD	24	0	0,145	0,130	0,017	0,440	0,000	0,440
T	24	0	34,819	3,219	10,360	16,144	20,811	36,956
pH	24	0	9,119	0,855	0,732	4,180	5,620	9,800
Carga NH4	24	0	0,239	0,079	0,006	0,312	0,116	0,428
Carga DBO5	24	0	2,429	0,970	0,940	3,326	0,873	4,199
Carga DQO	24	0	10,462	2,634	6,941	9,616	5,693	15,309
Carga P Solu	24	0	0,023	0,011	0,000	0,041	0,009	0,050
Carga P Tota	24	0	0,087	0,049	0,002	0,209	0,018	0,227
Carga NO3	23	1	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000	0,002
Carga NO2	24	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Carga NTK	24	0	0,440	0,185	0,034	0,670	0,197	0,867
Carga SST	24	0	1,727	1,260	1,587	5,767	0,540	6,307
Carga SSV	24	0	1,442	0,835	0,698	3,501	0,515	4,017
Carga STV	24	0	7,916	2,413	5,824	10,420	3,831	14,251
Carga ST	24	0	33,987	11,020	121,431	39,517	18,284	57,801
Carga SO4	23	1	1,683	0,655	0,430	2,262	0,923	3,184
Carga Sulfuro	23	1	0,042	0,021	0,000	0,080	0,005	0,085
Q	24	0	0,149	0,035	0,001	0,108	0,096	0,204

Tabla 11: Estadísticas básicas para el Sitio 4 Interceptor del Sur -- Lafayette, Cuenca Fucha.

	N		Mean	Std. Deviation	Variance	Range	Minimum	Maximum
	Valid	Missing						
NH4	24	0	44,208	12,347	152,437	48,800	23,200	72,000
DBO5	24	0	364,208	76,061	5785,216	274,000	232,000	506,000
DQO	24	0	920,750	126,314	15955,239	467,000	715,000	1182,000
P Soluble	24	0	7,449	2,854	8,147	8,680	3,070	11,750
P Total	24	0	9,101	3,821	14,602	12,250	3,310	15,560
NO3	24	0	0,195	0,103	0,011	0,430	0,060	0,490
NO2	24	0	0,040	0,023	0,001	0,086	0,001	0,087
NTK	24	0	66,567	13,694	187,529	54,600	44,400	99,000
SST	24	0	420,375	165,911	27526,592	570,000	250,000	820,000
SSV	24	0	299,000	106,150	11267,913	477,000	188,000	665,000
STV	24	0	597,375	147,411	21730,071	787,000	415,000	1202,000
ST	24	0	1199,042	198,202	39284,216	879,000	956,000	1835,000
SO4	24	0	51,367	14,044	197,244	64,000	31,000	95,000
Sulfuros	24	0	3,146	1,042	1,086	3,500	1,300	4,800
Cond	24	0	0,305	0,326	0,106	0,861	0,101	0,962
OD	24	0	0,022	0,048	0,002	0,180	0,000	0,180
T	24	0	20,979	0,979	0,958	2,800	19,800	22,600
pH	24	0	7,554	0,792	0,628	1,900	6,700	8,600
Carga NH4	24	0	2,141	1,172	1,374	3,723	0,775	4,498
Carga DBO5	24	0	16,798	7,045	49,634	23,468	8,142	31,611
Carga DQO	24	0	42,503	15,861	251,581	53,340	20,502	73,842
Carga P Soluble	24	0	0,360	0,201	0,040	0,668	0,079	0,747
Carga P Total	24	0	0,440	0,262	0,069	0,874	0,098	0,972
Carga NO3	24	0	0,009	0,006	0,000	0,028	0,002	0,030
Carga NO2	24	0	0,002	0,001	0,000	0,003	0,000	0,003
Carga NTK	24	0	3,163	1,495	2,236	5,184	1,242	6,427
Carga SST	24	0	20,556	13,603	185,050	44,798	7,317	52,115
Carga SSV	24	0	14,508	8,963	80,338	36,961	5,303	42,264
Carga STV	24	0	27,963	13,940	194,334	64,012	12,381	76,392
Carga ST	24	0	55,806	23,536	553,965	90,441	26,181	116,622
Carga SO4	24	0	2,451	1,296	1,680	5,248	0,919	6,167
Carga Sulfuros	24	0	0,139	0,056	0,003	0,191	0,054	0,246
Q	24	0	0,534	0,173	0,030	0,510	0,242	0,751

Al comparar los datos de las tablas 8, 9, 10 y 11, que presentan las estadísticas básicas sobre los sitios de medición de la cuenca del Río Fucha, con los de la Tabla 3 se puede observar lo siguiente:

En el sitio Carrera 5^{a} este Calle 12 Sur de la cuenca del Río Fucha, la mayoría de los valores promedio de los parámetros se encuentran por debajo de los valores presentados en la Tabla 3. Esto puede ser ya que este sitio de medición corresponde a una descarga directa combinada de aguas residuales residenciales y aguas lluvia. Es decir que el factor de dilución, parece ser el responsable que en este punto de medición la concentración de los parámetros de calidad del agua se encuentren por debajo de los valores mostrados en la Tabla 3. Es importante

mencionar que algunos parámetros si se encuentran dentro de dichos rangos, tales como el nitrógen amoniacal, lo que demuestra la fuerte presencia de aguas residuales residenciales en esta descarga, para la DQO el valor promedio fue de 260,33 mg/l contra el valor mínimo de 250 mg/l presentado en la Tabla 3, la DBO_5 con un valor promedio de 126,66 mg/l contra un valor mínimo de 110 mg/l, los STV con una valor promedio de 174,87 mg/l contra un valor promedio de 160 mg/l y los sulfatos con un valor promedio de 31,417 mg/l contra un valor promedio de 30 mg/l.

Para el caso del Colector La Vieja se tiene que los parámetros que se encuentran dentro del rango presentado en la Tabla 3 son el nitrógeno amoniacal con un valor promedio de 31,31 mg/l, la DQO con un valor promedio de 316,75 mg/l, el fósforo total con un valor promedio de 5,66 mg/l, el NO_3, NO_2 y el nitrógeno total con un valor promedio de 42,56 m/l y los sulfatos con un valor promedio de 42,83 mg/l. Es importante resaltar que en este caso el valor para los parámetros como SST, SSV o ST, no entraron dentro de los rangos que se muestran en la tabla 3. Teniendo en cuenta que ésta es una descarga combinada y que se presentó un evento de precipitación mientras se tomaba la muestra, puede indicar que la descarga en este sitio de medición de la cuenca del río Fucha, ha sido afectada por un efecto de dilución por lo que se bajan las concentraciones de algunos de los parámetros que se están analizando, aunque los eventos de precipitación no necesariamente disminuyen concentraciones de sólidos, ya que cuando se da el efecto de primer lavado estas concentraciones aumentan. El efecto de primer lavado se da cuando no se presenta un evento de precipitación durante un periodo de tiempo en el cual se acumulan basuras, sólidos y contaminantes en las calles, fachadas, vegetación entre otros. Cuando por fin sucede el evento de precipitación, el primer lavado arrastra todos esos sólidos que se acumularon mientras no hubo lluvia.

Para el sitio de muestreo Calle 13 de la cuenca del Río Fucha se tiene que el valor promedio de la DQO que fue de 811 mg/l se sale del rango presentado en la Tabla

3, que muestra los rangos típicos en los que se encuentran estos valores en aguas residuales. Lo mismo sucede con el valor de ST cuyo valor fue 2622,33 mg/l, con los SV con un valor de 611 mg/l y los sulfatos con un valor de 130,87 mg/l. Es evidente que esta descarga presenta un alto grado de contaminación, y teniendo en cuenta la magnitud de estas concentraciones se puede concluir que es una descarga cuya fuente más importante es la de aguas residuales industriales, aunque también esté transportando aguas residuales residenciales. Como es una descarga de aguas residuales solamente y no combinada, parece que el evento de precipitación que se presentó no genera un efecto de dilución tan importante como el que se vio en los sitios anteriores.

En el sitio Interceptor del Sur -- Lafayette de la cuenca del Río Fucha, nuevamente se ven valores en las concentraciones promedio de uno de los parámetros que se salen del rango que se muestra en la Tabla 3. Este es el caso de la DBO_5 con un valor de 364,28 mg/l. Los otros parámetros en cambio muestran un comportamiento muy parecido al que describe la tabla 3, y casi todos los parámetros se encuentran dentro de los rangos y cercanos al valor promedio.

6.1.3 Cuenca Río Tunjuelo.

A continuación se muestran las tablas con los análisis de estadísticas básicas realizadas a los datos obtenidos en los sitios de muestreo de la cuenca del Río Tunjuelo.

Tabla 12: Estadísticas básicas para el Sitio 1 Salida Usme, Cuenca Tunjuelo.

	N		Mean	Std. Deviation	Variance	Range	Minimum	Maximum
	Valid	Missing						
NH4	24	0	13,350	10,735	115,230	39,500	2,000	41,500
DBO5	24	0	138,542	121,851	14847,737	322,000	17,000	339,000
DQO	24	0	337,792	242,747	58926,259	667,000	76,000	743,000
P Soluble	24	0	3,343	2,343	5,492	7,510	0,920	8,430
P Total	24	0	4,676	3,299	10,884	10,480	1,170	11,650
NO3	24	0	2,137	1,863	3,470	5,230	0,050	5,280
NO2	24	0	0,400	0,388	0,151	1,790	0,105	1,895
NTK	24	0	28,833	23,736	563,392	81,900	3,800	85,700
SST	24	0	264,042	177,761	31598,824	671,000	32,000	703,000
SSV	24	0	140,083	73,648	5424,080	275,000	27,000	302,000
STV	24	0	244,125	74,231	5510,201	226,000	147,000	373,000
ST	24	0	775,333	143,942	20719,188	482,000	547,000	1029,000
SO4	24	0	51,542	18,967	359,737	55,000	12,000	67,000
Sulfuros	24	0	1,296	0,577	0,333	2,100	0,200	2,300
Cond	24	0	0,287	0,175	0,031	0,614	0,019	0,633
OD	24	0	7,263	2,479	6,147	12,467	6,300	18,767
T	24	0	14,949	0,679	0,461	2,074	13,790	15,864
pH	24	0	7,662	0,236	0,056	1,033	7,067	8,100
Carga NH4	24	0	0,034	0,028	0,001	0,124	0,003	0,127
Carga DBO5	24	0	0,328	0,254	0,064	0,991	0,044	1,035
Carga DQO	24	0	0,822	0,490	0,240	1,979	0,191	2,170
Carga P Soluble	24	0	0,008	0,005	0,000	0,020	0,002	0,021
Carga P Total	24	0	0,012	0,008	0,000	0,034	0,002	0,036
Carga NO3	24	0	0,007	0,006	0,000	0,015	0,000	0,015
Carga NO2	24	0	0,001	0,001	0,000	0,006	0,000	0,007
Carga NTK	24	0	0,071	0,054	0,003	0,181	0,009	0,190
Carga SST	24	0	0,727	0,581	0,338	2,085	0,089	2,174
Carga SSV	24	0	0,363	0,186	0,035	0,846	0,075	0,922
Carga STV	24	0	0,638	0,169	0,029	0,910	0,216	1,126
Carga ST	24	0	2,088	0,647	0,419	2,531	1,209	3,740
Carga SO4	24	0	0,137	0,056	0,003	0,193	0,016	0,209
Carga Sulfuros	24	0	0,004	0,002	0,000	0,006	0,000	0,007
Q	24	0	0,032	0,009	0,000	0,033	0,015	0,049

Tabla 13: Estadísticas básicas para el Sitio 2 San Benito, Cuenca Tunjuelo.

	N		Mean	Std. Deviation	Variance	Range	Minimum	Maximum
	Valid	Missing						
NH4	24	0	282,542	115,820	13414,346	428,000	104,000	532,000
DBO5	24	0	2272,375	1827,979	3341508,418	7701,000	954,000	8655,000
DQO	24	0	6059,333	6643,923	44141713,536	30632,000	1678,000	32310,000
P Soluble	11	13	10,196	6,373	40,621	24,300	2,930	27,230
P Total	24	0	12,585	9,231	85,218	35,210	5,200	40,410
NO3	23	1	1,340	1,275	1,625	4,890	0,040	4,930
NO2	24	0	0,097	0,047	0,002	0,198	0,003	0,201
NTK	24	0	547,667	219,987	48394,232	971,000	197,000	1168,000
SST	24	0	1680,458	2053,096	4215204,781	9809,000	396,000	10205,000
SSV	24	0	1194,917	1409,878	1987756,254	6524,000	362,000	6886,000
STV	24	0	3349,042	3249,597	10559882,824	12887,000	877,000	13764,000
ST	24	0	10340,292	6612,456	43724568,650	27517,000	3201,000	30718,000
SO4	24	0	1371,375	506,416	256456,679	2050,000	450,000	2500,000
Sulfuros	24	0	40,033	41,385	1712,703	201,500	3,500	205,000
Cond	19	5	6,310	4,236	17,942	13,972	2,128	16,100
OD	24	0	1,133	0,970	0,941	2,700	0,050	2,750
T	24	0	17,328	0,640	0,409	2,511	16,594	19,106
pH	24	0	10,531	0,901	0,812	4,260	9,015	13,275
Carga NH4	24	0	0,403	0,218	0,048	0,814	0,049	0,863
Carga DBO5	24	0	4,302	6,085	37,025	26,259	0,411	26,671
Carga DQO	24	0	12,043	20,971	439,800	98,782	0,781	99,564
Carga P Soluble	11	13	0,022	0,020	0,000	0,068	0,006	0,074
Carga P Total	24	0	0,023	0,030	0,001	0,122	0,003	0,125
Carga NO3	24	0	0,002	0,003	0,000	0,010	0,000	0,010
Carga NO2	24	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Carga NTK	24	0	0,902	0,740	0,548	2,823	0,070	2,894
Carga SST	24	0	3,522	6,547	42,857	31,269	0,178	31,447
Carga SSV	24	0	2,463	4,506	20,305	21,052	0,167	21,219
Carga STV	24	0	6,341	9,241	85,393	38,665	0,384	39,049
Carga ST	24	0	18,985	21,306	453,956	93,493	1,165	94,658
Carga SO4	24	0	2,179	1,438	2,067	4,285	0,177	4,462
Carga Sulfuros	24	0	0,079	0,101	0,010	0,424	0,002	0,426
Q	24	0	0,017	0,010	0,000	0,032	0,004	0,036

Tabla 14: Estadísticas básicas para el Sitio 3 La Coruña, Cuenca Tunjuelo.

	N		Mean	Std. Deviation	Variance	Range	Minimum	Maximum
	Valid	Missing						
NH4	24	0	39,713	19,916	396,656	77,600	10,500	88,100
DBO5	24	0	276,667	148,703	22112,667	510,000	22,000	532,000
DQO	24	0	568,417	285,739	81646,775	808,000	73,000	881,000
P Soluble	24	0	7,708	3,464	11,998	12,170	1,940	14,110
P Total	24	0	11,558	5,164	26,664	17,930	2,840	20,770
NO3	24	0	1,175	1,256	1,578	3,630	0,350	3,980
NO2	24	0	0,135	0,184	0,034	0,549	0,011	0,560
NTK	24	0	56,625	29,441	866,759	109,400	15,600	125,000
SST	24	0	251,708	140,944	19865,259	493,000	29,000	522,000
SSV	24	0	189,208	100,957	10192,259	326,000	17,000	343,000
STV	24	0	371,625	153,165	23459,375	500,000	108,000	608,000
ST	24	0	798,750	240,339	57762,978	800,000	348,000	1148,000
SO4	24	0	75,792	17,954	322,346	81,000	22,000	103,000
Sulfuros	20	4	1,320	0,382	0,146	1,800	0,100	1,900
Cond	24	0	0,701	0,197	0,039	0,669	0,297	0,966
OD	24	0	1,054	0,570	0,325	1,767	0,100	1,867
T	24	0	17,572	0,432	0,187	1,778	16,778	18,556
pH	24	0	7,806	0,218	0,047	0,750	7,450	8,200
Carga NH4	24	0	0,013	0,008	0,000	0,033	0,002	0,034
Carga DBO5	24	0	0,091	0,055	0,003	0,199	0,003	0,202
Carga DQO	24	0	0,186	0,105	0,011	0,335	0,008	0,343
Carga P Soluble	24	0	0,002	0,001	0,000	0,005	0,000	0,005
Carga P Total	24	0	0,004	0,002	0,000	0,008	0,000	0,008
Carga NO3	24	0	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Carga NO2	24	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Carga NTK	24	0	0,018	0,012	0,000	0,047	0,002	0,049
Carga SST	24	0	0,086	0,061	0,004	0,256	0,003	0,259
Carga SSV	24	0	0,064	0,043	0,002	0,168	0,002	0,170
Carga STV	24	0	0,122	0,066	0,004	0,224	0,012	0,236
Carga ST	24	0	0,254	0,119	0,014	0,440	0,043	0,483
Carga SO4	24	0	0,022	0,007	0,000	0,023	0,008	0,032
Carga Sulfuros	24	0	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Q	24	0	0,004	0,001	0,000	0,005	0,001	0,006

Tabla 15: Estadísticas básicas para el Sitio 4 Interceptor Medio, Cuenca Tunjuelo.

	N		Mean	Std. Deviation	Variance	Range	Minimum	Maximum
	Valid	Missing						
NH4	24	0	63,650	17,013	289,429	61,000	39,600	100,600
DBO5	24	0	234,583	106,304	11300,601	479,000	90,000	569,000
DQO	24	0	900,125	326,643	106695,766	975,000	507,000	1482,000
P Soluble	24	0	8,620	2,332	5,439	9,500	4,260	13,760
P Total	24	0	10,324	1,686	2,843	8,120	6,610	14,730
NO3	24	0	0,392	0,137	0,019	0,420	0,190	0,610
NO2	24	0	0,033	0,020	0,000	0,099	0,014	0,113
NTK	24	0	101,821	43,159	1862,681	171,500	42,700	214,200
SST	24	0	412,750	173,811	30210,109	513,000	180,000	693,000
SSV	24	0	306,083	132,686	17605,645	469,000	104,000	573,000
STV	24	0	799,708	588,131	345898,042	2129,000	303,000	2432,000
ST	24	0	1601,167	984,991	970206,841	2970,000	678,000	3648,000
SO4	24	0	123,500	110,843	12286,087	446,000	44,000	490,000
Sulfuros	17	7	0,671	0,280	0,078	1,200	0,200	1,400
Cond	24	0	1,123	0,490	0,240	1,990	0,676	2,666
OD	24	0	0,090	0,021	0,000	0,050	0,050	0,100
T	24	0	17,306	0,100	0,010	0,444	17,056	17,500
pH	24	0	8,650	0,726	0,527	3,050	7,650	10,700
Carga NH4	24	0	3,275	2,221	4,934	9,515	1,647	11,163
Carga DBO5	24	0	12,104	8,519	72,575	34,345	3,805	38,150
Carga DQO	24	0	48,209	36,820	1355,711	146,671	16,592	163,263
Carga P Soluble	24	0	0,445	0,277	0,077	1,107	0,130	1,237
Carga P Total	24	0	0,527	0,287	0,082	1,075	0,230	1,305
Carga NO3	24	0	0,021	0,014	0,000	0,049	0,005	0,054
Carga NO2	24	0	0,002	0,001	0,000	0,006	0,001	0,007
Carga NTK	24	0	5,426	4,404	19,393	18,284	2,102	20,385
Carga SST	24	0	22,227	15,960	254,708	58,958	5,269	64,226
Carga SSV	24	0	16,261	11,945	142,675	45,494	4,859	50,353
Carga STV	24	0	44,231	49,559	2456,082	211,042	8,869	219,911
Carga ST	24	0	84,403	73,858	5455,069	301,179	20,724	321,903
Carga SO4	24	0	6,321	5,967	35,608	19,423	1,643	21,066
Carga Sulfuros	17	7	0,031	0,012	0,000	0,041	0,012	0,053
Q	24	0	0,576	0,270	0,073	1,192	0,295	1,487

Al comparar los datos de las tablas 12,13, 14 y 15, que muestran estadísticas básicas sobre los sitios de medición de la cuenca del Río Tunjuelo, con los de la Tabla 3 se puede ver lo siguiente:

Para el sitio de medición Salida Usme de la cuenca del Río Tunjuelo se tiene que los valores para Nitratos con 2,137 mg/l , Nitritos con valor superior a 0 mg/l y sulfatos con 51,54 mg/l son valores que se salen del rango que muestra en la Tabla 3. Esto puede ser gracias a que las fuentes de contaminación de esta descarga son básicamente aguas residuales residenciales y escorrentía agrícola. Además durante la toma de las muestras en este sitio se presentó un evento de precipitación. Por otro lado se observa que el hecho que los nitritos, nitratos y sulfatos tengan valores altos está demostrando la presencia de sustancias que se están utilizando en el área agrícola que afecta esta parte de la cuenca. La mayoría

de los parámetros de calidad de agua restantes, presentan un comportamiento similar al descrito por la Tabla 3. Otro parámetro importante para resaltar es el oxígeno disuelto ya que su valor promedio fue de 7,66 mg/l. Esta concentración para el OD es muy alta, sobretodo si se tiene en cuenta que son aguas residuales, aunque el valor de la temperatura promedio es bastante bajo lo que haría aumentar la capacidad de saturación del agua.

Para el sitio de muestreo San Benito se tiene que la mayoría de los parámetros se encuentran por fuera del rango presentado en la Tabla 3. Es decir que esta descarga parece ser una de las más contaminadas de las 12 que fueron analizadas en este estudio. En primer lugar se tiene un valor promedio de nitrógeno amoniacal de 282,54 mg/l contra 25 mg/l del valor sugerido en la literatura, la DBO_5 2272,375 mg/l contra 190 mg/l, la DQO 6059,33 mg/l contra 430 mg/l y los ST 10340,29 mg/l contra 720 mg/l. Estos valores parecen concordantes con el uso del suelo que tiene esta zona de la ciudad en la que se encuentra un cluster industrial del procesamiento del cuero, cuyo proceso productivo, y sobretodo si es realizado de manera artesanal, genera unas descargas ue son bastante contaminantes.

En el sitio 3 de medición de la cuenca del Río Tunjuelo, La Coruña, solamente un parámetro supera los rangos establecidos en la tabla 3. Este es el caso de los sulfatos con un valor promedio de 75,79 mg/l contra 30 mg/l. El resto de los parámetros se encuentra dentro de los rangos de la Tabla 3. Esta descarga además de ser combinada y ser monitoreada durante un evento de precipitación, parece ser una de las descargas cuyos parámetros de calidad de agua muestran un comportamiento más parecido al descrito en la Tabla 3.

El sitio 4 de medición de la cuenca del Río Tunjuelo, Interceptor Medio, muestra que varios de sus parámetros se encuentran muy por encima del rango establecido para éstos en la Tabla 3. Este es el caso del nitrógeno amoniacal con un valor de 63,65 mg/l, la DQO con 900,125 mg/l, el nitrógeno total con 101,82

mg/l y los ST con 1601,16 mg/l entre otros. Esta descarga parece tener también bastante influencia de las aguas residuales industriales, y se nota la ausencia de las aguas lluvias. En otras palabras, se ve una relación directa entre el grado de contaminación de las descargas y el hecho que esta esté catalogada como combinada o no. Cuando es combinada, los parámetros de calidad se encuentran en concentraciones más bajas que cuando la descarga solo lleva aguas residuales, como en este caso.

6.2 Análisis de Clusters o Conglomerados.

El análisis de clusters se realizó para detectar similaridades entre los diferentes sitios de medición que fueron analizados. Se realizó una preparación inicial de los datos, ya que se escogieron los valores promedio de cada uno de los parámetros para cada uno de los sitios y se aplicó una estandarización por medio de la metodología de los puntajes z que fue explicada anteriormente. A los datos estandarizados se les aplicó la técnica de análisis de clusters utilizando el método de Ward, la distancia euclidiana al cuadrado como medida de similaridad y la representación de los grupos a partir de dendogramas. El resultado del primer análisis de cluster que se realizó, se puede ver en la siguiente figura:

* * * * * * H I E R A R C H I C A L C L U S T E R A N A L Y S I S * * * * * *

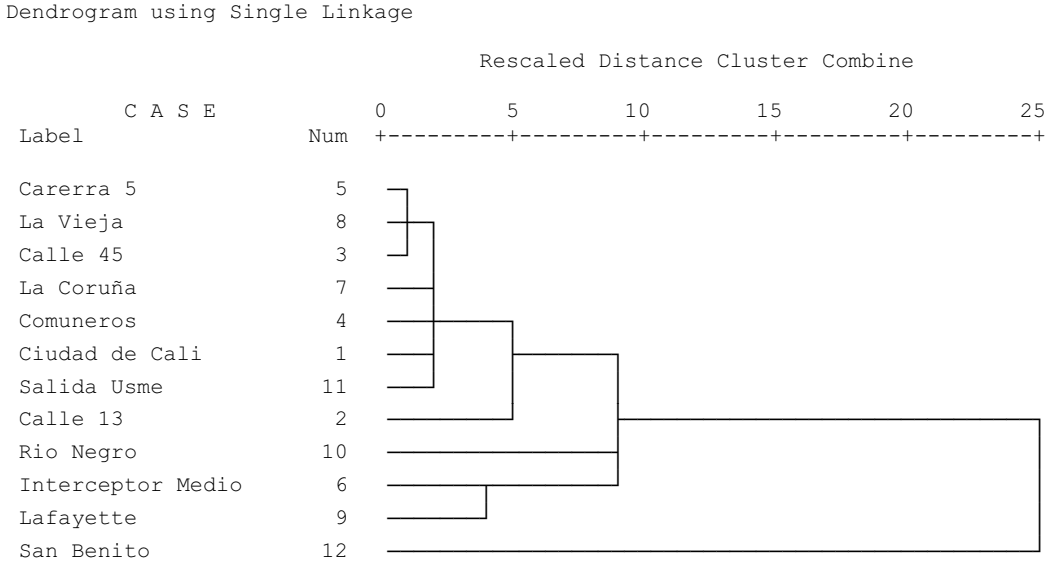

Figura 4: Dendograma General.

En el dendograma generado por el análisis de clusters se puede observar que las descargas de la Carrera 5 de la cuenca del Río Fucha, y las descargas La Vieja y Calle 45 de la cuenca del Río Salitre aparecen en un primer grupo de similaridad. El eje superior indica la distancia que hay entre cada uno de los clusters, cuando estos se encuentran unidos. Por esto se puede decir que los sitios de muestreo mencionados anteriormente se encuentran estadísticamente cercanos a los sitios La Coruña, Salida Usme de la cuenca del Río Tunjuelo, Ciudad de Cali de la cuenca del Río Salitre y Comuneros de la cuenca del Río Fucha. La similaridad entre estos sitios se da por el grado de contaminación que presentan, es decir que el criterio que se utilizó para agrupar los sitios de muestreo fueron los valores promedio de calidad de agua para cada uno de los parámetros de medición muestreados. Otra conclusión que se puede derivar a partir de esta gráfica es que la técnica agrupó a los sitios de muestreo de menor a mayor nivel de

contaminación. El sitio de medición San Benito es por consiguiente el más contaminado de todos y por eso el dendograma lo muestra como un grupo aislado, mientras que los sitios Carrera 5, La Vieja y Calle 45 son los menos contaminados. Las descargas del Interceptor Medio y Lafayette también se encuentran agrupados y muestra que su grado de contaminación es similar entre sí. Esta similaridad se puede ver también teniendo en cuenta las estadísticas básicas analizadas anteriormente, donde muestran valores promedio para los diferentes parámetros bastante cercanos. Para mejorar la interpretación de los clusters se decidió volver a correr los datos sin tener en cuenta el sitio de medición de San Benito que es independientemente uno de los clusters encontrados. Este análisis se puede sintetizar en la figura 5.

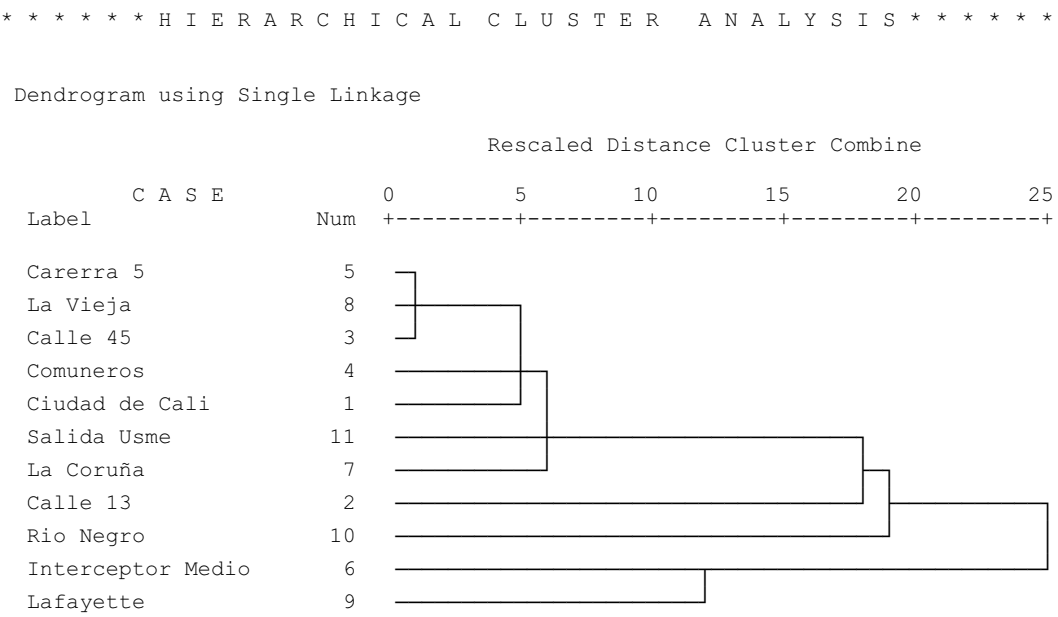

Figura 5: Dendograma General sin San Benito.

En este dendograma se ve más claro cuales son los sitios cuyas descargas parecen presentar las características más similares entre sí. Por consiguiente se

puede ver que los sitios Comuneros y Ciudad de Cali tiene una similaridad muy grande, lo mismo que Salida de Usme y La Coruña.

En conclusión este análisis de cluster logró agrupar los 12 sitios de medición en 5 grupos constituidos de la siguiente manera: Grupo 1: Carrera 5, La Vieja, Calle 45,Comuneros, Ciudad de Cali, Salida Usme, La Coruña; Grupo 2: Calle 13; Grupo 3: Río Negro; Grupo 4: Interceptor Medio, Lafayette y por último el Grupo 5 donde se encuentra San Benito.

Como el patrón horario de las aguas residuales presenta cambios del caudal en el día, se decidió realizar un análisis de cluster de los sitios teniendo en cuenta 3 rangos de tiempo que son característicos para las aguas residuales en Bogotá. Estos rangos son entre las 9:00 pm y las 5:00 am; entre las 5:00 am y la 1:00 pm y entre la 1:00 pm y las 9:00 pm. En la figura 6 se puede ver una representación gráfica de los cambios del caudal del agua residual en un periodo de 24 horas.

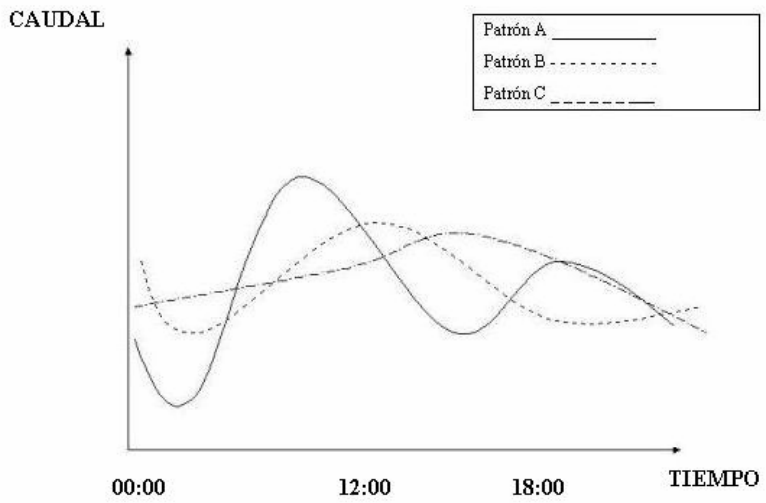

Figura 6: Patrón Horario de Aguas Residuales. (tomado de Butler & Davies, 2004).

6.2.1 Análisis de Clusters Rango 9:00 pm – 5:00 am.

Se utilizaron los valores promedio de cada uno de los parámetros para cada sitio de medición, teniendo en cuenta solamente el rango horario escogido. El análisis se puede ver sintetizado en la figura 7. De todas maneras como la descarga de San Benito tiene un nivel tan elevado de los parámetros durante todas las 24 horas en comparación a los demás sitios de muestreo se decidió dejar este como un grupo a parte y realizar el análisis de Cluster solamente a los otros 11 sitios de medición.

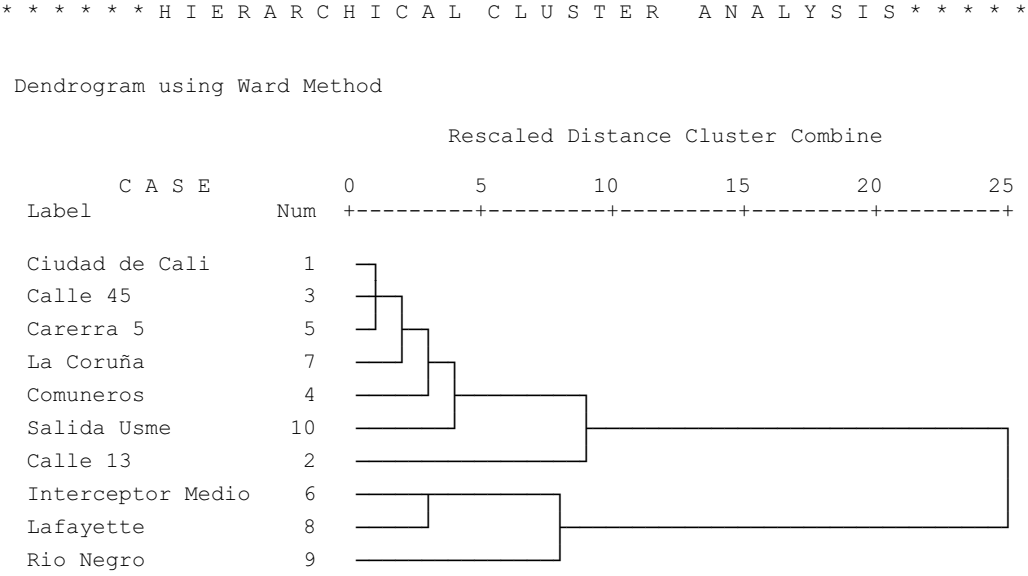

Figura 7: Análisis de Clusters para el rango 9:00 pm – 5:00 am.

En este caso la técnica del análisis de clusters estableció la existencia de 4 grupos definidos de la siguiente manera: Grupo 1: Ciudad de Cali, Calle 45, Carrera 5, La Coruña, Comuneros, Salida Usme; Grupo 2: Calle 13; Grupo 3: Interceptor Medio, Lafayette, Río Negro y el Grupo 4 conformado por San Benito. Esta gráfica podría significar que los sitios que están en el grupo 1 tienen una gran cantidad de aguas residuales residenciales en sus descargas, en el grupo 2 las aguas residuales

tienen características más industriales y San Benito se encuentra solo en el grupo 3 seguramente evidenciando procesos productivos industriales ininterrumpidos durante todo el día.

6.2.2 Análisis de Clusters Rango 5:00 am – 1:00 pm.

El análisis de cluster de este rango horario se ve sintetizado en la figura 8.

* * * * * * H I E R A R C H I C A L C L U S T E R A N A L Y S I S * * * * * *

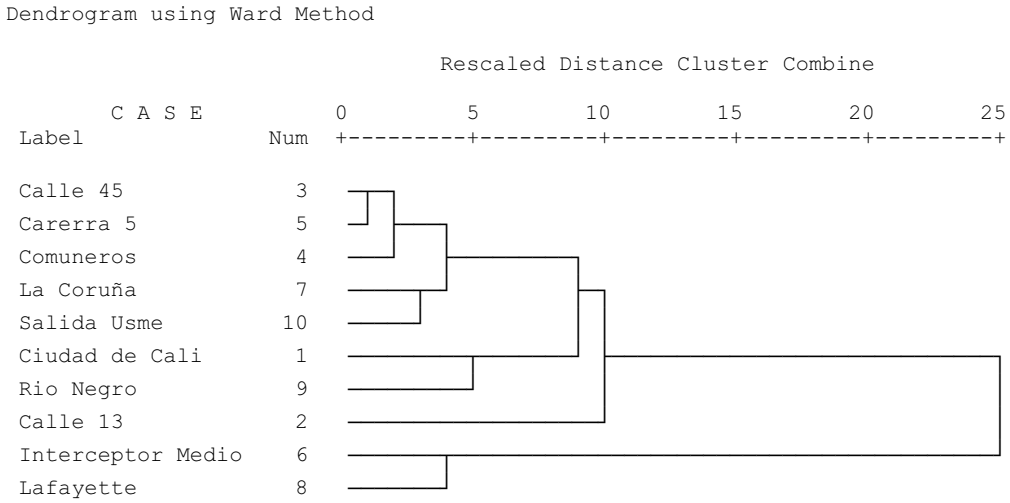

Figura 8: Análisis de Clusters para el rango 5:00 am – 1:00 pm.

Durante este rango horario el análisis de clusters estableció la existencia de 5 grupos definidos de la siguiente manera: Grupo 1: Calle 45, Carrera 5, Comuneros, La Coruña, Salida Usme; Grupo 2: Ciudad de Cali, Río Negro; Grupo 3: Calle 13; Grupo 4: Interceptor Medio, Lafayette y el Grupo 5 con la descarga de San Benito. Como se puede observar en este rango horario, sitios como Ciudad de Cali cambiaron de grupo mostrando un aumento en su carga contaminante, seguramente por las aguas residuales residenciales y actividades industriales que se realizan en este periodo. Además está en el cluster con Río Negro, que en el rango horario anterior había estado en uno de los grupos de mayor contaminación.

6.2.3 Análisis de Clusters Rango 1:00 pm – 9:00 pm.

El análisis de cluster de este rango horario se ve sintetizado en la figura 9.

* * * * * * H I E R A R C H I C A L C L U S T E R A N A L Y S I S * * * * * *

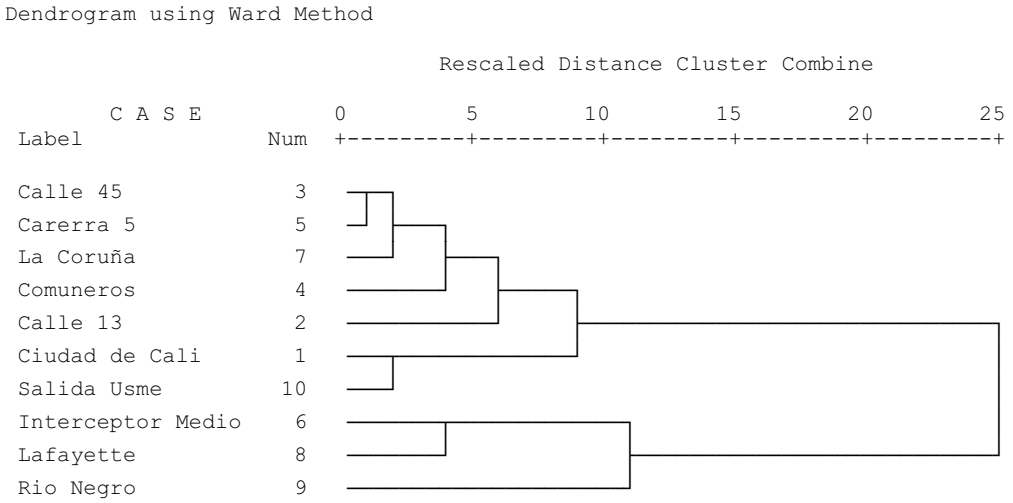

Figura 9: Análisis de Clusters para el rango 1:00 pm – 9:00 pm.

En este caso se pueden identificar los 5 grupos que representa esta figura. Estos grupos están conformados de la siguiente manera: Grupo 1: Calle 45, Carrera 5, La Coruña, Comuneros, Calle 13; Grupo 2: Ciudad de Cali, Salida Usme; Grupo 3: Interceptor Medio, Lafayette; Grupo 4: Río Negro y en el Grupo 5 la descarga de San Benito. En primer lugar Calle 13 vuelve al Grupo 1 seguramente por un aumento en las descargas residuales residenciales, mientras que Salida Usme sale del primer grupo para entrar al Grupo 2. El sitio de muestreo Río Negro también cambió de grupo de manera considerable ya que en el rango horario anterior estaba en un grupo de mucha menor contaminación. Seguramente existe en el área de influencia industrias cuyos procesos productivos se den con mayor intensidad durante este rango de tiempo.

Se puede concluir que existe una notoria diferencia entre los valores promedio de los parámetros de las descargas en el transcurso del día, para los sitios de muestreo, ya que las costumbres de consumo presentes en los sitios de medición, tanto industrial como doméstica, hacen que los parámetros de calidad del cuerpo de agua cambien.

6.3 Componentes Principales/Análisis de Factores.

El análisis de componentes principales/análisis de factores se aplicó a los datos normalizados de uno de los sitios de cada uno de los 5 grupos encontrados en el análisis de clusters, para comparar la composición de cada uno de los grupos entre las distintas muestras de agua analizadas y para identificar factores de influencia para cada uno de los sitios.

Para realizar este análisis se decidió utilizar el paquete estadístico SPSS v.14 el cual realiza iterativamente el proceso, hasta que el número de componentes presentes en el análisis explican la mayoría de la variabilidad de los datos, siguiendo la metodología de escoger los eigenvalores mayores a 1. También se utilizó la metodología del cambio en la pendiente en la gráfica de eigenvalores vs. Número de componente generado, y se escoge el número del componente en la gráfica que corresponde a un cambio fuerte en la pendiente de la curva que se genera.

6.3.1 Grupo 1 – Contaminación baja.

6.3.1.1 Calle 45 Cra 24.

Como el análisis de componentes principales utiliza para su realización, la información generada en la matriz de correlaciones, se puede encontrar en ésta algunas relaciones de importancia. Las matrices de correlación para todos los puntos de medición se presentan en los anexos 1 al 5.

Se encontraron correlaciones fuertes en las variables de las que se espera estos resultados, como es el caso de DQO con DBO, o ST con DBO y DQO. Se consideran correlaciones fuertes cuando el coeficiente de determinación es mayor a 0.8 y en los casos mencionados anteriormente el coeficiente se encontró por encima de este valor. La variable de Conductividad se correlacionó positivamente de manera importante con NH_4 r=0.76, con Fósforo Soluble r=737, con ST r=0,569, y negativamente con OD r=-0.771. Esta correlación negativa no es más que la representación de la demanda de oxígeno generada por todos los contaminantes presentes en el agua que generan un mayor valor en la conductividad. El OD también se vió correlacionado de manera importante con NH_4 r=-0.901, Fósforo Soluble r=-0,837, NTK r=-0.794, ST=-0.704, SO4 r=-0.842 entre otros. Estos valores claramente muestran los procesos de demanda de oxígeno que genera la degradación de estas sustancias cuando entran en el cuerpo de agua. Otra de las correlaciones interesantes es la de la Temperatura contra el OD r=-0,9034 que muestra la relación que existe entre la saturación del agua cuando se afecta con la temperatura, pues entre menor es la temperatura, mayor es la concentración máxima de OD que se puede dar en el agua.

En la Tabla 16 se encuentran los eigenvalores y la capacidad de explicación para los datos de la Calle 45 Cra 24. En esta Tabla se puede ver que el primer eigenvalor explica el 42.92% de la variabilidad de los datos, el segundo eigenvalor un 36,54% y otros tres eigenvalores que explican entre el 7 y el 3%. Los primeros cinco eigenvalores >= 1 fueron escogidos generando una explicación acumulativa del 93,80% de la variabilidad de los datos en general. Es decir que el 93,8% de la variabilidad de la matriz con las 24 variables utilizadas se puede explicar con 5 variables que fueron encontradas por medio de esta metodología.

Tabla 16: Eigenvalores Calle 45 Cra 24.

Total Variance Explained									
Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	14,1579728	42,9029478	42,9029478	14,1579728	42,9029478	42,9029478	13,4879265	40,8725046	40,8725046
2	12,0604597	36,5468475	79,4497954	12,0604597	36,5468475	79,4497954	11,9886993	36,3293919	77,2018965
3	2,25079382	6,82058733	86,2703827	2,25079382	6,82058733	86,2703827	2,51812515	7,63068228	84,8325788
4	1,34896138	4,08776176	90,3581445	1,34896138	4,08776176	90,3581445	1,71486602	5,19656369	90,0291425
5	1,14336304	3,46473649	93,822881	1,14336304	3,46473649	93,822881	1,25193369	3,79373846	93,822881
6	0,49932152	1,51309553	95,3359765						
7	0,42287279	1,28143268	96,6174092						
8	0,32939979	0,9981812	97,6155904						
9	0,25759299	0,78058482	98,3961752						

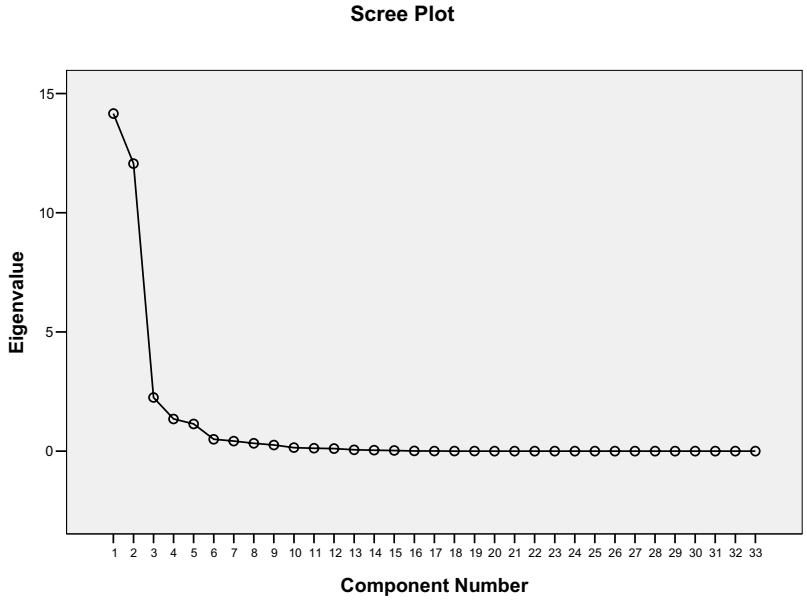

Figura 10: Screw Plot Calle 45 Cra 24.

La figura 10 muestra que la escogencia de los primeros 5 componentes es una buena elección teniendo en cuenta la metodología del cambio brusco de la pendiente, ya que después de los primeros 5 componentes la pendiente se vuelve claramente suave.

En la tabla 17 se presentan los eigenvectores o varifactores encontrados por la metodología CP/AF con las cargas más representativas para cada uno de estos, teniendo en cuenta que fueron rotados para mejorar la explicabilidad de los datos.

Tabla 17: CP/AF Calle 45 Cra24

Rotated Component Matrix(a)					
	Component				
	1	2	3	4	5
NH4		0,80558708	0,4861282		
DBO5		0,86267306			
DQO		0,95216512			
P_Soluble		0,92550296			
P_Total		0,95012713			
NO3		-0,84396261			
NO2				0,90576214	
NTK		0,89900023			
SST	0,57955788	0,71591683			
SSV	0,45908834	0,82637244			
STV		0,94011668			
ST		0,9552689			
SO4		0,83271205			
Sulfuros					-0,92905482
Cond		0,60478971	0,59213188		
OD		-0,80999731			
T	-0,49857497	0,74374869			
pH		0,5904882	0,65583935		
Carga_NH4	0,75176475		0,57872524		
Carga_DBO5	0,96881614				
Carga_DQO	0,99344655				
Carga_P_Soluble	0,75306992				
Carga_P_Total	0,97153652				
Carga_NO3	0,51893636				
Carga_NO2	0,80648069				
Carga_NTK	0,98355339				
Carga_SST	0,92407466				
Carga_SSV	0,95943544				
Carga_STV	0,99535028				
Carga_ST	0,99537895				
Carga_SO4	0,84620949				
Carga_Sulfuros	0,9130596				
Q	0,98784811				

Extraction Method: Principal Component Analysis.
a Rotation converged in 8 iterations.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

El primer factor está fuertemente correlacionado con las variables de carga de los contaminantes, que dependen fundamentalmente del caudal presentado en este sitio de medición ya que las cargas absolutas son en su mayoría valores mayores a 0,85. En este caso este factor puede ser llamado de carga de los contaminantes. Cabe recordar que cuando se realizó la medición en este sitio se presentó un evento de precipitación que pudo haber hecho que este factor de carga de contaminantes presentara mayor importancia. El segundo factor tiene fuertes cargas positivas en la mayoría de los parámetros de calidad de agua y negativamente con el OD, lo que podría estar indicando un factor de demanda de oxígeno o contaminación por parámetros demandantes de oxígeno disuelto. Los siguientes tres factores están menos definidos que los primeros tres pero por ejemplo el tercer factor presenta cargas importantes pero tan altas como los factores anteriores con Conductividad y pH. El cuarto y el quinto factor se encuentran relacionados fuertemente con los nitritos y los sulfuros respectivamente. Lo que indica el primero de estos es la presencia de actividades industrial y el segundo un factor de falencia de este nutriente en el agua, es decir que todavía no se encuentra el cuerpo de agua tan contaminado y generando procesos anaerobios de descomposición.

6.3.2 Grupo 2 – Contaminación media.

6.3.2.1 Calle 13.

Al analizar la matriz de correlación para este caso no se ven tantos parámetros tan fuertemente correlacionados como en el caso anterior. De todas maneras se encontraron relaciones de importancia como ST con Conductividad r=0,757 que es perfectamente coherente con la teoría, o ST con STV r=0,653, SST con SSV r=0,965, entre otros.

En la Tabla 18 se encuentran los eigenvalores y la capacidad de explicación que tienen estos de la variabilidad del total de los datos analizados. El primero de los

eigenvalores logra explicar el 41,12% de la variabilidad de los datos, seguido por el segundo que explica un 15,29% y el tercero con un 9,80%. Los otros 5 eigenvalores explican entre el 7 y el 3 % dando un total acumulado por los 8 eigenvalores de 91,75%. Es decir que en este caso se necesitaron 8 variables generadas por la técnica para explicar la variabilidad generada por las 24 variables originales.

Tabla 18: Eigenvalores Calle 13.

Total Variance Explained									
Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	13,5697131	41,12034282	41,12034282	13,5697131	41,1203428	41,12034282	9,04246081	27,4013964	27,4013964
2	5,04542265	15,28915954	56,40950236	5,04542265	15,2891595	56,40950236	6,0156891	18,22936091	45,63075731
3	3,23668854	9,808147088	66,21764945	3,23668854	9,80814709	66,21764945	3,51124858	10,64014722	56,27090453
4	2,2436502	6,798940011	73,01658946	2,2436502	6,79894001	73,01658946	2,96263206	8,977672923	65,24857745
5	1,91282197	5,796430223	78,81301968	1,91282197	5,79643022	78,81301968	2,34146926	7,095361387	72,34393884
6	1,64163213	4,974642831	83,78766251	1,64163213	4,97464283	83,78766251	2,250342	6,819218191	79,16315703
7	1,50414591	4,558017896	88,34568041	1,50414591	4,5580179	88,34568041	2,16907813	6,572964039	85,73612107
8	1,1236464	3,404989101	91,75066951	1,1236464	3,4049891	91,75066951	1,98480098	6,014548438	91,75066951
9	0,79116307	2,397463857	94,14813337						
10	0,61125929	1,85230087	96,00043424						
11	0,5548073	1,68123425	97,68166849						

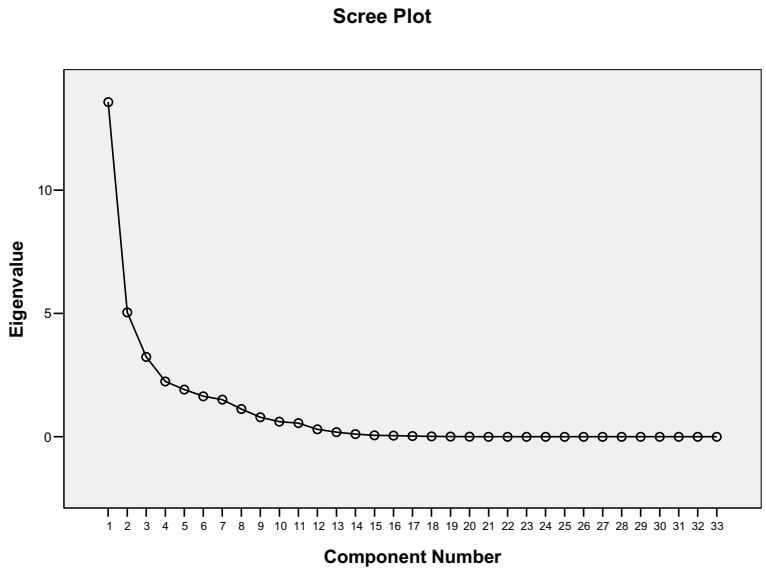

Figura 11: Screw Plot Calle 13.

La figura 11 muestra que el cambio fuerte en la pendiente se da después del 8 componente lo cual nos indica que escoger las 8 variables es una buena decisión. En la Tabla 19 se presentan los eigenvectores o varifactores encontrados por la metodología CP/AF con las cargas más representativas para cada uno de estos, teniendo en cuenta que fueron rotados para mejorar la explicabilidad de los datos.

Tabla 19: CP/AF Calle 13.

Rotated Component Matrix(a)

	Component							
	1	2	3	4	5	6	7	8
NH4						0,607		
DBO5			-0,743					
DQO		0,657						-0,562
P_Soluble	0,785							
P_Total		0,638						
NO3					-0,844			
NO2							0,817	
NTK						0,826		
SST		0,973						
SSV		0,969						
STV				0,592				
ST				0,885				
SO4	0,618		0,561					
Sulfuros								0,841
Cond				0,809				
OD							0,464	
T			0,902					
pH			0,800					
Carga_NH4	0,809							
Carga_DBO5		0,504	-0,705					
Carga_DQO	0,874							
Carga_P_Soluble	0,930							
Carga_P_Total	0,661	0,596						
Carga_NO3					-0,956			
Carga_NO2	0,698						0,647	
Carga_NTK	0,631							
Carga_SST		0,892						
Carga_SSV		0,905						
Carga_STV	0,753							
Carga_ST	0,795			0,541				
Carga_SO4	0,905							
Carga_Sulfuros	0,548							0,608
Q	0,9418011							

Extraction Method: Principal Component Analysis.
a Rotation converged in 10 iterations.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

El primero de los factor está fuertemente correlacionado nuevamente con varios parámetros de carga, sobre todo con el caudal, pero ya no presenta la relación tan

fuerte que tenía en el caso anterior. De todas maneras se seguirá llamando a este factor, el factor de carga o relacionado con el efecto que tiene el caudal sobre la carga de los contaminantes. El segundo factor está fuertemente relacionado con SST, SSV, DBO_5, DQO y las cargas de estos mismos. Por consiguiente este factor está indicando el componente orgánico presente en este cuerpo de agua, ya que presenta una relación fuerte entre presencia de SSV y DQO con presencia de materia orgánica. El tercer factor nuevamente tiene cargas fuertes para los parámetros de Temperatura y pH. El cuarto factor tiene una relación fuerte con ST y con Conductividad y moderado con STV. Este factor parece estar indicando la presencia de sólidos en el cuerpo de agua, por eso se le llamará el factor sólidos. El quinto factor tiene una relación fuerte negativa con los nitratos y su correspondiente carga, lo que puede estar indicando que los procesos de desnitrificación ya se están dando en el agua y los nitratos están siendo degradados. Este factor puede ser un factor de desnitrificación o de contaminación del cuerpo de agua. El factor seis muestra una relación fuerte con el NH_4 y el nitrógeno total, lo que puede estar mostrando la presencia fuerte de aguas residuales residenciales, y su importancia en la cantidad total de nitrógeno en la descarga. Los dos últimos factores muestran una relación importante con los nitritos y los sulfuros respectivamente. Estos factores pueden estar indicando en primer lugar que lo mencionado anteriormente de la desnitrificación de los nitratos está ocurriendo, generando una concentración más importante de los nitritos, y en segundo lugar la presencia de sulfuros productos de la digestión anaerobia de este tipo de aguas. En conclusión este sitio de monitoreo se encuentra más contaminado que el anterior y eso parece corroborarse con el análisis de factores.

6.3.3 Grupo 3– Contaminación Media Alta.

6.3.3.1 Río Negro.

La diferencia que tiene el Río Negro con las demás descargas es que su caudal es mucho mayor que los otros puntos de medición. Es por ésto que aunque las concentraciones de los parámetros de calidad de agua no son los más altos de todos los demás sitios y como su caudal es mayor que los de los demás por mas de dos órdenes de magnitud, hacen de este punto un sitio de interés, pues no tiene características similares con ninguno de los sitios en cuestión.

Dentro de las relaciones importantes que se pueden ver en la matriz de correlación que se presentan en el anexo 3, se pueden incluir algunas como SO_4 con DQO r=0,916, SO_4 con Fósforo soluble r=0,939, Fósforo Soluble con DQO y DBO_5 r=0,968 y r=0,896 respectivamente. Estas relaciones indican que esta descarga tiene gran cantidad de aguas residuales residenciales por la cantidad de fósforo presente en la descarga.

En la Tabla 20 se presentan los eigenvalores y la capacidad de explicación que tienen estos de la variabilidad del total de los datos analizados. Como se puede observar el primer eigenvalor explica el 50,18% de la variabilidad de los datos muestreados, mientras que los siguientes 4 eigenvalores explican entre el 7 y el 1%. El acumulado de los 5 eigenvalores escogidos es de 88.76% de explicación de la variabilidad de los datos.

Tabla 20: Eigenvalores Río Negro.

Total Variance Explained									
Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	15,0545502	50,1818339	50,18183386	15,0545502	50,18183386	50,18183386	12,4135541	41,37851379	41,37851379
2	6,88282285	22,9427428	73,12457669	6,88282285	22,94274283	73,12457669	7,44794571	24,8264857	66,20499949
3	2,39421397	7,98071324	81,10528994	2,39421397	7,980713244	81,10528994	4,02978553	13,43261843	79,63761792
4	1,26768608	4,22562025	85,33091019	1,26768608	4,225620254	85,33091019	1,57426165	5,24753883	84,88515675
5	1,02886332	3,4295444	88,76045459	1,02886332	3,429544398	88,76045459	1,16258935	3,875297837	88,76045459
6	0,77337906	2,57793019	91,33838478						
7	0,6672061	2,22402033	93,56240511						
8	0,54570717	1,8190239	95,38142901						

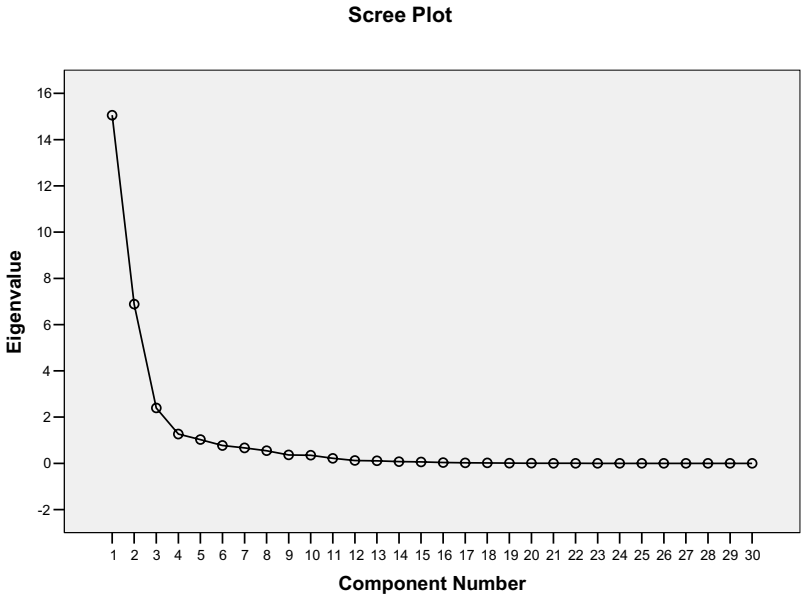

Figura 12: Screw Plot Río Negro.

Como se puede observar en la figura 12, los primeros cinco componentes tienen una pendiente más fuerte que el resto, por lo que es considerable una decisión acertada escoger este número.

En la Tabla 21 se presentan los eigenvectores o varifactores encontrados por la metodología CP/AF con las cargas más representativas para cada uno de estos, teniendo en cuenta que fueron rotados para mejorar la explicabilidad de los datos.

Tabla 21: CP/AF Río Negro.

Rotated Component Matrix(a)

	Component				
	1	2	3	4	5
NH4		0,675			
DBO5		0,866			
DQO		0,940			
P_Soluble		0,956			
P_Total		0,741			
NO3				0,879	
NO2	0,575		0,705		
NTK		0,766			
SST			0,903		
SSV			0,823		
STV		0,786			
ST		0,848			
SO4		0,936			
T	0,543	-0,539			
pH					0,652
Carga_NH4	0,909				
Carga_DBO5	0,931				
Carga_DQO	0,965				
Carga_P_Sol	0,948				
Carga_P_Tot	0,908				
Carga_NO3	0,770				
Carga_NO2	0,695		0,634		
Carga_NTK	0,929				
Carga_SST	0,731		0,644		
Carga_SSV	0,793		0,553		
Carga_STV	0,923				
Carga_ST	0,949				
Carga_SO4	0,950				
Q	0,858	-0,458			
OD	0,601				

Extraction Method: Principal Component Analysis.
a Rotation converged in 6 iterations.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

Como se puede observar el primer factor tiene cargas positivas en los parámetros que tienen que ver con el caudal. Esto no es una sorpresa pues, como se dijo anteriormente, el caudal de este sitio de monitoreo es considerablemente mayor que cualquiera otro. En este caso el primer factor vuelve a relacionarse con la carga de contaminantes, o relacionado con el caudal que tiene el cuerpo de agua.

El segundo factor está relacionado con los nutrientes que presenta el agua, y la demanda de oxígeno que estos están generando en ésta. El tercer factor está mostrando la cantidad de la materia orgánica que tiene el agua por tener una relación bastante fuerte con los SSV, que en este caso es de 0,82, aunque también tiene una relación moderada con NO_2. El cuarto factor está fuertemente relacionado con los NO_3 lo que puede estar mostrando que los procesos de desnitrificación están presentes, por consiguiente puede ser un factor que muestra el nivel de contaminación que tiene el agua. El quinto factor tiene una relación moderada con el pH.

6.3.4 Grupo 4– Contaminación Alta.

7.3.3.1 Lafayette.

En el caso de la descarga que tiene lugar en este sitio de medición la contaminación presente es alta, y sobretodo tiene importancia la cantidad de agua residual industrial que la compone.

Las relaciones importantes que se pueden ver de la matriz de correlación para este caso (ver Anexo 4), se pueden mencionar las siguientes: NTK con NH_4 r=0,797 lo que puede estar diciendo que la mayoría del nitrógeno presente está en forma de nitrógeno amoniacal, SSV con SST r=0,901 que está indicando que la mayoría de los sólidos suspendidos totales es materia orgánica, entre otros. Es importante aclarar que a partir de la estructura de la matriz de correlaciones se puede ver que, en este caso, los datos muestran correlaciones moderadas, no como en el caso 1 donde existían muchas correlaciones fuertes entre los datos.

En la Tabla 22 se encuentran los eigenvalores y la capacidad de explicación que tienen estos de la variabilidad del total de los datos analizados. Como se puede observar el primer eigenvalor está explicando el 47,81% de la variabilidad de los datos, seguido por el segundo con un 12,28%, y el tercero con un 9,77%. Los siguientes cinco eigenvalores tienen un porcentaje de explicabilidad entre el 6 y el

3% para un total de 92,94%. Como se puede ver en este caso se necesitaron 8 variables nuevas para explicar la variabilidad que generan las 33 variables originales.

Tabla 22: Eigenvalores Lafayette.

Total Variance Explained									
Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	15,7803375	47,81920451	47,81920451	15,7803375	47,81920451	47,81920451	10,110852	30,6389454	30,6389454
2	4,05145332	12,27713126	60,09633578	4,05145332	12,27713126	60,09633578	4,81190376	14,58152656	45,22047196
3	3,22504483	9,772863111	69,86919889	3,22504483	9,772863111	69,86919889	3,82904284	11,60316011	56,82363208
4	1,97708903	5,991178885	75,86037777	1,97708903	5,991178885	75,86037777	3,29385975	9,981393191	66,80502527
5	1,88052482	5,698560056	81,55893783	1,88052482	5,698560056	81,55893783	2,54651087	7,716699596	74,52172486
6	1,63543243	4,955855851	86,51479368	1,63543243	4,955855851	86,51479368	2,41907581	7,330532766	81,85225763
7	1,11429107	3,376639606	89,89143329	1,11429107	3,376639606	89,89143329	2,02571417	6,138527801	87,99078543
8	1,00525234	3,046219212	92,9376525	1,00525234	3,046219212	92,9376525	1,63246613	4,946867067	92,9376525
9	0,70742894	2,143724062	95,08137656						
10	0,50292548	1,524016613	96,60539317						
11	0,4165178	1,26217514	97,86756831						

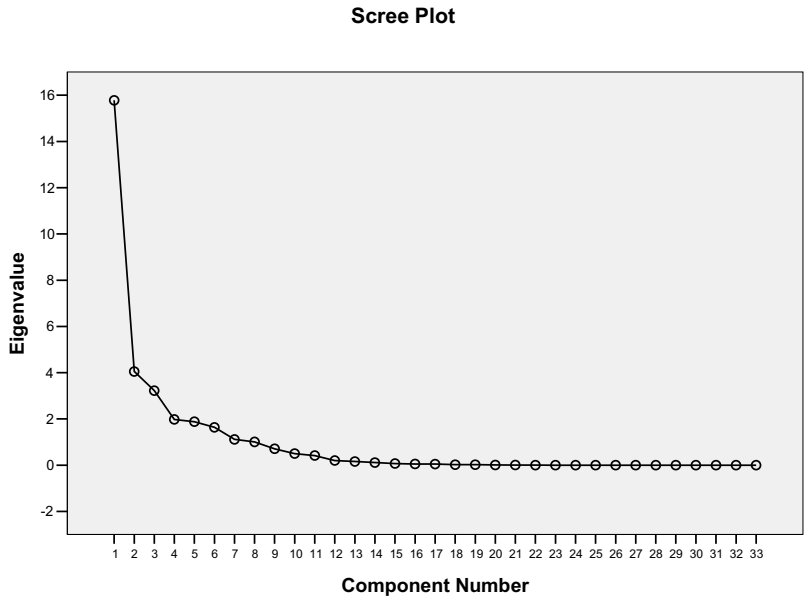

Figura 13: Screw Plot Lafayette.

Como se puede observar en la figura 13 la pendiente cambio hasta el octavo componente por lo que la decisión de escoger 8 varifactores parece la más indicada.

En la Tabla 23 se presentan los eigenvectores o varifactores encontrados por la metodología CP/AF con las cargas más representativas para cada uno de estos, teniendo en cuenta que fueron rotados para mejorar la explicabilidad de los datos.

Tabla 23: CP/AF Lafayette.

Rotated Component Matrix(a)

	Component							
	1	2	3	4	5	6	7	8
NH4	0,777							
DBO5					0,905			
DQO					0,743			
P_Soluble			0,896					
P_Total			0,943					
NO3						0,937		
NO2							0,887	
NTK	0,616				0,531			
SST		0,606						
SSV		0,689						
STV		0,835						
ST		0,757			0,453			
SO4		0,753						
Sulfuros	-0,598			0,609				
Cond								0,908
OD								-0,566
T				-0,685				
pH	-0,472			-0,643				
Carga_NH4	0,938							
Carga_DBO5	0,859							
Carga_DQO	0,848							
Carga_P_Soluble	0,608		0,712					
Carga_P_Total	0,542		0,756					
Carga_NO3						0,803		
Carga_NO2							0,908	
Carga_NTK	0,907							
Carga_SST	0,702	0,471						
Carga_SSV	0,676	0,525						
Carga_STV	0,701	0,575						
Carga_ST	0,817							
Carga_SO4	0,765	0,520						
Carga_Sulfuros				0,857				
Q	0,902							

Extraction Method: Principal Component Analysis.
a Rotation converged in 9 iterations.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

Al ver la conformación que tiene el primer factor se puede observar que no existió un evento de precipitación en el muestreo de este sitio ya que no todos los parámetros de carga están fuertemente relacionados con éste. Lo anterior concuerda con la realidad pues no existió tal evento. Pero de todas maneras sigue siendo un factor relacionado con las cargas de los contaminantes como en los casos anteriores. El segundo factor está fuertemente relacionado con los sólidos presentes en el agua, y parece ser que el SO_4 está siendo importante en esta suma. Este factor pareciera estar indicando que la fuente es la alta escorrentía de la cuenca con alta carga de sólidos. El tercer factor está fuertemente relacionado con el fósforo soluble y total, lo cual puede estar indicando una gran importancia del agua residual residencial en esta descarga. El cuarto factor está moderadamente relacionado con los sulfuros y negativamente relacionado con la temperatura y el pH. El quinto factor está relacionado fuertemente con DBO_5 y con DQO y moderadamente relacionado con Nitrógeno Total, lo que indica que este factor es un indicador de polución orgánica. (Sighn, Malik & Sinha 2005). Los factores sexto y séptimo están fuertemente relacionados con los nitratos y los nitritos respectivamente. Estos factores pueden estar indicando una fuerte influencia de los procesos de desnitrificación que se pueden estar dando en el cuerpo de agua, lo que los convierte en factores que indican el grado de contaminación del agua. El factor número ocho está fuertemente relacionado de manera positiva con la conductividad y de manera negativa con el OD. Lo que es concordante con los procesos que se dan en el agua cuando existen muchos sólidos en el agua que generan una demanda de oxígeno disuelto alta. Este factor puede ser otro indicador del grado de polución que tiene el cuerpo de agua.

6.3.5 Grupo 5– Contaminación Muy Alta.

7.3.5.1 San Benito.

Esta descarga es la más contaminada de todas las analizadas en este trabajo. Se analiza de manera individual porque tanto el análisis de estadísticas básicas, como el análisis de clusters mostraron que este sitio de medición presenta unas condiciones especiales en comparación con los demás. En conclusión se puede decir que la influencia del sector industrial que se desarrolla en esta parte de la ciudad genera un efecto significativo en la concentración de contaminantes de esta descarga.

Al revisar la estructura de la matriz de correlaciones se encontraron relaciones importantes como las siguientes: el OD tiene relaciones coherentes con todos los parámetros de calidad que harían que su cantidad disminuyera, por consiguiente presenta una estructura de relación moderada negativa con la mayoría de estos, en general casi todos lo sólidos presentan relaciones fuertes con la DBO_5 y la DQO con coeficientes de determinación entre 0,874 y 0,929. En este caso no se tiene valores para la conductividad porque al parecer la sonda multiparamétrica no obtuvo los valores deseados.

En la Tabla 24 se encuentran los eigenvalores y la capacidad de explicación que tienen estos de la variabilidad del total de los datos analizados. Se puede ver que el primer eigenvalor explica el 64,9% de la variabilidad de los datos, mientras que los otros cuatro eigenvalores explican entre el 3 y el 1 % cada uno. El total de explicabilidad lograda con los cinco eigenvalores escogidos es de 92,29% del total de la variabilidad de los datos.

Tabla 24: Eigenvalores San Benito.

Total Variance Explained									
Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	19,4831196	64,94373184	64,94373184	19,4831196	64,94373184	64,94373184	12,2556384	40,85212793	40,85212793
2	3,08514579	10,28381932	75,22755116	3,08514579	10,28381932	75,22755116	7,04221944	23,47406479	64,32619273
3	2,08550273	6,951675759	82,17922691	2,08550273	6,951675759	82,17922691	4,81697542	16,05658473	80,38277746
4	1,82496036	6,083201185	88,2624281	1,82496036	6,083201185	88,2624281	1,86508227	6,216940891	86,59971835
5	1,20861348	4,028711594	92,29113969	1,20861348	4,028711594	92,29113969	1,7074264	5,691421348	92,29113969
6	0,73676782	2,455892749	94,74703244						
7	0,51030604	1,701020149	96,44805259						
8	0,36852558	1,228418606	97,6764712						
9	0,21476606	0,715886881	98,39235808						

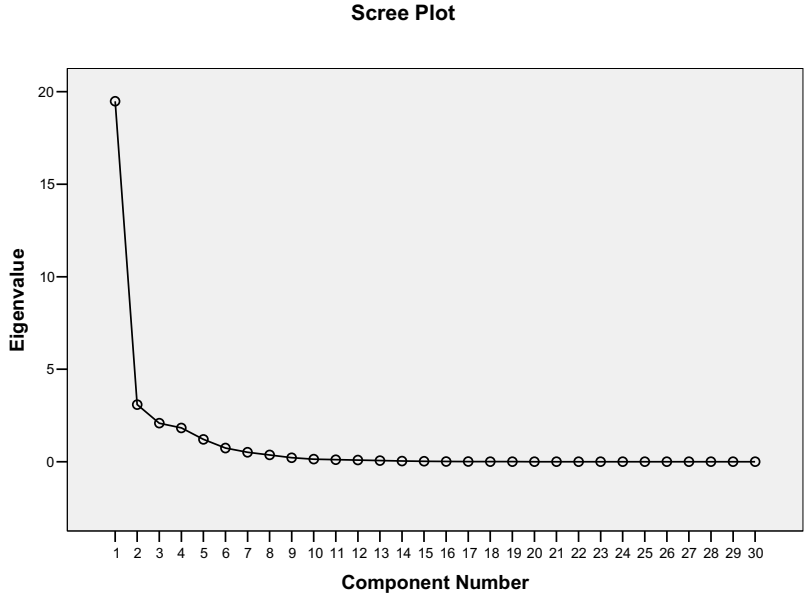

Figura 14: Screw Plot San Benito.

Como se puede observar en la Figura 14, la pendiente cambio hasta el quinto componente por lo que la decisión de escoger 5 varifactores parece la más indicada.

En la Tabla 25 se presentan los eigenvectores o varifactores encontrados por la metodología CP/AF con las cargas más representativas para cada uno de estos, teniendo en cuenta que fueron rotados para mejorar la explicabilidad de los datos.

Tabla 25: CP/AF San Benito.

Rotated Component Matrix(a)

	Component				
	1	2	3	4	5
NH4				0,950	
DBO5	0,863				
DQO	0,853	0,461			
P_Total	0,777	0,561			
NO3		0,794			
NO2					-0,898
NTK		0,740			
SST	0,938				
SSV	0,940				
STV	0,595	0,751			
ST	0,630	0,592			
SO4			0,631	0,617	
Sulfuros		0,917			
OD			-0,729		
T	0,648				
pH		0,673			
Carga_NH4	0,488		0,767		
Carga_DBO5	0,887				
Carga_DQO	0,906				
Carga_P_Total	0,844				
Carga_NO3	0,570	0,721			
Carga_NO2			0,657		-0,679
Carga_NTK	0,626	0,559	0,506		
Carga_SST	0,952				
Carga_SSV	0,952				
Carga_STV	0,752	0,585			
Carga_ST	0,766				
Carga_SO4			0,895		
Carga_Sulfuros		0,809			
Q	0,473		0,810		

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation converged in 8 iterations.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

La conformación del primer factor para este sitio de muestreo no se relaciona con el caudal, como venía sucediendo en los cuatro sitios analizados anteriormente. En este caso el primer factor está fuertemente relacionado con la contaminación orgánica del cuerpo de agua como lo son DBO, DQO, SSV, SST y sus respectivas cargas. El segundo factor está fuertemente relacionado con los sulfuros y

moderadamente relacionado con NTK y Fosforo Total lo que puede estar indicando contaminación por parte de aguas residuales industriales. El tercer factor muestra una relación moderada y negativa con el Oxígeno Disuelto, y positiva con el SO_4. El cuarto factor está fuertemente relacionado con el NH_4 y moderadamente con el SO_4. Este factor está indicando contaminación relacionada con aguas residuales residenciales. El quinto factor muestra una relación fuerte negativa con el NO_2 y su carga.

6.4 Regresiones Lineales Multivariadas

El análisis de regresión lineal multivariada se aplicó a algunos parámetros de especial interés como lo es la DBO_5, la DQO y los SST con respecto a los parámetros que se obtienen por medio de la sonda multiparamétrica. De esta manera se puede comparar estas regresiones lineales multivariadas con las que se realizaron en el Informe Final Fase IIb, teniendo en cuenta que en este trabajo de grado, se utilizaron todos los datos obtenidos en cada sitio para cada regresión sin tener en cuenta los intervalos de tiempo, lo que si sucede con las regresiones realizadas en dicho informe. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los sitios de medición.

Tabla 26: Resumen Regresiones Lineales Mutivariadas.

Cuenca	Sitio	Parámetro	Constante	Caudal m^3/s	PH	Conductividad	OD (mg/L)	Temperatura °C	R^2
Salitre	Calle 45	DBO		0,54					0,597
		DQO		0,719			-0,648	0,689	0,806
		SST		1,055				0,651	0,706
	La Vieja	DBO			0,176			0,885	0,853
		DQO						0,9	0,862
		SST			0,844		0,307		0,717
	Río Negro	DBO				0,447		-0,613	0,664
		DQO				0,423		-0,821	0,656
		SST			0,403			-0,841	0,644
	Av. Cali	DBO				1,375	0,686		0,585
		DQO				0,985	0,957		0,265
		SST		0,628					0,443
Fucha	Carrera 5	DBO		0,368					0,811
		DQO					-0,209		0,735
		SST		0,392	0,867			0,489	0,886
	Comuneros	DBO		-0,84			-0,783	0,874	0,758
		DQO					-0,62	0,481	0,814
		SST		0,625					0,811
	La Paz	DBO			1,344			-1,65	0,484
		DQO					-0,281		0,105
		SST					-0,316		0,188
	Interceptor Sur	DBO						-0,497	0,16
		DQO				-0,375		-0,936	0,63
		SST		0,472					0,303
Tunjuelo	Salida Usme	DBO			0,743				0,626
		DQO			0,731				0,657
		SST		0,567	0,464	-0,718	0,368	0,993	0,681
	San Benito	DBO			0,395			0,459	0,719
		DQO		0,615	0,442	-0,566		0,476	0,686
		SST		0,839		-0,591		0,604	0,685
	La Coruña	DBO				0,357	0,468	0,341	0,682
		DQO						0,456	0,623
		SST		0,683		0,455			0,605
	Interceptor Medio	DBO				0,407			0,361
		DQO		0,498		0,556			0,41
		SST		0,425					0,35

Tabla 27: Resumen Regresiones Lineales Mutivariadas Informe Final IIb.

CUENCA	PUNTO	Parámetro	Constante	Cond. Valor	OD (mg/L) Valor	Temp. (°C) Valor	pH Valor	Caudal (m^3/s) Valor	R^2
FUCHA	Cra 5	DBO	-326.803	554.034					0.788
		DQO	-1.997	1.240.010					0.653
		SST	-445.016	401.361		12.301			0.784
	Comuneros	DBO	2.967	59.228	-43.312				0.727
		DQO	-478.145	128.844	-93.983	35.904			0.834
		SST	-295.326	65.602					0.848
	Calle 13	DBO	488.754		-317.725	-30.332	88.239		0.561
		DQO	330.594	-206.419					0.327
		SST	81.860	334.875					0.346
	Lafayette	DBO	413.365	-110.569	-712.726				0.515
		DQO	1.018.040	-200.691	-1.665.840				0.583
		SST							
SALITRE	Calle 45	DBO	186.974		-117.409				0.656
		DQO	-3.977.920			237.024			0.697
		SST	-1.395.740			77.215			0.742
	La Vieja	DBO	-1.393.890			89.467			0.828
		DQO	-1.980.650			104.778			0.887
		SST	-1.713.000				244.764		0.656
	Río negro	DBO	-1.584.230	68.077					0.695
		DQO	-3.301.400						0.718
		SST	62.137		559.260	3.743			0.636
	Av. Cali	DBO	17.797	125.141					0.641
		DQO	114.300						0.000
		SST	1.206.010	-408.243		-59.853		585.032	0.573
TUNJUELO	Usme	DBO	-1.134.280			111.885			0.894
		DQO	-3.652.310			214.596	179.594		0.924
		SST	963.192		22.643				0.613
	San Benito	DBO	-326.803			554.034			0.624
		DQO	-103.474.000			5.815.960			0.546
		SST	-31.284.400			1.728.010			0.562
	La Coruña	DBO	-5.137.270		94.862	192.507	247.406		0.802
		DQO	-8.421		383.833				0.710
		SST	-884.594			49.305		76.217.200	0.512
	Interceptor	DBO							
		DQO							
		SST							

Teniendo en cuenta las Tablas 26 y 27 se puede observar que las regresiones realizadas en este trabajo de grado tienen coeficientes de determinación aceptables, y que en algunos casos tienen mejores resultados que los obtenidos en las regresiones del Informe Final IIb. Esto se puede corroborar si se comparan los coeficientes de correlación obtenidos para el parámetro de DBO del sitio de medición Carrera 5, pues en el caso de la regresión del Informe Final IIb el R^2 fue de 0,788 contra 0,811 que se obtuvo en este estudio. De la misma manera se pueden comparar los otros dos parámetros analizados para este punto de medición y donde los R^2 para DQO y SST fueron de 0,735 y 0,886

respectivamente, mientras que los R^2 de estos mismos parámetros en el Informe Final IIb fueron 0,653 y 0,784 respectivamente. En general se puede decir que se obtuvieron 19 mejores valores para el R^2 en el análisis de regresión lineal que se realizó en este trabajo de grado en comparación con el Informe Final IIb. Sin embargo el R^2 de 17 parámetros es mejor en dicho Informe. Claro que si tenemos en cuenta la totalidad de los R^2 obtenidos en ambos estudios el que mejores resultados pareciera obtener es el del Informe Final IIb. Esto se debe a que los resultados obtenidos en las regresiones realizadas en este trabajo de grado para los sitios de medición La Paz, Interceptor Sur e Interceptor Medio tuvieron coeficientes de determinación bastante bajos en comparación a los obtenidos en el Informe Final IIb. Es importante recordar que los dos análisis son muy distintos en su base ya que el análisis de regresión de este trabajo de grado tuvo en cuenta todos los datos obtenidos por sitio de medición para los datos estandarizados, por el contrario el análisis de regresión realizado en el Informe Final IIb tiene en cuenta rezagos en el tiempo. Un hecho muy interesante al ver los resultados de los dos estudios es que precisamente las regresiones que obtuvieron menor coeficiente de determinación en el estudio realizado en este trabajo de grado, en comparación con los demás resultados del mismo estudio, fueron precisamente los mismos parámetros en el Informe Final IIb. Este resultado se puede observar en los resultados obtenidos para los parámetros en el sitio de medición Calle 13 – Clínica La Paz e Interceptor Sur – Lafayette.

7 CONCLUSIONES.

- En primer lugar se demostró la aplicabilidad de las técnicas de la estadística multivariada para entender de una mejor manera la estructura que tiene un grupo de datos.
- El análisis de cluster agrupó los sitios de muestreo en 5 clusters de características similares, reflejando las características del cuerpo de agua, (Sighn, Malika & Sinha, 2005). Si fuera el caso, este procedimiento serviría para disminuir el número de sitios de muestreo sin perder mucha información, pues los sitios dentro de los grupos tendrían características similares estadísticamente hablando.
- El Análisis de Factores por medio de los Componentes Principales permitió identificar factores responsables de la calidad de los cuerpos de agua analizados. Se encontraron factores tales como: el factor de carga de contaminante general, el factor de polución por materia orgánica, el factor de polución por aguas residuales domésticas, el factor de polución por aguas residuales industriales, el factor de nutrientes, factor de escorrentía superficial entre los más representativos.
- El análisis de los factores no es tan evidente y se fundamenta en la capacidad del investigador de identificar y conocer todos los procesos que gobiernan la calidad de las aguas residuales. Por eso estos análisis pueden tener algunas características de subjetividad.
- Los análisis multivariados permitieron determinar el grado de contaminación presente en las distintas descargas así como presentar claramente sitios con características únicas como es el caso del Río Negro cuyo caudal es considerablemente mayor a todos los demás, o el caso de San Benito cuya carga contaminante presenta órdenes mayores en comparación con los sitios analizados.

- El número de muestras que se tienen para cada sitio no generan una muestra eficiente para el análisis estadístico multivariado. Sería muy interesante generar más campañas de muestreo para tener una base de datos que permita tener análisis mucho más robustos. Esto se dice ya que se piensa que los datos de un día al año no son suficientes para caracterizar una descarga. Aunque si permite tener una primera idea sobre su caracterización. Además, al comparar las bases de datos utilizadas en los artículos que se investigaron para este trabajo, el número de muestras en dichos estudios son en su mayoría hechas durante todo el año, para poder analizar los efectos que tiene el clima en esta caracterización. Obviamente sería muy costoso mantener una campaña de muestreo durante todo el año, pero sería muy beneficioso para mejorar la calidad de los análisis por lo menos tomar muestras en diferentes épocas del año, para incluir estos efectos en la caracterización.
- El tipo de descarga sea combinada o agua residual, directa o por alivio y con presencia de eventos de precipitación o no, son todos factores importantes que generan cambios en la caracterización de este tipo de descargas. Se observó claramente la influencia de los eventos de precipitación en la calidad de los cuerpos de agua. Y cuando la descarga era combinada se observó también el efecto de dilución de los contaminantes. Por el contrario cuando el tipo de descarga es de solo agua residual, las concentraciones de todos los parámetros son mayores y más aún cuando estas son de tipo industrial, y es la razón por la que el sitio de muestreo San Benito muestre los valores que tiene.
- Al analizar las matrices de correlación se vió en sus estructuras que los datos medidos por la sonda multiparamétrica no presentan fuertes relaciones con los datos obtenidos en el laboratorio. Esto podría estarse

dando porque el número de muestras no es suficiente para que se identifique la tendencia que tienen los datos, o porque no existe una relación que pudiera obtenerse de manera lineal a partir de estos teniendo en cuenta por ejemplo un modelo en el cual se relacionan todos los datos de OD, conductividad, Temperatura, Caudal y pH de un sitio contra todos los datos de cualquier parámetro en cuestión.

- La técnica de regresión lineal multivariada parece ser una excelente herramienta para investigar las relaciones entre parámetros obtenidos con la sonda multiparamétrica y los parámetros de laboratorio. Los resultados obtenidos en este estudio y los obtenidos en el Informe Final IIb lo corroboran e invitan a estudiar un poco más la aplicación de esta técnica. De todas maneras sería relevante mejorar el tamaño de la base de datos para robustecer los resultados.

8 BIBLIOGRAFÍA

Libros

- Butler, David & Davies, John. “Urban Drainage”. Second Edition 2004. 543 pag. Spon Press.
- Canavos, George. “Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y Métodos.” 1999, McGraw Hill. 651 pag.
- Centro de Investigaciones de Ingeniería Ambiental, Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería.”Instrumentación, Monitoreo, y Estimación de Cargas Contaminantes Afluentes a los Ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo y la PTAR Salitre. Fase II b Informe final.
- Cheremisinoff, Nicholas. “Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies.” 2002, 636 pag. Butterworth – Heinemann.
- Kurita Water Industries Ltd. “Kurita Handbook of Water Treatment.” 1999, Second Edition. Kurita Water Industries Ltd. 501 pag. Japan.
- Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Modelación de la calidad del Río Magadalena y caracterización de las aguas lluvias y residuales de Girardot. Volumen 2, Caracterización de las aguas lluvias y residuales de Girardot. Febrero 2005.
- Plazas, Jaime. Notas de clase de Tratamiento Físico Químico del Agua 2006-2.
- Rencher, Alvin C. “Methods of Multivariate Análisis.” Second Edition. 2002. 708 pag. Wiley Series in Probability and Statistics.
- Rittmann, Bruce. “Biotecnología del Medio Ambiente.”, primera edición. 2001. 745 pag. McGraw Hill.
- Sawyer, Clari, McCarty, Perry & Parkin, Gene. “Química para Ingeniería Ambiental”. Cuarta Edición. 2001. 713 pag. McGraw Hill.

- Sharma, Subhash. "Applied Multivariate Techniques." 1996. 493 pag. John Wiley & Sons Inc.

Papers

- Gray, S.R., and Becker N.S.C., "Contaminant flows in urban residential water systems." Urban Water Vol 4. 2002.
- Kuppusamy, M.R., and Giridhar, V.V. "Factor analysis of water quality characteristics including trace metal speciation in the coastal environment system of Chennai Ennore." Environmental International Vol. 32 pp. 174-179. 2006.
- Mayfield, Julie & Udvardy, Shana. "The Importance of Surface Water Buffers", Georgia Conservancy, 2006.
- Panda, Umesh Chandra, Sundaray, Sanjay Kumar, Rath, Prasant, Nayak, Bihod Bihari and Bhatta, Dinabandhu. "Application of factor analysis and cluster analysis for characterization of river and estuarine water systems – A case study: Mahanadi River (India). Journal of Hydrology. Article in Press 2006.
- Praus, Petr. "Water quality assessment using SDV-based principal component analysis of hydrological data". VSB-Technical University Ostrava. Department of analytical chemistry and material testing. Pp. 417-422.
- Petersen, W., Bertino, L., Callies, U., Zorita, E. "Process identification by principal components analysis of river quality data." Ecological Modelling. Vol. 138 pp. 193-213. 2001.
- Sarbu, C. and Pop, H.F. "Principal component analysis versus fuzzy principal component analysis A case study: the quality of Danube water (1985-1996) Talanta Vol. 65 pp. 1215-1220. 2005.

- Singh, K., Malik, A., and Sinha, S. “Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques – a case study.” Analytica Chimica Acta Vol. 538 pp. 355-374. 2005
- Zeng, X., and Rasmussen, T. “Multivariate Statistical Characterization of water quality in lake Lanier, Georgia, USA.” Journal of Environmental Quality. Pp.1980-1991. 2005.
- Papatheodorou, G., Demopoulu, G., and Lambrakis, N. “A long-term of temporal hydrochemical data in shallow lake using multivariate statistical techniques.” Ecological Modelling Vol. 193. pp. 759-776. 2006.

9 ANEXOS.

Anexo 1: Matriz de Correlación Calle 45 Cra 24.

	NH4	DBO5	DQO	P_Soluble	P_Total	NO3	NO2	NTK	SST	SSV	STV	ST	SO4	Sulfuros	Cond	OD	T	pH
NH4	1,000	0,640	0,731	0,861	0,819	-0,674	-0,200	0,890	0,350	0,521	0,735	0,747	0,762	-0,266	0,765	-0,901	0,720	0,818
DBO5	0,640	1,000	0,909	0,800	0,817	-0,681	-0,170	0,753	0,671	0,749	0,847	0,863	0,715	-0,332	0,496	-0,638	0,581	0,496
DQO	0,731	0,909	1,000	0,904	0,945	-0,823	-0,136	0,830	0,797	0,879	0,966	0,980	0,790	-0,339	0,523	-0,688	0,624	0,585
P_Soluble	0,861	0,800	0,904	1,000	0,956	-0,741	-0,214	0,839	0,575	0,716	0,903	0,908	0,833	-0,309	0,737	-0,837	0,765	0,674
P_Total	0,819	0,817	0,945	0,956	1,000	-0,778	-0,158	0,852	0,680	0,806	0,926	0,938	0,806	-0,344	0,627	-0,791	0,718	0,654
NO3	-0,674	-0,681	-0,823	-0,741	-0,778	1,000	-0,058	-0,748	-0,733	-0,802	-0,808	-0,828	-0,586	0,137	-0,415	0,550	-0,475	-0,547
NO2	-0,200	-0,170	-0,136	-0,214	-0,158	-0,058	1,000	0,034	0,148	0,099	-0,161	-0,139	-0,451	-0,080	-0,144	0,365	-0,209	0,144
NTK	0,890	0,753	0,830	0,839	0,852	-0,748	0,034	1,000	0,558	0,684	0,819	0,836	0,739	-0,340	0,618	-0,794	0,672	0,744
SST	0,350	0,671	0,797	0,575	0,680	-0,733	0,148	0,558	1,000	0,956	0,834	0,829	0,398	-0,299	0,200	-0,256	0,178	0,286
SSV	0,521	0,749	0,879	0,716	0,806	-0,802	0,099	0,684	0,956	1,000	0,896	0,901	0,548	-0,330	0,365	-0,434	0,365	0,415
STV	0,735	0,847	0,966	0,903	0,926	-0,808	-0,161	0,819	0,834	0,896	1,000	0,993	0,737	-0,317	0,574	-0,691	0,581	0,551
ST	0,747	0,863	0,980	0,908	0,938	-0,828	-0,139	0,836	0,829	0,901	0,993	1,000	0,757	-0,354	0,569	-0,704	0,611	0,564
SO4	0,762	0,715	0,790	0,833	0,806	-0,586	-0,451	0,739	0,398	0,548	0,737	0,757	1,000	-0,205	0,469	-0,842	0,764	0,474
Sulfuros	-0,266	-0,332	-0,339	-0,309	-0,344	0,137	-0,080	-0,340	-0,299	-0,330	-0,317	-0,354	-0,205	1,000	-0,168	0,173	-0,176	-0,270
Cond	0,765	0,496	0,523	0,737	0,627	-0,415	-0,144	0,618	0,200	0,365	0,574	0,569	0,469	-0,168	1,000	-0,772	0,709	0,687
OD	-0,901	-0,638	-0,688	-0,837	-0,791	0,550	0,365	-0,794	-0,256	-0,434	-0,691	-0,704	-0,842	0,173	-0,772	1,000	-0,903	-0,666
T	0,720	0,581	0,624	0,765	0,718	-0,475	-0,209	0,672	0,178	0,365	0,581	0,611	0,764	-0,176	0,709	-0,903	1,000	0,537
pH	0,818	0,496	0,585	0,674	0,654	-0,547	0,144	0,744	0,286	0,415	0,551	0,564	0,474	-0,270	0,687	-0,666	0,537	1,000
Carga_NH4	0,280	0,201	0,307	0,259	0,228	-0,328	-0,042	0,090	0,339	0,356	0,331	0,316	0,090	-0,132	0,226	-0,056	-0,086	0,367
Carga_DBO5	0,012	0,333	0,384	0,133	0,196	-0,387	0,162	0,074	0,658	0,563	0,389	0,375	-0,034	-0,149	-0,066	0,230	-0,355	0,137
Carga_DQO	-0,042	0,194	0,309	0,063	0,138	-0,357	0,206	0,021	0,640	0,529	0,333	0,316	-0,102	-0,115	-0,130	0,299	-0,427	0,095
Carga_P_Soluble	0,306	0,310	0,420	0,369	0,336	-0,396	-0,063	0,146	0,432	0,452	0,439	0,423	0,170	-0,156	0,280	-0,107	-0,007	0,376
Carga_P_Total	0,069	0,230	0,360	0,167	0,220	-0,389	0,142	0,065	0,614	0,540	0,386	0,368	-0,026	-0,144	-0,008	0,186	-0,319	0,199
Carga_NO3	-0,602	-0,483	-0,513	-0,614	-0,578	0,634	0,141	-0,632	-0,181	-0,322	-0,483	-0,517	-0,625	-0,051	-0,514	0,739	-0,809	-0,333
Carga_NO2	-0,334	-0,055	0,036	-0,249	-0,118	-0,165	0,499	-0,101	0,539	0,360	0,061	0,050	-0,371	-0,045	-0,417	0,568	-0,643	-0,137
Carga_NTK	0,016	0,206	0,325	0,088	0,162	-0,387	0,256	0,086	0,648	0,547	0,353	0,336	-0,093	-0,150	-0,096	0,265	-0,408	0,167
Carga_SST	-0,235	0,050	0,156	-0,130	-0,015	-0,250	0,330	-0,068	0,621	0,456	0,192	0,175	-0,256	-0,062	-0,328	0,474	-0,591	-0,091
Carga_SSV	-0,182	0,082	0,195	-0,080	0,025	-0,283	0,305	-0,046	0,633	0,486	0,230	0,213	-0,220	-0,078	-0,272	0,431	-0,554	-0,039
Carga_STV	-0,076	0,140	0,261	0,019	0,095	-0,324	0,219	-0,012	0,625	0,502	0,298	0,278	-0,146	-0,101	-0,160	0,335	-0,471	0,061
Carga_ST	-0,087	0,131	0,250	0,005	0,083	-0,316	0,227	-0,022	0,616	0,493	0,284	0,265	-0,157	-0,103	-0,172	0,348	-0,482	0,055
Carga_SO4	0,207	0,271	0,379	0,263	0,258	-0,364	-0,046	0,086	0,466	0,453	0,391	0,376	0,123	-0,147	0,129	0,007	-0,138	0,289
Carga_Sulfuros	-0,282	-0,120	-0,009	-0,232	-0,163	-0,158	0,226	-0,239	0,400	0,251	0,033	0,000	-0,325	0,313	-0,328	0,498	-0,628	-0,121
Q	-0,184	0,026	0,135	-0,112	-0,029	-0,224	0,268	-0,114	0,540	0,401	0,168	0,149	-0,258	-0,078	-0,267	0,452	-0,584	-0,011

Continuación

	Carga_NH4	Carga_DBO5	Carga_DQO	Carga_P_Soluble	Carga_P_Total	Carga_NO3	Carga_NO2	Carga_NTK	Carga_SST	Carga_SSV	Carga_STV	Carga_ST	Carga_SO4	Carga_Sulfuros	Q
NH4	0,280	0,012	-0,042	0,306	0,069	-0,602	-0,334	0,016	-0,235	-0,182	-0,076	-0,087	0,207	-0,282	-0,184
DBO5	0,201	0,333	0,194	0,310	0,230	-0,483	-0,055	0,206	0,050	0,082	0,140	0,131	0,271	-0,120	0,026
DQO	0,307	0,384	0,309	0,420	0,360	-0,513	0,036	0,325	0,156	0,195	0,261	0,250	0,379	-0,009	0,135
P_Soluble	0,259	0,133	0,063	0,369	0,167	-0,614	-0,249	0,088	-0,130	-0,080	0,019	0,005	0,263	-0,232	-0,112
P_Total	0,228	0,196	0,138	0,336	0,220	-0,578	-0,118	0,162	-0,015	0,025	0,095	0,083	0,258	-0,163	-0,029
NO3	-0,328	-0,387	-0,357	-0,396	-0,389	0,634	-0,165	-0,387	-0,250	-0,283	-0,324	-0,316	-0,364	-0,158	-0,224
NO2	-0,042	0,162	0,206	-0,063	0,142	0,141	0,499	0,256	0,330	0,305	0,219	0,227	-0,046	0,226	0,268
NTK	0,090	0,074	0,021	0,146	0,065	-0,632	-0,101	0,086	-0,068	-0,046	-0,012	-0,022	0,086	-0,239	-0,114
SST	0,339	0,658	0,640	0,432	0,614	-0,181	0,539	0,648	0,621	0,633	0,625	0,616	0,466	0,400	0,540
SSV	0,356	0,563	0,529	0,452	0,540	-0,322	0,360	0,547	0,456	0,486	0,502	0,493	0,453	0,251	0,401
STV	0,331	0,389	0,333	0,439	0,386	-0,483	0,061	0,353	0,192	0,230	0,298	0,284	0,391	0,033	0,168
ST	0,316	0,375	0,316	0,423	0,368	-0,517	0,050	0,336	0,175	0,213	0,278	0,265	0,376	0,000	0,149
SO4	0,090	-0,034	-0,102	0,170	-0,026	-0,625	-0,371	-0,093	-0,256	-0,220	-0,146	-0,157	0,123	-0,325	-0,258
Sulfuros	-0,132	-0,149	-0,115	-0,156	-0,144	-0,051	-0,045	-0,150	-0,062	-0,078	-0,101	-0,103	-0,147	0,313	-0,078
Cond	0,226	-0,066	-0,130	0,280	-0,008	-0,514	-0,417	-0,096	-0,328	-0,272	-0,160	-0,172	0,129	-0,328	-0,267
OD	-0,056	0,230	0,299	-0,107	0,186	0,739	0,568	0,265	0,474	0,431	0,335	0,348	0,007	0,498	0,452
T	-0,086	-0,355	-0,427	-0,007	-0,319	-0,809	-0,643	-0,408	-0,591	-0,554	-0,471	-0,482	-0,138	-0,628	-0,584
pH	0,367	0,137	0,095	0,376	0,199	-0,333	-0,137	0,167	-0,091	-0,039	0,061	0,055	0,289	-0,121	-0,011
Carga_NH4	1,000	0,768	0,748	0,984	0,861	0,320	0,256	0,758	0,461	0,557	0,729	0,725	0,975	0,572	0,677
Carga_DBO5	0,768	1,000	0,981	0,790	0,969	0,408	0,742	0,975	0,874	0,917	0,968	0,967	0,869	0,824	0,939
Carga_DQO	0,748	0,981	1,000	0,759	0,978	0,454	0,810	0,994	0,927	0,962	0,997	0,997	0,847	0,882	0,980
Carga_P_Soluble	0,984	0,790	0,759	1,000	0,874	0,254	0,250	0,762	0,463	0,560	0,733	0,727	0,980	0,550	0,665
Carga_P_Total	0,861	0,969	0,978	0,874	1,000	0,422	0,683	0,976	0,833	0,890	0,969	0,967	0,932	0,824	0,936
Carga_NO3	0,320	0,408	0,454	0,254	0,422	1,000	0,475	0,437	0,483	0,485	0,483	0,491	0,351	0,518	0,570
Carga_NO2	0,256	0,742	0,810	0,250	0,683	0,475	1,000	0,809	0,964	0,933	0,832	0,837	0,388	0,826	0,874
Carga_NTK	0,758	0,975	0,994	0,762	0,976	0,437	0,809	1,000	0,918	0,955	0,992	0,991	0,846	0,862	0,974
Carga_SST	0,461	0,874	0,927	0,463	0,833	0,483	0,964	0,918	1,000	0,993	0,942	0,944	0,592	0,894	0,958
Carga_SSV	0,557	0,917	0,962	0,560	0,890	0,485	0,933	0,955	0,993	1,000	0,973	0,975	0,678	0,906	0,981
Carga_STV	0,729	0,968	0,997	0,733	0,969	0,483	0,832	0,992	0,942	0,973	1,000	1,000	0,826	0,898	0,989
Carga_ST	0,725	0,967	0,997	0,727	0,967	0,491	0,837	0,991	0,944	0,975	1,000	1,000	0,822	0,900	0,991
Carga_SO4	0,975	0,869	0,847	0,980	0,932	0,351	0,388	0,846	0,592	0,678	0,826	0,822	1,000	0,660	0,774
Carga_Sulfuros	0,572	0,824	0,882	0,550	0,824	0,518	0,826	0,862	0,894	0,906	0,898	0,900	0,660	1,000	0,920
Q	0,677	0,939	0,980	0,665	0,936	0,570	0,874	0,974	0,958	0,981	0,989	0,991	0,774	0,920	1,000

Anexo 2: Matriz de Correlación Calle 13.

	NH4	DBO5	DQO	P_Soluble	P_Total	NO3	NO2	NTK	SST	SSV	STV	ST	SO4	Sulfuros	Cond	OD	T	pH
NH4	1,000	0,355	0,391	0,209	0,240	-0,423	0,501	0,501	0,259	0,240	0,413	0,116	0,206	0,069	-0,210	-0,284	-0,223	-0,330
DBO5	0,355	1,000	0,424	-0,048	0,448	-0,095	0,091	0,312	0,389	0,411	0,038	-0,006	-0,435	-0,011	-0,141	-0,365	-0,538	-0,427
DQO	0,391	0,424	1,000	0,014	0,305	-0,203	0,021	0,180	0,619	0,632	0,459	0,136	0,057	-0,105	0,055	-0,120	0,121	0,052
P_Soluble	0,209	-0,048	0,014	1,000	0,447	-0,443	0,303	0,300	0,180	0,096	0,172	0,400	0,615	0,414	0,411	0,236	0,357	0,328
P_Total	0,240	0,448	0,305	0,447	1,000	-0,226	0,028	0,308	0,663	0,597	0,114	0,346	0,009	0,468	0,428	-0,166	0,038	0,059
NO3	-0,423	-0,095	-0,203	-0,443	-0,226	1,000	-0,436	-0,202	-0,174	-0,182	-0,281	-0,311	-0,125	-0,164	-0,343	0,078	-0,122	-0,111
NO2	0,501	0,091	0,021	0,303	0,028	-0,436	1,000	0,053	0,107	0,149	0,352	-0,003	0,146	0,048	-0,112	0,180	-0,100	-0,115
NTK	0,501	0,312	0,180	0,300	0,308	-0,202	0,053	1,000	0,361	0,318	0,316	0,336	0,178	0,415	0,038	-0,032	-0,127	-0,123
SST	0,259	0,389	0,619	0,180	0,663	-0,174	0,107	0,361	1,000	0,965	0,249	0,037	0,040	0,369	0,158	-0,189	0,149	0,072
SSV	0,240	0,411	0,632	0,096	0,597	-0,182	0,149	0,318	0,965	1,000	0,207	-0,040	-0,035	0,301	0,090	-0,146	0,106	0,041
STV	0,413	0,038	0,459	0,172	0,114	-0,281	0,352	0,316	0,249	0,207	1,000	0,653	0,371	0,197	0,402	0,212	0,214	0,238
ST	0,116	-0,006	0,136	0,400	0,346	-0,311	-0,003	0,336	0,037	-0,040	0,653	1,000	0,283	0,263	0,757	0,199	0,377	0,524
SO4	0,206	-0,435	0,057	0,615	0,009	-0,125	0,146	0,178	0,040	-0,035	0,371	0,283	1,000	0,303	0,163	0,493	0,520	0,354
Sulfuros	0,069	-0,011	-0,105	0,414	0,468	-0,164	0,048	0,415	0,369	0,301	0,197	0,263	0,303	1,000	0,290	0,184	0,153	0,135
Cond	-0,210	-0,141	0,055	0,411	0,428	-0,343	-0,112	0,038	0,158	0,090	0,402	0,757	0,163	0,290	1,000	0,213	0,371	0,494
OD	-0,284	-0,365	-0,120	0,236	-0,166	0,078	0,180	-0,032	-0,189	-0,146	0,212	0,199	0,493	0,184	0,213	1,000	0,301	0,316
T	-0,223	-0,538	0,121	0,357	0,038	-0,122	-0,100	-0,127	0,149	0,106	0,214	0,377	0,520	0,153	0,371	0,301	1,000	0,948
pH	-0,330	-0,427	0,052	0,328	0,059	-0,111	-0,115	-0,123	0,072	0,041	0,238	0,524	0,354	0,135	0,494	0,316	0,948	1,000
Carga_NH4	0,787	0,109	0,338	0,600	0,512	-0,545	0,517	0,403	0,344	0,282	0,435	0,309	0,469	0,235	0,196	-0,020	0,006	-0,122
Carga_DBO5	0,512	0,841	0,480	0,315	0,729	-0,329	0,256	0,365	0,554	0,528	0,150	0,141	-0,164	0,166	0,127	-0,317	-0,427	-0,389
Carga_DQO	0,421	0,034	0,470	0,662	0,605	-0,484	0,337	0,208	0,457	0,402	0,355	0,317	0,476	0,200	0,397	0,125	0,171	0,054
Carga_P_Soluble	0,293	-0,091	0,144	0,937	0,513	-0,464	0,323	0,272	0,237	0,155	0,250	0,405	0,633	0,324	0,438	0,213	0,291	0,218
Carga_P_Total	0,304	0,247	0,300	0,576	0,945	-0,329	0,104	0,322	0,654	0,571	0,164	0,338	0,208	0,463	0,457	-0,122	0,103	0,057
Carga_NO3	-0,399	-0,099	-0,102	-0,238	-0,019	0,908	-0,327	-0,210	-0,028	-0,043	-0,223	-0,274	0,056	-0,131	-0,224	0,200	-0,117	-0,148
Carga_NO2	0,560	-0,009	0,164	0,590	0,288	-0,522	0,863	0,153	0,219	0,206	0,466	0,212	0,431	0,180	0,157	0,243	0,039	-0,036
Carga_NTK	0,576	0,149	0,271	0,609	0,558	-0,399	0,250	0,817	0,463	0,382	0,435	0,457	0,419	0,423	0,304	0,065	0,021	-0,036
Carga_SST	0,301	0,254	0,517	0,345	0,748	-0,243	0,160	0,371	0,949	0,874	0,256	0,117	0,166	0,421	0,259	-0,161	0,165	0,060
Carga_SSV	0,304	0,263	0,547	0,333	0,745	-0,277	0,212	0,339	0,942	0,918	0,243	0,083	0,146	0,392	0,249	-0,107	0,148	0,046
Carga_STV	0,497	-0,058	0,356	0,627	0,458	-0,482	0,489	0,327	0,341	0,271	0,728	0,577	0,587	0,308	0,498	0,259	0,220	0,155
Carga_ST	0,340	-0,072	0,222	0,725	0,555	-0,495	0,270	0,337	0,223	0,140	0,562	0,762	0,537	0,308	0,689	0,240	0,306	0,310
Carga_SO4	0,327	-0,284	0,161	0,771	0,337	-0,347	0,316	0,207	0,183	0,107	0,383	0,366	0,857	0,282	0,339	0,403	0,368	0,221
Carga_Sulfuros	0,285	-0,003	0,108	0,617	0,681	-0,349	0,222	0,419	0,511	0,425	0,353	0,369	0,458	0,868	0,423	0,157	0,182	0,109
Q	0,357	-0,073	0,246	0,713	0,570	-0,482	0,359	0,162	0,309	0,250	0,276	0,316	0,514	0,222	0,422	0,171	0,147	0,040

Continuación:

	Carga_NH4	Carga_DBO5	Carga_DQO	Carga_P_Soluble	Carga_P_Total	Carga_NO3	Carga_NO2	Carga_NTK	Carga_SST	Carga_SSV	Carga_STV	Carga_ST	Carga_SO4	Carga_Sulfuros	Q
NH4	0,787	0,512	0,421	0,293	0,304	-0,399	0,560	0,576	0,301	0,304	0,497	0,340	0,327	0,285	0,357
DBO5	0,109	0,841	0,034	-0,091	0,247	-0,099	-0,009	0,149	0,254	0,263	-0,058	-0,072	-0,284	-0,003	-0,073
DQO	0,338	0,480	0,470	0,144	0,300	-0,102	0,164	0,271	0,517	0,547	0,356	0,222	0,161	0,108	0,246
P_Soluble	0,600	0,315	0,662	0,937	0,576	-0,238	0,590	0,609	0,345	0,333	0,627	0,725	0,771	0,617	0,713
P_Total	0,512	0,729	0,605	0,513	0,945	-0,019	0,288	0,558	0,748	0,745	0,458	0,555	0,337	0,681	0,570
NO3	-0,545	-0,329	-0,484	-0,464	-0,329	0,908	-0,522	-0,399	-0,243	-0,277	-0,482	-0,495	-0,347	-0,349	-0,482
NO2	0,517	0,256	0,337	0,323	0,104	-0,327	0,863	0,250	0,160	0,212	0,489	0,270	0,316	0,222	0,359
NTK	0,403	0,365	0,208	0,272	0,322	-0,210	0,153	0,817	0,371	0,339	0,327	0,337	0,207	0,419	0,162
SST	0,344	0,554	0,457	0,237	0,654	-0,028	0,219	0,463	0,949	0,942	0,341	0,223	0,183	0,511	0,309
SSV	0,282	0,528	0,402	0,155	0,571	-0,043	0,206	0,382	0,874	0,918	0,271	0,140	0,107	0,425	0,250
STV	0,435	0,150	0,355	0,250	0,164	-0,223	0,466	0,435	0,256	0,243	0,728	0,562	0,383	0,353	0,276
ST	0,309	0,141	0,317	0,405	0,338	-0,274	0,212	0,457	0,117	0,083	0,577	0,762	0,366	0,369	0,316
SO4	0,469	-0,164	0,476	0,633	0,208	0,056	0,431	0,419	0,166	0,146	0,587	0,537	0,857	0,458	0,514
Sulfuros	0,235	0,166	0,200	0,324	0,463	-0,131	0,180	0,423	0,421	0,392	0,308	0,308	0,282	0,868	0,222
Cond	0,196	0,127	0,397	0,438	0,457	-0,224	0,157	0,304	0,259	0,249	0,498	0,689	0,339	0,423	0,422
OD	-0,020	-0,317	0,125	0,213	-0,122	0,200	0,243	0,065	-0,161	-0,107	0,259	0,240	0,403	0,157	0,171
T	0,006	-0,427	0,171	0,291	0,103	-0,117	0,039	0,021	0,165	0,148	0,220	0,306	0,368	0,182	0,147
pH	-0,122	-0,389	0,054	0,218	0,057	-0,148	-0,036	-0,036	0,060	0,046	0,155	0,310	0,221	0,109	0,040
Carga_NH4	1,000	0,546	0,858	0,759	0,683	-0,310	0,819	0,788	0,531	0,542	0,851	0,764	0,764	0,623	0,849
Carga_DBO5	0,546	1,000	0,528	0,375	0,660	-0,160	0,378	0,495	0,564	0,576	0,376	0,364	0,168	0,386	0,449
Carga_DQO	0,858	0,528	1,000	0,861	0,791	-0,134	0,739	0,702	0,647	0,677	0,859	0,825	0,832	0,640	0,969
Carga_P_Soluble	0,759	0,375	0,861	1,000	0,700	-0,168	0,701	0,700	0,452	0,454	0,787	0,848	0,892	0,660	0,901
Carga_P_Total	0,683	0,660	0,791	0,700	1,000	-0,052	0,454	0,688	0,809	0,804	0,634	0,699	0,566	0,771	0,776
Carga_NO3	-0,310	-0,160	-0,134	-0,168	-0,052	1,000	-0,271	-0,208	-0,022	-0,035	-0,206	-0,237	-0,033	-0,149	-0,121
Carga_NO2	0,819	0,378	0,739	0,701	0,454	-0,271	1,000	0,555	0,381	0,424	0,823	0,655	0,707	0,519	0,764
Carga_NTK	0,788	0,495	0,702	0,700	0,688	-0,208	0,555	1,000	0,612	0,593	0,747	0,744	0,644	0,677	0,683
Carga_SST	0,531	0,564	0,647	0,452	0,809	-0,022	0,381	0,612	1,000	0,977	0,520	0,426	0,396	0,657	0,544
Carga_SSV	0,542	0,576	0,677	0,454	0,804	-0,035	0,424	0,593	0,977	1,000	0,528	0,426	0,400	0,643	0,573
Carga_STV	0,851	0,376	0,859	0,787	0,634	-0,206	0,823	0,747	0,520	0,528	1,000	0,907	0,840	0,684	0,850
Carga_ST	0,764	0,364	0,825	0,848	0,699	-0,237	0,655	0,744	0,426	0,426	0,907	1,000	0,813	0,655	0,849
Carga_SO4	0,764	0,168	0,832	0,892	0,566	-0,033	0,707	0,644	0,396	0,400	0,840	0,813	1,000	0,629	0,874
Carga_Sulfuros	0,623	0,386	0,640	0,660	0,771	-0,149	0,519	0,677	0,657	0,643	0,684	0,655	0,629	1,000	0,654
Q	0,849	0,449	0,969	0,901	0,776	-0,121	0,764	0,683	0,544	0,573	0,850	0,849	0,874	0,654	1,000

Anexo 3: Matriz de Correlación Río Negro.

	NH4	DBO5	DQO	P_Soluble	P_Total	NO3	NO2	NTK	SST	SSV	STV	ST	SO4	T	pH
NH4	1,000	0,682	0,611	0,579	0,369	0,400	-0,246	0,696	-0,190	-0,016	0,544	0,471	0,554	-0,135	-0,337
DBO5	0,682	1,000	0,928	0,896	0,654	0,288	-0,244	0,628	0,096	0,024	0,591	0,695	0,793	-0,630	-0,466
DQO	0,611	0,928	1,000	0,968	0,727	0,276	-0,129	0,603	0,219	0,194	0,673	0,775	0,916	-0,624	-0,371
P_Soluble	0,579	0,896	0,968	1,000	0,774	0,332	-0,093	0,657	0,259	0,219	0,675	0,790	0,939	-0,621	-0,295
P_Total	0,369	0,654	0,727	0,774	1,000	0,052	0,055	0,467	0,372	0,387	0,459	0,584	0,701	-0,610	-0,249
NO3	0,400	0,288	0,276	0,332	0,052	1,000	0,014	0,311	-0,089	0,020	0,158	0,098	0,389	0,125	0,136
NO2	-0,246	-0,244	-0,129	-0,093	0,055	0,014	1,000	-0,184	0,664	0,692	-0,109	-0,239	0,107	0,215	0,649
NTK	0,696	0,628	0,603	0,657	0,467	0,311	-0,184	1,000	0,045	0,104	0,574	0,568	0,668	-0,355	-0,056
SST	-0,190	0,096	0,219	0,259	0,372	-0,089	0,664	0,045	1,000	0,864	0,188	0,100	0,411	-0,286	0,414
SSV	-0,016	0,024	0,194	0,219	0,387	0,020	0,692	0,104	0,864	1,000	0,174	0,016	0,389	-0,108	0,391
STV	0,544	0,591	0,673	0,675	0,459	0,158	-0,109	0,574	0,188	0,174	1,000	0,841	0,680	-0,422	-0,070
ST	0,471	0,695	0,775	0,790	0,584	0,098	-0,239	0,568	0,100	0,016	0,841	1,000	0,747	-0,533	-0,155
SO4	0,554	0,793	0,916	0,939	0,701	0,389	0,107	0,668	0,411	0,389	0,680	0,747	1,000	-0,470	-0,043
T	-0,135	-0,630	-0,624	-0,621	-0,610	0,125	0,215	-0,355	-0,286	-0,108	-0,422	-0,533	-0,470	1,000	0,375
pH	-0,337	-0,466	-0,371	-0,295	-0,249	0,136	0,649	-0,056	0,414	0,391	-0,070	-0,155	-0,043	0,375	1,000
Carga_NH4	0,012	-0,390	-0,282	-0,242	-0,205	0,135	0,542	-0,114	0,133	0,328	-0,183	-0,376	-0,091	0,693	0,453
Carga_DBO5	-0,134	-0,171	-0,051	-0,002	0,037	0,078	0,672	-0,011	0,385	0,442	-0,111	-0,233	0,130	0,362	0,484
Carga_DQO	-0,219	-0,323	-0,132	-0,089	-0,046	0,079	0,703	-0,111	0,380	0,495	-0,141	-0,276	0,090	0,456	0,566
Carga_P_Soluble	-0,142	-0,195	0,004	0,077	0,099	0,129	0,690	0,011	0,432	0,525	-0,031	-0,133	0,237	0,343	0,542
Carga_P_Total	-0,303	-0,424	-0,268	-0,202	0,026	-0,055	0,746	-0,192	0,414	0,530	-0,246	-0,382	-0,045	0,469	0,567
Carga_NO3	-0,261	-0,499	-0,383	-0,332	-0,347	0,426	0,554	-0,274	0,129	0,292	-0,315	-0,504	-0,157	0,638	0,611
Carga_NO2	-0,215	-0,275	-0,138	-0,107	0,025	0,053	0,974	-0,165	0,636	0,701	-0,112	-0,271	0,115	0,314	0,667
Carga_NTK	-0,267	-0,472	-0,348	-0,282	-0,226	0,008	0,610	-0,030	0,244	0,376	-0,240	-0,416	-0,106	0,557	0,607
Carga_SST	-0,323	-0,365	-0,214	-0,172	-0,016	-0,041	0,883	-0,183	0,711	0,752	-0,161	-0,363	0,042	0,317	0,649
Carga_SSV	-0,259	-0,394	-0,225	-0,189	-0,038	0,032	0,836	-0,175	0,609	0,751	-0,173	-0,385	0,028	0,403	0,634
Carga_STV	-0,272	-0,491	-0,321	-0,267	-0,213	0,030	0,692	-0,169	0,324	0,444	-0,095	-0,333	-0,075	0,564	0,652
Carga_ST	-0,292	-0,457	-0,276	-0,215	-0,162	-0,027	0,646	-0,159	0,262	0,359	-0,134	-0,227	-0,036	0,561	0,639
Carga_SO4	-0,246	-0,383	-0,197	-0,143	-0,099	0,108	0,735	-0,124	0,395	0,513	-0,164	-0,308	0,065	0,508	0,642
Q	-0,421	-0,655	-0,538	-0,493	-0,383	-0,011	0,640	-0,356	0,189	0,319	-0,426	-0,606	-0,320	0,688	0,598
OD	-0,092	-0,070	0,072	0,071	0,052	-0,047	0,390	0,083	0,199	0,304	0,008	0,046	0,244	0,213	0,347

Continuación:

	Carga_NH4	Carga_DBO5	Carga_DQO	Carga_P_Soluble	Carga_P_Total	Carga_NO3	Carga_NO2	Carga_NTK	Carga_SST	Carga_SSV	Carga_STV	Carga_ST	Carga_SO4	Q	OD
NH4	0,012	-0,134	-0,219	-0,142	-0,303	-0,261	-0,215	-0,267	-0,323	-0,259	-0,272	-0,292	-0,246	-0,421	-0,092
DBO5	-0,390	-0,171	-0,323	-0,195	-0,424	-0,499	-0,275	-0,472	-0,365	-0,394	-0,491	-0,457	-0,383	-0,655	-0,070
DQO	-0,282	-0,051	-0,132	0,004	-0,268	-0,383	-0,138	-0,348	-0,214	-0,225	-0,321	-0,276	-0,197	-0,538	0,072
P_Soluble	-0,242	-0,002	-0,089	0,077	-0,202	-0,332	-0,107	-0,282	-0,172	-0,189	-0,267	-0,215	-0,143	-0,493	0,071
P_Total	-0,205	0,037	-0,046	0,099	0,026	-0,347	0,025	-0,226	-0,016	-0,038	-0,213	-0,162	-0,099	-0,383	0,052
NO3	0,135	0,078	0,079	0,129	-0,055	0,426	0,053	0,008	-0,041	0,032	0,030	-0,027	0,108	-0,011	-0,047
NO2	0,542	0,672	0,703	0,690	0,746	0,554	0,974	0,610	0,883	0,836	0,692	0,646	0,735	0,640	0,390
NTK	-0,114	-0,011	-0,111	0,011	-0,192	-0,274	-0,165	-0,030	-0,183	-0,175	-0,169	-0,159	-0,124	-0,356	0,083
SST	0,133	0,385	0,380	0,432	0,414	0,129	0,636	0,244	0,711	0,609	0,324	0,262	0,395	0,189	0,199
SSV	0,328	0,442	0,495	0,525	0,530	0,292	0,701	0,376	0,752	0,751	0,444	0,359	0,513	0,319	0,304
STV	-0,183	-0,111	-0,141	-0,031	-0,246	-0,315	-0,112	-0,240	-0,161	-0,173	-0,095	-0,134	-0,164	-0,426	0,008
ST	-0,376	-0,233	-0,276	-0,133	-0,382	-0,504	-0,271	-0,416	-0,363	-0,385	-0,333	-0,227	-0,308	-0,606	0,046
SO4	-0,091	0,130	0,090	0,237	-0,045	-0,157	0,115	-0,106	0,042	0,028	-0,075	-0,036	0,065	-0,320	0,244
T	0,693	0,362	0,456	0,343	0,469	0,638	0,314	0,557	0,317	0,403	0,564	0,561	0,508	0,688	0,213
pH	0,453	0,484	0,566	0,542	0,567	0,611	0,667	0,607	0,649	0,634	0,652	0,639	0,642	0,598	0,347
Carga_NH4	1,000	0,842	0,875	0,832	0,847	0,812	0,654	0,858	0,703	0,778	0,888	0,869	0,871	0,857	0,336
Carga_DBO5	0,842	1,000	0,953	0,954	0,906	0,721	0,749	0,878	0,798	0,808	0,875	0,883	0,918	0,789	0,488
Carga_DQO	0,875	0,953	1,000	0,980	0,946	0,815	0,803	0,921	0,852	0,891	0,948	0,949	0,989	0,880	0,565
Carga_P_Soluble	0,832	0,954	0,980	1,000	0,918	0,751	0,781	0,879	0,821	0,849	0,904	0,922	0,963	0,792	0,568
Carga_P_Total	0,847	0,906	0,946	0,918	1,000	0,759	0,826	0,902	0,886	0,910	0,921	0,912	0,944	0,901	0,479
Carga_NO3	0,812	0,721	0,815	0,751	0,759	1,000	0,649	0,798	0,683	0,765	0,841	0,778	0,846	0,877	0,294
Carga_NO2	0,654	0,749	0,803	0,781	0,826	0,649	1,000	0,709	0,936	0,914	0,788	0,738	0,836	0,730	0,498
Carga_NTK	0,858	0,878	0,921	0,879	0,902	0,798	0,709	1,000	0,792	0,833	0,942	0,924	0,934	0,926	0,506
Carga_SST	0,703	0,798	0,852	0,821	0,886	0,683	0,936	0,792	1,000	0,975	0,848	0,772	0,876	0,803	0,432
Carga_SSV	0,778	0,808	0,891	0,849	0,910	0,765	0,914	0,833	0,975	1,000	0,885	0,811	0,915	0,849	0,478
Carga_STV	0,888	0,875	0,948	0,904	0,921	0,841	0,788	0,942	0,848	0,885	1,000	0,956	0,961	0,930	0,470
Carga_ST	0,869	0,883	0,949	0,922	0,912	0,778	0,738	0,924	0,772	0,811	0,956	1,000	0,954	0,892	0,558
Carga_SO4	0,871	0,918	0,989	0,963	0,944	0,846	0,836	0,934	0,876	0,915	0,961	0,954	1,000	0,907	0,586
Q	0,857	0,789	0,880	0,792	0,901	0,877	0,730	0,926	0,803	0,849	0,930	0,892	0,907	1,000	0,400
OD	0,336	0,488	0,565	0,568	0,479	0,294	0,498	0,506	0,432	0,478	0,470	0,558	0,586	0,400	1,000

Anexo 4: Matriz de Correlación Lafayette.

	NH4	DBO5	DQO	P_Soluble	P_Total	NO3	NO2	NTK	SST	SSV	STV	ST	SO4	Sulfuros	Cond	OD	T	pH
NH4	1,000	0,464	0,228	0,289	0,240	0,047	-0,351	0,797	0,542	0,543	0,486	0,472	0,419	-0,579	-0,026	-0,123	-0,168	-0,251
DBO5	0,464	1,000	0,685	0,019	0,081	0,049	-0,081	0,619	0,340	0,286	0,411	0,586	0,384	0,138	-0,014	-0,138	-0,340	-0,172
DQO	0,228	0,685	1,000	-0,189	-0,046	0,239	0,054	0,424	0,199	0,176	0,396	0,612	0,403	0,365	-0,247	-0,342	-0,596	-0,222
P_Soluble	0,289	0,019	-0,189	1,000	0,890	-0,104	0,021	0,221	0,357	0,398	0,268	0,050	0,235	-0,186	0,220	-0,070	-0,363	-0,529
P_Total	0,240	0,081	-0,046	0,890	1,000	0,036	-0,046	0,160	0,305	0,275	0,179	0,075	0,129	0,040	0,087	-0,016	-0,421	-0,539
NO3	0,047	0,049	0,239	-0,104	0,036	1,000	0,064	0,204	0,357	0,312	0,221	0,185	0,222	0,055	-0,064	-0,433	-0,439	-0,168
NO2	-0,351	-0,081	0,054	0,021	-0,046	0,064	1,000	-0,206	-0,194	-0,247	-0,282	-0,344	-0,061	0,402	0,249	0,012	-0,128	0,077
NTK	0,797	0,619	0,424	0,221	0,160	0,204	-0,206	1,000	0,643	0,631	0,608	0,580	0,636	-0,283	0,213	-0,307	-0,479	-0,407
SST	0,542	0,340	0,199	0,357	0,305	0,357	-0,194	0,643	1,000	0,901	0,586	0,560	0,602	-0,299	0,035	-0,267	-0,428	-0,409
SSV	0,543	0,286	0,176	0,398	0,275	0,312	-0,247	0,631	0,901	1,000	0,742	0,606	0,535	-0,366	0,134	-0,299	-0,430	-0,416
STV	0,486	0,411	0,396	0,268	0,179	0,221	-0,282	0,608	0,586	0,742	1,000	0,846	0,630	-0,217	-0,099	-0,164	-0,404	-0,220
ST	0,472	0,586	0,612	0,050	0,075	0,185	-0,344	0,580	0,560	0,606	0,846	1,000	0,671	-0,117	-0,324	-0,094	-0,412	-0,153
SO4	0,419	0,384	0,403	0,235	0,129	0,222	-0,061	0,636	0,602	0,535	0,630	0,671	1,000	-0,137	-0,020	-0,329	-0,633	-0,528
Sulfuros	-0,579	0,138	0,365	-0,186	0,040	0,055	0,402	-0,283	-0,299	-0,366	-0,217	-0,117	-0,137	1,000	0,005	0,045	-0,287	-0,083
Cond	-0,026	-0,014	-0,247	0,220	0,087	-0,064	0,249	0,213	0,035	0,134	-0,099	-0,324	-0,020	0,005	1,000	-0,269	-0,205	-0,325
OD	-0,123	-0,138	-0,342	-0,070	-0,016	-0,433	0,012	-0,307	-0,267	-0,299	-0,164	-0,094	-0,329	0,045	-0,269	1,000	0,585	0,534
T	-0,168	-0,340	-0,596	-0,363	-0,421	-0,439	-0,128	-0,479	-0,428	-0,430	-0,404	-0,412	-0,633	-0,287	-0,205	0,585	1,000	0,787
pH	-0,251	-0,172	-0,222	-0,529	-0,539	-0,168	0,077	-0,407	-0,409	-0,416	-0,220	-0,153	-0,528	-0,083	-0,325	0,534	0,787	1,000
Carga_NH4	0,904	0,305	0,155	0,378	0,334	0,104	-0,438	0,752	0,593	0,583	0,421	0,398	0,478	-0,569	0,002	-0,234	-0,348	-0,507
Carga_DBO5	0,760	0,503	0,363	0,372	0,385	0,132	-0,390	0,759	0,594	0,547	0,390	0,460	0,548	-0,312	0,032	-0,332	-0,560	-0,682
Carga_DQO	0,612	0,256	0,400	0,306	0,348	0,190	-0,353	0,585	0,511	0,480	0,330	0,404	0,529	-0,245	-0,089	-0,380	-0,642	-0,726
Carga_P_Soluble	0,534	0,091	-0,049	0,861	0,773	0,104	-0,196	0,467	0,544	0,581	0,371	0,189	0,401	-0,331	0,136	-0,239	-0,525	-0,722
Carga_P_Total	0,473	0,132	0,058	0,784	0,862	0,229	-0,197	0,397	0,491	0,471	0,283	0,189	0,311	-0,152	0,043	-0,198	-0,577	-0,733
Carga_NO3	0,295	0,010	0,115	0,203	0,344	0,824	-0,192	0,338	0,588	0,516	0,287	0,257	0,382	-0,135	-0,071	-0,389	-0,556	-0,499
Carga_NO2	-0,091	-0,131	0,060	0,302	0,262	0,110	0,803	-0,013	0,004	-0,085	-0,295	-0,385	0,083	0,253	0,241	-0,126	-0,385	-0,351
Carga_NTK	0,807	0,333	0,213	0,392	0,342	0,169	-0,400	0,824	0,660	0,632	0,457	0,435	0,602	-0,455	0,093	-0,320	-0,509	-0,638
Carga_SST	0,634	0,242	0,138	0,413	0,369	0,332	-0,349	0,663	0,929	0,850	0,524	0,492	0,613	-0,403	0,014	-0,296	-0,482	-0,572
Carga_SSV	0,645	0,200	0,115	0,461	0,368	0,287	-0,399	0,648	0,858	0,920	0,634	0,527	0,560	-0,461	0,071	-0,312	-0,483	-0,582
Carga_STV	0,684	0,235	0,227	0,447	0,370	0,226	-0,459	0,682	0,691	0,782	0,767	0,650	0,666	-0,448	-0,056	-0,291	-0,533	-0,585
Carga_ST	0,679	0,251	0,279	0,352	0,339	0,210	-0,502	0,653	0,657	0,671	0,575	0,618	0,657	-0,421	-0,127	-0,297	-0,554	-0,629
Carga_SO4	0,600	0,235	0,253	0,366	0,294	0,218	-0,327	0,674	0,669	0,607	0,531	0,553	0,854	-0,346	-0,051	-0,347	-0,617	-0,685
Carga_Sulfuros	-0,085	0,044	0,331	0,214	0,409	0,216	0,052	0,064	0,106	0,013	-0,134	-0,047	0,191	0,523	0,010	-0,294	-0,685	-0,750
Q	0,570	-0,011	0,004	0,385	0,365	0,157	-0,429	0,463	0,485	0,465	0,185	0,164	0,397	-0,442	0,014	-0,328	-0,444	-0,690

Continuación:

	Carga_NH4	Carga_DBO5	Carga_DQO	Carga_P_Soluble	Carga_P_Total	Carga_NO3	Carga_NO2	Carga_NTK	Carga_SST	Carga_SSV	Carga_STV	Carga_ST	Carga_SO4	Carga_Sulfuros	Q
NH4	0,904	0,760	0,612	0,534	0,473	0,295	-0,091	0,807	0,634	0,645	0,684	0,679	0,600	-0,085	0,570
DBO5	0,305	0,503	0,256	0,091	0,132	0,010	-0,131	0,333	0,242	0,200	0,235	0,251	0,235	0,044	-0,011
DQO	0,155	0,363	0,400	-0,049	0,058	0,115	0,060	0,213	0,138	0,115	0,227	0,279	0,253	0,331	0,004
P_Soluble	0,378	0,372	0,306	0,861	0,784	0,203	0,302	0,392	0,413	0,461	0,447	0,352	0,366	0,214	0,385
P_Total	0,334	0,385	0,348	0,773	0,862	0,344	0,262	0,342	0,369	0,368	0,370	0,339	0,294	0,409	0,365
NO3	0,104	0,132	0,190	0,104	0,229	0,824	0,110	0,169	0,332	0,287	0,226	0,210	0,218	0,216	0,157
NO2	-0,438	-0,390	-0,353	-0,196	-0,197	-0,192	0,803	-0,400	-0,349	-0,399	-0,459	-0,502	-0,327	0,052	-0,429
NTK	0,752	0,759	0,585	0,467	0,397	0,338	-0,013	0,824	0,663	0,648	0,682	0,653	0,674	0,064	0,463
SST	0,593	0,594	0,511	0,544	0,491	0,588	0,004	0,660	0,929	0,858	0,691	0,657	0,669	0,106	0,485
SSV	0,583	0,547	0,480	0,581	0,471	0,516	-0,085	0,632	0,850	0,920	0,782	0,671	0,607	0,013	0,465
STV	0,421	0,390	0,330	0,371	0,283	0,287	-0,295	0,457	0,524	0,634	0,767	0,575	0,531	-0,134	0,185
ST	0,398	0,460	0,404	0,189	0,189	0,257	-0,385	0,435	0,492	0,527	0,650	0,618	0,553	-0,047	0,164
SO4	0,478	0,548	0,529	0,401	0,311	0,382	0,083	0,602	0,613	0,560	0,666	0,657	0,854	0,191	0,397
Sulfuros	-0,569	-0,312	-0,245	-0,331	-0,152	-0,135	0,253	-0,455	-0,403	-0,461	-0,448	-0,421	-0,346	0,523	-0,442
Cond	0,002	0,032	-0,089	0,136	0,043	-0,071	0,241	0,093	0,014	0,071	-0,056	-0,127	-0,051	0,010	0,014
OD	-0,234	-0,332	-0,380	-0,239	-0,198	-0,389	-0,126	-0,320	-0,296	-0,312	-0,291	-0,297	-0,347	-0,294	-0,328
T	-0,348	-0,560	-0,642	-0,525	-0,577	-0,556	-0,385	-0,509	-0,482	-0,483	-0,533	-0,554	-0,617	-0,685	-0,444
pH	-0,507	-0,682	-0,726	-0,722	-0,733	-0,499	-0,351	-0,638	-0,572	-0,582	-0,585	-0,629	-0,685	-0,750	-0,690
Carga_NH4	1,000	0,914	0,848	0,726	0,671	0,496	0,002	0,959	0,792	0,798	0,831	0,876	0,792	0,207	0,860
Carga_DBO5	0,914	1,000	0,921	0,719	0,716	0,511	0,062	0,947	0,784	0,760	0,792	0,888	0,821	0,449	0,845
Carga_DQO	0,848	0,921	1,000	0,696	0,718	0,583	0,162	0,887	0,748	0,738	0,798	0,916	0,842	0,607	0,913
Carga_P_Soluble	0,726	0,719	0,696	1,000	0,933	0,514	0,263	0,752	0,713	0,757	0,752	0,715	0,680	0,410	0,771
Carga_P_Total	0,671	0,716	0,718	0,933	1,000	0,631	0,274	0,694	0,663	0,668	0,674	0,687	0,608	0,567	0,744
Carga_NO3	0,496	0,511	0,583	0,514	0,631	1,000	0,123	0,552	0,691	0,641	0,579	0,615	0,580	0,447	0,621
Carga_NO2	0,002	0,062	0,162	0,263	0,274	0,123	1,000	0,052	0,027	-0,041	-0,106	-0,079	0,075	0,446	0,126
Carga_NTK	0,959	0,947	0,887	0,752	0,694	0,552	0,052	1,000	0,849	0,836	0,862	0,912	0,879	0,329	0,877
Carga_SST	0,792	0,784	0,748	0,713	0,663	0,691	0,027	0,849	1,000	0,948	0,835	0,850	0,832	0,280	0,766
Carga_SSV	0,798	0,760	0,738	0,757	0,668	0,641	-0,041	0,836	0,948	1,000	0,910	0,872	0,792	0,217	0,767
Carga_STV	0,831	0,792	0,798	0,752	0,674	0,579	-0,106	0,862	0,835	0,910	1,000	0,941	0,869	0,226	0,770
Carga_ST	0,876	0,888	0,916	0,715	0,687	0,615	-0,079	0,912	0,850	0,872	0,941	1,000	0,920	0,368	0,874
Carga_SO4	0,792	0,821	0,842	0,680	0,608	0,580	0,075	0,879	0,832	0,792	0,869	0,920	1,000	0,380	0,803
Carga_Sulfuros	0,207	0,449	0,607	0,410	0,567	0,447	0,446	0,329	0,280	0,217	0,226	0,368	0,380	1,000	0,505
Q	0,860	0,845	0,913	0,771	0,744	0,621	0,126	0,877	0,766	0,767	0,770	0,874	0,803	0,505	1,000

Anexo 5: Matriz de Correlación San Benito.

	NH4	DBO5	DQO	P_Total	NO3	NO2	NTK	SST	SSV	STV	ST	SO4	Sulfuros	OD	T	pH
NH4	1,000	-0,028	-0,045	-0,140	0,134	0,100	0,401	-0,041	-0,049	0,020	0,052	0,508	-0,111	-0,175	-0,062	-0,052
DBO5	-0,028	1,000	0,940	0,941	0,639	-0,356	0,696	0,925	0,940	0,820	0,825	0,137	0,554	-0,500	0,690	0,649
DQO	-0,045	0,940	1,000	0,918	0,682	-0,278	0,705	0,929	0,928	0,874	0,874	0,152	0,616	-0,471	0,652	0,604
P_Total	-0,140	0,941	0,918	1,000	0,688	-0,268	0,682	0,851	0,871	0,849	0,805	0,034	0,659	-0,413	0,648	0,742
NO3	0,134	0,639	0,682	0,688	1,000	-0,108	0,793	0,556	0,567	0,772	0,758	0,435	0,795	-0,692	0,285	0,575
NO2	0,100	-0,356	-0,278	-0,268	-0,108	1,000	-0,146	-0,270	-0,286	-0,268	-0,269	-0,156	-0,075	-0,040	-0,342	-0,326
NTK	0,401	0,696	0,705	0,682	0,793	-0,146	1,000	0,547	0,544	0,858	0,812	0,440	0,759	-0,622	0,336	0,587
SST	-0,041	0,925	0,929	0,851	0,556	-0,270	0,547	1,000	0,997	0,742	0,800	0,142	0,442	-0,466	0,637	0,448
SSV	-0,049	0,940	0,928	0,871	0,567	-0,286	0,544	0,997	1,000	0,741	0,789	0,123	0,440	-0,460	0,648	0,477
STV	0,020	0,820	0,874	0,849	0,772	-0,268	0,858	0,742	0,741	1,000	0,908	0,132	0,847	-0,513	0,479	0,625
ST	0,052	0,825	0,874	0,805	0,758	-0,269	0,812	0,800	0,789	0,908	1,000	0,355	0,745	-0,649	0,513	0,538
SO4	0,508	0,137	0,152	0,034	0,435	-0,156	0,440	0,142	0,123	0,132	0,355	1,000	0,190	-0,587	0,088	0,087
Sulfuros	-0,111	0,554	0,616	0,659	0,795	-0,075	0,759	0,442	0,440	0,847	0,745	0,190	1,000	-0,590	0,336	0,636
OD	-0,175	-0,500	-0,471	-0,413	-0,692	-0,040	-0,622	-0,466	-0,460	-0,513	-0,649	-0,587	-0,590	1,000	-0,274	-0,307
T	-0,062	0,690	0,652	0,648	0,285	-0,342	0,336	0,637	0,648	0,479	0,513	0,088	0,336	-0,274	1,000	0,628
pH	-0,052	0,649	0,604	0,742	0,575	-0,326	0,587	0,448	0,477	0,625	0,538	0,087	0,636	-0,307	0,628	1,000
Carga_NH4	0,287	0,640	0,588	0,470	0,486	-0,153	0,647	0,657	0,638	0,540	0,679	0,559	0,428	-0,768	0,326	0,248
Carga_DBO5	-0,106	0,981	0,932	0,902	0,583	-0,334	0,616	0,951	0,958	0,772	0,815	0,140	0,520	-0,521	0,694	0,591
Carga_DQO	-0,086	0,947	0,981	0,885	0,580	-0,300	0,631	0,960	0,956	0,823	0,847	0,116	0,542	-0,453	0,681	0,557
Carga_P_Total	-0,144	0,978	0,938	0,958	0,646	-0,300	0,653	0,926	0,939	0,821	0,837	0,110	0,617	-0,511	0,690	0,681
Carga_NO3	-0,088	0,872	0,855	0,880	0,891	-0,290	0,793	0,770	0,782	0,890	0,868	0,268	0,827	-0,673	0,496	0,693
Carga_NO2	-0,131	0,113	0,117	0,098	0,139	0,545	0,180	0,187	0,166	0,165	0,260	0,118	0,350	-0,555	-0,031	-0,081
Carga_NTK	-0,058	0,871	0,854	0,812	0,713	-0,256	0,799	0,795	0,790	0,865	0,892	0,296	0,759	-0,698	0,500	0,577
Carga_SST	-0,078	0,922	0,922	0,830	0,485	-0,280	0,514	0,991	0,986	0,723	0,784	0,104	0,415	-0,442	0,666	0,441
Carga_SSV	-0,082	0,937	0,923	0,849	0,499	-0,288	0,520	0,991	0,991	0,724	0,780	0,100	0,420	-0,449	0,673	0,468
Carga_STV	-0,101	0,902	0,945	0,885	0,702	-0,277	0,761	0,875	0,870	0,954	0,920	0,116	0,767	-0,531	0,566	0,588
Carga_ST	-0,122	0,886	0,908	0,825	0,629	-0,284	0,679	0,893	0,881	0,852	0,944	0,225	0,664	-0,604	0,598	0,509
Carga_SO4	-0,026	0,570	0,516	0,436	0,488	-0,263	0,501	0,560	0,543	0,457	0,658	0,622	0,488	-0,792	0,407	0,318
Carga_Sulfuros	-0,201	0,690	0,725	0,748	0,748	-0,167	0,730	0,601	0,598	0,883	0,809	0,157	0,965	-0,614	0,473	0,664
Q	-0,163	0,656	0,592	0,553	0,460	-0,149	0,502	0,649	0,637	0,551	0,690	0,351	0,553	-0,748	0,420	0,352

Continuación:

	Carga_NH4	Carga_DBO5	Carga_DQO	Carga_P_Total	Carga_NO3	Carga_NO2	Carga_NTK	Carga_SST	Carga_SSV	Carga_STV	Carga_ST	Carga_SO4	Carga_Sulfuros	Q
NH4	0,287	-0,106	-0,086	-0,144	-0,088	-0,131	-0,058	-0,078	-0,082	-0,101	-0,122	-0,026	-0,201	-0,163
DBO5	0,640	0,981	0,947	0,978	0,872	0,113	0,871	0,922	0,937	0,902	0,886	0,570	0,690	0,656
DQO	0,588	0,932	0,981	0,938	0,855	0,117	0,854	0,922	0,923	0,945	0,908	0,516	0,725	0,592
P_Total	0,470	0,902	0,885	0,958	0,880	0,098	0,812	0,830	0,849	0,885	0,825	0,436	0,748	0,553
NO3	0,486	0,583	0,580	0,646	0,891	0,139	0,713	0,485	0,499	0,702	0,629	0,488	0,748	0,460
NO2	-0,153	-0,334	-0,300	-0,300	-0,290	0,545	-0,256	-0,280	-0,288	-0,277	-0,284	-0,263	-0,167	-0,149
NTK	0,647	0,616	0,631	0,653	0,793	0,180	0,799	0,514	0,520	0,761	0,679	0,501	0,730	0,502
SST	0,657	0,951	0,960	0,926	0,770	0,187	0,795	0,991	0,991	0,875	0,893	0,560	0,601	0,649
SSV	0,638	0,958	0,956	0,939	0,782	0,166	0,790	0,986	0,991	0,870	0,881	0,543	0,598	0,637
STV	0,540	0,772	0,823	0,821	0,890	0,165	0,865	0,723	0,724	0,954	0,852	0,457	0,883	0,551
ST	0,679	0,815	0,847	0,837	0,868	0,260	0,892	0,784	0,780	0,920	0,944	0,658	0,809	0,690
SO4	0,559	0,140	0,116	0,110	0,268	0,118	0,296	0,104	0,100	0,116	0,225	0,622	0,157	0,351
Sulfuros	0,428	0,520	0,542	0,617	0,827	0,350	0,759	0,415	0,420	0,767	0,664	0,488	0,965	0,553
OD	-0,768	-0,521	-0,453	-0,511	-0,673	-0,555	-0,698	-0,442	-0,449	-0,531	-0,604	-0,792	-0,614	-0,748
T	0,326	0,694	0,681	0,690	0,496	-0,031	0,500	0,666	0,673	0,566	0,598	0,407	0,473	0,420
pH	0,248	0,591	0,557	0,681	0,693	-0,081	0,577	0,441	0,468	0,588	0,509	0,318	0,664	0,352
Carga_NH4	1,000	0,696	0,637	0,638	0,622	0,547	0,818	0,658	0,656	0,638	0,736	0,880	0,540	0,878
Carga_DBO5	0,696	1,000	0,965	0,983	0,847	0,214	0,888	0,959	0,969	0,901	0,921	0,651	0,686	0,745
Carga_DQO	0,637	0,965	1,000	0,949	0,814	0,167	0,860	0,970	0,968	0,937	0,931	0,568	0,692	0,658
Carga_P_Total	0,638	0,983	0,949	1,000	0,889	0,223	0,893	0,924	0,939	0,920	0,916	0,611	0,758	0,721
Carga_NO3	0,622	0,847	0,814	0,889	1,000	0,211	0,914	0,738	0,754	0,902	0,853	0,644	0,883	0,692
Carga_NO2	0,547	0,214	0,167	0,223	0,211	1,000	0,424	0,205	0,201	0,258	0,355	0,525	0,397	0,677
Carga_NTK	0,818	0,888	0,860	0,893	0,914	0,424	1,000	0,798	0,803	0,928	0,936	0,793	0,864	0,869
Carga_SST	0,658	0,959	0,970	0,924	0,738	0,205	0,798	1,000	0,998	0,874	0,902	0,571	0,593	0,669
Carga_SSV	0,656	0,969	0,968	0,939	0,754	0,201	0,803	0,998	1,000	0,873	0,898	0,571	0,597	0,673
Carga_STV	0,638	0,901	0,937	0,920	0,902	0,258	0,928	0,874	0,873	1,000	0,950	0,580	0,870	0,691
Carga_ST	0,736	0,921	0,931	0,916	0,853	0,355	0,936	0,902	0,898	0,950	1,000	0,730	0,801	0,813
Carga_SO4	0,880	0,651	0,568	0,611	0,644	0,525	0,793	0,571	0,571	0,580	0,730	1,000	0,608	0,934
Carga_Sulfuros	0,540	0,686	0,692	0,758	0,883	0,397	0,864	0,593	0,597	0,870	0,801	0,608	1,000	0,699
Q	0,878	0,745	0,658	0,721	0,692	0,677	0,869	0,669	0,673	0,691	0,813	0,934	0,699	1,000