

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA**



**María Paula Arboleda Soler**

**Karen Bustos Pineda**

**APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA UV-VISIBLE DE  
MEDICIÓN EN CONTINUO UTILIZADA PARA  
MONITOREAR LA CALIDAD DEL AGUA EN UN SISTEMA  
DE TRATAMIENTO Y RECOLECCIÓN DE AGUAS  
LLUVIAS UBICADO EN EL CAMPUS DE LA PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD JAVERIANA**

---

Trabajo de grado

Carrera de Ingeniería Civil

**Bogotá D.C., 2013**

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA



**María Paula Arboleda Soler**

C.C. 1026569763 de Bogotá

**Karen Bustos Pineda**

C.C. 1022366176 de Bogotá

**APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA UV-VISIBLE DE  
MEDICIÓN EN CONTINUO UTILIZADA PARA  
MONITOREAR LA CALIDAD DEL AGUA EN UN SISTEMA  
DE TRATAMIENTO Y RECOLECCIÓN DE AGUAS  
LLUVIAS UBICADO EN EL CAMPUS DE LA PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD JAVERIANA**

---

Trabajo de grado

Carrera de Ingeniería Civil

**Director:**

**Andrés Torres**

I.C., M.S.C., P.H.D.

**Bogotá D.C., 2013**

*Dedicatoria*

*A nuestras familias, gracias por contar con su compañía y apoyo.*

*Agradecimiento, especialmente al ingeniero Andrés Torres por su apoyo y su dedicación.*

# TABLA DE CONTENIDO

Índice de ilustraciones .....	6
Índice de ecuaciones.....	10
Índice de tablas.....	10
<b>1. Introducción .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Materiales y Métodos .....</b>	<b>13</b>
2.1 Espectrómetro UV-Visible spectro::lyser-s::can .....	13
2.1.1 Generalidades .....	13
2.1.2 Fundamentos y principios .....	14
2.1.3 Interpretación de los datos .....	17
2.2 Humedal-Construido/Tanque regulador Pontificia Universidad Javeriana .....	18
2.2.1 Descripción del sistema Humedal construido/Tanque regulador .....	18
2.3 Puntos experimentales .....	21
2.3.1 Estaciones de monitoreo y campañas de muestreo .....	22
2.4 Herramientas computacionales .....	25
2.4.1 R-Project .....	25
2.4.1.1 Librerías R .....	25
2.4.1.1.1 MatrixStarts .....	25
2.4.1.1.2 PLS (partial least squares).....	25
2.4.1.1.3 RGL.....	26
2.4.1.1.4 Graphics .....	26
2.4.1.1.5 Función <i>predict</i> .....	26
2.4.2 Software Ana::pro versión 5.3 .....	26
2.5 Metodologías desarrolladas.....	27
2.5.1 Método de calibración a partir de los datos obtenidos en laboratorio....	27
2.5.2 Método de calibración a partir de los espectros calculados por el espectrómetro UV-Visible spectro::lyser-s::can .....	29
2.5.3 Método de calibración a través de mínimos cuadrados parciales .....	30
2.5.3.1 Mínimos cuadrados parciales (PLS) .....	30
2.5.3.2 Utilización del método PLS.....	30
2.5.3.3 Aplicación del método PLS al presente trabajo de grado .....	32

2.5.4	Método para análisis de masas contaminantes .....	33
2.5.4.1	Fenómeno del primer lavado.....	33
2.5.4.2	Método construido para el análisis de masas contaminantes SST y DQO .....	35
<b>3.</b>	<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>37</b>
3.1	Resultados a partir de los datos obtenidos en laboratorio (2.5.1) .....	37
3.2	Resultados a partir de la calibración mediante los espectros calculados por el espectrómetro UV-Visible spectro::lyser-s::can ( numeral 2.5.2).....	41
3.3	Resultados Método de calibración a través de mínimos cuadrados parciales (PLS) (numeral 2.5.3).....	45
3.4	Comparación de las series a partir de los métodos anteriormente analizados	50
3.4.1	Comparación de series a partir de la función BoxPlot .....	53
3.5	Resultados Análisis de masa contaminantes (numeral 2.5.4.2).....	58
3.5.1	Evento 1 .....	59
3.5.2	Evento 2.....	62
<b>4.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>65</b>
<b>5.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>67</b>
<b>6.</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>69</b>
<b>7.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>74</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Estructura externa captor UV-Visible fuente( Manual s::canspectrometer probe y ana::pro, 2007) .....	13
<b>Ilustración 2.</b> Partes Principales de un espectrómetro UV-Visible .....	14
<b>Ilustración 3.</b> Partes Principales de un espectrómetro UV-Visible al retirar la cubierta .....	14
<b>Ilustración 4.</b> .Parámetros y mediciones del espectrómetro UV-visible. ( <a href="http://www.s-can.at/index.php?id=5">http://www.s-can.at/index.php?id=5</a> ). .....	15
<b>Ilustración 5.</b> Dimensiones de la sonda ( Manuals::canspectrometerprobe y ana::pro, 2007).....	16
<b>Ilustración 6.</b> Partes de la sonda del espectrómetro UV-visible sonda ( Manuals::canspectrometerprobe y ana::pro, 2007).....	16
<b>Ilustración 7.</b> Partes de la sección de medición (Manual s::canspectrometerprobe y ana::pro, 2007).. .....	17
<b>Ilustración 8.</b> Acople para realizar mediciones fuera de línea.. .....	17
<b>Ilustración 9.</b> Ubicación del sistema Humedal construido/Tanque –regulador en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. ( <a href="http://www.skyscrapercity.com">http://www.skyscrapercity.com</a> ). .....	18
<b>Ilustración 10.</b> Papiros (Cyperuspapyrus). .....	19
<b>Ilustración 11.</b> Afluente correspondiente a la cuenca aferente al edificio de parqueaderos. ....	20
<b>Ilustración 12.</b> Vertedero Triangular ubicado a la salida del Humedal- Construido/Tanque regulador.....	21
<b>Ilustración 13.</b> Ubicación del espectrómetro UV-Visible sobre el desarenador....	22
<b>Ilustración 14</b> Salida afluente correspondiente al campo de fútbol.....	23
<b>Ilustración 15.</b> Salida de agua proveniente del tanque de almacenamiento. ....	24
<b>Ilustración 16.</b> Representación del Primer Lavado (First Flush)-Geiger (1987) ....	34
<b>Ilustración 17.</b> GráficaCalibración para SST .....	38
<b>Ilustración 18.</b> Gráfica SSTmodelo vs SSTlaboratorio .....	38
<b>Ilustración 19.</b> Gráfica Calibración para DQO .....	39
<b>Ilustración 20.</b> Gráfica DQO modelo vs DQO laboratorio .....	39

<b>Ilustración 21.</b> Gráfica.Series originales de DQO y SST para el evento uno .....	39
<b>Ilustración 22.</b> Gráfica.Series originales de DQO y SST para el evento dos .....	39
<b>Ilustración 23.</b> Gráfica.Serie de SST y de DQO en el tiempo corregida para el evento uno .....	40
<b>Ilustración 24.</b> Gráfica.Serie de SST y de DQO en el tiempo corregida para el evento dos .....	40
<b>Ilustración 25.</b> Gráfica. Absorbancia (1/m) y SST obtenidos en laboratorio.....	41
<b>Ilustración 26.</b> Gráfica.SST obtenidos en laboratorio en función del modelo .....	41
<b>Ilustración 27.</b> Gráfica.Calibración para DQO .....	42
<b>Ilustración 28.</b> Gráfica.DQO modelo vs DQO laboratorio .....	42
<b>Ilustración 29.</b> Gráficade Absorbancia (1/m) contra el tiempo para el evento uno. ....	43
<b>Ilustración 30.</b> Gráficade Absorbancia (1/m) contra el tiempo para el evento dos	43
<b>Ilustración 31.</b> GráficaSST y DQO corregidos (mg/L) contra el tiempo (min) para el evento uno.....	44
<b>Ilustración 32.</b> GráficaSST y DQO corregidos (mg/L) contra el tiempo (min) para el evento dos.....	44
<b>Ilustración 33.</b> GráficaSST laboratorio (mg/l) versus SST modelo (mg/l) .....	45
<b>Ilustración 34.</b> GráficaDQOlaboratorio (mg/l) versus DQO modelo (mg/l) .....	45
<b>Ilustración 35.</b> Gráficafactor de importancia versus longitud de onda (nm) para SST .....	48
<b>Ilustración 36.</b> Gráficafactor de importancia versus longitud de onda (nm) para DQO.....	48
<b>Ilustración 37.</b> Gráfica3D para las series de tiempo durante el evento uno.....	49
<b>Ilustración 38.</b> Gráfica3D para las series de tiempo durante el evento dos.....	49
<b>Ilustración 39.</b> GráficaConcentraciones para series de tiempo en el evento uno	50
<b>Ilustración 40.</b> GráficaConcentraciones para series de tiempo en el evento dos	50
<b>Ilustración 41.</b> GráficaComparación de los modelos aplicados a series de tiempo para SST en el evento uno.....	51
<b>Ilustración 42.</b> GráficaComparación de los modelos aplicados a series de tiempo para DQO en el evento uno.....	51
<b>Ilustración 43.</b> GráficaComparación de los modelos aplicados a series de tiempo para SST en el evento dos .....	52

<b>Ilustración 44.</b> Gráfica Comparación de los modelos aplicados a series de tiempo para DQO en el evento dos.....	52
<b>Ilustración 45.</b> Gráfica. Relación entre SST para el evento 1 y los valores de SST originales (1), los valores de SST corregidos por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio (2), los valores de SST obtenidos por medio de la calibración a partir de los espectros (3) y los valores de SST obtenidos por medio de la calibración al aplicar un modelo PLS .....	54
<b>Ilustración 46.</b> Gráfica Relación entre DQO para el evento 1 y los valores de DQO originales (1), los valores de DQO corregidos por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio (2), los valores de DQO obtenidos por medio de la calibración a partir de los espectros (3) y los valores de DQO obtenidos por medio de la calibración al aplicar un modelo PLS (4).....	55
<b>Ilustración 47.</b> Gráfica. Relación entre SST para el evento 2 y los valores de SST originales (1), los valores de SST corregidos por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio (2), los valores de SST obtenidos por medio de la calibración a partir de los espectros (3) y los valores de SST obtenidos por medio de la calibración al aplicar un modelo PLS (4).....	56
<b>Ilustración 48.</b> Gráfica Relación entre DQO para el evento 2 y los valores de DQO originales (1), los valores de DQO corregidos por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio (2), los valores de DQO obtenidos por medio de la calibración a partir de los espectros (3) y los valores de DQO obtenidos por medio de la calibración al aplicar un modelo PLS (4).....	57
<b>Ilustración 49.</b> Gráfica. Flujo másico para cada contaminante SST y DQO durante el evento uno.....	59
<b>Ilustración 50.</b> Gráfica. Volumen durante el evento lluvioso uno .....	59
<b>Ilustración 51.</b> Gráfica. Masa acumulada durante el evento lluvioso para SST y DQO en el evento uno.....	59
<b>Ilustración 52.</b> Gráfica. Volumen acumulado a lo largo del evento lluvioso uno ...	59
<b>Ilustración 53.</b> Gráfica Porcentaje de masa acumulada para SST y DQO durante el evento uno .....	59
<b>Ilustración 54.</b> Gráfica Porcentaje de volumen acumulado a lo largo del evento lluvioso uno .....	59



<b>Ilustración 55.</b> Gráfica Porcentaje de la carga contaminante acumulada durante el evento 1 para SST y DQO versus el porcentaje acumulado del volumen de agua del evento uno.....	60
<b>Ilustración 56.</b> Gráfica. Flujo másico para cada contaminante SST y DQO durante el evento dos.....	62
<b>Ilustración 57.</b> Gráfica. Volumen durante el evento lluvioso dos .....	62
<b>Ilustración 58.</b> Gráfica. Masa acumulada durante el evento lluvioso para SST y DQO en el evento dos.....	62
<b>Ilustración 59.</b> Gráfica. Volumen acumulado a lo largo del evento lluvioso dos ...	62
<b>Ilustración 60.</b> Gráfica Porcentaje de masa acumulada para SST y DQO durante el evento dos .....	62
<b>Ilustración 61.</b> Gráfica Porcentaje de volumen acumulado a lo largo del evento lluvioso dos .....	62
<b>Ilustración 62.</b> Porcentaje de la carga contaminante acumulada durante el evento dos para SST y DQO versus el porcentaje acumulado del volumen de agua del evento dos .....	63

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. ....	28
Ecuación 2. ....	28
Ecuación 3. ....	28
Ecuación 4. ....	29
Ecuación 5. ....	29
Ecuación 6. ....	31
Ecuación 7. ....	31
Ecuación 8. ....	31
Ecuación 9. ....	31
Ecuación 10. ....	31
Ecuación 11. ....	32
Ecuación 12. ....	32
Ecuación 13. ....	32
Ecuación 14. ....	32

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos utilizados para la elaboración del modelo. Fuente. Autor. ....	27
Tabla 2. Coeficientes de corrección para SST en cada longitud de onda de acuerdo a modelo PLS.....	46
Tabla 3. Coeficientes de corrección para DQO en cada longitud de onda de acuerdo a modelo PLS.....	47
Tabla 4. . Mínimos, Cuartil 1, Medianas, Cuartil 3 y Máximos para SST en el evento uno calculado a partir de la función summary. ....	53
Tabla 5. Mínimos, Cuartil 1, Medianas, Cuartil 3 y Máximos para DQO en el evento uno calculado a partir de la función summary. ....	55
Tabla 6. Mínimos, Cuartil 1, Medianas, Cuartil 3 y Máximos para SST en el evento dos calculado a partir de la función summary.....	56
Tabla 7.. Mínimos, Cuartil 1, Medianas, Cuartil 3 y Máximos para DQO en el evento dos calculado a partir de la función summary.....	57

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos años se ha creado conciencia acerca del uso y consumo del agua. Su tratamiento y reutilización es un tema vital en estos tiempos. Una solución alternativa, que permite un aprovechamiento y una reducción en cuanto al consumo de agua potable es el uso del agua lluvia en los diferentes sectores como doméstico e industrial, el cual ha venido incrementando. Los usos que se le pueden dar a este tipo de agua varían según las exigencias y requerimiento y por eso evaluar su calidad se convierte en un ítem importante para dar así un uso eficiente (Tribunal Latinoamericano del Agua, 2008).

Hasta hace poco tiempo, la calidad de las aguas era estimada exclusivamente a partir de análisis de laboratorio efectuados sobre muestras puntuales recolectadas *in situ*. Los análisis de laboratorio se efectúan para medir parámetros de calidad de acuerdo con métodos reconocidos estándar (Rodier, 1996; Greenberger *et al.*, 1999). La práctica clásica de muestreo puntual en campo acoplado con análisis estándar en laboratorio para determinar parámetros de calidad de aguas presenta varios inconvenientes: transporte de las muestras del lugar de recolección al laboratorio, almacenamiento y conservación de las muestras, plazos prolongados para la obtención de resultados, baja representatividad espacio-temporal de los resultados (Winkler *et al.*, 2008). Como medida paliativa de estos inconvenientes, se han desarrollado en los últimos años métodos de monitoreo en continuo de la calidad del agua. Estos métodos se han utilizado para el control de la calidad de aguas en ríos, lagos, plantas de tratamiento de aguas residuales, sistemas de alcantarillado (A. Vargas *et al.*, 2001; N. Branisavljevic *et al.*, 2010; C. Lacouret *et al.*, 2009; A. Torres *et al.* 2008) y vertimientos de fábricas (L. Sutherland *et al.*, 2009) y demás establecimientos que eventualmente vierten sus aguas a los ríos, con el fin de verificar que las descargas de aguas residuales que realizan dichos establecimientos cumplan con los límites de contaminación impuestos por las normas (Global Environment Centre Foundation, 1997).

Actualmente se han desarrollado los espectrómetros UV-Vis instalados *in situ*. Estas son sondas de aproximadamente 60 cm de longitud y 44 mm de diámetro. Los registros se realizan a partir de la atenuación de la luz (absorbancia) en longitudes de onda que van de UV a visible: el captor emite un haz de luz que pasa por la muestra a analizar hacia un receptor que realiza la lectura de absorbancia. Estas sondas son capaces de proporcionar los resultados en tiempo real. La medición se realiza directamente *in situ* por lo tanto los errores asociados al muestreo, el transporte, la conservación, la dilución entre otros, se consideran mucho menores que aquellos asociados a los ensayos normalizados de laboratorio.

Por tratarse de una tecnología novedosa en nuestro medio, aún se carece de especificaciones en cuanto a las prácticas de operación de los sensores UV-Visible. Adicionalmente se reconoce que lo anterior es de vital importancia, ya que la adecuada

manipulación e instalación de los equipos está directamente asociada con la calidad de los resultados (Torres et al., 2013). En cuanto a instalaciones en sistemas de tratamientos naturales como los humedales construidos no existen antecedentes de monitoreo en continuo en Colombia. Por consiguiente, se propone el siguiente proyecto de aplicación de esta tecnología para aumentar así la experiencia que se tiene en cuanto al uso de éstas en el país, ya que se cuenta con escasas aplicaciones. Por lo tanto es indispensable hacer un análisis del comportamiento de los captores, documentar la experiencia de operación de los sensores utilizados para el monitoreo de calidad de aguas, así como el manejo básico de datos obtenidos en campo adaptados al monitoreo en un sistema de tratamiento y recolección de aguas lluvias, sistema Humedal-Construido/Tanque-Regulador de la Pontificia Universidad Javeriana sede Bogotá (Galarza-Molina y Torres, 2013).

Un proceso importante, por las altas cargas contaminantes que se generan en la escorrentía urbana, es el fenómeno de primer lavado, entendido como la mayor fracción de masa contaminante contenida en una pequeña fracción de volumen, asociada a los primeros minutos del evento lluvioso (Salamanca et al., 2012). Además se ha demostrado que las cargas contaminantes debidas a este fenómeno para un evento lluvioso pueden llegar a ser superiores a las de las aguas residuales en tiempo seco (Novotny y Chesters, 1981; Artina et al., 1999). A manera de aplicación de las mediciones de calidad de aguas en continuo mediante espectrometría UV-Visible, en el presente trabajo se plantea una metodología para la caracterización del fenómeno de primer lavado de sólidos suspendidos totales y demanda química de oxígeno aplicada al Humedal-Construido/Tanque-Regulador de la Pontificia Universidad Javeriana. A partir de la metodología propuesta se pretende cuantificar la masa de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) aportada durante dos eventos por la cuenca correspondiente al edificio de parqueaderos del campus universitario. Los principales agentes contaminantes liberados por el tráfico vehicular incluyen sustancias como: combustibles, metales pesados, aceites, grasas y partículas como plomo, generadas por la fricción de los neumáticos (Kim et al., 2007).

En el presente documento, el capítulo número dos (2) presenta la descripción de los materiales y métodos; de la tecnología utilizada (UV-visible), sus principales características y su respectiva adecuación para la realización del monitoreo, así como las características del sitio y el desarrollo del montaje experimental, y las herramientas computacionales que permitieron mostrar y analizar los datos obtenidos. En el capítulo número tres (3) se muestran los datos obtenidos en campo y el respectivo procesamiento para su evaluación. En el capítulo número cuatro (4) se describen las conclusiones finales acerca de los resultados obtenidos con base en el objetivo propuesto. En el capítulo número cinco (5) se presentan las recomendaciones que se hacen a partir de la experiencia adquirida durante este trabajo de grado. Por último, el capítulo número seis (6) contiene las referencias bibliográficas donde se mencionan por orden alfabético los autores consultados y se especifica el tipo de documentación. Se presentan los anexos de forma digital.

## CAPÍTULO 2

### MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se presentará en primer lugar una descripción de los captore UV-Visible utilizados para el desarrollo de este trabajo de grado. Posteriormente, se realizará una breve descripción del punto experimental (sistema Humedal-Construido/Tanque Regulador) en donde se realizó la recolección de muestras a analizar y se hizo uso de los captore. Al finalizar, se describirá el diseño, desarrollo y ejecución del montaje experimental.

#### 2.1 Espectrómetro UV-Visible s::can:

A continuación se presenta una descripción general del espectrómetro UV-Visible con sus fundamentos y principios.

##### 2.1.1 Generalidades:

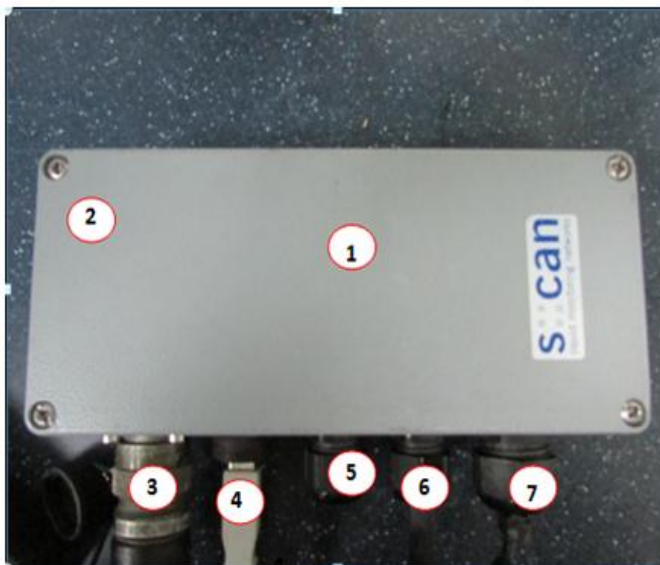
Actualmente en el mercado entre los captore disponibles se encuentran los espectrómetros UV-visibles (Gruber *et al.*, 2006) los cuales hacen posible realizar un monitoreo en continuo utilizando un solo instrumento de medición permitiendo medir Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) entre otros (Ruiz *et al.*, 2011).

El espectrómetro es un captor sumergible de 60 cm de longitud y 44 mm de diámetro que mide la atenuación de la luz entre 200 nm y 750 nm, y otorga resultados en tiempo real, sin necesidad de muestreo o tratamiento de las muestras (Langergraber *et al.*, 2003; Langergraber *et al.*, 2004; Hochedlinger, 2005). La ilustración 1 muestra la estructura externa del captor.



**Ilustración 1 Estructura externa captor UV-Visible fuente: Manual s::canspectrometerprobe y ana::pro (2007)**

Las principales partes que tiene un espectrómetro UV-visible son las que se muestran en la Ilustración 2:



1. Cubierta
2. Tornillo de apertura
3. Conector para la sonda del s::can
4. Conector para el cable de conexión USB que va al Computador.
5. Entrada de cable adicional
6. Conexión a la válvula de limpieza
7. Conexión para el suministro de energía

**Ilustración 2. Partes Principales de un espectrómetro UV-Visible. Fuente: Autor (2013)**

En la Ilustración 3 se muestran las partes principales de un espectrómetro UV-Visible retirando la cubierta:

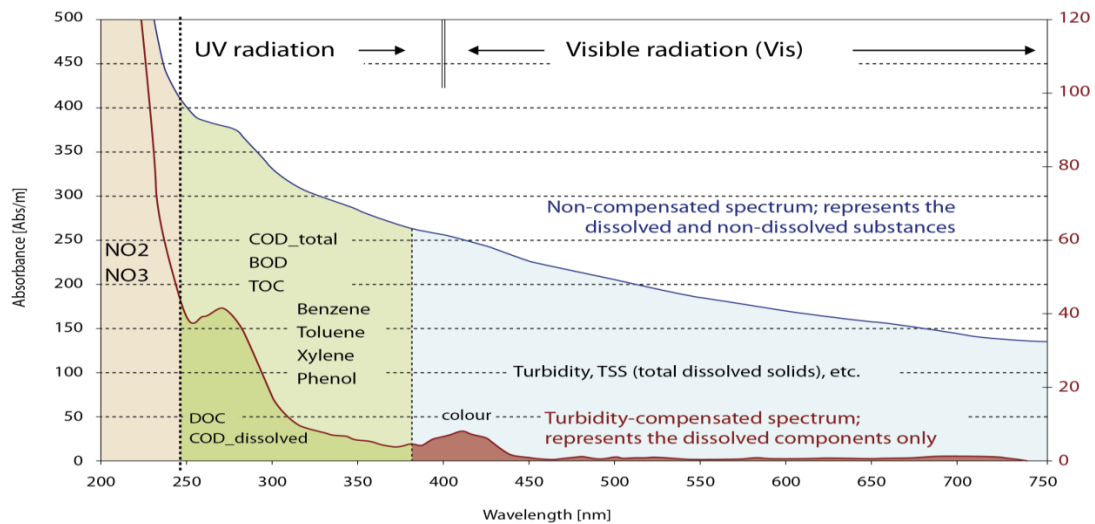


8. Tornillo para retirar la cubierta
9. RS 485
10. Conexión para la válvula de limpieza
11. Conexión para el suministro de energía 12 VDC (funcionamiento con batería).
12. Conexión para el suministro de energía AC
13. Perforación para poder colocar la tapa del s::can
14. Control del suministro de energía LED

**Ilustración 3. Partes Principales de un espectrómetro UV-Visible al retirar la cubierta. Fuente: Autor (2013)**

### 2.1.2 Fundamentos y principios:

El funcionamiento de los espectrómetros UV-visible se basa en la medición de la absorbancia de la luz generada por las partículas disueltas o en suspensión en longitudes de onda que van desde el ultravioleta (longitudes de onda inferiores a 400 nm) hasta el visible (longitudes de onda superiores a 400 nm) como se puede ver en la Ilustración 4 (Ruiz *et al.*, 2011).

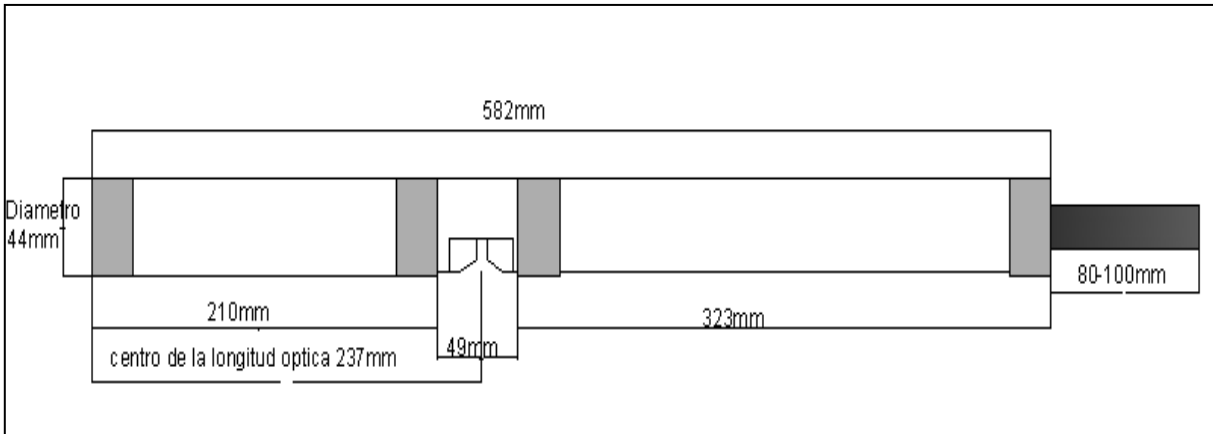


**Ilustración 4. Parámetros y mediciones del espectrómetro UV-visible. Fuente: <http://www.s-can.at/index.php?id=5>**

El funcionamiento de los espectrómetros UV-visible es posible gracias a la emisión de un rayo luminoso producido en un rango de longitudes de onda comprendido entre 200 nm y 750 nm por una lámpara de Xenón, donde la comunicación se logra mediante una interface RS232 o RS485. La medición se realiza directamente *in situ* sin necesidad de muestreo o de tratamiento de las muestras y por lo tanto los errores asociados al muestreo, el transporte, la conservación, la dilución, etc. se consideran mucho menores que aquellos asociados a los ensayos normalizados de laboratorio. El instrumento está equipado de un sistema de auto-limpieza usando aire comprimido o agua a presión. El procedimiento de medición es enteramente controlado por un sistema electrónico incluido dentro del sistema tubular de 44 mm (Zamora Ávila *et al*, 2011).

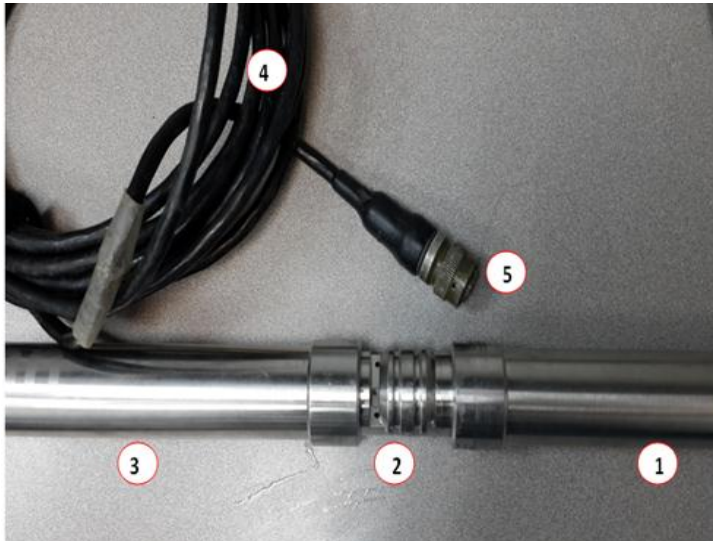
Por otro lado, la apertura de la ventana de medición varía de 2 mm a 100 mm según el tipo de aplicación, y en particular la naturaleza del agua que se quiera medir. Usualmente para aguas residuales se usa una apertura de ventana de 5 mm (Langergraber *et al.*, 2003; Langergraber *et al.*, 2004; Hochedlinger, 2005; Gruber *et al.*, 2006). Las principales aplicaciones que ha tenido este tipo de tecnología han sido sobre sistemas de alcantarillado de agua residual (A. Torres *et al.*, 2008; Gruber G. *et al.*, 2005) o plantas de tratamiento (J.-L. Bertrand *et al.*, 2007; S. Winkler *et al* 2008; L. Rieger *et al.*, 2004).

La absorción de la luz depende tanto de la concentración de la sustancia como de la distancia que tenga que recorrer el haz de luz. Debido a esto, para sustancias altamente contaminadas se utiliza una ventana de medición de la sonda más pequeña donde al tener una alta concentración de contaminantes es más débil el haz de luz (s::can, 2007). Las dimensiones de la sonda se pueden observar en la Ilustración 5.



**Ilustración 5. Dimensiones de la sonda. Fuente: Manual s::canspectrometerprobe y ana::pro (2007). Pag 4-14**

Asimismo, las partes principales de la sonda spectro::lyerson son las que se muestran en la Ilustración 6:

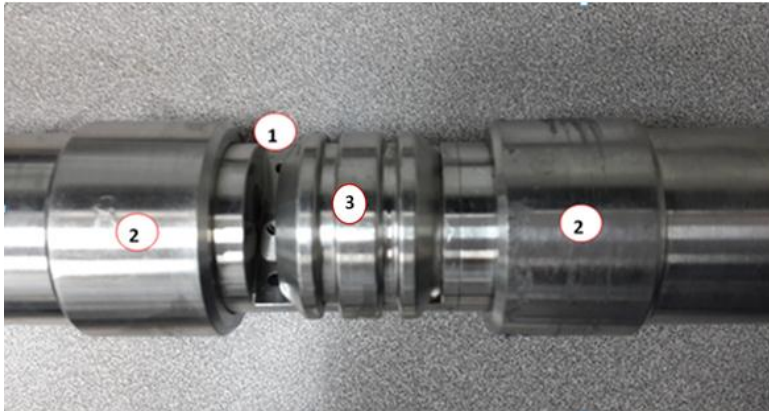


1. Emisor
2. Sección de Medición
3. Detector
4. Cable
5. Conector

**Ilustración 6. Partes de la sonda del espectrómetro UV-visible. . Fuente: Manual s::canspectrometerprobe y ana::pro (2007). Pag 4-13**

La luz que emite la sonda se debilita debido a las sustancias o partículas contenidas en el agua pura o agua residual que se vaya a analizar, ya que, cada molécula de una sustancia disuelta absorbe la radiación en ciertas longitudes de onda y según esta absorción de luz se determina la concentración de sustancias contaminantes puesto que, si se tiene un haz de luz debilitado, es porque existe una alta concentración de agentes contaminantes (Rivero, 2012). En la Ilustración 7 se muestra las partes principales de la sección de medición:





1. Medida Óptica
2. Puntos de Medición
3. Inserto

**Ilustración 7 Partes de la sección de medición. Fuente: Manual s::can spectrometer probe y ana::pro (2007).**

Es importante aclarar que el inserto (Ilustración 7 (No.3)) solo se utiliza cuando se tiene una alta concentración de contaminantes lo que hace que el haz de luz no sea percibido por el receptor, ya que, cada molécula de la sustancia disuelta, absorbe la radiación en ciertas longitudes de onda lo que hace que esta absorción de luz se dificulte. Para la adaptación del inserto a la sonda se hace uso de una abrazadera plástica que permite que este (inserto) quede fijo.

Para la realización de mediciones de muestras puntuales el espectrómetro UV-Visible posee un acople (ver Ilustración 8) que permite ingresar la cantidad de muestra adecuada para realizar la medición.



**Ilustración 8. Acople para realizar mediciones fuera de línea.**

### **2.1.3 Interpretación de los datos:**

Para la visualización de los datos registrados y para el control del aparato se utiliza el software ana::pro versión 5.3. Este software contiene algoritmos matemáticos que permiten obtener resultados mediante una calibración global o realizar una calibración local dependiendo del tipo de muestra (agua residual o agua potable).

Es importante aclarar que, dado que estos captores no proporcionan directamente valores de concentraciones de equivalentes en SST y DQO (Zamora, 2013) se deben desarrollar y poner en práctica métodos específicos para evaluar las concentraciones equivalentes y sus incertidumbres.

## 2.2 Humedal-Construido/Tanque-Regulador Pontificia Universidad Javeriana

Para el desarrollo de las pruebas experimentales mediante los sensores UV-visible se tiene como punto experimental el Humedal-Construido/Tanque-Regulador, el cual está ubicado en el costado Norte del campo de fútbol (ver Ilustración 9).

El Humedal-Construido/Tanque-Regulador fue diseñado por un consultor externo y construido mediante contrataciones realizadas por el Departamento de Recursos Físicos de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Esta es la primera acción concreta que la Pontificia Universidad Javeriana ha desarrollado para aprovechar el agua lluvia y resulta de diversos estudios que el grupo de investigación Ciencia e Ingeniería de Agua y el Ambiente ha desarrollado desde el año 2007 (Lara Borrero et al., 2007, Galarza et al., 2013).



Ilustración 9. Ubicación del sistema Humedal construido/Tanque –regulador en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Fuente: <http://www.skyscrapercity.com>

A continuación se realiza la descripción del Humedal-Construido/Tanque regulador y su funcionamiento.

### 2.2.1 Descripción del sistema Humedal-Construido/Tanque –Regulador

El Humedal-Construido/Tanque-Regulador cuenta con un área aproximada de 88.7m<sup>2</sup>. En la parte inferior del humedal se encuentra el tanque regulador de agua. Se trata de un humedal construido de tipo subsuperficial. La función del material utilizado es evitar la

colmatación dentro del humedal, utilizando gravas que van desde 4" hasta 1/2". El humedal cuenta con plantas emergente en su área superficial (ver ilustración 10): en este caso se usaron Papiros (*Cyperuspapyrus*) muy comúnmente usados en estos tipos de tratamiento. Tienen la función de fijar físicamente los contaminantes y la materia orgánica en la superficie del suelo, al igual que utilizar y transformar los elementos por medio de los microorganismos que se produzcan para finalmente lograr un nivel de tratamiento consistente al bajo consumo de energía y mantenimiento (J. A. Lara B., 1999). La especie de las plantas se encuentra con frecuencia en los ecosistemas acuáticos Colombianos. La distribución de estas plantas dentro del Humedal-Construido/Tanque-Regulador es de 16 papiros por metro cuadrado con una separación de 30 cm aproximadamente entre ellos.



**Ilustración 10. Papiros (*Cyperuspapyrus*). Fuente: Autor**

El sistema cuenta con las siguientes unidades:

- ✓ **Afluente del sistema:** hace referencia a las aguas de escorrentía que son recolectadas y entran en el sistema correspondiente a dos subcuencas de la Pontificia Universidad Javeriana (Edificio de parqueaderos y campo de fútbol). El área correspondiente a las dos subcuencas es de 48474 m<sup>2</sup>. En la siguiente Ilustración (ver Ilustración 11) se observa el afluente correspondiente a la cuenca del edificio de parqueaderos.



**Ilustración 11. Afluente correspondiente a la cuenca aferente al edificio de parqueaderos. Fuente: Autor**

- ✓ **Tratamiento preliminar:** El tratamiento preliminar consta de dos desarenadores: El primero, de menor capacidad, recibe el agua proveniente a la cuenca aferente al edificio de parqueaderos el cual se encarga de retener las partículas más pesadas. El desarenador de mayor capacidad recibe el agua correspondiente a la cuenca del campo de fútbol, y cumple con la misma función. Los desarenadores se ubican en los extremos longitudinales del sistema. Cada desarenador cuenta con un vertedero triangular. En la ilustración 12 se muestra el vertedero a la salida del humedal construido, diseñado para un caudal máximo de 43L/s.





**Ilustración 12. Vertedero Triangular ubicado a la salida del Humedal-Construido/Tanque regulador**  
**Fuente: Autor.**

- ✓ **Humedal:** El humedal de flujo subsuperficial cuenta con una longitud de 22.10 m y un ancho de 4.0 m para un total de área de 88.4m<sup>2</sup>. El material usado para el tratamiento es grava que va desde 1/2" hasta 4". El nivel de esta con respecto al suelo alcanza 0.5 m a 0.55m.
- ✓ **Almacenamiento:** El sistema cuenta con un tanque regulador, el cual se encuentra ubicado en la parte inferior del sistema que sirve como soporte del humedal. Cuenta con capacidad de almacenamiento de 250m<sup>3</sup>. El tanque se encuentra dividido en dos partes: (i) zona de bombas, en la cual el volumen almacenado es empleado para riego de zonas verdes y lavado de zonas duras. (ii) una zona destinada para el lavado del tanque.

### **2.3 Puntos experimentales**

Para el desarrollo de las pruebas experimentales con la sonda de espectrometría UV-Visible sobre el Humedal-Construido/Tanque-Regulador se realizó un reconocimiento del terreno para definir las zonas de colocación de la sonda teniendo en cuenta los criterios de facilidad de acceso y seguridad tanto de los equipos como del personal que hacía uso de estos.

### 2.3.1 Estaciones de monitoreo y campañas de muestreo:

Se llevaron a cabo dos campañas de muestreo y monitoreo cada una correspondiente a un evento lluvioso:

- a. La primera campaña de muestreo y monitoreo se llevó a cabo durante el evento lluvioso del 28 de Octubre de 2013 en el Humedal-Construido/Tanque-Regulador de la Pontificia Universidad Javeriana. El monitoreo tuvo una duración de aproximadamente una hora y media. La medición se realizó desde las 15:38 hasta las 18:00 horas. El espectrómetro UV-visible fue programado para realizar mediciones de SST y DQO en un intervalo de medición de 1 minuto, utilizándose una calibración global.

El espectrómetro UV-Visible fue ubicado en el desarenador del afluente del edificio de parqueaderos (como se puede observar en la Ilustración 13), de forma perpendicular a la dirección del flujo. Para la instalación *in situ* se utilizó un bote flotante especialmente diseñado para soportar la sonda en su interior permitiendo que el flujo pase por la ventana de medición, la cual constaba de una apertura de 50 mm.



**Ilustración 13. Ubicación del espectrómetro UV-Visible sobre el desarenador.**

Para la realización de este trabajo de grado se tuvieron en cuenta cuatro puntos de muestreo a partir de los cuales se tomaron muestras que posteriormente fueron analizadas en el laboratorio de calidad de aguas para el desarrollo de los métodos propuestos en el siguiente capítulo. Los puntos de muestreo sobre el Humedal-Construido/Tanque-Regulador son los siguientes:

- ✓ Afluente correspondiente a la cuenca del edificio de parqueaderos(ver ilustración 11).
- ✓ Afluente correspondiente a la salida del vertedero triangular ubicado a la salida del Humedal-Construido/Tanque-Regulador(ver ilustración 12).
- ✓ Afluente correspondiente a la salida de la cuenca del campo de fútbol (ver ilustración 14).



**Ilustración 14.Salida afluente correspondiente al campo de fútbol**

- ✓ Agua proveniente del tanque de almacenamiento (la cual es empleada para riego de zonas verdes y lavado de zonas duras), como se puede observar en la ilustración 15.En este evento, para este punto, se tomaron muestras ese mismo día y muestras al día siguiente en las horas de la mañana, teniendo en cuenta parámetros como asentamiento que podían influir en la calidad del agua. Adicionalmente la mayor cantidad de agua recolectada en el tanque es utilizada horas después de cada evento lluvioso ya que su principal uso actual es riego.



**Ilustración 15. Salida de agua proveniente del tanque de almacenamiento**

Para las muestras recolectadas se hicieron mediciones de SST y DQO mediante el espectrómetro UV-Visible el procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera:

- ✓ Mediante el acople (ver ilustración 8) suministrado por el fabricante se recolecta la cantidad de muestra adecuada para que la sonda haga la medición.
- ✓ Se programa el espectrómetro UV-Visible para que realice mediciones cada 15 segundos durante un intervalo de tiempo de 1 minuto.
- ✓ Se repite el procedimiento anterior tres veces por cada una de las muestras recolectadas.

Para la toma de datos en el afluente correspondiente a la salida de la cuenca del campo de fútbol fuera de línea y debido a las características del agua que contenían visiblemente gran cantidad de sólidos y un color visiblemente oscuro, fue necesario colocar el inserto (ver ilustración 7) para disminuir la apertura de la ventana de medición a 5mm, y así permitir que la lectura de medición se realizara correctamente.

Estas muestras se llevaron al laboratorio donde también se midieron los mismos determinantes de concentraciones para que posteriormente se pudieran analizar y comparar estos resultados con las concentraciones medidas por el espectrómetro.

- b. La segunda campaña se llevó a cabo el 30 de Octubre del 2013 en el Humedal de la Pontificia Universidad Javeriana. El espectrómetro UV-Visible fue ubicado en el afluente del sistema, el cual hace referencia a las aguas de escorrentía provenientes a la cuenca del Edificio de parqueaderos (ver ilustración 11).



Al igual que en el evento número uno, el espectrómetro se ubicó de forma perpendicular a la dirección del flujo y se utilizó del mismo modo descrito para el evento número uno.

Por otro lado, se tomaron tres muestras en el afluente correspondiente a la cuenca del edificio de parqueaderos y una muestra en el afluente correspondiente a la salida del vertedero triangular del desarenador que está ubicado en el extremo longitudinal del sistema.

El monitoreo duró aproximadamente dos horas: se inició a las 16:15 y terminó a las 18:16 horas. Se realizaron mediciones en un intervalo de un minuto. Las muestras fueron analizadas de igual manera que en el evento uno mediante el laboratorio y a través del espectrómetro fuera de línea.

## **2.4 Herramientas computacionales**

A continuación se realizará una breve descripción de las herramientas computacionales usadas para mostrar y evaluar los datos obtenidos en campo.

### **2.4.1 R-Project**

R es un lenguaje de programación para análisis estadístico y gráfico, que provee una gran variedad de técnicas estadísticas (modelamiento lineal y no lineal, pruebas estadísticas clásicas, análisis de series temporales, clasificación, entre otros) soportadas por una amplia comunidad de científicos, quienes a su vez desarrollan nuevas librerías computacionales para ponerlas en libre distribución. Es un software libre (disponible de manera gratuita) bajo los términos de Free Software Foundation's GNU General PublicLicense en forma de código fuente. Puede ser corrido en plataformas UNIX, Windows y MacOS. Su instalación es sencilla y cuenta con un amplio soporte en línea (Prieto y Salamanca, 2011). R fue inicialmente diseñado por Robert Gentleman y Ross Ihaka, miembros del Departamento de Estadística de la Universidad de Auckland, en Nueva Zelanda(R DevelopmentCoreTeam, 2013).

La siguiente es una breve descripción de los paquetes y funciones del software R-project aplicadas en esta investigación:

#### **2.4.1.1 Librerías R**

Las librerías son paquetes de herramientas utilizadas por el programa R para ampliar sus capacidades al efectuar ciertos cálculos. Como complemento adicional a las herramientas estadísticas de R, y para el desarrollo de la metodología propuesta se hizo necesario acceder a las siguientes librerías para realizar cálculos específicos.

**2.4.1.1.1 MatrixStats:** Este paquete proporciona métodos que operan en filas y columnas de las matrices. El objetivo es optimizar todos los métodos por medio de la disminución del consumo de velocidad y la memoria.

**2.4.1.1.2 PLS(PartialLeastSquares):** en este paquete están implementadas varias técnicas estadísticas como regresión de componentes principales (PCR) y regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS-R) y mínimos cuadrados parciales de potencias canónicas (CPPLS). Además, tiene métodos para funciones genéricas para predecir (en función de un modelo calibrado), actualizar y modificar los coeficientes de los modelos. También cuenta con funciones más especializadas como validación cruzada y evaluación del desempeño por medio de RMSEP, y funciones para graficar y visualizar el comportamiento de modelos (Mevik et al., 2012). La función `pls()` puede ajustarse por medio de diferentes algoritmos según el argumento que se especifique en la función. Cuatro métodos están disponibles: algoritmo kernel ("kernelpls"), el algoritmo de kernel ancho ("widekernelpls"), SIMPLS ("simpls") y el algoritmo clásico de puntuaciones ortogonal ("oscorespls").

**2.4.1.1.3 RGL:** este paquete Proporciona soporte para funciones de alto nivel para los gráficos 3D interactivos, incluyendo funciones según el modelo de gráfico, así como funciones para construir representaciones de objetos geométricos, puede ser en la pantalla usando OpenGL, o para varios formatos de archivos 3D estándar, incluyendo WebGL , PLY , OBJ , STL.

**2.4.1.1.4 Graphics:** es la función base para realizar gráficos en R.

**2.4.1.1.5 Función *predict*:** tiene como objetivo generar las predicciones de los resultados de las diversas funciones de ajuste del modelo. La función invoca métodos particulares que dependen de la clase del primer argumento.

**2.4.2 Software Ana::pro Versión 5.3:** Es un software que ha sido desarrollado especialmente para el funcionamiento de todos espectrómetros UV-Visible `spectro::lyser::can`. Su fundamento y principio se basa en la quimiometría definida como la aplicación estadística y métodos matemáticos en la química analítica, cuyos componentes vinculados son: software, bases de datos y hardware. Dicho software contiene una serie de algoritmos matemáticos desarrollados por el fabricante `s::can` para la calibración global de la sonda con el propósito de optimizar la medición dependiendo del tipo de muestra (agua potable, ríos, agua residual) y la calibración local que permite optimizar las mediciones cuando la muestra en análisis no está contemplada en los algoritmos del programa (`s::can`, 2007).

Este software admite realizar las siguientes funciones:

- ✓ Permite controlar los intervalos de medición y de limpieza de la sonda.
- ✓ Permite configurar el almacenamiento y la visualización de los resultados de medición (en forma de valores o en espectros de absorbancia en una serie de tiempo).

## 2.5 Metodologías desarrolladas

A continuación se realizará la descripción de cada una de las metodologías utilizadas y desarrolladas para el procesamiento de los datos obtenidos en campo.

### 2.5.1 Método de calibración a partir de los datos obtenidos en laboratorio:

Se elaboraron en el laboratorio de calidad de aguas del departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana los ensayos y procedimientos respectivos cumpliendo con los métodos estandarizados para los ensayos de laboratorios de calidad de aguas, estipulados en el “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” (APHA AWWA, 2005), para determinar las concentraciones de los indicadores de contaminación a evaluar en este trabajo (SST y DQO).

Los parámetros de calidad medidos para el evento uno se muestran en el Anexo A. Vale la pena aclarar, que tanto para el ensayo de SST como para la determinación de DQO, se tomaron cinco (5) muestras por triplicado y estas fueron analizadas al día siguiente de la adquisición de las muestras.

Para el evento dos, los parámetros de calidad medidos se muestran en el Anexo B, en el cual se puede observar que para este evento se tomaron cuatro (4) muestras por triplicado.

Teniendo estos datos de laboratorio como datos de referencia, se proponen los siguientes pasos para realizar una calibración del espectrómetro UV-visible:

- a. Realizar un modelo lineal a partir de los datos de SST obtenidos con el espectrómetro UV-visible (datos arrojados por defecto según la calibración global para las muestras tomadas en los 4 puntos de muestreo explicados en el numeral 2.3.1) y los resultados de los ensayos de laboratorio para SST (ver tabla 1).

evento	punto	SSTscan(mg/L)	SSTlabo(mg/L)	DQOscan(mg/L)	DQOlabo(mg/L)
1	1	24.53746154	7.833333333	36.35453846	72.46666667
2	1	30.114	7.166666667	57.29083333	39.132
2	1	62.00683333	6.333333333	62.00683333	39.132
2	1	61.74433333	4.166666667	61.74433333	56.524
1	2	36.84108333	18.08333333	63.53875	66.66933333
1	3	84.97091667	541.25	89.39416667	188.4133333
1	4	17.84825	0.5	50.77041667	17.392
2	4	38.88525	2.083333333	38.88525	18.84133333

Tabla 1 Datos utilizados para la elaboración del modelo. Fuente. Autor.

Es importante aclarar que al realizar el modelo se fuerza para que comience en (0,0) ya que se considera que cuando en el laboratorio se tiene una concentración de 0 mg/L se espera que el espectrómetro mida la misma concentración.

- b. Hacer uso de la función *predict* (numeral 2.4.1.1.5).
- c. Estimar el valor de  $r^2$  (coeficiente de correlación) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE) para SST. Para calcular la raíz del error cuadrático medio se hace uso de la ecuación 1, ésta métrica permite determinar en las unidades reales de la variable el nivel de ajuste entre el conjunto de datos observados y las predicciones. Es una métrica no negativa que no tiene límite superior y para un modelo perfecto su resultado sería igual a cero. Se compone de una medida ponderada del error en el que las mayores desviaciones entre los valores observados y estimados aportan más (Dawson *et al.*, 2007).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

**Ecuación 1**

- d. Realizar un modelo lineal a partir de los datos de DQO obtenidos con el espectrómetro Uv-visible (datos arrojados por defecto según la calibración global) y los resultados de los ensayos de laboratorio de DQO.
- g. Hacer uso de la función *predict* (numeral 2.4.1.1.5) para el modelo correspondiente a los valores de DQO.
- h. Estimar el valor de  $r^2$  (coeficiente de correlación) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE) para DQO.
- i. Calcular una corrección para los valores de SST y una corrección para los valores de DQO obtenidos en campo.
- j. Aplicar esta corrección a la series de SST y de DQO para cada uno de los eventos, obteniendo de este modo valores de SST y de DQO corregidos. Para poder corregir los valores de SST se hace uso de la ecuación 2 donde *KSST* es la corrección calculada en literal anterior (e) para SST. Posteriormente para corregir los valores de DQO se hace uso de la ecuación 3 donde *KDQO* es la corrección calculada para los valores correspondientes a este indicador de contaminante (DQO).

$$SST_{labo} = KSST * SST_{scan}$$

**Ecuación 2**

$$DQO_{labo} = KDQO * DQO_{scan}$$

**Ecuación 3**

Para el método de calibración anteriormente propuesto se realizó un programa en lenguaje R que permitió llevar a cabo el procedimiento anteriormente descrito (ver anexo I).

### 2.5.2 Método de calibración a partir de los espectros calculados por el espectrómetro UV-Visible spectro::lyser-s::can:

Teniendo como datos de referencia los espectros calculados por el espectrómetro Uv-visible (Longitud de onda vs Absorbancia) en una serie de tiempo para cada uno de los eventos que se monitorearon en este trabajo de grado, se proponen los siguientes pasos para realizar una calibración a partir de estos espectros y poder estimar las concentraciones de DQO y SST aplicadas a las series de tiempo:

- a. Definir qué lambda para SST y para DQO presenta mayor correlación con los datos obtenidos en el laboratorio para SST y para DQO respectivamente.
- b. Realizar un modelo lineal con las absorbancias de lambda para los valores de SST que presente mayor correlación con los valores obtenidos en laboratorio.
- c. Utilizar la función *predict* (numeral 2.4.1.1.5).
- d. Estimar el valor de  $r^2$  (coeficiente de correlación) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE) para SST (ver ecuación 1).
- e. Realizar un modelo lineal con las absorbancias de los lambdas para los valores de DQO que presenten mayor correlación con los valores obtenidos en laboratorio.
- f. Utilizar la función *predict* (numeral 2.4.1.1.5) para el modelo correspondiente a los valores de DQO.
- g. Estimar el valor de  $r^2$  (coeficiente de correlación) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE) para DQO (ver ecuación 1).
- h. Calcular una corrección para los valores de SST y una para los valores de DQO obtenidos en campo.
- i. Aplicar estas correcciones calculadas a la series de absorbancias obtenidas para SST y para DQO, consiguiendo de este modo valores de SST y de DQO corregidos. Para obtener estos valores de SST corregidos se hace uso de la ecuación 4, en donde  $KSST$  es un factor de corrección para las absorbancias calculado en el literal anterior (h) y  $lambdaSST$  son las absorbancias del lambda más correlacionado (calculado en el literal a). Para obtener los valores de DQO corregidos se hace uso de la ecuación 5, en donde  $KDQO$  es un factor de corrección para las absorbancias calculado en el literal anterior (h) y  $lambdaDQO$  son las absorbancias del lambda más correlacionado (calculado en el literal a).

$$SSTlabo \left( \frac{mg}{l} \right) = KSST * lambdaSST$$

Ecuación 4

$$DQOlabo \left( \frac{mg}{l} \right) = KDQO * lambdaDQO$$

Ecuación 5

Para el método de calibración anteriormente propuesto se realizó un programa en lenguaje R que permitió llevar a cabo el procedimiento anteriormente descrito (ver anexo J).

### **2.5.3 Método de calibración a través de mínimos cuadrados parciales (PLS)**

A continuación se realizará una descripción que permite conocer el funcionamiento del método de mínimos cuadrados parciales.

#### **2.5.3.1 Mínimos cuadrados parciales (PLS)**

Un método ampliamente utilizado para estimar las concentraciones u otras variables a partir de datos espectrofotométricos es la regresión de mínimos cuadrados parciales (PartialLeastSquares-PLS).

El método PLS original se desarrolló alrededor de 1975 por el estadístico Herman Wold para un tratamiento de cadenas de matrices y aplicaciones en econometría. Su hijo, Svante Wold y otros introdujeron la idea PLS en Quimiometría. Sin embargo, la PLS fue durante mucho tiempo bastante desconocido para los estadísticos (Varmuza y Filzmoser, 2009). Fue formalmente presentado por Wold et al. (1983), como un método que fusiona y generaliza el análisis de componentes principales y los métodos de regresión múltiple. Es especialmente útil en casos muy comunes donde el número de variables es igual o mayor que el número de observaciones y/o donde hay otros factores que conducen a correlaciones entre las variables (VCCL - Virtual Laboratorio de Química Computacional 2005). Por lo tanto, es ampliamente utilizada en la química, especialmente en aplicaciones de cromatografía y espectrometría (Tenenhaus, 1998), donde el número de longitudes de onda que caracteriza a los espectros son por lo general muy grandes en comparación con el número de observaciones.

El objetivo de la PLS es predecir una variable  $Y$  a partir de una matriz de variables  $X$  y describir su estructura común. Si el número de variables independientes que componen la matriz  $X$  es muy grande en comparación con las observaciones, una regresión múltiple estándar no es suficiente para lograr esta tarea, debido al riesgo de singularidad y multicolinealidad de  $X$ . PLS busca un conjunto de componentes, llamado vectores latentes, que proporciona una descomposición simultánea de  $X$  y  $Y$ , con la condición de que esos componentes explican lo mejor posible la covarianza entre  $X$  y  $Y$  (Zamora, 2013). La principal novedad de PLS es preservar la asimetría de la relación entre las variables independientes  $X$  y las variables dependientes  $Y$  de pronóstico, mientras que otras técnicas la tratan simétricamente (Torres y Bertrand-Krajewski, 2008).

#### **2.5.3.2 Utilización del método PLS**

El método de PLS fue utilizado en el presente trabajo para determinar y seleccionar la mejor relación (ecuación 6) entre valores de absorbancia  $X(N, n_x)$  proporcionadas por las longitudes de onda de los espectrómetros UV-Vis y las concentraciones de determinantes  $y(n, 1)$  de  $n$  muestras analizadas. La ecuación 6 muestra la estimación de  $y$  a partir de los

valores de absorbancia del espectro UV-Vis ( $x$ ) a  $N_{VI}$  longitudes de onda ( $N_{VI} < n_x$ ), y  $\varepsilon$  es el residuo de dicha estimación (Zamora, 2013).

$$y = k + \sum_{i=1}^{N_{VI}} b_i \cdot X_i + \varepsilon$$

**Ecuación 6.**

La principal ventaja de la regresión PLS es proporcionar una relación (ecuación 7.), al tiempo que se maximiza la covarianza entre  $y$  y  $X$  describiendo su estructura común a las estructuras de estas variables.

$$y = X \cdot b + f$$

**Ecuación 7.**

Donde  $b$  es el vector que contiene los coeficientes de la regresión PLS,  $f(N, 1)$  el vector de los residuos entre las predicciones y los valores observados.

La etapa clave de este método es reducir la matriz  $X(N, n_x)$  a una matriz  $T(N, n_T)$ , donde las  $n_T$  columnas de  $T(n_T < n_x)$  son combinaciones lineales de las columnas de  $X$ , como se presenta en la ecuación 8.

$$T = X \cdot W$$

**Ecuación 8.**

Donde  $W(n_x, n_T)$  es la matriz de pesos. Contiene los coeficientes de las combinaciones lineales.

Las columnas de la matriz  $T$  se denominan vectores latentes ( $n_T = N_{VL}$ ). Si  $n_T$  es igual al rango de la matriz  $X$ ,  $T$  proporciona una descomposición exacta de  $X$ .

Por lo tanto, es posible escribir  $y$  y  $X$  siguiendo la ecuación 9 y 10

$$X = T \cdot P + R$$

**Ecuación 9.**

$$y = T \cdot q + f$$

**Ecuación 10.**

Donde  $R(N, n_x)$  es la matriz de residuos asociada a la predicción  $X$ ,  $f(N, 1)$  es el vector de residuos asociado con la predicción  $y$ .

La descomposición simultánea de  $X$  y  $y$  es iterativa y está descrita por las ecuaciones 11 y 12 para  $x$  y  $y$  respectivamente.

$$X = t_1 \cdot p_1 + t_2 \cdot p_2 + \dots + t_k \cdot p_k + R_k$$

**Ecuación 11.**

$$y = t_1 \cdot q_1 + t_2 \cdot q_2 + \dots + t_k \cdot q_k + f_k$$

**Ecuación 12.**

En el paso  $k + 1$ , el vector latente  $t_{k+1}$ , el vector  $p_{k+1}$  y el número  $q_{k+1}$ , se calculan a partir de residuos de  $R_k$  y  $f_k$  del paso anterior, de acuerdo con la ecuación 13.

$$t_{k+1} = R_k \cdot W_{k+1}$$

**Ecuación 13.**

$q_{k+1}$  Se calcula mediante una regresión lineal simple entre  $f_k$  y  $t_{k+1}$ . Del mismo modo, las regresiones lineales  $n_X$  se realizan entre cada columna de  $R_k$  y  $t_{k+1}$ , para calcular  $R_{k+1}$  y  $p_{k+1}$ .

La estimación de  $y$  en el modelo puede escribirse como:

$$y = X \cdot [W \cdot (P \cdot W)^{-1} \cdot q] + f$$

**Ecuación 14.**

Este proceso iterativo se detiene cuando la varianza entre los valores estimados y reales es satisfactoria.

### 2.5.3.3 Aplicación del método PLS al presente trabajo de grado

Teniendo como datos de entrada la tabla que contiene las concentraciones de SST y DQO obtenidas en laboratorio con los respectivos espectros calculados por el espectrómetro UV-Visible (Longitud de onda vs Absorbancia) fuera de línea (ver anexo C), para cada una de las muestras tomadas durante el evento dos en el punto de muestreo donde se ubicó la sonda, se proponen los siguientes pasos para realizar una calibración mediante el modelo PLS y estimar las concentraciones en continuo de SST y DQO adaptadas a las series de tiempo.

- a. Se realizar un modelo PLS para SST teniendo como base las concentraciones y absorbancias arrojadas por el espectrómetro UV-Visible a partir de las muestras analizadas.
- b. Se hace uso de la función *predict* (numeral 2.4.1.1.5).
- c. Estimar el valor de  $r^2$  (coeficiente de correlación) y RMSE (ver ecuación 1) para SST.



- d. Realizar un modelo PLS para DQO teniendo como base las concentraciones y absorbancias arrojadas por el espectrómetro UV- Visible a partir de las muestras analizadas.
- e. Se hace uso de la función *predict* según ajuste para modelo para DQO.
- f. Se estima el valor de  $r^2$  (coeficiente de correlación) y RMSE de la regresión para DQO
- g. Se calculan los coeficientes de corrección para cada uno de los indicadores de contaminación SST y DQO. Estos coeficientes de corrección son aplicados a los datos de absorbancia para cada una de las longitudes de onda registradas.
- h. Aplicar los coeficientes a las series obtenidas en la medición en continuo para cada uno de los eventos, obteniendo así valores de concentraciones para cada indicador de contaminación en continuo. Para este procedimiento se tienen como datos iniciales: Las matrices que en su interior contienen los valores de absorbancia para cada una de las longitudes de onda en cada uno de los eventos (uno y dos).

Para el anterior procedimiento descrito se realizó un programa en lenguaje R que permitía desarrollar el procedimiento para obtener los resultados anteriormente establecidos (ver anexo F).

Para comparar todos los modelos anteriormente propuestos se realizaron dos programas (ver anexo G) uno para cada evento que permitía incluir todos los métodos analizados anteriormente para así realizar una comparación directa entre cada uno de ellos. El programa consistía en incluir todos los modelos propuestos para posteriormente generar una gráfica que permitiría visiblemente la comparación entre cada uno de ellos.

## **2.5.4 Método para analizar masas contaminantes**

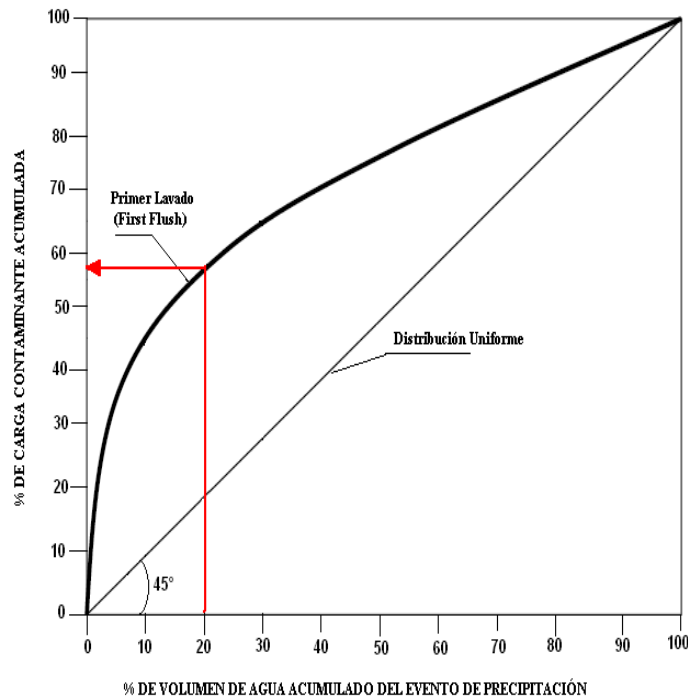
A continuación se hará la descripción del fenómeno el primer lavado para análisis de masas contaminantes.

### **2.5.4.1 Fenómeno del primer lavado**

Existen diferentes definiciones del primer lavado. A continuación se mostrarán algunas definiciones propuestas por diferentes autores (Torres, 2004):

- a. Definición basada en concentraciones pico iniciales: Varios autores (cfr. Thornton y Saul, 1987) han llamado el efecto del primer lavado al hecho de que una concentración pico más o menos significativamente ocurre al comienzo de eventos lluviosos. El volumen de primer lavado correspondería al volumen vertido durante el periodo de concentración pico. Desafortunadamente la concentración pico es relativa.

- b. Definición EPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY): La definición de primer lavado se basa en una comparación directa entre dos concentraciones. El volumen  $V_p$ , correspondiente al primer lavado, se calcula determinándose la concentración base ( $C_b$ ), que corresponde a la concentración media del contaminante en tiempo seco  $V$  y es igual a la integral de caudal  $Q(t)$  entre el tiempo  $t_1$  donde  $C(t)$  es mayor a  $C_b$  y el tiempo  $t_2$  donde  $C(t)$  se torna menor de  $C_b$ . Sin embargo, la desventaja que tiene esta definición es que si la concentración  $C(t)$  es mayor a  $C_b$  durante un largo periodo, se necesitaría la intercepción de una gran proporción de volumen total.
- c. Definición FNDAE (Fonds National Pour Le Développement des Adductions d'eau): FNDEA define como el primer lavado aquel volumen correspondiente al volumen que pasa a través del sistema de alcantarillado durante el tiempo de lavado ( $T_r$ ). Esta definición se fundamenta en la hipótesis de que el primer lavado contiene la parte principal de la carga contaminante para ser interceptada.
- d. Definición de Geiger (1987): se basa en la construcción de la gráfica del porcentaje de la carga contaminante acumulada durante el evento en función del porcentaje acumulado del volumen de agua del evento de precipitación (ver ilustración 16). El primer lavado ocurre cuando la pendiente de la curva es mayor que cuarenta y cinco grados ( $45^\circ$ ). La línea de  $45^\circ$  (bisectriz) representa el caso en el cual la concentración de contaminantes presentes permanece constante a través del evento de precipitación.



**Ilustración 16. Representación del Primer Lavado (First Flush)-Geiger (1987)**

- e. Definición de Gupta y Saul(1996): Definen el primer lavado como aquella parte de la lluvia por encima de la divergencia máxima entre el porcentaje acumulado de masa contaminante y el porcentaje acumulado de volumen graficado contra el porcentaje acumulado de tiempo.
- f. Definición de Bertrand-Krajewski et al (1998): Proponen el método llamado “primer lavado 30/80”, que es puramente cualitativo: por lo menos el 80% de la masa contaminante es transportada en el 30% inicial del volumen. Los valores de 30 y 80 fueron escogidos arbitrariamente. Las ventajas de este método son: Es explícito y fácil y permite el cálculo del fenómeno de manera no cualitativa. La siguiente ilustración nos muestra la localización de una curva  $M(V)$  en la cual puede ser definida la intensidad del primer lavado: zona 1=fuerte, zona 2= medio y zona 3,4,5 y 6= despreciable

#### **2.5.4.2 Método construido para el análisis de masas contaminantes SST y DQO**

Para el desarrollo del método se hizo necesario tener la evolución temporal del caudal para cada uno de los eventos monitoreados, información que fue suministrada por el grupo de Investigación Ciencia e Ingeniería del Agua y el Ambiente. Se tienen como datos iniciales la tabla correspondiente a caudal (ver anexo D) la cual contiene valores de caudal almacenados cada minuto durante el evento uno y la tabla (ver anexo E) la cual almacena los valores de caudal cada minuto para el evento dos. Partiendo de estos datos se plantea el siguiente procedimiento para llegar a un análisis del fenómeno de primer lavado.

Para el desarrollo de este método se tomaron las series corregidas para cada indicador de contaminación de acuerdo a la calibración por PLS.

- a. De acuerdo a los datos suministrados de caudal (l/s) *versus* tiempo (min) y los datos obtenidos de acuerdo a las correcciones en las series de tiempo para cada indicador de contaminación de acuerdo al modelo PLS, concentración (mg/l) *versus* tiempo (min), se realiza un diagrama de Flujo másico (M) en mg/s que corresponde al producto del caudal con la concentración a lo largo del tiempo.
- b. Para el cálculo de la masa total de contaminación que corresponde al área bajo la curva del diagrama de flujo másico, se realiza un programa que halle el total de masa (área total bajo la curva de flujo másico) para cada uno de los cada indicador de contaminación en cada evento.
- c. Se registra un valor de masa cada minuto para así tener la masa acumulada a lo largo del tiempo.
- d. De acuerdo a los datos suministrados de caudal *versus* tiempo se halla el volumen de agua para un intervalo de tiempo de un minuto y posteriormente se construye un gráfico que permita ver el volumen acumulado a lo largo de todo el evento lluvioso.
- e. Teniendo los datos de volumen para cada evento y volumen total acumulado, masa para cada evento y masa total acumulada para cada indicador de

contaminante se realizan los gráficos correspondientes a porcentaje de masa y porcentaje de volumen a lo largo del tiempo de duración del evento.

- f. Por último se realiza un gráfico que relacione el porcentaje de volumen versus porcentaje de masa para poder analizar posteriormente si existe o no fenómeno de primer lavado durante los eventos monitoreados a partir del criterio propuesto por Bertrand-Krajewski et al (1998).

Se creó un programa que permite desarrollar lo descrito anteriormente (ver anexo H). Se tiene como datos de entrada la tabla suministrada para cada evento de caudal *versus* tiempo. Para el procedimiento anterior se usan los datos de concentración de las series corregidas a partir de la PLS, fue seleccionado este método ya que mostro ser el mejor comparados con los ya mencionados en este trabajo de grado.

## **CAPÍTULO 3**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

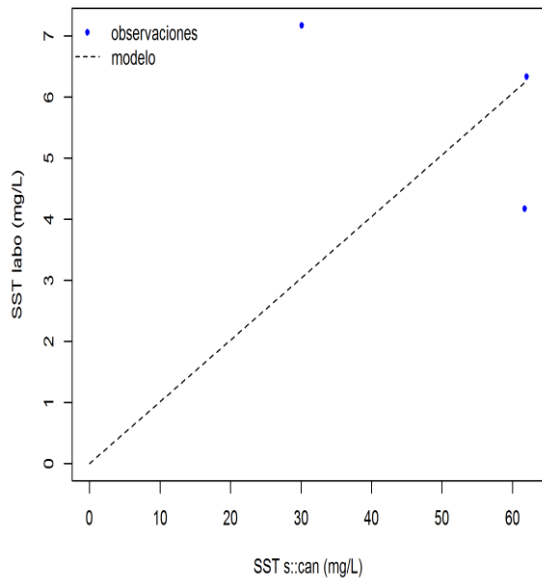
Se instrumentó la entrada del sistema Humedal-Construido/Tanque-Regulador mediante la tecnología de medición en continuo UV-Visible para detectar indicadores de contaminación como Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Además se calibró la sonda a partir de pocas muestras (tres), aplicando tres metodologías diferentes: calibración a partir de los datos de laboratorio, calibración a partir de los espectros de absorbancia para las muestras puntuales y calibración a partir del método PLS (Partial Least Squares). Estas metodologías permitieron observar la variación de los indicadores de contaminantes (SST y DQO) en dos eventos diferentes, vale la pena aclarar que para esto no se tuvo en cuenta la incertidumbre.

A continuación se muestran los resultados de las metodologías exploradas que permitieron cuantificar las concentraciones de SST y de DQO. En primer lugar se mostraron los resultados de la calibración a partir de los datos obtenidos en laboratorio (método propuesto en el numeral 2.5.1), posteriormente se mostraron los resultados de la calibración a partir de los espectros calculados por el espectrómetro UV-Visible (método propuesto en el numeral 2.5.2), consecutivamente se presentan los resultados de calibración a través de mínimos cuadrados parciales (PLS) (resultados del método propuesto en el numeral 2.5.3) y finalmente se presentan los resultados de método construido para el análisis de masas contaminantes.

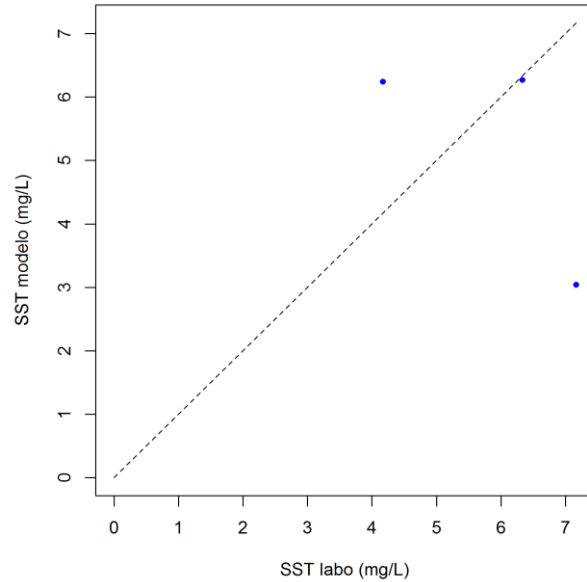
#### **3.1 Resultados de la calibración a partir de los datos obtenidos en laboratorio (resultados del método propuesto en el numeral 2.5.1):**

Al aplicar el método propuesto en el numeral 2.5.1 se obtuvieron los siguientes resultados:

Se construyó un modelo lineal a partir de los datos obtenidos en laboratorio y en campo correspondientes a los Sólidos Suspendidos Totales (SST) pero solamente usando los valores del evento dos en el afluente correspondiente a la cuenca del edificio de parqueaderos puesto que, era el único punto de muestreo que contaba con más datos. Se realizaron dos gráficas: una en la que en el eje de las abscisas se representa el valor de los SST obtenidos con el espectrómetro y en el eje de las ordenadas se presentan los valores obtenidos en laboratorio (ver ilustración 17) y otra en la que en el eje de las abscisas se representa el valor de los SST obtenidos en el laboratorio y en el eje de las ordenadas se presentan los valores del modelo (ver ilustración 18).



**Ilustración 17. Gráfica calibración para SST.**  
Fuente: Autor



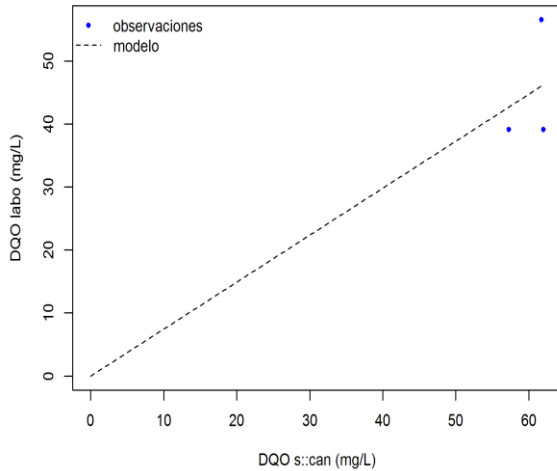
**Ilustración 18. Gráfica SST modelo vs. SST labo.** Fuente: Autor

Luego se calculó  $r^2$  (coeficiente de correlación), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y la corrección para los valores de SST y se obtuvo lo siguiente:

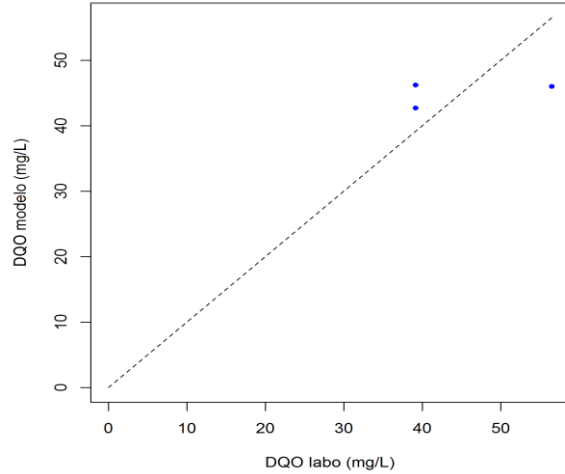
- ✓  $r^2=0.503$
- ✓ RMSE=2.665
- ✓ Corrección SST=0.101

Posteriormente se realizó el mismo procedimiento para Demanda Química de Oxígeno (DQO) (ver Ilustración 19 e Ilustración 20) donde también se calculó el  $r^2$  (coeficiente de correlación), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y la corrección pero para los valores de DQO con lo cual se obtuvo:

- ✓  $r^2=0.208$
- ✓ RMSE=7.599
- ✓ Corrección DQO=0.746

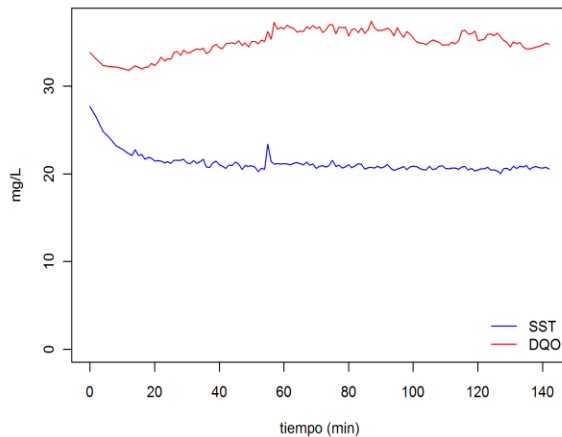


**Ilustración 19. Gráfica calibración para DQO.**  
Fuente: Autor

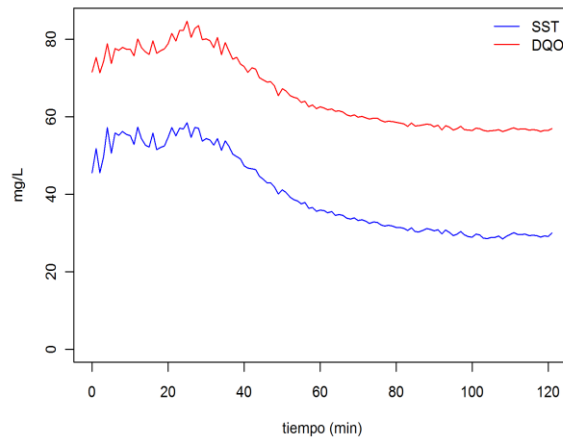


**Ilustración 20. Gráfica DQO modelo vs DQO labo**  
Fuente: Autor.

Consecutivamente se graficaron las series originales para cada uno de los eventos, en donde en cada una de estas graficas (Ilustración 21 e Ilustración 22) en el eje de las abscisas se representa el tiempo en minutos y en el eje de las ordenadas se presentan los valores de SST (mg/L) y de DQO (mg/L) obtenidos en la medición en continuo para el evento uno y para el evento dos respectivamente.



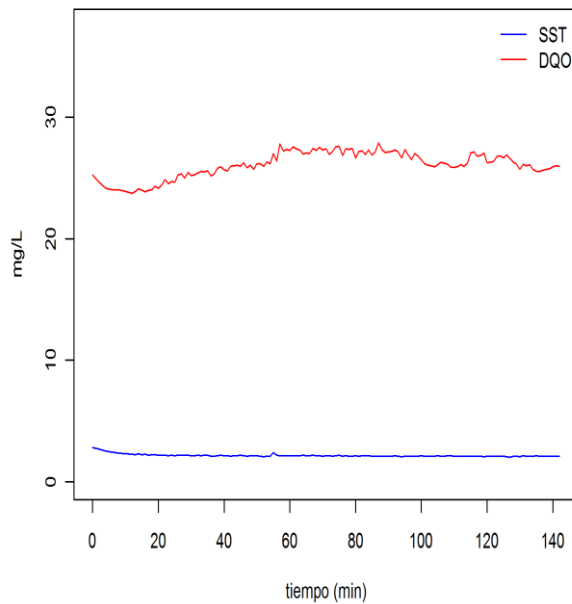
**Ilustración 21. Gráfica series originales de DQO y SST para el evento uno**  
Fuente: Autor.



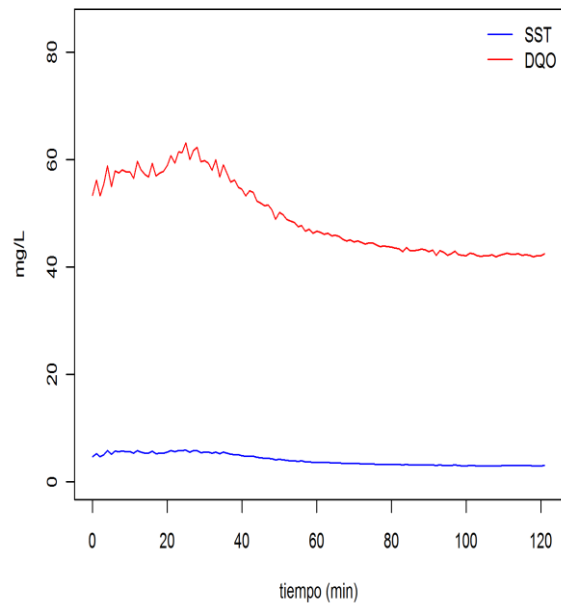
**Ilustración 22. Gráfica series originales DQO y SST para el evento dos**  
Fuente: Autor.

Como producto de la aplicación del método propuesto, se corrigieron los valores de SST y de DQO por medio de las correcciones encontradas para cada uno de los indicadores de contaminantes en cada uno de los eventos. Por lo tanto, se graficó los valores de SST afectados por su factor de corrección (KSST) y de la serie de datos de DQO afectados por su factor de corrección (KDQO) en el tiempo. Es decir, se graficó en el eje de las abscisas el tiempo en minutos y en el eje de las ordenadas la concentración de los indicadores de contaminantes (SST y DQO) corregidas tanto para el evento uno como para el evento

dos. Dentro de cada una de estas gráficas, la línea azul representa los valores de SST (mg/L) y la línea roja los valores correspondientes a DQO (mg/L) (ver Ilustración 23 e Ilustración 24).



**Ilustración 23. Gráfica serie de SST y de DQO en el tiempo corregida para el evento uno**  
Fuente: Autor



**Ilustración 24. Gráfica serie de SST y de DQO en el tiempo corregida para el evento dos.**  
Fuente: Autor.

Resulta interesante observar que a pesar de contar con pocas muestras para realizar una calibración como la que se propuso en este capítulo fue posible corregir los indicadores de contaminantes (SST y DQO) a partir de una calibración realizada en base de los datos de laboratorio y los valores de SST y DQO que arroja el espectrómetro por defecto.

Se puede observar en la Ilustración 21 cómo los valores de DQO varían en un rango aproximado de 30 mg/L a 40 mg/L en el evento uno y al aplicar el método propuesto se observa en la Ilustración 23 que los valores comienzan a variar en un rango aproximado de 25 mg/L a 30 mg/L. Esto mismo sucede con los valores obtenidos para SST (ver Ilustración 22 y 24).

Además, se observa (ver Ilustración 23 y 24) que en ambos eventos predominan las concentraciones de DQO donde para el evento uno varían en un rango aproximado de 25 mg/L a 30 mg/L y para el evento dos varían en un rango aproximado de 40 mg/L a 60 mg/L. Por lo tanto se puede afirmar que en el evento dos se presentó mayor cantidad de DQO que para el evento uno. Por otro lado se puede observar que se presentan bajas concentraciones de SST para ambos eventos y que también a lo largo del tiempo las concentraciones analizadas disminuyen.

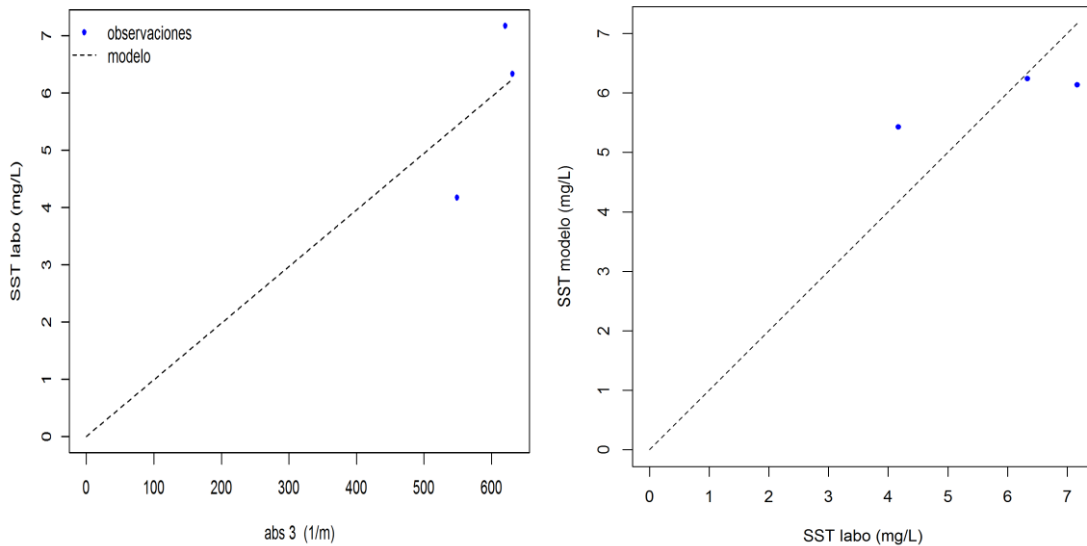


### 3.2 Resultados de la calibración a partir de los espectros calculados por el espectrómetro UV-Visible spectro::lyser-s::can (resultados del método propuesto en el numeral 2.5.2) :

Al aplicar el método propuesto en el numeral 2.5.2 se obtuvo como resultado lo siguiente:

Para los valores de SST la longitud de onda que presentó una mayor correlación es la longitud de onda tres (3) y para DQO la longitud de onda sesenta (60).

A partir de esto se realizó un modelo lineal entre la longitud de onda encontrada anteriormente para los valores de SST y los datos obtenidos en laboratorio. De esta forma se generó una gráfica en la que en el eje de las abscisas se representa la absorbancia (1/m) y en el eje de las ordenadas se presentan los valores de SST obtenidos en laboratorio (mg/L) (ver Ilustración25). Además se generó una gráfica en la que en el eje de las abscisas se representa el valor de los SST (mg/L) obtenidos en el laboratorio y en el eje de las ordenadas se presentan los valores del modelo (mg/L) (ver Ilustración26).



**Ilustración 25. Gráfica absorbancia (1/m) y ilustración 26. Gráfica de SST obtenidos en laboratorio Fuente: Autor. Laboratorio y el modelo Fuente: Autor.**

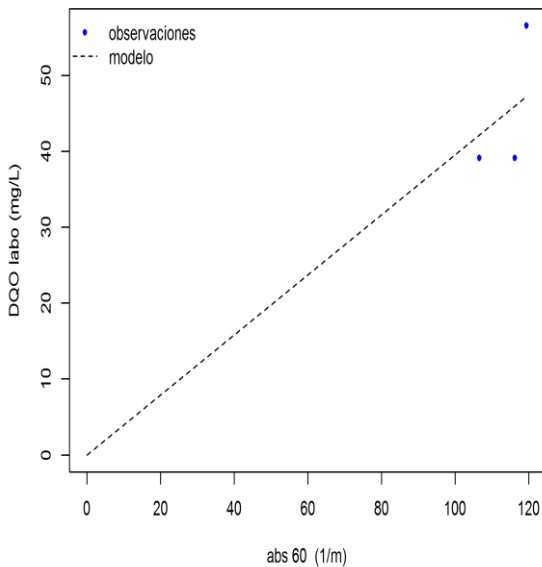
De las anteriores gráficas podemos ver como este modelo se ajusta mejor a los datos que el método de calibración a partir de los datos de laboratorio. Sin embargo, no todos los puntos de muestreo se encuentran sobre la bisectriz pero si muy cercanos a ella, teniendo en cuenta que en el punto monitoreado solo se tomaron tres muestras podemos ver que a partir de pocas muestras sí es posible calibrar un espectrómetro UV-visible como el usado en este trabajo de grado, generando modelos muy eficientes como el que se puede observar en la Ilustración 26.

Además se calculó el  $r^2$  (coeficiente de correlación), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y la corrección para SST obteniéndose de este modo lo siguiente:

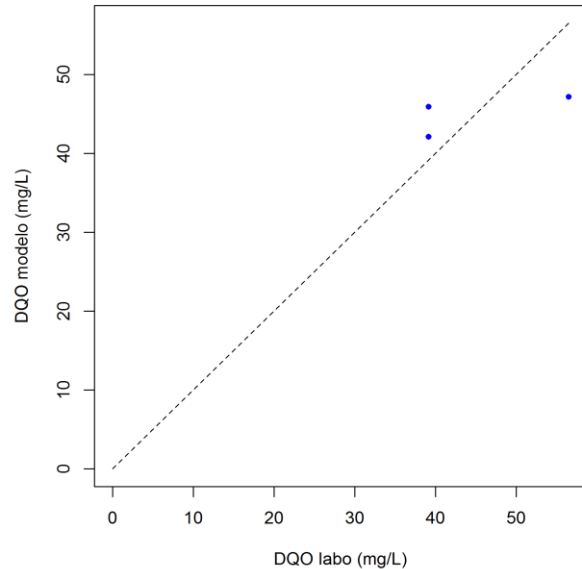
$$\checkmark r^2=0.854$$

- ✓ RMSE=0.942
- ✓ correccionSST2=0.00989

Se realizó el mismo procedimiento para DQO, es decir, se realizó un modelo lineal entre la longitud de onda que más presentó correlación para los valores de DQO y los datos obtenidos en laboratorio con lo cual se creó una gráfica en la que en el eje de las abscisas se representa la absorbancia (1/m) y en el eje de las ordenadas se presentan los valores de DQO obtenidos en laboratorio (mg/L) (ver Ilustración 27). Conjuntamente se creó una gráfica en la que en el eje de las abscisas se representa el valor de DQO (mg/L) obtenidos en el laboratorio y en el eje de las ordenadas se presentan las valores del modelo (mg/L) (ver Ilustración 28).



**Ilustración 27. Gráfica de la Calibración para DQO**  
Fuente: Autor.



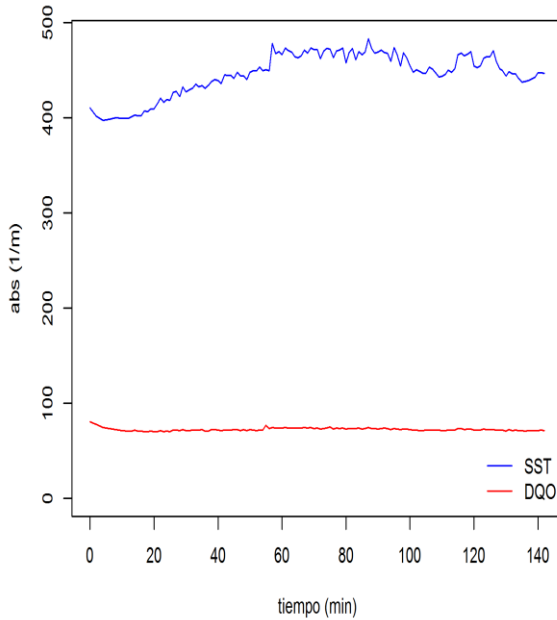
**Ilustración 28. Gráfica DQO modelo vs DQO labo**  
Fuente: Autor.

Para el modelo anteriormente generado que corresponde a DQO podemos ver como la correlación de los datos con respecto al modelo de SST (como se puede observar en la Ilustración 28) desmejora, ya que, para el modelo de SST la bisectriz sí toca uno de los puntos mientras que en el modelo que se generó para los valores de DQO la bisectriz pasa muy cerca de los puntos pero no por ninguno de ellos (ver Ilustración 12). Se espera entonces una mejor predicción de las series de tiempo para SST que para DQO.

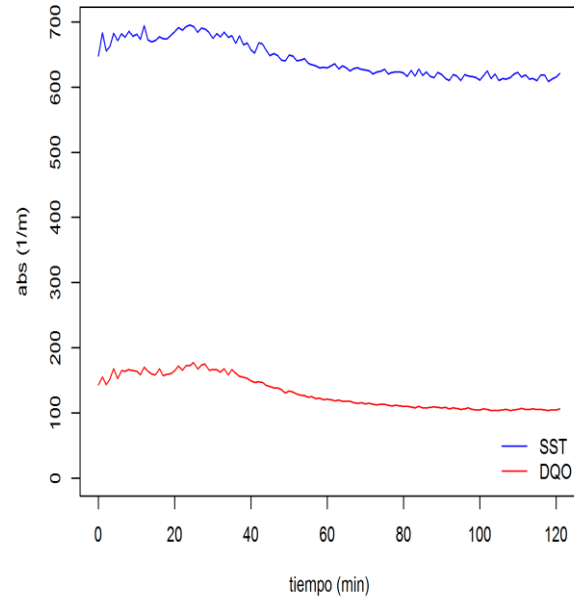
Posteriormente, se calculó  $r^2$  (coeficiente de correlación), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y la corrección para los valores de DQO obteniéndose como resultado lo siguiente:

- ✓  $R^2=0.478$
- ✓ RMSE=6.890
- ✓ correccionDQO2=0.395279.

Por otro lado se graficaron las series originales de SST y de DQO tanto para el evento uno como para el evento dos en las que en el eje de las abscisas se representa el tiempo en minutos y en el eje de las ordenadas se presentan los valores de las absorbancias para SST (1/ m) y DQO (1/ m) obtenidos en la medición en continuo para cada evento. Dentro de estas gráficas la línea azul representa los valores de SST y la línea roja los valores correspondientes a DQO (ver Ilustración 29 y 30).



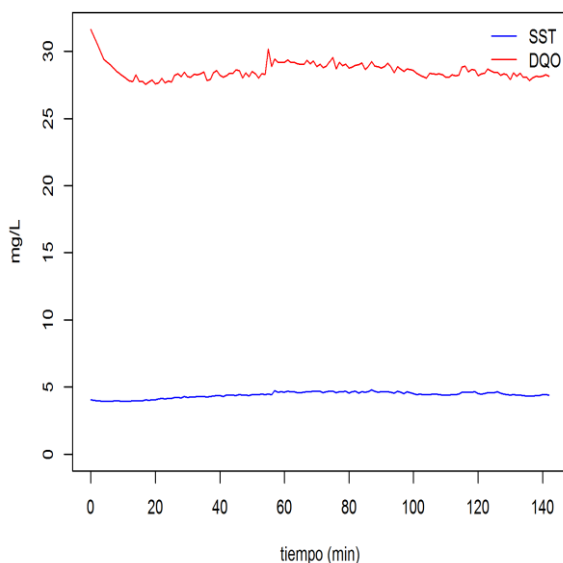
**Ilustración 29. Gráfica de Absorbancia (1/m) contra tiempo para el evento uno. Fuente: Autor**



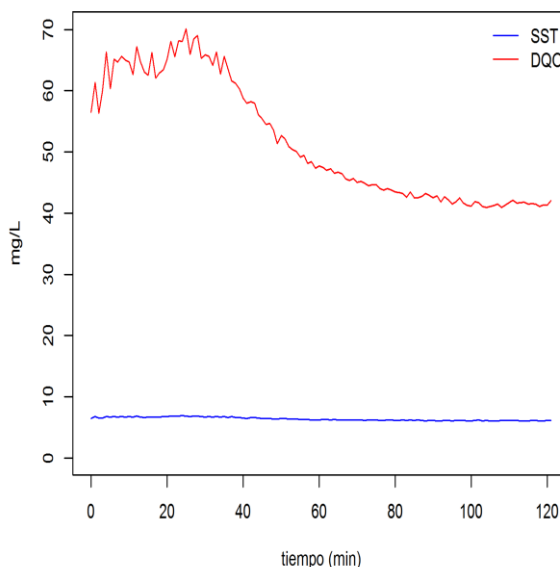
**Ilustración 30. Gráfica de Absorbancia (1/m) contra el tiempo para el evento dos.**

Luego se aplicó la corrección encontrada para cada una de las series de absorbancia del  $\lambda$  más correlacionado para los valores de SST y de DQO respectivamente ( $KSST$  y  $KDQO$ ). De este modo se corrigieron las series de SST y de DQO para cada uno de los eventos como se muestra en la ilustración 31 y en la ilustración 32.

La ilustración 31 es una gráfica en la que en el eje de las abscisas se representa el tiempo en minutos y en el eje de las ordenadas se presentan los valores de SST (mg/L) y DQO (mg/L) obtenidos en la medición en continuo para el evento uno. Dentro de esta gráfica la línea azul representa los valores de SST y la línea roja los valores correspondientes a DQO. La ilustración 32 tiene las mismas características que la ilustración 31 pero se realizó para los valores obtenidos en el evento dos.



**Ilustración 31.**Gráfica de SST y DQO corregidos (mg/L) contra el tiempo (min) para el evento uno  
Fuente: Autor



**Ilustración 32.**Gráfica de SST y DQO corregidos (mg/L) contra el tiempo (min) para el evento dos  
Fuente: Autor.

A partir de estas graficas se puede afirmar que se encontraron mejores resultados con el método propuesto en este capítulo que con la calibración a partir de los datos obtenidos en laboratorio ya que los RMSE evaluados por esta metodología son menores. En esta metodología se presenta un error de 0.942 para SST y un error de 6.890 para DQO mientras que con la calibración a partir de los datos obtenidos en laboratorio se presenta un error de 7.599 tanto para SST como para DQO.

Por lo tanto al aplicar las correcciones calculadas en este capítulo para los datos obtenidos en el evento uno, se puede observar que las concentraciones de SST pasan de variar en un rango aproximado entre 400 mg/L a 500 mg/L (Ilustración 29) a variar en un rango aproximado de 2.5 mg/L a 5 mg/L (Ilustración 31); donde para las concentraciones de DQO sucede lo mismo, puesto que los valores originales obtenidos por el espectrómetro en campo varían de 0 mg/L a 100 mg/L (Ilustración 29) y al aplicar la metodología propuesta se logran obtener valores de DQO que varían en un rango aproximado de 27 mg/L a 30 mg/L (ilustración 31). Esto mismo sucede en el evento dos ya que al aplicar las correcciones que se obtienen con la calibración a partir de los espectros, se presentan valores alrededor de 5 mg/L (Ilustración 30) de SST mientras que los valores originales se presentaban en un rango que varía entre 600 mg/L y 700 mg/L. Igualmente sucede con los valores de DQO puesto que, originalmente variaban en un rango de 100 mg/L a 200 mg/L (Ilustración 30) y al aplicar las correcciones a la serie de datos se obtienen valores de DQO que varían en un rango de 40 mg/L a 70 mg/L (ilustración 32).

De este modo se puede afirmar que la información generada por el conjunto de absorbancias capturadas por el s::can generan resultados mucho más satisfactorios que los valores de los indicadores de contaminantes (SST y DQO) que arroja el s::can por defecto. Es decir, que el modelo lineal realizado a partir de los espectros capturados generan resultados más precisos que describen mejor el comportamiento del sistema

Humedal-Construido/Tanque-Regulador analizado en este trabajo que el modelo realizado a partir de los datos de laboratorio con los datos de SST y de DQO medidos por el espectrómetro (ver Ilustración 23 y 24).

Además se observa que los resultados de la calibración a partir de datos de laboratorio se presenta (para ambos eventos) mayores concentraciones de DQO que de SST donde ambos indicadores de contaminación van disminuyendo a medida que aumenta el tiempo de monitoreo.

### 3.3 Resultados Método de calibración a través de mínimos cuadrados parciales (PLS) (resultados del método propuesto en el numeral 2.5.3):

A continuación se presentan los resultados a partir de la aplicación el método propuesto en el numeral 2.5.3 para obtener una calibración a partir del modelo PLS y posteriormente aplicado a las series de tiempo proporcionadas por el espectrómetro UV-Visible:

Se realizan los modelos PLS para cada uno de los indicadores de contaminación SST y DQO, posteriormente se generan las predicciones de los resultados de las diversas funciones de ajuste del modelo para SST y para DQO, y se tienen como resultados de estos modelos las siguientes gráficas: la gráfica que se muestra en la ilustración 33 la cual muestra la predicción del modelo para SST (SSTp) en función de las concentración de SST obtenidas en laboratorio (SSTlabo) y la gráfica que se muestra en la ilustración 34 donde se muestra la predicción del modelo para DQO (DQOp) en función de las concentraciones obtenidas en laboratorio para DQO.

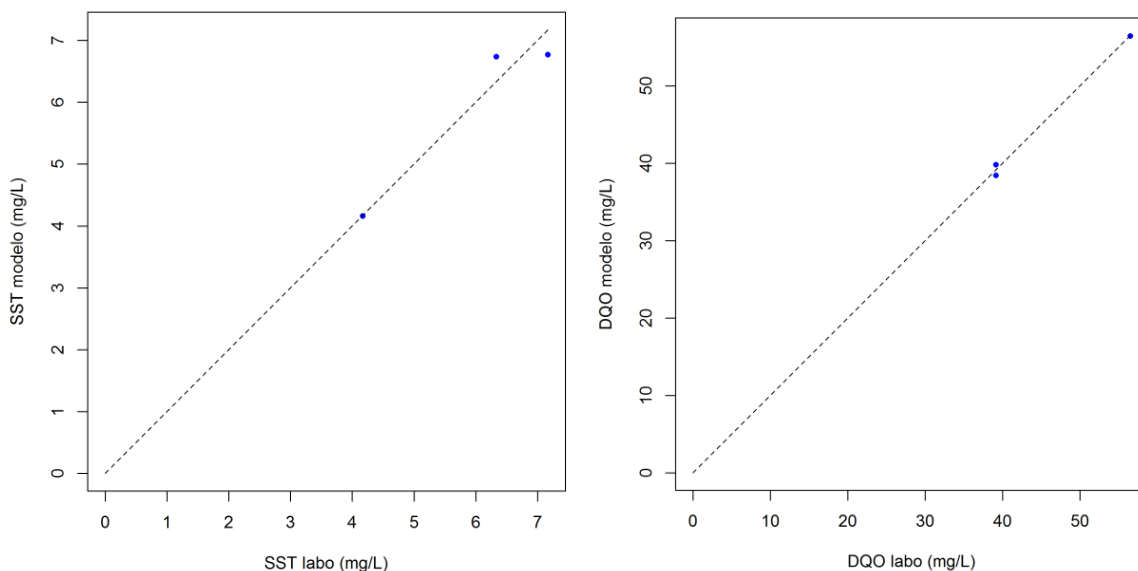


Ilustración 33. Gráfica de SST laboratorio (mg/l) en función de SST modelo (mg/l). Ilustración 34. Gráfica de DQO laboratorio (mg/l) en función de DQO modelo (mg/l)

De las anteriores gráficas podemos ver como el modelo PLS se ajusta mejor a los datos que los métodos de calibración anteriormente vistos sin embargo no todos los puntos de muestreo se encuentran sobre la bisectriz pero si muy cercanos a ella, teniendo en cuenta que en el punto monitoreado solo se tomaron tres muestras podemos ver que a partir de estas muestras si es posible generar un modelo eficiente que se ajuste a las series de tiempo partiendo de poca cantidad de muestras.

Para el modelo de DQO podemos ver como mejora la correlación de los datos con respecto al modelo de SST. La cercanía de los puntos con respecto a la bisectriz es mínima y se puede esperar una mejor predicción de las series de tiempo para DQO que para SST.

Para SST se calcula  $r^2$  (coeficiente de correlación), RMSE (ver ecuación 1), y los coeficientes de corrección para cada longitud de onda :

- ✓  $R^2=0.933$
- ✓  $RMSE=0.326$
- ✓ Coeficientes de corrección para cada longitud de onda ver tabla 2

I 1	0.00309491	I 31	-0.00058714	I 61	-0.00053222	I 91	-0.00030861	I 121	-0.00024035	I 151	-0.00020499	I 181	-0.00020135	I 211	-0.00020102
I 2	0.00356417	I 32	-0.00058738	I 62	-0.00052412	I 92	-0.00030639	I 122	-0.00023645	I 152	-0.00020643	I 182	-0.00020274	I 212	-0.00020042
I 3	0.00389969	I 33	-0.00058501	I 63	-0.00051931	I 93	-0.00030358	I 123	-0.00023545	I 153	-0.00021008	I 183	-0.00020109	I 213	-0.0001958
I 4	0.00378057	I 34	-0.0005838	I 64	-0.00051273	I 94	-0.00029786	I 124	-0.00023797	I 154	-0.00020893	I 184	-0.00020026	I 214	-0.00019722
I 5	0.00354583	I 35	-0.00058347	I 65	-0.00050304	I 95	-0.00029323	I 125	-0.00023624	I 155	-0.00020575	I 185	-0.0002018	I 215	-0.00020297
I 6	0.00341177	I 36	-0.00058078	I 66	-0.00049505	I 96	-0.00028995	I 126	-0.00023159	I 156	-0.00020546	I 186	-0.00020346	I 216	-0.0001982
I 7	0.00328892	I 37	-0.00058243	I 67	-0.00048838	I 97	-0.00028688	I 127	-0.00022705	I 157	-0.00020625	I 187	-0.00020237	I 217	-0.00019391
I 8	0.00304207	I 38	-0.00058186	I 68	-0.00047949	I 98	-0.00028345	I 128	-0.00022509	I 158	-0.00020571	I 188	-0.00020009	I 218	-0.00019699
I 9	0.00259294	I 39	-0.00058061	I 69	-0.0004698	I 99	-0.00027968	I 129	-0.00022918	I 159	-0.00020535	I 189	-0.00019748	I 219	-0.0002065
I 10	0.00204681	I 40	-0.0005835	I 70	-0.00046309	I 100	-0.00027629	I 130	-0.00022691	I 160	-0.00020541	I 190	-0.00020115		
I 11	0.00143138	I 41	-0.00058506	I 71	-0.0004536	I 101	-0.00027509	I 131	-0.00022317	I 161	-0.00020212	I 191	-0.00020719		
I 12	0.00088716	I 42	-0.00059011	I 72	-0.00044221	I 102	-0.00027027	I 132	-0.00022281	I 162	-0.00020304	I 192	-0.00020279		
I 13	0.00053371	I 43	-0.00059718	I 73	-0.0004358	I 103	-0.00026738	I 133	-0.0002238	I 163	-0.00020722	I 193	-0.00019972		
I 14	0.00023855	I 44	-0.00060175	I 74	-0.00042626	I 104	-0.00026869	I 134	-0.0002249	I 164	-0.00020385	I 194	-0.00020477		
I 15	-4.95E-05	I 45	-0.00060544	I 75	-0.00041278	I 105	-0.00026581	I 135	-0.00022231	I 165	-0.00020108	I 195	-0.00020569		
I 16	-0.00025923	I 46	-0.00060849	I 76	-0.00040645	I 106	-0.0002627	I 136	-0.00021655	I 166	-0.00020446	I 196	-0.00020179		
I 17	-0.00039195	I 47	-0.00060728	I 77	-0.00040038	I 107	-0.00025919	I 137	-0.00021473	I 167	-0.00020875	I 197	-0.00019752		
I 18	-0.00046487	I 48	-0.00060424	I 78	-0.00038875	I 108	-0.00025981	I 138	-0.00021573	I 168	-0.00020475	I 198	-0.00019661		
I 19	-0.00050564	I 49	-0.00060258	I 79	-0.00037893	I 109	-0.00025953	I 139	-0.0002166	I 169	-0.00019953	I 199	-0.00020136		
I 20	-0.00053519	I 50	-0.00060199	I 80	-0.0003716	I 110	-0.00025595	I 140	-0.00021757	I 170	-0.00020061	I 200	-0.00020387		
I 21	-0.0005529	I 51	-0.00059736	I 81	-0.00036307	I 111	-0.00025404	I 141	-0.00021634	I 171	-0.00020135	I 201	-0.00020119		
I 22	-0.00056626	I 52	-0.00059083	I 82	-0.00035567	I 112	-0.00025235	I 142	-0.00021312	I 172	-0.00020269	I 202	-0.00019645		
I 23	-0.00057396	I 53	-0.00058506	I 83	-0.0003475	I 113	-0.00025207	I 143	-0.00021116	I 173	-0.00019983	I 203	-0.00019199		
I 24	-0.00057781	I 54	-0.00057829	I 84	-0.00033989	I 114	-0.0002543	I 144	-0.00020995	I 174	-0.00019925	I 204	-0.00019381		
I 25	-0.00057919	I 55	-0.0005724	I 85	-0.00033372	I 115	-0.00025275	I 145	-0.00021066	I 175	-0.00020103	I 205	-0.00019571		
I 26	-0.00057878	I 56	-0.00056548	I 86	-0.00032507	I 116	-0.00024529	I 146	-0.00020742	I 176	-0.00020038	I 206	-0.00020101		
I 27	-0.00058084	I 57	-0.00055884	I 87	-0.00032183	I 117	-0.00024366	I 147	-0.000208	I 177	-0.00019951	I 207	-0.00020196		
I 28	-0.00058256	I 58	-0.00055216	I 88	-0.00032059	I 118	-0.00024475	I 148	-0.00021469	I 178	-0.00019946	I 208	-0.00020027		
I 29	-0.0005836	I 59	-0.00054727	I 89	-0.00031747	I 119	-0.00024087	I 149	-0.0002125	I 179	-0.00019958	I 209	-0.00020084		
I 30	-0.00058554	I 60	-0.00054187	I 90	-0.00031441	I 120	-0.00024016	I 150	-0.00020764	I 180	-0.00019793	I 210	-0.0002007		

**Tabla 2 Coeficientes de corrección para SST en cada longitud de onda de acuerdo a modelo PLS**

Para DQO Se calcula  $r^2$  (coeficiente de correlación), RMSE (ver ecuación 1) y los coeficientes de corrección para cada longitud de onda:

- ✓  $R^2=0.995$
- ✓ RMSE=0.569
- ✓ Coeficientes de corrección para cada longitud de onda ver tabla 3.

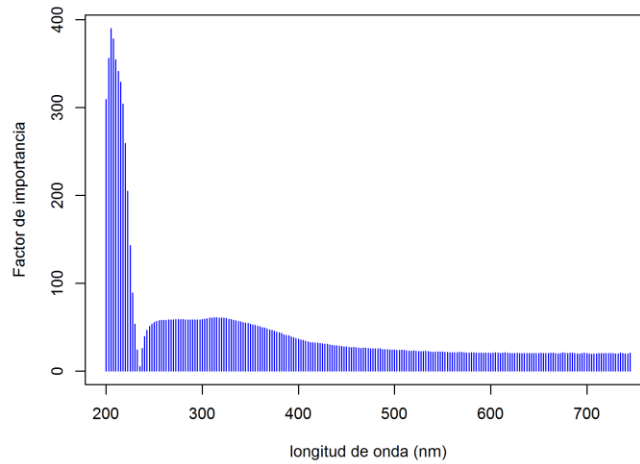
I 1	-0,021307710	I 31	0,002588327	I 61	0,002689386	I 91	0,001449047	I 121	0,001108833	I 151	0,000925959	I 181	0,000953255	I 211	0,000964875
I 2	-0,024350621	I 32	0,002604261	I 62	0,002642360	I 92	0,001438902	I 122	0,001084374	I 152	0,000932579	I 182	0,000965964	I 212	0,000972097
I 3	-0,026432253	I 33	0,002608043	I 63	0,002627043	I 93	0,001429331	I 123	0,001070891	I 153	0,000962583	I 183	0,000953542	I 213	0,000942695
I 4	-0,025807634	I 34	0,002617185	I 64	0,002590649	I 94	0,001393352	I 124	0,001087627	I 154	0,000966767	I 184	0,000936820	I 214	0,000951235
I 5	-0,024451923	I 35	0,002635640	I 65	0,002532160	I 95	0,001367618	I 125	0,001086882	I 155	0,000951249	I 185	0,000942050	I 215	0,000927773
I 6	-0,023615559	I 36	0,002644466	I 66	0,002494003	I 96	0,001354035	I 126	0,001062366	I 156	0,000942681	I 186	0,000954874	I 216	0,000964847
I 7	-0,023059588	I 37	0,002674642	I 67	0,002459114	I 97	0,001338259	I 127	0,001031617	I 157	0,000937952	I 187	0,000947581	I 217	0,000932063
I 8	-0,021547983	I 38	0,002687451	I 68	0,002410970	I 98	0,001318730	I 128	0,001017246	I 158	0,000938697	I 188	0,000942652	I 218	0,000944257
I 9	-0,018722363	I 39	0,002699888	I 69	0,002359073	I 99	0,001292022	I 129	0,001050774	I 159	0,000940460	I 189	0,000937422	I 219	0,001011271
I 10	-0,015286181	I 40	0,002734864	I 70	0,002319799	I 100	0,001278324	I 130	0,001042392	I 160	0,000943641	I 190	0,000966566		
I 11	-0,011280788	I 41	0,002761243	I 71	0,002265666	I 101	0,001276103	I 131	0,001019524	I 161	0,000919340	I 191	0,000986740		
I 12	-0,007698269	I 42	0,002813369	I 72	0,002198064	I 102	0,001248707	I 132	0,001013062	I 162	0,000933195	I 192	0,000949845		
I 13	-0,005332276	I 43	0,002876142	I 73	0,002161283	I 103	0,001234378	I 133	0,001017174	I 163	0,000964460	I 193	0,000943325		
I 14	-0,003333133	I 44	0,002917881	I 74	0,002111263	I 104	0,001242918	I 134	0,001027820	I 164	0,000944615	I 194	0,000975292		
I 15	-0,001375284	I 45	0,002955765	I 75	0,002036440	I 105	0,001224764	I 135	0,001017418	I 165	0,000925472	I 195	0,000974504		
I 16	0,000056769	I 46	0,002988119	I 76	0,001995876	I 106	0,001211711	I 136	0,000978788	I 166	0,000953269	I 196	0,000953713		
I 17	0,000972541	I 47	0,002991085	I 77	0,001958694	I 107	0,001201079	I 137	0,000964789	I 167	0,000974647	I 197	0,000933983		
I 18	0,001492763	I 48	0,002987560	I 78	0,001899073	I 108	0,001201308	I 138	0,000975177	I 168	0,000933797	I 198	0,000938024		
I 19	0,001795393	I 49	0,002991228	I 79	0,001840012	I 109	0,001192339	I 139	0,000989377	I 169	0,000909109	I 199	0,000981998		
I 20	0,002021066	I 50	0,003001057	I 80	0,001791797	I 110	0,001175661	I 140	0,001000066	I 170	0,000931132	I 200	0,000987142		
I 21	0,002160567	I 51	0,002988892	I 81	0,001745258	I 111	0,001172508	I 141	0,000993074	I 171	0,000936118	I 201	0,000960577		
I 22	0,002280582	I 52	0,002961984	I 82	0,001708061	I 112	0,001163481	I 142	0,000968386	I 172	0,000954387	I 202	0,000942623		
I 23	0,002365592	I 53	0,002934616	I 83	0,001660505	I 113	0,001162708	I 143	0,000949300	I 173	0,000935445	I 203	0,000914196		
I 24	0,002415584	I 54	0,002901289	I 84	0,001617606	I 114	0,001177552	I 144	0,000950088	I 174	0,000918938	I 204	0,000919211		
I 25	0,002442966	I 55	0,002877876	I 85	0,001582287	I 115	0,001164943	I 145	0,000955075	I 175	0,000921704	I 205	0,000935832		
I 26	0,002456105	I 56	0,002844247	I 86	0,001533885	I 116	0,001120052	I 146	0,000939758	I 176	0,000930000	I 206	0,000973315		
I 27	0,002486223	I 57	0,002815089	I 87	0,001512665	I 117	0,001122072	I 147	0,000953126	I 177	0,000932550	I 207	0,000978502		
I 28	0,002513017	I 58	0,002781775	I 88	0,001511146	I 118	0,001131959	I 148	0,000994736	I 178	0,000930072	I 208	0,000965233		
I 29	0,002535928	I 59	0,002765613	I 89	0,001499354	I 119	0,001099806	I 149	0,000977370	I 179	0,000927621	I 209	0,000967827		
I 30	0,002564356	I 60	0,002746972	I 90	0,001482504	I 120	0,001100350	I 150	0,000946693	I 180	0,000920543	I 210	0,000964904		

**Tabla 3 Coeficientes de corrección para DQO en cada longitud de onda de acuerdo a modelo PLS**

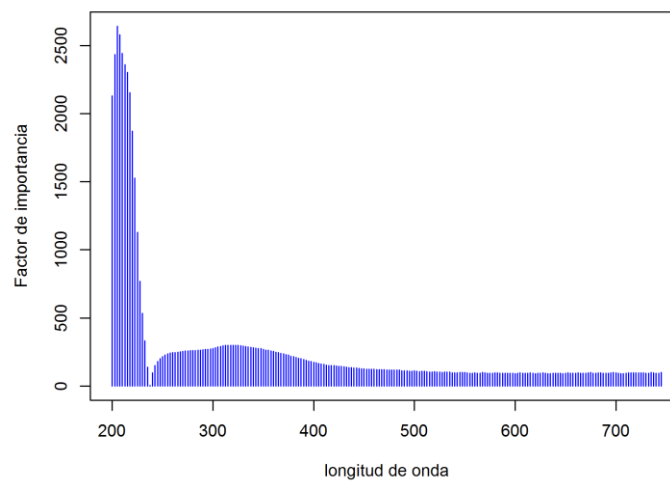
A partir de los coeficientes podemos hacer un análisis del modelo que permite observar de manera clara que espectrometría prevalece para cada uno de los determinantes de contaminación (SST y DQO) ya sea ultravioleta o visible. Se realiza el siguiente procedimiento:

- a. A partir de la tabla 2y 3 para cada valor de los coeficientes se genera el valor absoluto.
- b. A partir de los valores absolutos se establece un coeficiente de 100.000 para multiplicar cada uno de los valores el resultado de este producto es el factor de importancia
- c. Posteriormente se realizan dos gráficas (ver Ilustración 35 y 36) en la que se encuentran las longitudes de onda en función del factor de importancia y nos

permiten determinar la prevalencia de espectrometría para cada uno de los determinantes de concentración SST y DQO.



**Ilustración 35.**Gráfica factor de importancia versus longitud de onda (nm) para SST.Fuente: autor



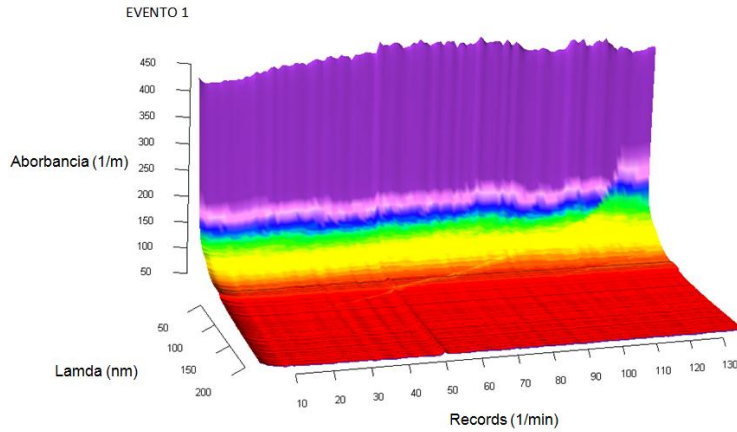
**Ilustración 36**Gráfica del factor de importancia versus longitud de onda (nm) para DQO. Fuente: autor

A partir de las gráficas anteriores podemos ver que las longitudes de onda que prevalecen en el modelo están determinadas entre aproximadamente 200 nm y 240 nm los que nos permite establecer que prevalece la zona UV tanto para SST como para DQO se encuentran dentro de estas longitudes de onda, la parte visible que va desde el rango de 400 nm no prevalece y presenta un coeficiente similar a lo largo de toda la zona hasta la longitud de onda de 750 nm. Estas prevalencias en la espectrometría no se esperaban para SST ya que se podía esperar que se encontraran dentro del rango visible donde normalmente se encuentra este parámetro de contaminación por sus características. Sin embargo para DQO se esperaba que el rango estuviera entre UV por las características que presenta este determinante de contaminación y así se presentó.

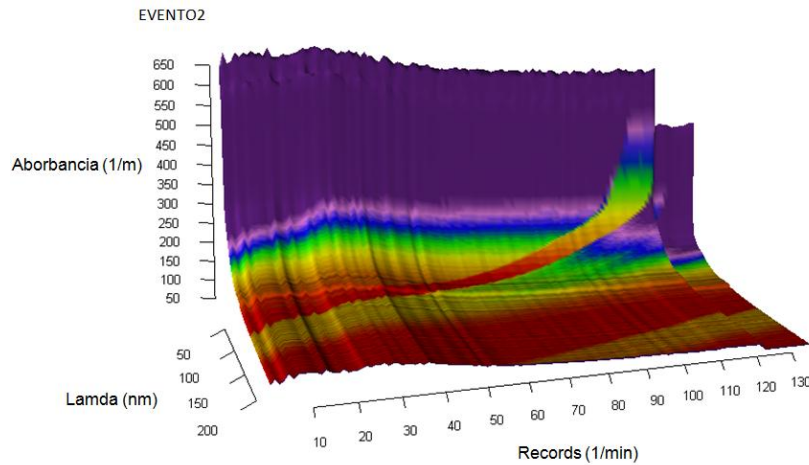
Posteriormente se hace uso de los modelos para cada serie de tiempo original, (las series de tiempo originales graficadas en 3D ver ilustración 37 y 38 evento uno y dos



respectivamente) a partir de los coeficientes de corrección se obtienen las series corregidas para cada evento.

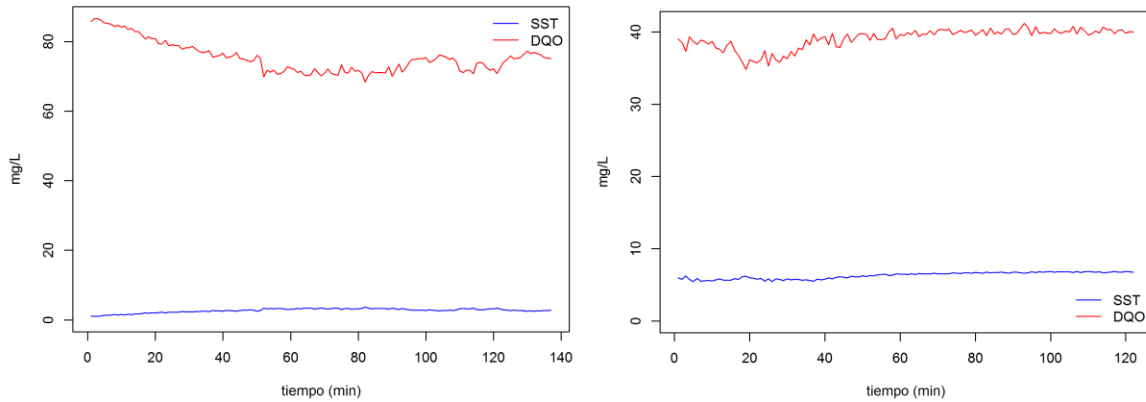


**Ilustración 37 Grafica en 3D para las series de tiempo durante el evento uno.**



**Ilustración 38 Grafica en 3D para las series de tiempo durante el evento dos.**

A partir de la corrección que se genera a las series, se tienen como resultado las gráficas que muestran las concentraciones parámetros de contaminantes a lo largo del tiempo para cada uno de los eventos ver ilustración 39 para evento uno e ilustración 40 para evento dos.



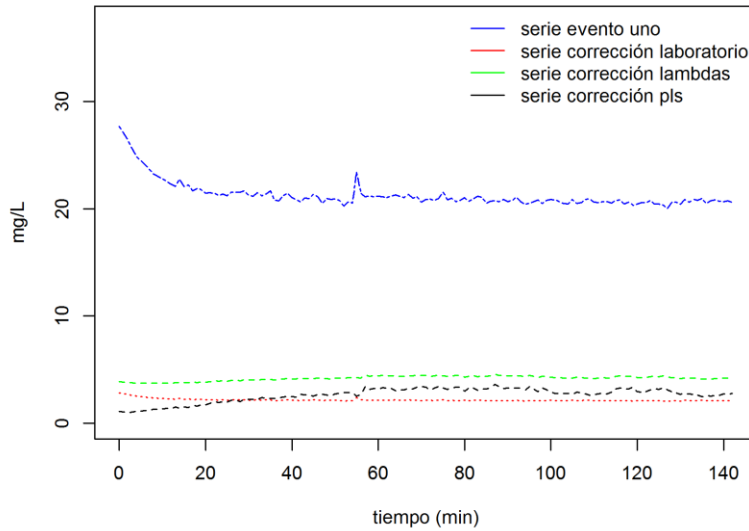
**Ilustración 39. Gráfica concentraciones para el evento uno.** **Ilustración 40. Gráfica concentraciones para el evento dos.**

Como podemos ver en cada uno de los eventos, para el evento uno la prevalencia de SST es mínima y casi imperceptible durante la medición en continuo, sin embargo para el evento dos aunque en magnitudes pequeñas estas concentraciones logran alcanzar valores entre 3 mg y 10 mg. La gran diferencia radica en las concentraciones de DQO mientras que para el evento uno logran alcanzar valores entre 70 mg y 85 mg en el evento dos las concentraciones están entre un rango de 35 mg a 42 mg aproximadamente. Para el evento uno podemos inferir que se presentó gran cantidad de materia orgánica, y la cantidad de SST que quizás se podía esperar fuera de grandes concentraciones debido a las características del agua en el punto de muestreo uno donde llega el afluente correspondiente al edificio de parqueaderos fue mínima y casi imperceptible.

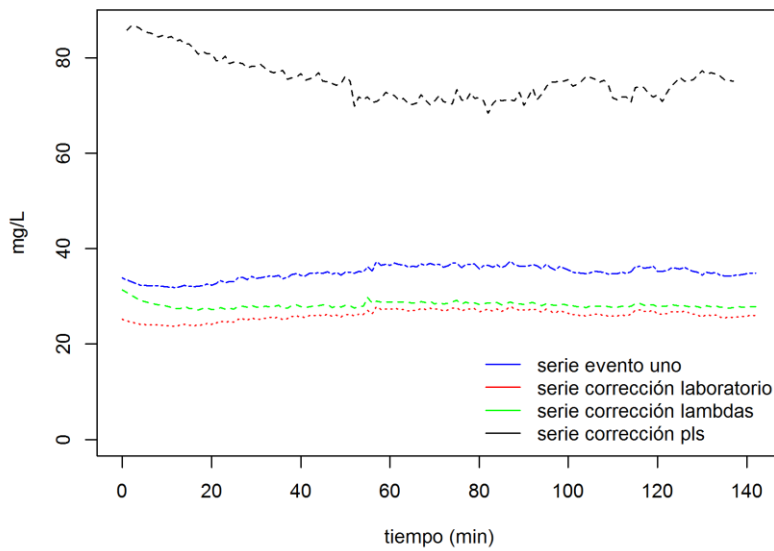
### 3.4 Comparación de las series a partir de los métodos anteriormente analizados

A partir de los métodos de calibración mencionados anteriormente se quiso comparar las series entre sí a partir de la serie original para cada uno de los contaminantes en cada evento, permitiendo así una amplia visualización de cada método.

A continuación se muestran las gráficas correspondientes al primer evento de SST (ilustración 41) y DQO (ver Ilustración 42) para todos los métodos analizados.

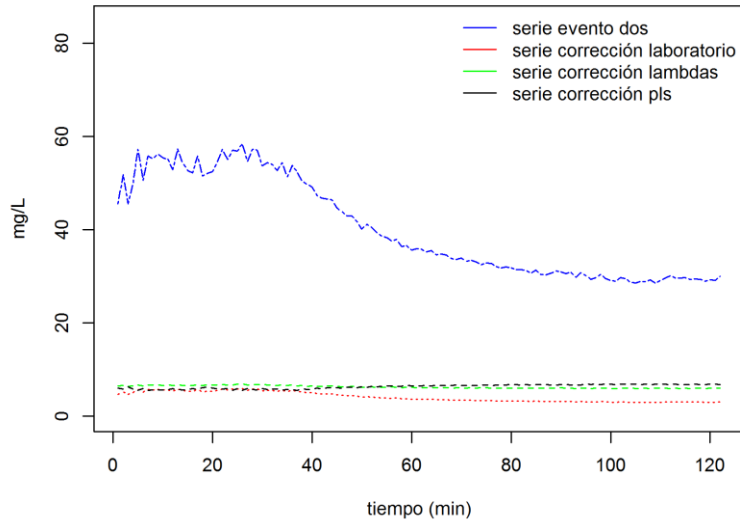


**Ilustración 41. Grafica para la comparación de los modelos aplicados a series de tiempo para SST en el evento uno.**

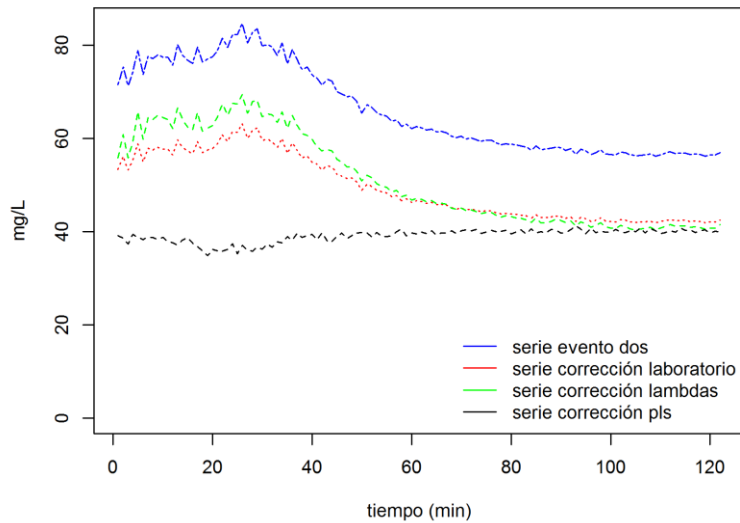


**Ilustración 42. Grafica para la comparación de los modelos aplicados a series de tiempo para DQO en el evento uno**

Para el evento dos se muestran las gráficas correspondientes de SST (ver Ilustración 43) y DQO (ver Ilustración 44) para todos los métodos analizados.



**Ilustración 43. Gráfica para la comparación de los modelos aplicados a series de tiempo para SST en el evento dos**



**Ilustración 44. Gráfica para la comparación de los modelos aplicados a series de tiempo para DQO en el evento dos**

Las gráficas anteriores muestran como varía significativamente las series según cada modelo de calibración, sin embargo se puede observar que no siguen una misma secuencia de calibración. Para cada evento es independiente la corrección en cada uno de los contaminantes SST y DQO, son de naturaleza diferente debido a que no hay una comparación directa una a una en cada una de las calibraciones mientras que el modelo PLS predice una serie de datos a partir de todas las longitudes de onda el modelo original toma simplemente unas de ellas para predecir su modelo.

También podemos ver como el modelo PLS para el evento dos en SST toma los mayores valores de concentración esto se debe a lo ya antes mencionado, las calibraciones no tienen una comparación lineal y pueda que el modelo PLS que toma cada una de las longitudes de onda para generar su modelo presente algunos picos que generan grandes concentraciones en la predicción de su modelo.

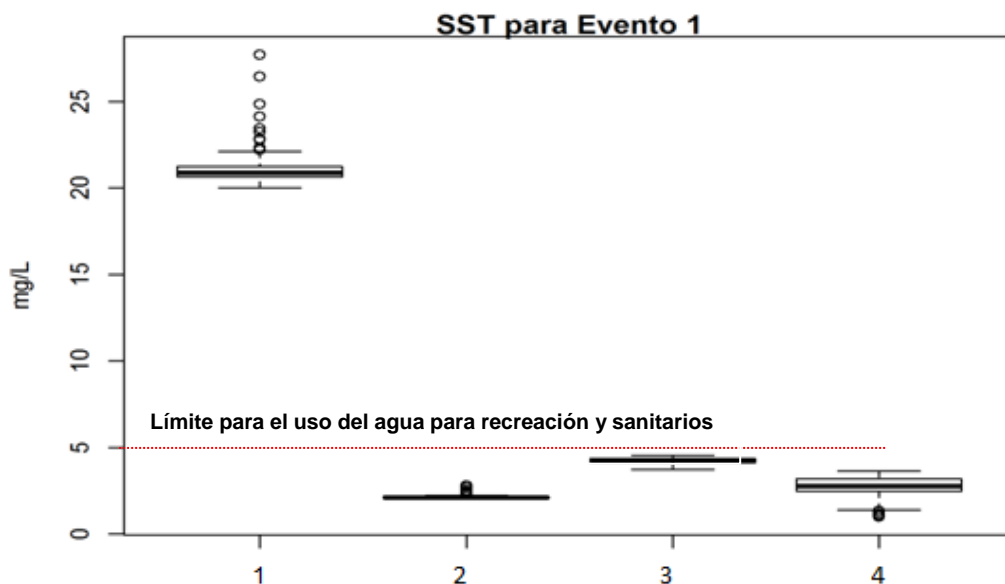
### 3.4.1 Comparación de series a partir de la función BoxPlot

Se desarrollaron cuatro (4) ilustraciones de cajas en el software R por medio de la función *boxplot* (ver anexo K). Este tipo de gráficos estadísticos es una representación gráfica de un conjunto de datos que brinda una impresión visual de la localización, dispersión, grado y dirección del sesgo.

En la ilustración 45 se muestran para el primer evento, la relación entre SST y los valores de SST originales (1), los valores de SST corregidos por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio (2), los valores de SST obtenidos por medio de la calibración a partir de los espectros (3) y los valores de SST obtenidos por medio de la calibración al aplicar un modelo PLS (4). Por medio de la función *summary* (ver anexo K) se calculó el valor mínimo, el cuartil 1, la mediana, el cuartil 3, y el valor máximo para cada una de las calibraciones que se hicieron para los valores de SST del evento uno como se puede ver en la tabla 4.

	SST originales	SST por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio	SST por el método de calibración a partir de los espectros	SST por el método de calibración a partir del modelo PLS
Mínimo	20.02	20.239	3.721	1.006
Cuartil 1	20.645	20.871	4.102	2.466
Mediana	20.866	21.095	4.214	2.755
Cuartil 3	21.242	21.475	4.372	3.193
Máximo	27.688	27.992	4.537	3.622

**Tabla 4. Mínimos, Cuartil 1, Medianas, Cuartil 3 y Máximos para SST en el evento uno calculado a partir de la función *summary*.**



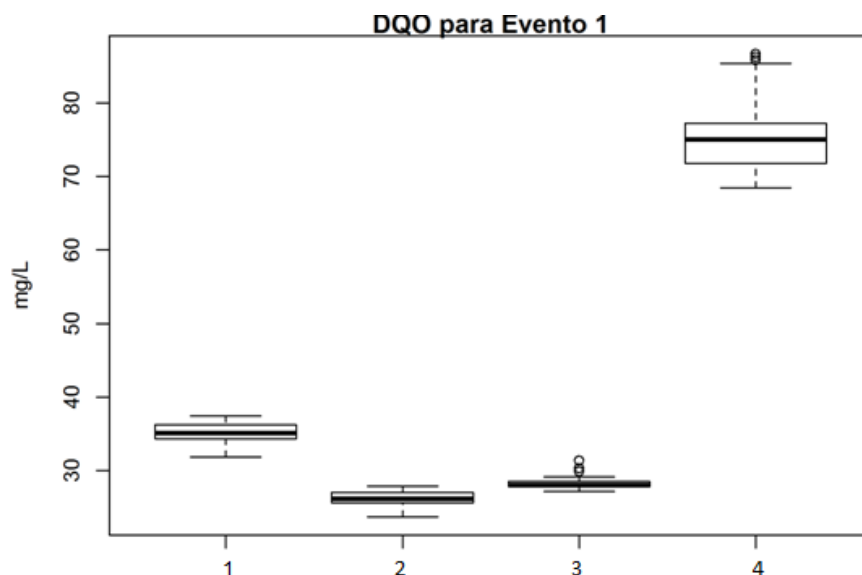
**Ilustración 45.** Relación entre SST para el evento uno y los valores de SST originales (1), los valores de SST corregidos por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio (2), los valores de SST obtenidos por medio de la calibración a partir de los espectros (3) y los valores de SST obtenidos por medio de la calibración al aplicar un modelo PLS (4).

Se puede observar en la tabla 4 que el 50% de los datos varía entre 20.645 mg/L y 21.242 mg/L para la serie de tiempo original esta presenta un valor máximo y mínimo de 27.688 mg/L y 20.02 mg/L; mientras que para la serie de tiempo a partir del modelo PLS el 50% de los datos varían entre 2.461 mg/L y 3.193 mg/L y presenta un valor máximo y mínimo de 1.006 mg/L y 3.622 mg/L. Por otro lado a partir de la tabla 4 se puede observar como las tres calibraciones emiten valores bajos en comparación con los valores de SST de la serie original.

En la ilustración 46 se muestran para el primer evento, la relación entre DQO y los valores de SST originales (1), los valores de DQO corregidos por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio (2), los valores de DQO obtenidos por medio de la calibración a partir de los espectros (3) y los valores de DQO obtenidos por medio de la calibración al aplicar un modelo PLS (4). Al igual que para los valores de SST, por medio de la función *summary* se obtuvo la tabla 5 en donde se muestra el valor mínimo, el cuartil 1, la mediana, el cuartil 3, y el valor máximo para cada una de las calibraciones que se hicieron para los valores de DQO del evento uno.

	DQO originales	DQO por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio	DQO por el método de calibración a partir de los espectros	DQO por el método de calibración a partir del modelo PLS
Mínimo	31.84	23.74	27.21	68.43
Cuartil 1	34.34	25.61	27.82	71.78
Mediana	35.08	26.16	28.02	75.01
Cuartil 3	36.25	27.03	28.49	77.24
Máximo	37.42	27.91	31.34	86.63

**Tabla 5. Mínimos, Cuartil 1, Medianas, Cuartil 3 y Máximos para DQO en el evento uno calculado a partir de la función summary.**



**Ilustración 46.**Relación entre DQO para el evento uno y los valores de DQO originales (1), los valores de DQO corregidos por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio (2), los valores de DQO obtenidos por medio de la calibración a partir de los espectros (3) y los valores de DQO obtenidos por medio de la calibración al aplicar un modelo PLS (4).

Se puede observar en la tabla 5 que el 50% de los datos varía entre 34.34 mg/L y 36.25 mg /L para la serie de tiempo original esta presenta un valor máximo y mínimo de 37.42 mg/L y 31.84 mg/L; mientras que para la serie de tiempo a partir del modelo PLS el 50% de los datos varían entre 71.78 mg/L y 77.24 mg/L y presenta un valor máximo y mínimo de 86.63 mg/L y 68.43mg/L. Por otro lado a partir en la tabla 5 se observa que la calibración a partir de los datos de laboratorio(serie1corrDQO) y la calibración a partir de los espectros (serie1lamdaDQO) presentan valores similares mientras que la calibración por PLS presenta valores mucho más altos.

En la ilustración 47, se muestran para el segundo evento, la relación entre SST y los valores de SST originales (1), los valores de SST corregidos por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio (2), los valores de SST obtenidos por medio de la calibración a partir de los espectros (3) y los valores de SST obtenidos por medio de la calibración al aplicar un modelo PLS (4). Por medio de la función *summary* (ver anexo K)

se calculó el valor mínimo, el cuartil 1, la mediana, el cuartil 3, y el valor máximo para cada una de las calibraciones que se hicieron para los valores de SST del evento dos como se puede ver en la tabla 6.

	SST originales	SST por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio	SST por el método de calibración a partir de los espectros	SST por el método de calibración a partir del modelo PLS
Mínimo	28.457	28.769	58.619	54.523
Cuartil 1	30.436	30.769	59.555	58.367
Mediana	35.709	36.105	60.832	64.799
Cuartil 3	51.717	52.283	65.211	67.097
Máximo	58.470	59.111	68.453	68.561

Tabla 6. Mínimos, Cuartil 1, Medianas, Cuartil 3 y Máximos para SST en el evento dos calculado a partir de la función summary

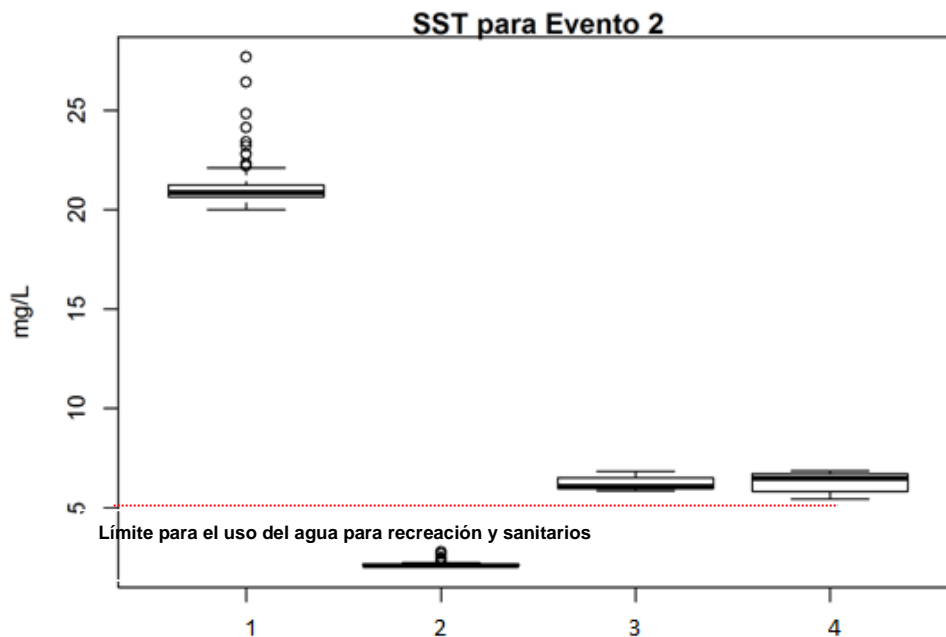


Ilustración 47. Relación entre SST para el evento dos y los valores de SST originales (1), los valores de SST corregidos por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio (2), los valores de SST obtenidos por medio de la calibración a partir de los espectros (3) y los valores de SST obtenidos por medio de la calibración al aplicar un modelo PLS (4).

Se puede observar en la tabla 6 que el 50% de los datos varía entre 30.436 mg/L y 51.717 mg/L para la serie de tiempo original esta presenta un valor máximo y mínimo de 58.470 mg/L y 28.457 mg/L; mientras que para la serie de tiempo a partir del modelo PLS el 50% de los datos varían entre 58.367 mg/L y 67.097 mg/L y presenta un valor máximo y mínimo de 68.561 mg/L y 54.523 mg/L respectivamente. Por otro lado a partir de la tabla 6 se puede observar como las tres calibraciones emiten valores bajos en comparación con



los valores de SST de la serie original; y se observó que para ambos eventos en SST sucede lo mismo con este contaminante.

En la ilustración 48 se muestran para el segundo evento, la relación entre DQO y los valores de SST originales (1), los valores de DQO corregidos por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio (2), los valores de DQO obtenidos por medio de la calibración a partir de los espectros (3) y los valores de DQO obtenidos por medio de la calibración al aplicar un modelo PLS (4). Al igual que para los valores de SST, por medio de la función *summary* se obtuvo la tabla 7 en donde se muestra el valor mínimo, el cuartil 1, la mediana, el cuartil 3, y el valor máximo para cada una de las calibraciones que se hicieron para los valores de DQO del evento dos.

	DQO originales	DQO por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio	DQO por el método de calibración a partir de los espectros	DQO por el método de calibración a partir del modelo PLS
Mínimo	56.22	41.93	40.34	34.80
Cuartil 1	57.55	42.92	41.92	38.54
Mediana	62.21	46.39	46.84	39.68
Cuartil 3	75.96	56.65	61.83	40.02
Máximo	84.66	63.14	69.47	41.20

Tabla 7. Mínimos, Cuartil 1, Medianas, Cuartil 3 y Máximos para DQO en el evento dos calculado a partir de la función *summary*.

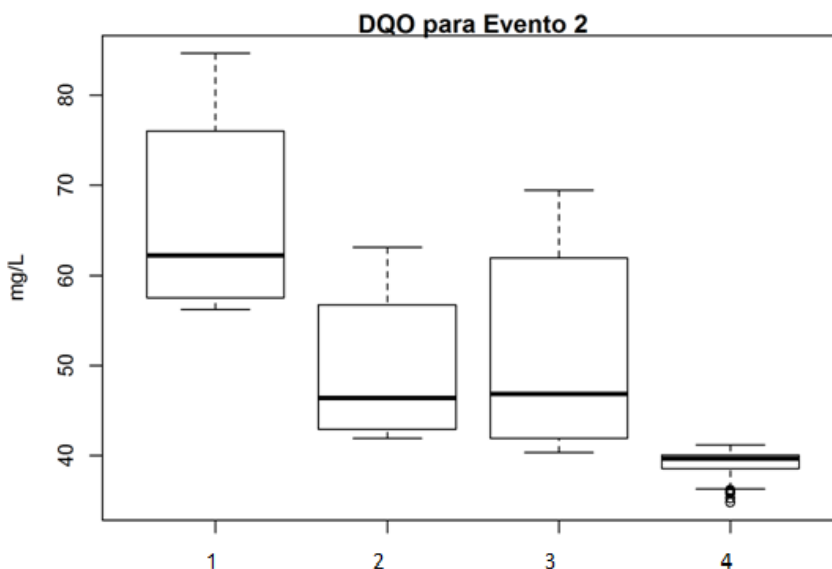


Ilustración 48. Relación entre DQO para el evento dos y los valores de DQO originales (1), los valores de DQO corregidos por el método de calibración a partir de los datos de laboratorio (2), los valores de DQO obtenidos por medio de la calibración a partir de los espectros (3) y los valores de DQO obtenidos por medio de la calibración al aplicar un modelo PLS (4).

Se puede observar en la tabla 7 que el 50% de los datos varía entre 57.55 mg/L y 75.96 mg /L para la serie de tiempo original esta presenta un valor máximo y mínimo de 84.66 mg/L y 56.22 mg/L; mientras que para la serie de tiempo a partir del modelo PLS el 50% de los datos varían entre 38.54 mg/L y 40.02 mg/L y presenta un valor máximo y mínimo de 41.2 mg/L y 34.8 mg/L. Por otro lado a partir de la tabla 7 se observa que al igual que en el evento uno, la calibración a partir de los datos de laboratorio (serie1corrDQO) y la calibración a partir de los espectros (serie1lamdaDQO) presentan valores similares. Sin embargo en este evento la calibración por PLS presenta valores más bajos que la otra calibración mientras que en el evento uno la calibración por PLS presentó valores altos en comparación con las otras calibraciones.

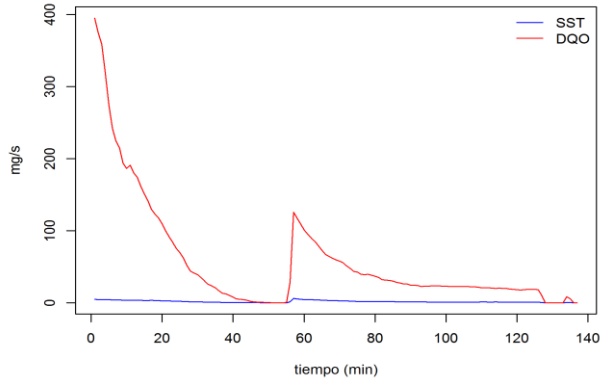
Es importante destacar la importancia que tiene calibrar los espectrómetros UV-visibles utilizados para analizar aguas lluvias ya que como se observa en las anteriores ilustraciones al calibrar se obtienen valores diferentes para SST en comparación con los valores medidos originalmente por el espectrómetro, lo que puede generar grandes diferencias en los usos del agua.

Por ejemplo, según EPA (*EPA, 2004*) el agua que presente un valor menor de 5 mg/L en el indicar de contaminante de SST se puede usar para recreación y sanitarios. A partir de la ilustración 45 podemos observar que este tipo de agua puede tener el uso anteriormente mencionado ya que gracias a las tres calibraciones aplicadas para los valores de SST en el evento uno, el agua puede tener el uso anteriormente mencionado. Mientras que si se observa la ilustración 47 únicamente si nos basáramos en la calibración a partir de los datos de laboratorio, el agua analizada en el evento dos si podría usarse para recreación y sanitarios pero si nos basáramos en la calibración a partir del modelo PLS, que fue el que arrojó mejores resultado, podemos observar que los valores de SST corregidos por este método son mayores a 5 mg/L, por lo tanto el agua no puede usarse. Además, se dificultarían las labores de mantenimiento si no se corrigieran los valores de los indicadores de contaminantes puesto que las labores tendrían que hacerse más seguido, por lo tanto como se puede observar es vital realizar las correcciones ya que como se observó se tomarían decisiones muy diferentes a sí no se hicieran.

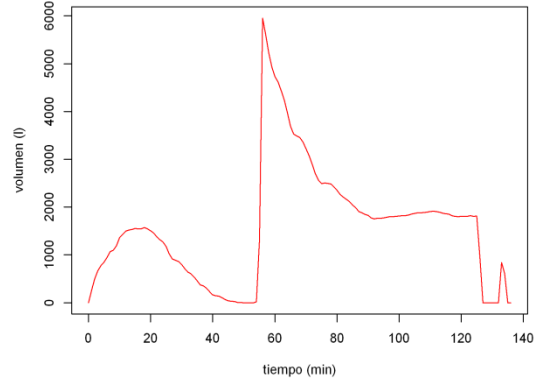
### **3.5 Resultados del Análisis de masa contaminantes (método numeral 2.5.4.2).**

De acuerdo al procedimiento descrito en el numeral 2.5.4.2 para cada uno de los eventos analizados se tiene como resultados las siguientes gráficas que muestran la evolución para la determinación de si se presentó o no fenómeno de primer lavado, para la realización de este método se creó un programa en el que se especifican todos los procedimientos a seguir para la construcción de curvas M (V) a partir de concentración y datos de caudal.

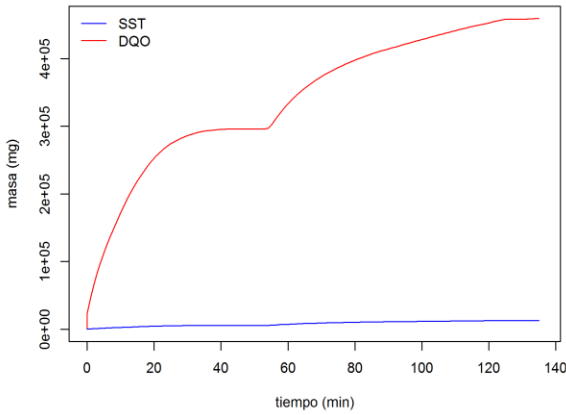
### 3.5.1 Evento Uno



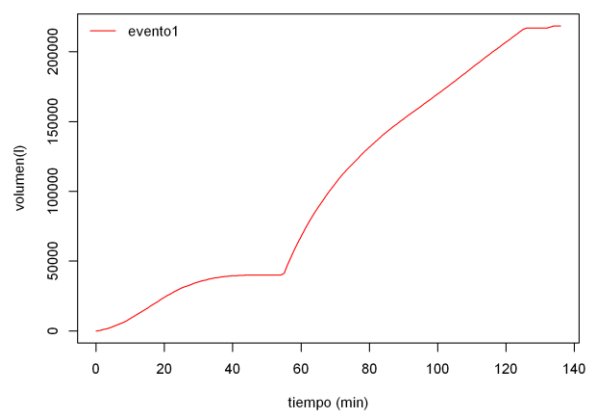
**Ilustración 49. Flujo másico para cada parámetro de contaminación SST y DQO**



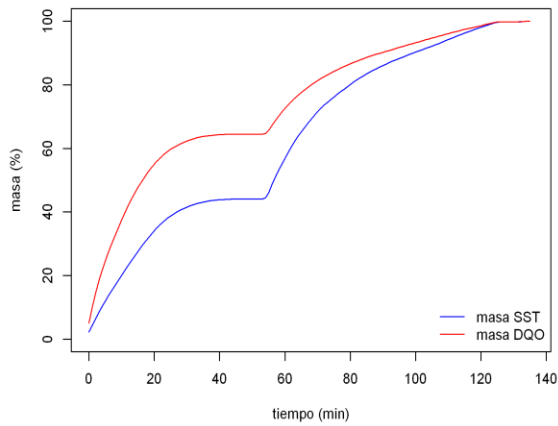
**Ilustración 50. Volumen en función del tiempo**



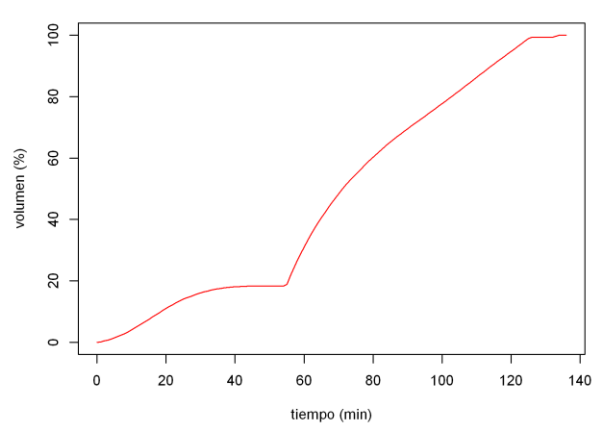
**Ilustración 51. Masa acumulada durante el evento lluvioso para SST y DQO**



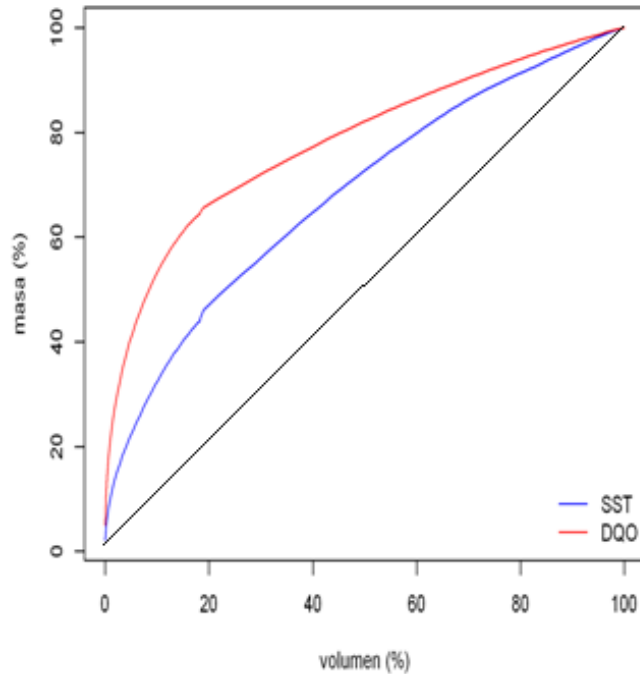
**Ilustración 52. Grafica volumen acumulado a lo largo del evento**



**Ilustración 53. Grafica porcentaje de masa acumulada para SST y DQO**



**Ilustración 54. Grafica porcentaje de volumen acumulado**



**Ilustración 55. Grafica porcentaje de la carga contaminante acumulada durante el evento uno para SST y DQO versus el porcentaje acumulado volumen**

En la gráfica de flujo másico (ver ilustración 49) se puede ver claramente que desde el momento que comenzó la medición hubo una gran masa contaminante con respecto a DQO que fue disminuyendo y aproximadamente una hora después de empezar el monitoreo se volvió a presentar una subida en cuanto la masa de contaminación. De acuerdo a la descripción de esta grafica se podría esperar que se presentara fenómeno de primer lavado ya que en los primeros minutos de medición se presentó una gran cantidad de masa contaminante en la cual se basa el método del primer lavado. Se observe que la cantidad de masa contaminante de acuerdo a SST es relativamente mínima con la que se presentó para DQO lo cual nos puede indicar que podría presentarse un primer lavado de mayor importancia para DQO que para SST.

El cálculo del volumen y volumen acumulado se obtuvo de los datos de caudal suministrados por el grupo de Investigación Ciencia e Ingeniería del agua y el ambiente correspondiente.

De acuerdo a la gráfica correspondiente a la cantidad de masa acumulada se podría esperar que se presentara fenómeno de primer lavado para DQO debido a la gran cantidad de masa que pasa desde el minuto 0 al minuto 20 posteriormente se observa una linealidad hasta el minuto 60 luego se puede inferir que se presenta una nueva precipitación fuerte que hace que otra gran cantidad de masa entre en el sistema no tan notable como al principio del evento pero si de consideración.

El porcentaje de masa acumulada se determina a través de la masa total para cada uno de los determinantes de contaminación SST y DQO:

- ✓ Masa total de SST = 12748.28 mg
- ✓ Masa total de DQO = 459420 mg

La ilustración 50 muestra el volumen que pasa por el punto de muestreo 1 a lo largo del tiempo durante el evento lluvioso. Podemos inferir que la gran precipitación se presentó durante una hora después de comenzar las mediciones en continuo en la cual en el minuto 60 se presentó gran cantidad de volumen en el punto de muestreo. Se puede esperar que durante estos minutos haya ocurrido el fenómeno del primer lavado debido al gran arrastre de agua.

El porcentaje de volumen acumulado se determina mediante el valor de volumen total que pasa por el punto de muestreo:

- Volumen total que pasa por el punto uno durante el evento= 218470.4 litros

Posteriormente y para realizar el análisis de si existe o no fenómeno de primer lavado se realiza la construcción de la gráfica del porcentaje de la carga contaminante acumulada durante el evento *versus* el porcentaje acumulado del volumen de agua del evento de precipitación ver Ilustración 55.

A partir del método analizado para primer lavado en el numeral 2.3.5 podemos observar que la pendiente de la curva para la gráfica anterior presenta mayor valor a  $45^\circ$  lo cual indica que existe un fenómeno de primer lavado según el método Geiger (1987). Se Presenta una curva M(V) con mayor pendiente para DQO, que era lo esperado a partir de las gráficas de masa acumulada en las cuales se observaba que las concentraciones de DQO eran mayores con respecto a SST.

Según la definición para primer lavado de la FNDAE (Fonds National Pour le Développement des Adductions D'EAU) se considera que existe primer lavado significativo cuando el espacio máximo entre la curva M(V) y la bisectriz es mayor a 0,2 , en este caso en particular la distancia corresponde aproximadamente a 0,5 para DQO y 0.22 para SST lo que nos permite establecer que se presentó primer lavado para ambos parámetros de contaminación.

Según la definicion de Bertrand-Krajewski et al (1998), el primer lavado descrito para este trabajo de grado durante el evnto uno se encuentra en la zona 2 lo que nos indica que el espacio entre la curva M(V) y la bisectriz es positivo medio que representa un fenómeno de primer lavado medio.

### 3.5.2 EVENTO DOS

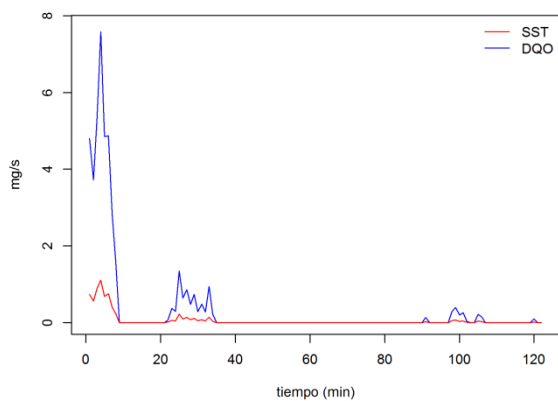


Ilustración 56 Gráfica flujo másico para cada contaminante SST y DQO

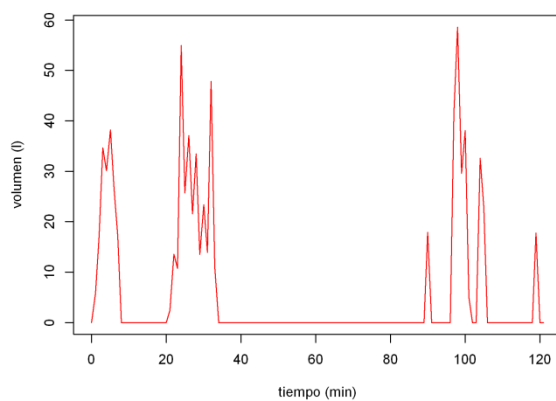


Ilustración 57 Gráfica volumen en función del tiempo

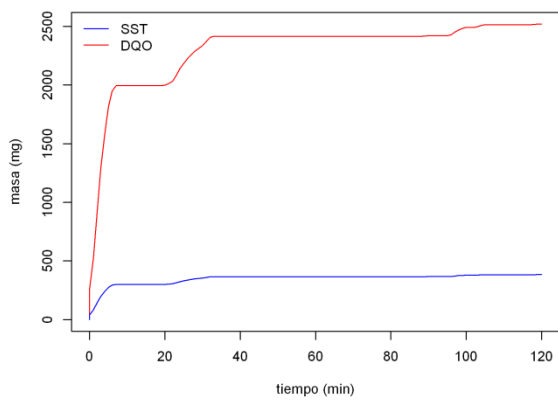


Ilustración 58 Gráfica masa acumulada para SST y DQO

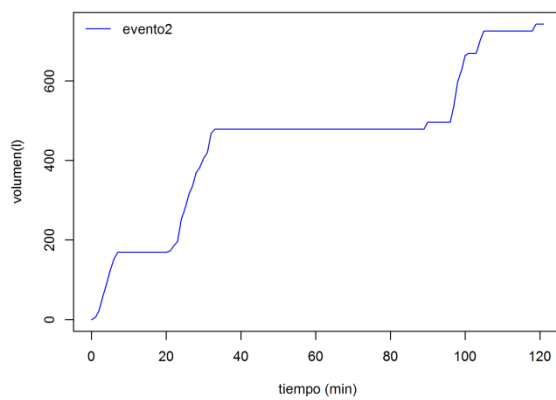


Ilustración 59 Gráfica volumen acumulado

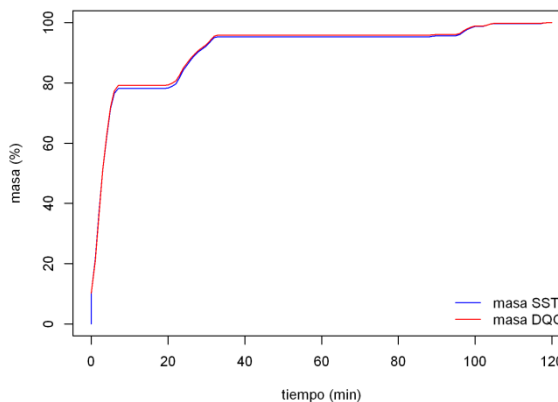


Ilustración 60 Gráfica porcentaje de masa acumulada para SST y DQO

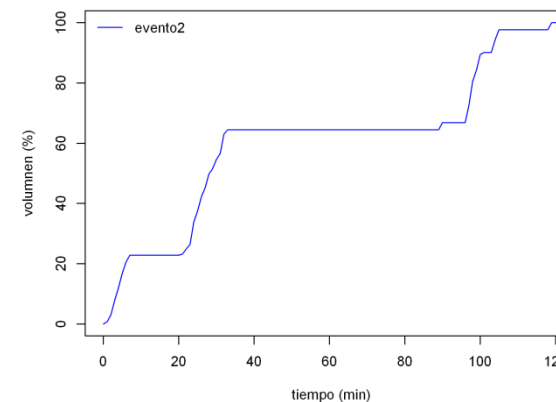


Ilustración 61 Gráfica porcentaje de volumen acumulado

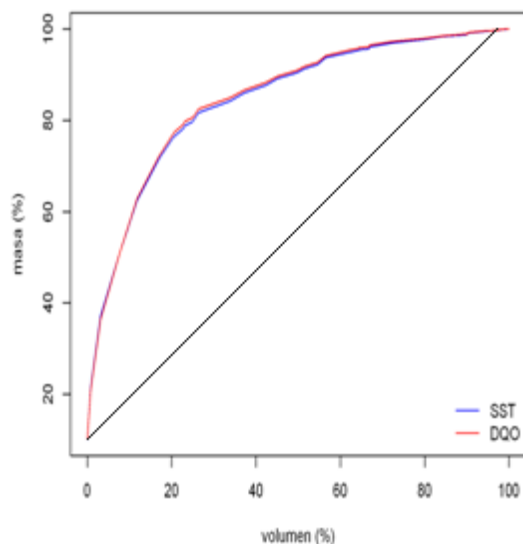


Ilustración 62 Gráfica porcentaje de la carga contaminante acumulada durante el evento dos para SST y DQO versus el porcentaje acumulado del volumen de agua

En la gráfica de flujo másico y teniendo en cuenta el primer evento podemos decir que el parámetro de contaminación que más relevancia muestra es DQO para ambos eventos. Se puede ver claramente que desde el momento que comenzó la medición hubo una gran masa contaminante determinada por DQO que se muestra muy variable a lo largo del tiempo teniendo su mayor pico en los primeros minutos de la medición. De acuerdo a la descripción de esta gráfica se podría esperar que se presentara fenómeno de primer lavado ya que en los primeros minutos de medición se presentó una gran cantidad de masa contaminante en la cual se basa el método del primer lavado.

El cálculo del volumen y volumen acumulado se obtuvo de los datos de caudal suministrados por el grupo de Investigación Ciencia e Ingeniería del agua y el ambiente correspondiente para este evento.

De acuerdo a la gráfica correspondiente a la cantidad de masa acumulada se podría esperar que se presentara fenómeno de primer lavado para DQO ya que del minuto 0 al minuto 10 aproximadamente, se presenta el mayor pico de masa que entra al sistema aunque para SST también se presenta un pico durante el mismo intervalo de tiempo su magnitud es baja.

El porcentaje de masa acumulada se determina a través de la masa total para cada uno de los determinantes de contaminación SST y DQO:

- ✓ Masa total de SST para evento 2= 383.1164mg
- ✓ Masa total de DQO para evento 2= 2519.29 mg

A partir de la masa total contaminante y el promedio de eventos lluviosos anuales registrados por el IDEAM para el 2012. Partiendo que para cada evento lluvioso se presentara la misma concentración de indicador de contaminación, se estima un valor correspondiente a la cantidad de masa para SST de 34096.79 mg/año registrados para la

entrada del Humedal construido /tanque regulador partiendo del evento que presento menores concentraciones de contaminantes (evento dos).

De la gráfica correspondiente a volumen acumulado durante el tiempo de duración del evento podemos inferir que se presentó tres grandes momentos donde el punto de monitoreo uno recibía gran volumen de agua por lo anterior podemos ver que el segundo momento comprendido entre el minuto 20 y 40 es el momento donde se presenta más arrastre de agua.

De la gráfica correspondiente a la masa acumulada para cada indicador de contaminación podemos observar como la cantidad de masa para ambos indicadores es similar y se podría esperar un fenómeno de primer lavado para ambos contaminantes de manera equivalente.

El porcentaje de volumen acumulado se determina mediante el valor de volumen total que pasa por el punto de muestreo:

✓ Volumen total que pasa por el punto 1 durante el evento dos= 792.9346 litros

Posteriormente y para realizar el análisis de si existe o no fenómeno de primer lavado se realiza la construcción de la gráfica del porcentaje de la carga contaminante acumulada durante el evento *versus* el porcentaje acumulado del volumen de agua del evento de precipitación dos ver ilustración 52. Se presentó un fenómeno de primer lavado para ambos determinantes de concentración sin embargo mucho más parecido para los dos tanto para SST como para DQO de lo cual se puede inferir que la cantidad de materia orgánica para este evento lluvioso podría estar adherida a las partículas de sólidos debido a la gran similitud que presentan.

Según la definición para primer lavado de la FNDAE (Fonds National Pour le Développement des Adductions D'EAU) descrito anteriormente. Para el presente trabajo de grado se presentó un espacio máximo entre la bisectriz y la curva M(V) de aproximadamente 0,5 para ambos contaminantes lo cual era de esperarse debido a la cantidad de masa acumulada para cada uno de los indicadores de contaminación que era igualmente similar. Por lo anterior podemos afirmar que se presentó fenómeno de primer lavado significativo para ambos contaminantes durante el evento dos.

Según la definición de Bertrand-Krajewski et al (1998), el primer lavado descrito para este trabajo de grado durante el evento dos se encuentra en la zona 1 lo que nos indica que el espacio entre la curva M(V) y la bisectriz es positivo alto que representa un fenómeno de primer lavado alto. Sin embargo y tal vez producido porque para el evento dos no transcurrió mayor tiempo seco se ve que la cantidad de masa contaminante en el evento dos es mínima con respecto al evento uno donde tenemos concentraciones de DQO que llegan hasta los 400 mg/l y para evento dos llegan hasta 8mg/l. Cabe resaltar que para el evento dos se presentó fenómeno de primer lavado alto y para el evento uno medio lo que resulta algo inesperado debido a la gran cantidad de indicador de contaminación que ingresa al sistema en el evento uno donde se podría haber esperado existiera un primer lavado más significativo.



# CAPÍTULO 4

## CONCLUSIONES

El presente trabajo de grado intentó aplicar la tecnología de medición en continuo UV-Visible a la entrada del sistema Humedal-Construido/Tanque-Regulador de aprovechamiento de aguas lluvias que se encuentra ubicado en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana sede Bogotá. En particular se decidió utilizar esta tecnología para detectar en continuo indicadores de contaminación como Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Los principales puntos tratados durante este trabajo de grado fueron la calibración local de la sonda, la aplicación para medición de concentraciones de indicadores de contaminantes (SST y DQO) en continuo para series de tiempo y la aplicación de estas series para la detección de fenómeno de primer lavado.

Los resultados de este trabajo de grado demuestran que es posible aplicar e instrumentar la entrada del sistema Humedal-Construido/Tanque-Regulador mediante la tecnología de medición en continuo UV-Visible siempre y cuando se exploren diferentes metodologías de calibración local, con lo cual se abre la posibilidad para que estas tecnologías sean adaptadas para el monitoreo en continuo de calidad del agua en sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias y humedales construidos.

Según antecedentes se cuenta con escasas aplicaciones de esta tecnología en sistemas de tratamiento para aguas que provienen de fuentes poco contaminadas. Este trabajo de grado aumenta la experiencia de aplicación y demuestra que es posible monitorear a la entrada de sistemas de tratamiento de aguas lluvias donde la concentración de los determinantes de contaminación es baja con respecto a sistemas de tratamiento para agua residual.

Fue posible la calibración de las sondas a partir de pocas muestras (tres), aplicando tres metodologías diferentes: calibración a partir de los datos de laboratorio, calibración a partir de los espectros de absorbancia para las muestras puntuales y calibración a partir del método PLS (Partial Least Squares). Estas metodologías permitieron observar la variación entre cada una de ellas sin tener en cuenta la incertidumbre. Se pudo cuantificar las diferencias entre las concentraciones de SST y DQO otorgadas por defecto por el captor y las distintas correcciones generadas a partir de los modelos trabajados.

A partir de las distintas metodologías propuestas se encontró que el modelo para calibración PLS genera mejores resultados que las otras metodologías trabajadas (univariadas), ya que genera un modelo que relaciona la totalidad de la información contenida en los espectros de absorbancia durante el tiempo de monitoreo para cada evento con los datos obtenidos en el laboratorio, lo que no ocurre cuando se tiene valores por defecto que emite la sonda.

Por otra parte, gracias a esta tecnología de medición en continuo se logró hacer análisis del fenómeno de primer lavado, lo que hubiera sido muy difícil si se hubiera utilizado el

método tradicional de muestreo y posterior análisis de laboratorio al no tener suficiente resolución temporal de concentraciones durante los eventos de lluvia.

Para ambos eventos monitoreados en el presente trabajo de grado se detectó fenómeno de primer lavado. En efecto según la definición de Bertrand-Krajewski et al, 1998 para el primer evento se presentó un primer lavado alto y para el segundo evento un primer lavado medio, lo cual es establecido a partir de la zona de localización de la curva formada por volumen acumulado/volumen total en función de masa acumulada/masa total (curva  $M(V)$ ) para cada evento. Adicionalmente, durante el primer evento se presentaron mayores concentraciones de SST y DQO que durante el segundo evento

# CAPÍTULO 5

## RECOMENDACIONES

En el presente trabajo se encontró que es posible realizar seguimiento en continuo de calidad de agua para sistemas que conducen afluentes con concentraciones bajas mediante la tecnología UV-Visible, por lo consiguiente se recomienda implementar la tecnología de medición en continuo UV-Visible en sistemas de tratamiento natural de aguas lluvias siempre y cuando se exploren diferentes parámetros de calibración local.

Se encontró que es necesario realizar una calibración local a las sondas de medición en continuo UV-Visible lo cual permite cuantificar las diferencias entre las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) otorgadas por defecto por el captor y las distintas correcciones generadas a partir de los modelos de calibración trabajados. Por tal motivo se recomienda realizar una calibración local adecuada en cada sistema que vaya a ser monitoreado, adicionalmente se recomienda hacer monitoreo a la salida del sistema para evaluar si es posible medir concentraciones de determinantes de contaminación SST y DQO en este punto donde posiblemente las concentraciones sean menores y la dinámica del sistema varíe. Se recomienda realizar mediciones en continuo simultáneas tanto a la entrada como a la salida del sistema y recolectar más muestras en el mismo punto donde se realizará el monitoreo para poder validar el método de calibración. Adicionalmente, se recomienda tener en cuenta las diferentes incertidumbres: precisión de los instrumentos de laboratorio y espectrómetro, submuestreo, manipulación de muestras y aparatos de laboratorio mediante la metodología propuesta para cuantificar las incertidumbres de SST, DQO, y espectro de absorbancia UV-Vis (Torres, 2011).

Se recomienda recolectar mayor cantidad de muestras del punto monitoreado para generar una mejor tendencia de calibración. Para este trabajo de grado fue posible la calibración de las sondas a partir de pocas muestras (tres), aplicando tres metodologías diferentes: calibración a partir de los datos de laboratorio, calibración a partir de los espectros de absorbancia para las muestras puntuales y calibración a partir del método PLS (Partial Least Squares) sin embargo, el método de calibración puede mejorar cuando se obtiene un mayor número de muestras, para lo cual se podría establecer una mejor tendencia. Adicionalmente, se recomienda explorar otros métodos de calibración como Support Vector Machine (SVM) usado para problemas de clasificación y de regresión en problemas altamente no lineales.

En este trabajo para ambos eventos monitoreados se detectó fenómeno de primer lavado. Sin embargo se pudo evidenciar que este fenómeno no depende únicamente de las concentraciones medidas. Por tal motivos se recomienda tener en cuenta variables hidrológicas como tiempo seco anterior, intensidad y altura de lluvia adicionalmente contar con los datos de caudal en continuo generados en el punto de monitoreo ya que es importante para aplicación de masas contaminantes. Se recomienda evaluar si el humedal es capaz de retener la masa contaminante que genera el primer lavado, de no

ser así se recomienda una estructura complementaria específica que capture esta gran masa contaminante para así tener un sistema más eficiente y reducir el costo operacional del humedal. La realización de monitoreo para mayor número de eventos permite analizar si el primer lavado se puede generalizar o qué diferencia de magnitud se puede presentar.

Si se desea realizar un análisis de primer lavado se recomienda hacer uso de la tecnología UV-Visible de medición en continuo que permite un registro más detallado de la evolución de la masa contaminante que entra al sistema, en comparación con el análisis de masas contaminantes a partir de muestras puntuales analizadas en laboratorio. Esta recomendación se deriva del resultado obtenido para fenómeno de primer lavado en el presente trabajo donde se pudo evidenciar que las curvas  $(M(V))$  que determinan si existe o no primer lavado para un evento lluvioso están caracterizadas cada intervalos de tiempo de un minuto lo que permite tener un registro más detallado de la evolución de la masa que entra al sistema, adicional a esto, se recomienda monitorear varios eventos que permitan ver las variaciones de masa contaminante dependiendo de la intensidad, tiempo seco, duración de cada evento de precipitación entre otros.

A partir de las distintas metodologías propuestas se encontró que el modelo para calibración PLS genera mejores resultados que las otras metodologías trabajadas (univariadas) el modelo PLS se basa en cálculos de estadística multivariado por tal motivo, se recomienda a la carrera de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana establecer en la malla curricular asignaturas que promuevan el uso de programas que permitan análisis estadísticos multivariados, no únicamente estadística básica.

Partiendo del estudio realizado a través de este trabajo de grado se propone implementar sistema de tratamientos para mejorar la calidad de aguas de escorrentía a escalas más importantes (por ejemplo a escala de ciudad) teniendo en cuenta que las cantidades de masas contaminantes detectadas a la entrada del Humedal-Construido/Tanque-Regulador corresponden a 34096.79 mg/año de SST (estimación realizada a partir de los resultados del presente trabajo), y se podría esperar que para sistemas que abarcan cuencas de magnitudes significativas se presenten mayores concentraciones que puedan afectar la calidad de las aguas de los cuerpos receptores (lagos, ríos, quebradas, acuíferos, humedales, entre otros).

# CAPÍTULO 6

## REFERENCIAS

- Diego Alejandro Alvarado Fernández. (2011). Aplicación de un modelo de transporte de solutos en el análisis de la hidrodinámica y el transporte de las concentraciones contaminantes en un hidrosistema urbano en Bogotá. Facultad De Ingeniería, Maestría en Ingeniería Civil; Trabajo de grado. Autor: Diego Alejandro Alvarado Fernández. Director: Ing. Msc. Andrés Vargas Luna.
- Artina, S., Bardasi, G., Borea, F., Franco, C., Maglionico, M., Paoletti, A., Sanfilippo, S., 1999. Water quality modelling in ephemeral streams receiving urban overflows. The pilot study in Bologna. Proc. 8th Int. Conf.on Urban Storm Drainage, ICUSD, Sydney, pp. 1589–1596.
- Bertrand-Krajewski J.-L. (2004). TSS concentration in sewers estimated from turbidity measurements by means of linear regression accounting for uncertainties in both variables. *WaterScience and Technology*, 50(11), 81-88. ISSN 0273-1223.
- Bertrand-Krajewski J.-L., Barraud S., LipemeKouyi G., Torres A., Lepot M. (2007). Event and annual TSS and COD loads in combined sewer overflows estimated by continuous insitu turbidity measurements. Proceedings of the 11th International Conference on Diffuse Pollution, Belo Horizonte, Brazil, 26-31 August 2007, 8 p.
- J.-L. Bertrand-Krajewski, S. Winkler, E. Saracevic, A. Torres\* and H. Schaar. (2009). Comparison of and uncertainties in raw sewage COD measurements by laboratory techniques and field UV-visible spectrometry. *Water Science & Technology*, Vol 56 No 11 Pag: 17–25
- N. Branisavljevic´, D. Prodanovic´ and D. Pavlovic. (2010). Automatic, semi-automatic and manual validation of urban drainage data. *Water Science & Technology—WST*, volumen: 62.5. pág. 1013-1021.
- *Combatir la escasez de agua. El desafío del Siglo XXI.* ONU-Agua, FAO. 200.
- Dawson, C. W., Abrahart, R. J., y See, L. M. (2007) HydroTest: A web-based toolbox of evaluation metrics for the standardised assessment of hydrological forecasts. *Environmental Modelling & Software*, 22(7), 1034–1052.
- Duarte M, Propuesta metodológica para la medición y análisis del fenómeno de primer lavado (firstflush) en cuencas urbanas-campus Universidad Nacional de Colombia-sede Bogotá. (trabajo e grado), 2007.
- EPA. (2004). Guidelines for Water Reuse. United States: Environmental Protection Agency.
- Estadísticas mundiales en tiempo real, disponible en web <http://www.worldometers.info/es/>
- SANDRA LORENA GALARZA MOLINA, ANDRES TORRES, "SIMPLIFIED METHOD FOR RAINWATER HARVESTING TANK SIZING USING LONG DAY-RESOLUTION RAINFALL TIME SERIES / Méthodesimplifiée de dimensionnement

des réservoirs pour la réutilisation des eaux pluviales à partir de séries de pluies prolongées à résolution journalière" En: Francia. 2013. Evento: Novatech 2013, 8th International Conference on Planning and technologies for sustainable urban water management, June 23rd to 27th, 2013 ¿ Lyon, France

- Global Environment Centre Foundation (GEC), (1997) Technology of Water Pollution Continuous Monitoring Technology in Japan, Chapter 2: Objectives of Water Pollution Monitoring.
- Gruber G., Bertrand-Krajewski J.-L., de Bénédittis J., Hochedlinger M., Lettl W. (2005). Practical aspects, experiences and strategies by using. *Water Practice and Technology*. doi: 10.2166/wpt.2006.020, 1(1), 8 p. ISSN 1751-231X, 2006.
- Gruber G., Bertrand-Krajewski J.-L., de Bénédittis J., Hochedlinger M., Lettl W. (2006). Practical aspects, experiences and strategies by using UV/VIS sensors for longterm sewer monitoring. *WaterPractice&Technology*, 1(1), doi 10.2166/wpt.2006.020.
- H. Hoppe, S. Messmann, A. Giga and H. Gruning. (2009). Options and limits of quantitative and qualitative online-monitoring of industrial discharges into municipal sewage systems. *Water Science & Technology—WST*, Volumen; 60(4).Pag: 859-867. doi: 10.2166/wst.2009.411.
- Hochedlinger M., Kainz H., Rauch W. (2005). Assessment of CSO loads – based on UV/VIS-spectroscopy by means of different regression methods. 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August 2005.
- Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP), Marzo de 2012.
- Informe sobre Desarrollo Humano 2006: Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis mundial del agua. PNUD, 2006.
- Kim, L., Ko, S., Jeong, S., Yoon, J. (2007). Characteristics of washed-off pollutants and dynamic EMCs in parking lots and bridges during a storm. *Science of the total environment*, Vol. 376, No. 1-3, pp 178-184.
- C. Lacour, C. Joannis, M.-C. Gromaire and G. Chebbo. (2009). Potential of turbidity monitoring for real time control of pollutant discharge in sewers during rainfall events. *Water Science & Technology—WST*, Volumen: 59.8, pag (1471-1475)
- Langergraber, G., Fleischmann, N., Hofstaedter, F., Weingartner, A., Lettl, W. (2003) Detection of (unusal) changes in wastewater composting using UV/VIS spectroscopy. Proceedings of the 9th IWA conference on "Design, Operation and Costs of Large Wastewater Treatment Plants", pp.135-138
- Langergraber G., Gupta J.K., Pressl A., Hofstädter F., Lettl W., Weingartner A., Fleischmann N. (2004). On-line monitoring for control of a pilot-scale sequencing batch reactor using a submersible UV/VIS spectrometer. *WaterScience&Technology* Vol 50 No 10 pp 73–80.
- M. Metadier and J. -L. Bertrand-Krajewski. (2011). From mess to mass: a methodology for calculating storm event pollutant loads with their uncertainties,

from continuous raw data time series. *Water Science and Technology*, Volumen: 63.3;Pag: 369-376.

- Mevik, B.H., y R.Weihrens, 2007 Thepls package: principal component and partial least squares regression in R. *J. Stat. Softw.* 18: 1–24.
- Novotny, V., Chesters, G., 1981. *Handbook of Nonpoint Pollution, Sources and Management*. Van Nostrand Reinhold Co.
- Ana María MorosVivas. (2010). Caracterización de señales de precipitación mediante la transformada de fourierytransformada wavelet. Pontificia Universidad Javeriana;Facultad de Ingeniería;Departamento de Ingeniería Civil;Maestría en hidrosistemas; Trabajo de grado. Autor: Ana María Moros Vivas Director: Ing. Jorge Alberto Valero Fandiño.
- G Orellana, C Cano-Raya, J López-Gejo, and AR Santos. (2011). Online Monitoring Sensors. *Water Science and Technology*, vol. 3, Pag: 221–262 Oxford: Academic Press.
- R Development Core Team. (2011). “R: A language and environment for statistical computing”. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2010. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R FoundationforStatistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0
- L. Rieger<sup>1</sup>, G. Langergraber<sup>2</sup>, M. Thomann<sup>3</sup>, N. Fleischmann<sup>4</sup>, and H. Siegrist<sup>1</sup>. (2004). Spectral in-situ analysis of NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, COD, DOC and TSS in the effluent of a WWTP. *AutMoNet*, seccion 1.
- Rivero López Maria Isabel. Requerimientos de operación y mantenimiento para el monitoreo en continuo de calidad de aguas en Hidrosistemas Urbanos, Trabajo de grado, 2012.
- Rodier J. (1996) *L'analyse de l'eau*. 8° ed., Dunod, Paris. p. 475.
- L. Rossi, N. Chèvre, R. Fankhauser, J. Margot, R. Curdy, M. Babut, D.A. Barry. (2012). Sediment contamination assessment in urban areas based on Total Suspended Solids. *Water Research*, doi: 10.1016/j.watres.2012.10.011.
- Ruiz A., Zamora D., Torres A. (2011). Análisis de frecuencias de medición para el monitoreo de la calidad de agua en hidrosistemas de saneamiento urbano. XXV Congreso Latinoamericano de hidráulica, San Jose, Costa Rica, 9 – 12 de septiembre de 2012, 10p.
- Ruiz, David Zamora, Andrés Torres. (2011). Experiencias con captoreos *in situ* para el monitoreo en continuo de la calidad de agua en hidrosistemas de saneamiento urbano.Grupo de Investigación Ciencia e Ingeniería del Agua y el Ambiente, Facultad De Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana.
- Salamanca A, Prieto S, Torres A. (2012). LAVADO DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES SOBRE UNA AVENIDA DE BOGOTÁ D.C. CON ALTO TRÁNSITO VEHICULAR. XX SEMINARIO NACIONAL DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA BARRANQUILLA, COLOMBIA, 8 AL 10 DE AGOSTO DE 2012.
- s::can. (2007). Manual s::can spectrometer probe y ana::pro. Vienna: LiquidMonitoring Networks.

- s::can. (2007). Manual Ana::pro. Version 5.3. 2006
- L. Sutherland-Stacey, R. Dexter, B. McWilliams and K. Watson. (2009). Real-time in-situ measurement of hemoglobin in wastewater. *Water Science & Technology—WST*, volumen 60.7 pàg (1683-1689).
- Tenenhaus, M. (1998). *La régression PLS, théorie et pratique*. Technip, Paris (France), p. 254.
- A. Torres and J.-L. Bertrand-Krajewski. (2008). Partial Least Squares local calibration of a UV–visible spectrometer used for in situ measurements of COD and TSS concentrations in urban drainage systems. *Water Sci Technol.* 2008;57(4). Pag:581-588;doi: 10.2166/wst.2008.131.
- ANDRES TORRES, MI RIVERO LOPEZ, ALEJANDRA RUIZ, DAVID ZAMORA, SL GALARZA MOLINA, "Monitoreo en continuo de la calidad de aguas en hidrosistemas urbanos: requerimientos de operación y mantenimiento" En: Colombia. 2013. Evento: seminario internacional ¿Calidad del Agua: Retos ante los Riesgos Ambientales¿, AGUA 2013 "El Riesgo en la Gestión del Agua", Cali, Colombia, 15 a 18 de octubre de 2013
- ANDRES TORRES, MATHIEU LEPOT, JEAN LUC BERTRAND KRAJEWSKI, "Local calibration for a UV/Vis spectrometer: PLS vs. SVM. A case study in a WWTP" En: Gran Bretaña. 2013. Evento: 7th International Conference on Sewer Processes & Networks, Wednesday 28 - Friday 30 August 2013, The Edge Conference Centre, Sheffield, UK
- Torres, A. (2011). Metodología para la Estimación de Incertidumbres Asociadas a Concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales Mediante Métodos de Generación Aleatoria Resumen. *Instituto Tecnológico Metropolitano*, 8(26), 181–200.
- Torres Abello, Andrés Eduardo. Apuntes de clases sobre Hidrología Urbana/ANDRÉS EDUARDO TORRES ABELLO-Bogotá. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. 2004. Pag.236-246.
- Tribunal Latinoamericano del Agua, 2008.
- UV/VIS sensors for long-term sewer monitoring.
- A. Vargas\* and G. Buitrón\*. (2001). On-line concentration measurements in wastewater using nonlinear deconvolution and partial least squares of spectrophotometric data. *Environmental Bioprocesses Dept.*, Institute of Engineering, UNAM, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán D.F., 04510 Mexico.
- Varmuza, K. y Filzmoser, P. (2009) *Introduction to multivariate statistical analysis in chemometrics*, Boca Raton, FL, Taylor & Francis - CRC Press.
- S. Winkler, J.-L. Bertrand-Krajewski, A. Torres and E. Saracevic. (2008). Benefits, limitations and uncertainty of in situ spectrometry. *Water Sci Technol.* 2008;57 (10); Pag: 1651-1658; doi: 10.2166/wst.2008.145.
- Winkler S., Bertrand-Krajewski J.-L., Torres A., Saracevic E. (2008). Benefits, limitations and uncertainty of insitu spectrometry. *Water Science and Technology*, 57(10), 1652-1658.



- *David Zamora Ávila, Thomas Rosmann y Andrés Torres. (2011). REDES NEURONALES APLICADAS A ESPECTROMETRÍA UV-VISIBLE. XIX SEMINARIO NACIONAL DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA Y EL I FORONACIONAL SOBRE LA SEGURIDAD DE EMBALSESBOGOTÁ D.C. COLOMBIA, 24 y 25 DE MARZO 2011.*
- *D. Zamora and A. Torres. (2012). Proposal for recurrence, level of importance and quality detection of uv-vis spectra and target pollutant dataset. ResearchGroupCiencia e Ingeniería del Agua y el Ambiente, Faculty of Engineering, Pontificia Universidad Javeriana. Pag:1-8*

# ANEXOS

## Anexo A

Cod.de la Muestra	Volumen muestra(ml)	Peso inicial	Peso final(1)	Peso final(2)	Peso final	SST(mg/L)
1	200	26.3062	26.3077	26.3076	26.30765	7.25
1	200	29.6488	29.6507	29.6503	29.6505	8.5
1	200	29.2507	29.2522	29.2523	29.25225	7.75
2	200	25.0666	25.0704	25.0699	25.07015	17.75
2	200	24.8308	24.8341	24.8343	24.8342	17
2	200	28.2189	28.223	28.2226	28.2228	19.5
3	40	26.0003	26.0208	26.0205	26.02065	508.75
3	40	25.3836	25.4061	25.4059	25.406	560
3	40	27.6381	27.6605	27.6601	27.6603	555
4A	400	26.1058	26.1052	26.1049	26.10505	-1.875
4A	500	27.4785	27.4784	27.4783	27.47835	-0.3
4A	500	28.2858	28.286	28.2855	28.28575	-0.1
4A	500	26.4478	26.4475	26.4474	26.44745	-0.7
4B	500	25.0282	25.0286	25.0284	25.0285	0.6
4B	500	27.0323	27.0329	27.0325	27.0327	0.8
4B	500	25.6713	25.6715	25.6712	25.67135	0.1

Resultados del ensayo de laboratorio para determinar SST en el evento dos. Fuente. Autor.

Cod. De la muestra	Factor de Dilucion	Volumen muestra (ml)	ml FAS blanco	ml FAS muestra	N FAS	DQO (mg/L)
BK1	1	2	2.42	----	0.2596	-----
BK2	1	2	2.42	----	0.2596	-----
EC1	1	2	2.42	1.85	0.2596	591.888
EC2	1	2	2.42	1.81	0.2596	633.424
1	1	2	2.42	2.32	0.2596	103.84
1'	1	2	2.42	2.31	0.2596	114.224
1''	1	2	2.42	2.38	0.2596	41.536
2	1	2	2.42	2.36	0.2596	62.304
2'	1	2	2.42	2.33	0.2596	93.456
2''	1	2	2.42	2.34	0.2596	83.072
3	1	2	2.42	2.18	0.2596	249.216
3'	1	2	2.42	2.19	0.2596	238.832
3''	1	2	2.42	2.24	0.2596	186.912
4A	1	2	2.42	2.42	0.2596	0
4A'	1	2	2.42	2.41	0.2596	10.384
4A''	1	2	2.42	2.4	0.2596	20.768
4B	1	2	2.42	2.42	0.2596	0
4B'	1	2	2.42	2.39	0.2596	31.152
4B''	1	2	2.42	2.41	0.2596	10.384

Resultados del ensayo de laboratorio para determinar DQO en el evento uno. Fuente. Autor.

## Anexo B

Cod.de la Muestra	Volumen muestra(ml)	Peso inicial	Peso final(1)	Peso final(2)	Peso final	SST(mg/L)
1	100	24.8109	24.8117	24.8117	24.8117	8
1	100	27.4640	27.4646	27.4646	27.4646	6
1	100	26.2849	26.2857	26.2857	26.2857	8
2	100	25.9866	25.9874	25.9874	25.9874	8
2	100	27.011	27.0113	27.0113	27.0113	3
2	100	28.2716	28.272	28.272	28.272	4
3	100	26.4275	26.4281	26.4281	26.4281	6
3	100	29.2304	29.2307	29.2307	29.2307	3
3	100	26.0916	26.0919	26.0919	26.0919	3
4	100	28.1984	28.1983	28.1983	28.1983	-1
4	300	27.6231	27.6235	27.6235	27.6235	1.33333333
4	300	25.6497	25.6504	25.6504	25.6504	2.33333333

**Resultados del ensayo de laboratorio para determinar SST en el evento dos. Fuente. Autor.**

Cod. De la muestra	Factor de Dilucion	Volumen muestra (ml)	ml FAS blanco	ml FAS muestra	N FAS	DQO (mg/L)
BK1	1	2	2.445		0.2596	-----
BK2	1	2	2.445		0.2596	-----
EC1	1	2	2.445	1.85	0.2596	617.848
EC2	1	2	2.445	1.84	0.2596	628.232
1	1	2	2.445	2.41	0.2596	36.344
1'	1	2	2.445	2.42	0.2596	25.96
1''	1	2	2.445	2.37	0.2596	77.88
2	1	2	2.445	2.41	0.2596	36.344
2'	1	2	2.445	2.4	0.2596	46.728
2''	1	2	2.445	2.39	0.2596	57.112
3	1	2	2.445	2.38	0.2596	67.496
3'	1	2	2.445	2.4	0.2596	46.728
3''	1	2	2.445	2.36	0.2596	88.264
4	1	2	2.445	2.43	0.2596	15.576
4'	1	2	2.445	2.42	0.2596	25.96
4''	1	2	2.445	2.42	0.2596	25.96

**Resultados del ensayo de laboratorio para determinar DQO en el evento dos. Fuente: Autor.**

## Anexo C

SSTlabo	DQOlabo	lamda1	lamda2	lamda3	lamda4	lamda5	lamda6	lamda7	lamda8	lamda9	lamda10
7.1666667	39.132	593.236083	611.704417	620.367167	602.97625	573.383917	550.256333	535.095667	520.04075	495.016167	456.01975
6.33333333	39.132	605.700333	623.80025	631.069667	615.548833	588.141083	565.514917	553.34275	539.552083	515.9225	478.618583
4.16666667	56.524	537.505917	546.941333	548.854083	534.214583	509.656917	489.212167	477.1625	467.135417	451.025167	422.867333
		lamda11	lamda12	lamda13	lamda14	lamda15	lamda16	lamda17	lamda18	lamda19	lamda20
		408.080667	366.061917	338.0185	311.296083	282.763083	260.116417	245.047833	235.705917	228.978583	223.300417
		430.986167	388.7505	360.09425	332.579083	303.187667	279.842083	264.21475	254.360417	247.205333	241.140833
		386.729167	355.019833	333.55025	312.244917	288.976083	270.144333	257.459417	249.374083	243.312917	238.097833
		lamda21	lamda22	lamda23	lamda24	lamda25	lamda26	lamda27	lamda28	lamda29	lamda30
		218.429333	213.012167	207.035083	201.897417	198.965667	196.30525	192.1425	188.033417	184.868917	182.273
		235.987083	230.179583	223.786417	218.350833	215.198833	212.348167	207.985583	203.689667	200.332083	197.546667
		233.491083	228.22775	222.289833	217.148583	214.186333	211.469	207.293917	203.169333	199.974917	197.366917
		lamda31	lamda32	lamda33	lamda34	lamda35	lamda36	lamda37	lamda38	lamda39	lamda40
		179.384	176.057917	172.73225	169.603417	166.27675	162.8585	159.476917	155.971	152.594083	149.837333
		194.495917	190.996833	187.439833	184.105667	180.531167	176.794917	173.180167	169.476083	165.851167	162.901667
		194.46675	191.1005	187.670167	184.46525	181.068333	177.51675	174.106333	170.538583	167.073833	164.322417
		lamda41	lamda42	lamda43	lamda44	lamda45	lamda46	lamda47	lamda48	lamda49	lamda50
		147.12475	144.017333	140.544083	137.229667	134.787833	132.53775	130.213167	127.9985	125.474667	123.124333
		159.994667	156.65825	152.987083	149.53025	146.923583	144.525	142.0695	139.658167	136.959667	134.444667
		161.589333	158.519	155.129333	151.865083	149.451	147.22075	144.839333	142.516083	139.915583	137.5115
		lamda51	lamda52	lamda53	lamda54	lamda55	lamda56	lamda57	lamda58	lamda59	lamda60
		121.494167	119.912917	117.597083	115.55275	114.026917	112.4565	110.835333	109.062	107.688	106.606167
		132.595917	130.824	128.382667	126.206333	124.498333	122.787	120.993917	119.094667	117.530333	116.247417
		135.736667	133.981833	131.523667	129.316417	127.631417	125.89275	124.100833	122.167667	120.6515	119.414917
		lamda61	lamda62	lamda63	lamda64	lamda65	lamda66	lamda67	lamda68	lamda69	lamda70
		105.167	103.5915	102.51	101.374	100.507333	100.196667	99.3968333	98.1826667	97.0856667	96.1793333
		114.7405	113.092667	111.816917	110.60025	109.673417	109.192167	108.286583	106.951417	105.71575	104.753
		117.774417	116.026	114.802833	113.520667	112.453833	111.946917	110.99275	109.578083	108.260833	107.212083
		lamda71	lamda72	lamda73	lamda74	lamda75	lamda76	lamda77	lamda78	lamda79	lamda80
		95.534	95.61975	95.7155833	95.5183333	95.4963333	94.9978333	93.9405833	93.2963333	93.2858333	93.053
		104.011167	104.013083	104.045833	103.699333	103.5155	103.005917	101.917917	101.07425	101.000917	100.770833
		106.361083	106.208333	106.165667	105.748333	105.427833	104.805833	103.625083	102.70775	102.494083	102.122417
		lamda81	lamda82	lamda83	lamda84	lamda85	lamda86	lamda87	lamda88	lamda89	lamda90
		92.2740833	91.5638333	91.6120833	91.3961667	90.3475	89.6699167	88.7518333	86.463	83.71975	82.2153333
		99.8794167	99.0338333	99.0101667	98.71125	97.6013333	96.8245833	95.9065833	93.5384167	90.69075	89.1483333
		101.151917	100.265833	100.139833	99.7576667	98.5756667	97.70775	96.728	94.3950833	91.5653333	89.9929167
		lamda91	lamda92	lamda93	lamda94	lamda95	lamda96	lamda97	lamda98	lamda99	lamda100
		81.5983333	81.0506667	81.109	80.63125	79.9621667	79.19375	77.9644167	77.4548333	77.39125	77.1818333
		88.4765833	87.8759167	87.8285833	87.3324167	86.6086667	85.7450833	84.464	83.9191667	83.8795833	83.5678333
		89.25125	88.6475833	88.62525	88.0336667	87.2624167	86.4069167	85.1058333	84.5218333	84.3925833	84.0921667

lamda101	lamda102	lamda103	lamda104	lamda105	lamda106	lamda107	lamda108	lamda109	lamda110
76.721	76.187	75.9541667	75.4349167	74.5533333	74.4379167	74.52925	73.8393333	73.09375	72.9720833
83.0394167	82.4550833	82.16725	81.6485	80.7583333	80.5543333	80.4973333	79.8534167	79.1941667	78.9908333
83.5910833	82.95225	82.65025	82.1560833	81.2174167	81.01975	81.006	80.33975	79.61125	79.40025
lamda111	lamda112	lamda113	lamda114	lamda115	lamda116	lamda117	lamda118	lamda119	lamda120
72.7834167	72.3816667	71.5204167	70.9263333	70.88425	70.98325	70.88175	70.7686667	70.7450833	70.32725
78.6895	78.26325	77.3893333	76.7925833	76.78	76.8310833	76.5766667	76.43125	76.4886667	76.008
79.1460833	78.7058333	77.836	77.28375	77.21975	77.16425	76.9921667	76.8916667	76.8150833	76.3674167
lamda121	lamda122	lamda123	lamda124	lamda125	lamda126	lamda127	lamda128	lamda129	lamda130
69.6775833	69.6458333	69.0716667	68.2569167	68.2721667	68.0988333	67.9149167	67.41775	67.0695	66.8486667
75.2713333	75.2263333	74.7360833	73.9185	73.8064167	73.5613333	73.3899167	72.9113333	72.48175	72.183
75.6989167	75.5894167	75.018	74.2505	74.1999167	73.9194167	73.6523333	73.1226667	72.83125	72.5470833
lamda131	lamda132	lamda133	lamda134	lamda135	lamda136	lamda137	lamda138	lamda139	lamda140
67.20175	66.5635833	65.794	66.2914167	66.2111667	65.86975	65.5055	64.9830833	64.8783333	65.2889167
72.5165833	71.9276667	71.1866667	71.6423333	71.48325	71.1531667	70.8133333	70.2453333	70.0383333	70.39675
72.8239167	72.1915833	71.44825	71.95575	71.8058333	71.35775	70.965	70.45	70.3354167	70.751
lamda141	lamda142	lamda143	lamda144	lamda145	lamda146	lamda147	lamda148	lamda149	lamda150
65.0724167	64.5976667	64.1091667	63.6764167	64.0045833	63.4738333	62.8895	63.1076667	62.92075	62.3425
70.16775	69.7355833	69.3224167	68.7854167	69.1089167	68.5075833	67.808	68.053	67.9024167	67.31025
70.5079167	69.9826667	69.4763333	68.99375	69.3340833	68.7235	68.1204167	68.473	68.25375	67.5793333
lamda151	lamda152	lamda153	lamda154	lamda155	lamda156	lamda157	lamda158	lamda159	lamda160
61.9020833	62.10675	62.57	62.5825833	62.0561667	61.7013333	61.2975	60.71775	60.76175	60.8935
66.9099167	67.1490833	67.5383333	67.4100833	66.82025	66.5455833	66.2610833	65.6296667	65.6240833	65.7225
67.0986667	67.3398333	67.8533333	67.8076667	67.2044167	66.86475	66.5068333	65.9034167	65.92775	66.0520833
lamda161	lamda162	lamda163	lamda164	lamda165	lamda166	lamda167	lamda168	lamda169	lamda170
59.7853333	59.80175	61.2656667	60.8146667	59.5163333	59.6855	59.6043333	59.2638333	59.2355	59.3409167
64.5746667	64.5696667	65.98625	65.5086667	64.2221667	64.324	64.3233333	64.1589167	64.0166667	63.942
64.8534167	64.8994167	66.4305833	65.9085833	64.5605	64.7768333	64.7980833	64.4268333	64.26975	64.3491667
lamda171	lamda172	lamda173	lamda174	lamda175	lamda176	lamda177	lamda178	lamda179	lamda180
59.4345	58.7635833	57.8190833	57.7810833	58.481	58.70625	58.0478333	57.913	58.0850833	57.591
64.03425	63.24875	62.30675	62.4215833	63.22875	63.30275	62.545	62.4360833	62.6475833	62.1083333
64.4565833	63.7815	62.7831667	62.7735833	63.5351667	63.7089167	63.00825	62.8791667	63.0638333	62.5265833
lamda181	lamda182	lamda183	lamda184	lamda185	lamda186	lamda187	lamda188	lamda189	lamda190
57.2899167	57.3423333	57.01975	56.51775	56.19525	56.0168333	56.1675833	56.3963333	56.5730833	56.1963333
61.6831667	61.6925	61.3895	61.02325	60.7588333	60.5568333	60.7095	60.8180833	60.85225	60.414
62.2585833	62.3264167	61.9775	61.49475	61.2165	61.0635833	61.1940833	61.3484167	61.4386667	61.1159167
lamda191	lamda192	lamda193	lamda194	lamda195	lamda196	lamda197	lamda198	lamda199	lamda200
55.30725	55.2105833	55.3865	55.428	55.3453333	54.735	54.7615833	55.1796667	54.8549167	54.3665833
59.7580833	59.7583333	59.7711667	59.82575	59.8248333	59.1575833	59.0850833	59.3833333	58.9035	58.5514167
60.4020833	60.2465833	60.322	60.463	60.4189167	59.7196667	59.6393333	60.00925	59.7348333	59.3295833
lamda201	lamda202	lamda203	lamda204	lamda205	lamda206	lamda207	lamda208	lamda209	lamda210
54.6190833	54.8075833	54.2939167	53.4516667	53.1346667	53.6740833	54.1215	53.3824167	52.93025	53.1466667
58.91225	58.9433333	58.4196667	57.6605833	57.2939167	57.7998333	58.2594167	57.547	57.1080833	57.349
59.559	59.6165833	59.01525	58.2291667	57.9356667	58.5673333	59.0359167	58.2715833	57.8335833	58.05375
lamda211	lamda212	lamda213	lamda214	lamda215	lamda216	lamda217	lamda218	lamda219	
52.7785833	52.6879167	52.8140833	52.6865833	52.583	52.4313333	52.1069167	51.7395	51.4943333	
57.0064167	56.7820833	56.89725	56.7790833	56.6290833	56.4371667	56.16975	55.89775	55.5961667	
57.6983333	57.5618333	57.597	57.499	57.493	57.24	56.84875	56.5645	56.486	

### Anexo D

tiemp	Qvert1												
0	4.601.977.389	21	1.155.023.088	42	0.053620325	63	1.121.699.474	84	0.4200779	105	0.29677175	126	0.128088616
1	4.326.000.156	22	1.044.097.364	43	0.041048152	64	1.034.876.945	85	0.40010055	106	0.29586614	127	0
2	4.138.483.005	23	0.955447767	44	0.023981396	65	0.94693932	86	0.38530891	107	0.2932285	128	0
3	3.689.936.564	24	0.881266292	45	0.014745748	66	0.89089881	87	0.36513852	108	0.29127106	129	0
4	3.214.323.386	25	0.785407979	46	0.011660603	67	0.867664948	88	0.35581454	109	0.28906975	130	0
5	2.837.938.268	26	0.656365997	47	0.00732299	68	0.847500441	89	0.34620134	110	0.28932147	131	0
6	264.156.756	27	0.564074033	48	0.002475121	69	0.811374585	90	0.33774949	111	0.28726576	132	0
7	254.674.591	28	0.528189132	49	0.000419861	70	0.766870493	91	0.32479048	112	0.28390437	133	0.105438363
8	2.285.078.708	29	0.495162273	50	4.06E+00	71	0.720693585	92	0.31789162	113	0.2796911	134	0.075550323
9	2.206.956.172	30	0.445845826	51	0	72	0.669806703	93	0.31598164	114	0.27363005	135	0
10	2.262.681.385	31	0.383137917	52	0	73	0.616407243	94	0.31282966	115	0.26913645	136	0
11	2.158.554.089	32	0.333495705	53	0	74	0.577736779	95	0.31160768	116	0.26629615	137	0
12	2.078.513.307	33	0.306487707	54	0.004434516	75	0.553879422	96	0.31038857	117	0.25955303	138	0
13	1.948.475.299	34	0.265795512	55	0.401826677	76	0.548723074	97	0.30905324	118	0.2548393	139	0.00029302
14	1.821.511.251	35	0.217237202	56	1.771.871.707	77	0.54075953	98	0.30648771	119	0.25221717	140	0
15	1.727.530.046	36	0.172411137	57	163.949.958	78	0.530425546	99	0.30381712	120	0.25124858	141	0.01216033
16	1.606.645.843	37	0.160133419	58	1.500.000.227	79	0.511241946	100	0.30207584	121	0.24923437	142	0.016604467
17	1.511.886.902	38	0.134875961	59	1.391.719.306	80	0.489619648	101	0.30008312	122	0.24698		
18	1.456.151.782	39	0.099076123	60	1.314.165.093	81	0.465443758	102	0.29784203	123	0.24627284		
19	1.353.446.181	40	0.068200166	61	1.260.798.353	82	0.44855078	103	0.29716702	124	0.24322937		
20	1.255.490.386	41	0.059763978	62	1.192.624.931	83	0.433517551	104	0.29665555	125	0.24182919		

### Anexo E

tiemp	Qvert2												
0	0	21	0.00190463	42	0	63	0	84	0	105	0.00361391		
1	0	22	0.0102557	43	0	64	0	85	0	106	0		
2	0	23	0.00776503	44	0	65	0	86	0	107	0		
3	0	24	0.038190273	45	0	66	0	87	0	108	0		
4	0	25	0.01714167	46	0	67	0	88	0	109	0		
5	0	26	0.023783457	47	0	68	0	89	0	110	0		
6	0	27	0.013283573	48	0	69	0	90	0.00332089	111	0		
7	0	28	0.01992536	49	0	70	0	91	0	112	0		
8	0	29	0.00776503	50	0	71	0	92	0	113	0		
9	0	30	0.012990553	51	0	72	0	93	0	114	0		
10	0	31	0.00747201	52	0	73	0	94	0	115	0		
11	0	32	0.0249067	53	0	74	0	95	0	116	0		
12	0	33	0.00556738	54	0	75	0	96	0	117	0		
13	0	34	0	55	0	76	0	97	0.00717899	118	0		
14	0	35	0	56	0	77	0	98	0.00996268	119	0.00249067		
15	0	36	0	57	0	78	0	99	0.00498134	120	0		
16	0	37	0	58	0	79	0	100	0.00634877	121	0		
17	0	38	0	59	0	80	0	101	0.00083022				
18	0	39	0	60	0	81	0	102	0				
19	0	40	0	61	0	82	0	103	0				
20	0	41	0	62	0	83	0	104	0.00522552				

## Anexo F

```
rm(list=ls(all=TRUE))
library(pls) #llamar librería PLS
#leer la tabal que contenía los datos de laboratorio y sus respectivas longitudes de onda.
todo=read.table("ensayo-para-modelo.txt",header=TRUE)
attach(todo)
#### Calibración para SST ####
y=SSTlabo
x=todo[3:221]
modelo=plsr(y~.,ncomp=1,data=as.data.frame(x),validation="LOO",method="widekernelpls")
SSTp=predict(modelo)
wth=3*580
hth=wth/2^(.5)
tiff(filename = "calibracion3SST.tif", width = wth, height = wth, compression = "lzw",
pointsize = 12, bg = "white", res = 300)
par(mar=c(4.5,4.5,1,1))
plot(y,SSTp,xlim=c(0,max(y,SSTp)),ylim=c(0,max(y,SSTp)),xlab="SSTlabo
(mg/L)",ylab="SST modelo (mg/L)",col="blue",pch=20)
lines(c(0,max(y,SSTp)),c(0,max(y,SSTp)),lty=2)
dev.off()
r2=(cor(SSTp,y))^2
RMSE=((sum((SSTp-y)^2))/length(y))^0.5
write.csv(c(r2,RMSE),"result_calib3.csv",row.names=FALSE)
write.csv(modelo$coefficients,"correccionSST3.csv",row.names=FALSE)
## Calibración para DQO##
y=DQOlabo
x=todo[3:221]
modeloDQO=plsr(y~.,ncomp=1,data=as.data.frame(x),validation="LOO",method="widekernelpls")
```

```

DQOp=predict(modeloDQO)

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

tiff(filename = "calibracion3DQO.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw",
pointsize = 12, bg = "white", res = 300)

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

plot(y,DQOp,xlim=c(0,max(y,DQOp)),ylim=c(0,max(y,DQOp)),xlab="DQOlabo
(mg/L)",ylab="DQO modelo (mg/L)",col="blue",pch=20)

lines(c(0,max(y,DQOp)),c(0,max(y,DQOp)),lty=2)

dev.off()

r2=(cor(DQOp,y))^2

RMSE=((sum((DQOp-y)^2))/length(y))^0.5

write.csv(c(r2,RMSE),"resultDQO3.csv",row.names=FALSE)

write.csv(modeloDQO$coefficients,"correccionDQO3.csv",row.names=FALSE)

###uso modelo para evento 1###

serie1lamda=as.matrix(read.table("serie-lamda-cont1.txt",header=TRUE))

tiempo=c(1:dim(serie1lamda)[1])

serie1predSST=predict(modelo,ncomp=1,newdata=as.matrix(serie1lamda))

serie1predDQO=predict(modeloDQO,ncomp=1,newdata=as.matrix(serie1lamda))

##uso modelos para evento 2##

serie2lamda=as.matrix(read.table("serie-lamda-cont2.txt",header=TRUE))

tiempo2=c(1:dim(serie2lamda)[1])

serie2predDQO=predict(modeloDQO,ncomp=1,newdata=as.matrix(serie2lamda))

serie2predSST=predict(modelo,ncomp=1,newdata=as.matrix(serie2lamda))

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

tiff(filename = "serie1pls.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize = 10,
bg = "white", res = 300)

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

###corrección a las series de tiempo para DQO y SST en cada uno de los eventos###

```



```

plot(tiempo,serie1predSST,type="l",ylim=c(0,max(serie1predSST,serie1predDQO)),ylab="
mg/L",xlab="tiempo (min)",col="blue")

lines(tiempo,serie1predDQO,col="red")

legend("topright",c("SST","DQO"),col=c("blue","red"),bty="n",lty=1)

dev.off()

tiff(filename = "serie2pls.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize = 10,
bg = "white", res = 300)

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

plot(tiempo2,serie2predSST,type="l",ylim=c(0,max(serie2predSST,serie2predDQO)),ylab="
mg/L",xlab="tiempo (min)",col="blue")

lines(tiempo2,serie2predDQO,col="red")

legend("bottomright",c("SST","DQO"),col=c("blue","red"),bty="n",lty=1)

dev.off()

```

### Anexo G

```

###evento 1 para SST

rm(list=ls(all=TRUE))

serie1=read.table("serie-evento1.txt",header=TRUE)

attach(serie1)

serie1lamda=read.table("serie-lamda-cont1.txt",header=TRUE)

attach(serie1lamda)

todo=read.table("ensayo-para-modelo.txt",header=TRUE)

attach(todo)

y=SSTlabo#[2:4]

x=todo[3:221]

modelo=plsr(y~.,ncomp=1,data=as.data.frame(x),validation="LOO",method="widekernelpl
s")

SSTp=predict(modelo)

klamdaSST=as.numeric(read.table("correccionSST2.txt",header=FALSE))

```

```

KSST=as.numeric(read.table("correccionSST.txt",header=FALSE))
posSST=as.numeric(read.table("pos1SST.txt",header=FALSE))
M=cbind(serie1lamda)
lamdaSST=M[, (posSST+1)]
y=SSTlabo#[2:4]
x=todo[3:221]
modelo=plsr(y~.,ncomp=1,data=as.data.frame(x),validation="LOO",method="widekernelpls")
SSTp=predict(modelo)
serie1predSST=predict(modelo,ncomp=1,newdata=as.matrix(serie1lamda))
wth=3*580
hth=wth/2^(.5)
wth=3*580
hth=wth/2^(.5)
tiff(filename = "SSTevento1.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize =
10, bg = "white", res = 300)
par(mar=c(4.5,4.5,1,1))
plot(tiempo1,SSTscan1,type="l",ylim=c(0,max(SSTscan1,DQOscan1)),ylab="mg/L",xlab="t
iempo (min)",col="blue")
lines(tiempo1,KSST*SSTscan1,col="red")
lines(tiempo1,klamdaSST*lamdaSST,col="green")
lines(tiempo1,serie1predSST,col="black")
legend("topright",c("serie1","serie1corr","serie1lamdacorr","serie1pls"),col=c("blue","red","g
reen","black"),bty="n",lty=1)
dev.off()
wth=3*580
hth=wth/2^(.5)
serie1=SSTscan1
serie1corr=KSST*SSTscan1
serie1lamdacorr=klamdaSST*lamdaSST

```

```

serie1pls=serie1predSST

tiff(filename = "SST-EVENTO1.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw",
pointsize = 10, bg = "white", res = 300)

par(mar=c(4.5,4,1,1))

series1SST=cbind(serie1,serie1corr,serie1lamdacorr,serie1pls)

boxplot(series1SST,xlab="series",ylab="concentración (mg/l)")

summary(cbind(SSTscan1,KSST*SSTscan1,klamdaSST*lamdaSST,serie1predSST))

dev.off()

serie1SST=c(min(SSTscan1),quantile(SSTscan1,0.25),median(SSTscan1),quantile(SSTscan1,0.75),max(SSTscan1))

serie1corrSST=c(min(KSST*SSTscan1),quantile(KSST*SSTscan1,0.25),median(KSST*SSTscan1),quantile(KSST*SSTscan1,0.75),max(KSST*SSTscan1))

serie1lamdacorrSST=c(min(klamdaSST*lamdaSST),quantile(klamdaSST*lamdaSST,0.25),median(klamdaSST*lamdaSST),quantile(klamdaSST*lamdaSST,0.75),max(klamdaSST*lamdaSST))

serie1plsSST=c(min(serie1predSST),quantile(serie1predSST,0.25),median(serie1predSST),quantile(serie1predSST,0.75),max(serie1predSST))

SSTparaevento1=cbind(serie1SST,serie1corrSST,serie1lamdacorrSST,serie1plsSST)

write.csv(SSTparaevento1,"summary.csv",row.names=FALSE)

### evento 1 para DQO

rm(list=ls(all=TRUE))

serie1=read.table("serie-evento1.txt",header=TRUE)

attach(serie1)

serie1lamda=read.table("serie-lamda-cont1.txt",header=TRUE)

attach(serie1lamda)

todo=read.table("ensayo-para-modelo.txt",header=TRUE)

attach(todo)

y=DQOlabo#[2:4]

x=todo[3:221]

modeloDQO=plsr(y~
.,ncomp=1,data=as.data.frame(x),validation="LOO",method="widekernelpls")

```

```

DQOp=predict(modeloDQO)
KDQO=as.numeric(read.table("correccionDQO.txt",header=FALSE))
klamdaDQO=as.numeric(read.table("correccionDQO2.txt",header=FALSE))
posDQO=as.numeric(read.table("pos1DQO.txt",header=FALSE))
M=cbind(serie1lamda)
lamdaDQO=M[(posDQO+1)]
serie1predDQO=predict(modeloDQO,ncomp=1,newdata=as.matrix(serie1lamda))
wth=3*580
hth=wth/2^(.5)
tiempo=c(1:dim(serie1lamda)[1])
tiff(filename = "DQOevento1.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize
= 10, bg = "white", res = 300)
par(mar=c(4.5,4.5,1,1))
plot(tiempo1,DQOscan1,type="l",ylim=c(0,max(serie1predDQO)),ylab="mg/L",xlab="tiemp
o (min)",col="blue")
lines(tiempo1,KDQO*DQOscan1,col="red")
lines(tiempo1,klamdaDQO*lamdaDQO,col="green")
lines(tiempo,serie1predDQO,col="black")
legend("bottomright",c("serie1","serie1corr","serie1lamdacorr","serie1pls"),col=c("blue","red
","green","black"),bty="n",lty=1)
dev.off()
boxplot(DQOscan1,main="DQO para Evento
1",KDQO*DQOscan1,klamdaDQO*lamdaDQO,serie1predDQO, ylab="mg/L")
summary(cbind(DQOscan1,KDQO*DQOscan1,klamdaDQO*lamdaDQO,serie1predDQO))
serie1DQO=c(min(DQOscan1),quantile(DQOscan1,0.25),median(DQOscan1),quantile(DQ
Oscan1,0.75),max(DQOscan1))
serie1corrDQO=c(min(KDQO*DQOscan1),quantile(KDQO*DQOscan1,0.25),median(KDQ
O*DQOscan1),quantile(KDQO*DQOscan1,0.75),max(KDQO*DQOscan1))
serie1lamdacorrDQO=c(min(klamdaDQO*lamdaDQO),quantile(klamdaDQO*lamdaDQO,0.
25),median(klamdaDQO*lamdaDQO),quantile(klamdaDQO*lamdaDQO,0.75),max(klamda
DQO*lamdaDQO))
serie1plsDQO=c(min(serie1predDQO),quantile(serie1predDQO,0.25),median(Dserie1pred
DQO),quantile(serie1predDQO,0.75),max(serie1predDQO))

```

```
DQOparaevento1=cbind(serie1DQO,serie1corrDQO,serie1lamdacorrDQO,serie1plsDQO)
write.csv(vvvv,"summary.csv",row.names=FALSE)
```

### Anexo H

```
#####INTEGRAL EVENTO 1#####
##SST
rm(list=ls(all=TRUE))
serie1=read.table("CAUDAL1.txt",header=TRUE)
attach(serie1)
wth=3*580
hth=wth/2^(.5)
serie1lamda=read.table("serie-lamda-cont1.txt",header=TRUE)
attach(serie1lamda)
todo=read.table("ensayo-para-modelo.txt",header=TRUE)
attach(todo)
y=SSTlabo
x=todo[3:221]
modelo=plsr(y~.,ncomp=1,data=as.data.frame(x),validation="LOO",method="widekernelpls")
SSTp=predict(modelo)
tiempo=c(1:dim(serie1lamda)[1])
serie1predSST=predict(modelo,ncomp=1,newdata=as.matrix(serie1lamda))
if (length(Qvert1)<length(serie1predSST))
{serie1predSST=serie1predSST[1:length(Qvert1)]}else{Qvert1=Qvert1[1:length(serie1predSST)]}
tiempoCAUDAL1=tiempoCAUDAL1[1:length(serie1predSST)]}
FMSST1=Qvert1[1:137]*serie1predSST
### areas bajo la curva
i=2
masaacum1SST=0
while (i<=length(FMSST1)) {
```

```

masaacum1SST=c(masaacum1SST,0.5*(FMSST1[i]+FMSST1[i-1]))
i=i+1
}
masaacum1SST=masaacum1SST[-1]
masatotalSST1=sum(masaacum1SST*60)
### masas acumuladas PARA SST1
suma1SST=0
suma1SST=as.vector(0)
i=1
suma1SST[i]=masaacum1SST[i]
while (i<=length(FMSST1)) {
suma1SST[i+1]=suma1SST[i]+masaacum1SST[i+1]
i=i+1
}
suma1SST=suma1SST*60
##DQO area bajo la curva
todo=read.table("ensayo-para-modelo.txt",header=TRUE)
attach(todo)
serie1lamda=read.table("serie-lamda-cont1.txt",header=TRUE)
attach(serie1lamda)
y=DQOlabo#[2:4]
x=todo[3:221]
modeloDQO=plsr(y~.,ncomp=1,data=as.data.frame(x),validation="LOO",method="wideker
nelpls")
DQOp=predict(modeloDQO)
serie1predDQO=predict(modeloDQO,ncomp=1,newdata=as.matrix(serie1lamda))
FMDQO1=Qvert1[1:137]*serie1predDQO
i=2
masaacum1DQO=0

```

```

while (i<=length(FMDQO1)) {
  masaacum1DQO=c(masaacum1DQO,0.5*(FMDQO1[i]+FMDQO1[i-1]))
  i=i+1
}
masaacum1DQO=masaacum1DQO[-1]
masatotalDQO1=sum(masaacum1DQO*60)
### masas acumuladas PARA DQO1
suma1DQO=0
suma=as.vector(0)
i=1
suma1DQO[i]=masaacum1DQO[i]
while (i<=length(FMDQO1)) {
  suma1DQO[i+1]=suma1DQO[i]+masaacum1DQO[i+1]
  i=i+1
}
suma1DQO=suma1DQO*60
wth=3*580
hth=wth/2^(.5)
tiemponew1=c(tiempoCAUDAL1)
tiff(filename = "masa-acumulada1.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw",
pointsize = 10, bg = "white", res = 300)
par(mar=c(4.5,4.5,1,1))
plot(c(0,tiemponew1[1:142]),type="l",c(0,suma1DQO[1:142]),col="red",pch=20,ylab="masa
(mg)",xlab="tiempo (min)")
lines(c(0,tiemponew1[1:142]),c(0,suma1SST[1:142]),col="blue")
legend("topleft",c("SST","DQO"),col=c("blue","red"),bty="n",lty=1)
dev.off()
###volumen para evento 1
wth=3*580
hth=wth/2^(.5)

```

```

tiemponew1=c(tiempoCAUDAL1)

tiff(filename = "volumen1.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize =
10, bg = "white", res = 300)

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

plot(tiempoCAUDAL1,Qvert1*(tiempoCAUDAL1*60),type="l",ylim=c(0,max(Qvert1*(tiempo
CAUDAL1*60))),col="red",pch=20,ylab="volumen (l)",xlab="tiempo (min)")

dev.off()

vecvolumen1=c(Qvert1*(tiempoCAUDAL1*60))

volumentotal1=sum(vecvolumen1)

### volumen acumulado PARA evento 1

sumavolumen1=0

sumavolumen1=as.vector(0)

i=1

sumavolumen1[i]=vecvolumen1[i]

while (i<=length(FMSST1)) {

sumavolumen1[i+1]=sumavolumen1[i]+vecvolumen1[i+1]

i=i+1

}

tiemponew1=c(tiempoCAUDAL1)

tiff(filename = "volumen-acumulado1.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw",
pointsize = 10, bg = "white", res = 300)

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

plot(c(0,tiemponew1[1:142]),type="l",c(0,sumavolumen1[1:142]),col="red",pch=20,ylab="v
olumen(l)",xlab="tiempo (min)")

legend("topleft",c("evento1"),col=c("red"),bty="n",lty=1)

dev.off()

### porcentaje volumen para evento 1

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

```



```

porcentajeVOL1=c((sumavolumen1[1:137]/volumentotal1)*100)

tiemponew1=c(tiempoCAUDAL1)

tiff(filename = "porcentaje-volumen1.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw",
pointsize = 10, bg = "white", res = 300)

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

plot(tiempoCAUDAL1,porcentajeVOL1,type="l",ylim=c(0,max(porcentajeVOL1)),col="red",
pch=20,ylab="volumen (%)",xlab="tiempo (min)")

dev.off()

### Porcentaje masa para evento 1

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

porcentajeMASSST1=c((suma1SST[1:142]/masatotalSST1)*100)

porcentajeMASDQO1=c((suma1DQO[1:142]/masatotalDQO1)*100)

tiemponew1=c(tiempoCAUDAL1)

tiff(filename = "porcentaje-masa1.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw",
pointsize = 10, bg = "white", res = 300)

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

plot(tiempoCAUDAL1[1:142],porcentajeMASSST1,type="l",ylim=c(0,max(porcentajeMASS
ST1,na.rm=TRUE)),col="blue",pch=20,ylab="masa (%)",xlab="tiempo (min)")

lines(tiempoCAUDAL1[1:142],porcentajeMASDQO1,col="red")

legend("bottomright",c("masa SST","masa DQO"),col=c("blue","red"),bty="n",lty=1)

dev.off()

##### %masa vs %volumen para EVENTO1 en sst

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

tiff(filename = "volumen1-vs-masa1.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw",
pointsize = 10, bg = "white", res = 300)

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

plot(porcentajeVOL1[1:135],porcentajeMASSST1[1:135],type="l",col="blue",pch=20,ylab="
masa (%)",xlab="volumen (%)")

lines(porcentajeVOL1[1:135],porcentajeMASDQO1[1:135],col="red")

```

```
legend("bottomright",c("SST","DQO"),col=c("blue","red"),bty="n",lty=1)
dev.off()
```

##se realiza el mismo procedimiento con los datos para el evento 2

### Anexo I

A continuación se muestra el programa en lenguaje R que se desarrolló:

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

#Este programa inicia con la lectura de los datos de SST y DQO obtenidos en laboratorio
y obtenidos en campo con el espectrómetro UV-visible (datos_eventos.txt).

#La estructura de este archivo va de la siguiente manera: la primera columna corresponde
al evento en el que se tomó el dato, la segunda columna corresponden al punto de
muestreo en el que se tomó el dato, la tercera y quinta columna corresponde a los SST y
a los valores de DQO obtenidos con el espectrómetro respectivamente.Finalmente la
cuarta y la sexta columna corresponden a los SST y a los valores de DQO obtenidos en el
laboratorio.

todo=read.table("datos_eventos.txt",header=TRUE)

attach(todo)

##### PARA SST #####

#Se hace un modelo usando los valores de las columnas 1, 2,3 y 4 pero únicamente los
valores desde la fila 2 hasta la 4.puesto que, era el único punto de muestreo que contaba
con más datos

y=SSTlabo[2:4]
x=SSTscan[2:4]

modelo=lm(y~x-1)

#Se hace uso de la función predict que tiene como objetivo generar las predicciones de
los resultados de las diversas funciones de ajuste del modelo para SST

SSTp=predict(modelo,data=SSTscan)

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

tiff(filename = "calibracion1.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize =
10, bg = "white", res = 300)

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

plot(x,y,xlim=c(0,max(x)),ylim=c(0,max(y)),xlab="SST s::can (mg/L)",ylab="SST labo
(mg/L)",col="blue",pch=20)

lines(c(0,max(x)),c(0,max(SSTp)),lty=2)
```

```

legend("topleft",c("observaciones","modelo"),col=c("blue","black"),bty="n",lty=c(0,2),pch=c(
20,-1))

dev.off()

tiff(filename = "calibracion1b.tif", width = wth, height = wth, compression = "lzw", pointsize
= 12, bg = "white", res = 300)

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

plot(y,SSTp,xlim=c(0,max(y,SSTp)),ylim=c(0,max(y,SSTp)),xlab="SST labo
(mg/L)",ylab="SST modelo (mg/L)",col="blue",pch=20)

lines(c(0,max(y,SSTp)),c(0,max(y,SSTp)),lty=2)

#legend("topleft",c("observaciones","modelo"),col=c("blue","black"),bty="n",lty=c(0,2),pch=
c(20,-1))

dev.off()

#se calcula r2 (coeficiente de correlación) y el error promedio de la regresión (RMSE) para
SST

r2=(cor(SSTp,y))^2

RMSE=((sum((SSTp-y)^2))/length(y))^0.5

write.csv(c(r2,RMSE),"result.csv",row.names=FALSE)

#Se genera un archivo (correccionSST.txt) con la corrección para los valores de SST

write(modelo$coefficients,"correccionSST.txt")

#####FIN SST#####

### PARA DQO ###

#se hace el mismo procedimiento para DQO

y=DQOlabo[2:4]

x=DQOscan[2:4]

modelo=lm(y~x-1)

DQOp=predict(modelo)

tiff(filename = "calibracion1DQO.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw",
pointsize = 10, bg = "white", res = 300)

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

plot(x,y,xlim=c(0,max(x)),ylim=c(0,max(y)),xlab="DQO s::can (mg/L)",ylab="DQO labo
(mg/L)",col="blue",pch=20)

lines(c(0,max(x)),c(0,max(DQOp)),lty=2)

```

```

legend("topleft",c("observaciones","modelo"),col=c("blue","black"),bty="n",lty=c(0,2),pch=c(
20,-1))

dev.off()

tiff(filename = "calibracion1bDQO.tif", width = wth, height = wth, compression = "lzw",
pointsize = 12, bg = "white", res = 300)

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

plot(y,DQOp,xlim=c(0,max(y,DQOp)),ylim=c(0,max(y,DQOp)),xlab="DQO labo
(mg/L)",ylab="DQO modelo (mg/L)",col="blue",pch=20)

lines(c(0,max(y,DQOp)),c(0,max(y,DQOp)),lty=2)

#legend("topleft",c("observaciones","modelo"),col=c("blue","black"),bty="n",lty=c(0,2),pch=
c(20,-1))

dev.off()

r2=(cor(DQOp,y))^2

RMSE=((sum((DQOp-y)^2))/length(y))^0.5

write.csv(c(r2,RMSE),"resultDQO.csv",row.names=FALSE)

write(modelo$coefficients,"correccionDQO.txt")

#####FIN DQO#####

rm(list=ls(all=TRUE))

#Este programa inicia con la lectura de los datos de: tiempo, SST y DQO obtenidos en
campo con el espectrómetro UV-visible para el evento 1 (serie-evento1.txt) y para el
evento 2 (serie-evento2.txt).

serie1=read.table("serie-evento1.txt",header=TRUE)

attach(serie1)

serie2=read.table("serie-evento2.txt",header=TRUE)

attach(serie2)

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

#Se hace una gráfica para el evento 1 y para el evento 2

tiff(filename = "serie1.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize = 10, bg
= "white", res = 300)

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

```

```
plot(tiempo1,SSTscan1,type="l",ylim=c(0,max(SSTscan1,DQOscan1)),ylab="mg/L",xlab="t  
iempo (min)",col="blue")
```

```
lines(tiempo1,DQOscan1,col="red")
```

```
legend("bottomright",c("SST","DQO"),col=c("blue","red"),bty="n",lty=1)
```

```
dev.off()
```

```
tiff(filename = "serie2.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize = 10, bg  
= "white", res = 300)
```

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

```
plot(tiempo2,SSTscan2,type="l",ylim=c(0,max(SSTscan2,DQOscan2)),ylab="mg/L",xlab="t  
iempo (min)",col="blue")
```

```
lines(tiempo2,DQOscan2,col="red")
```

```
legend("topright",c("SST","DQO"),col=c("blue","red"),bty="n",lty=1)
```

```
dev.off()
```

- Prog02\_series.R

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

```
#Este programa inicia con la lectura de los mismos datos utilizados en el Prog01_series.R  
(3.1.2) es decir con los archivos: serie-evento1.txt y serie-evento2.txt.
```

```
serie1=read.table("serie-evento1.txt",header=TRUE)
```

```
attach(serie1)
```

```
serie2=read.table("serie-evento2.txt",header=TRUE)
```

```
attach(serie2)
```

```
#Se crea una variable llamada KSST y una variable llamada KDQO en donde se guardara  
la corrección calculada en el Prog01_calib.R (3.1.1) para SST y DQO respectivamente
```

```
KSST=as.numeric(read.table("correccionSST.txt",header=FALSE))
```

```
KDQO=as.numeric(read.table("correccionDQO.txt",header=FALSE))
```

```
wth=3*580
```

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

```
#Se generan las graficas de las series de tiempo corregidas para cada uno de los eventos
```

```
tiff(filename = "serie1corr.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize =  
10, bg = "white", res = 300)
```

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

```

plot(tiempo1,KSST*SSTscan1,type="l",ylim=c(0,max(SSTscan1,DQOscan1)),ylab="mg/L",
xlab="tiempo (min)",col="blue")

#plot(tiempo1,KSST*SSTscan1,type="l",ylim=c(0,max(KSST*SSTscan1)),ylab="mg/L",xla
b="tiempo (min)",col="blue")

lines(tiempo1,KDQO*DQOscan1,col="red")

legend("topright",c("SST","DQO"),col=c("blue","red"),bty="n",lty=1)

dev.off()

tiff(filename = "serie2corr.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", fontsize =
10, bg = "white", res = 300)

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

plot(tiempo2,KSST*SSTscan2,type="l",ylim=c(0,max(SSTscan2,DQOscan2)),ylab="mg/L",
xlab="tiempo (min)",col="blue")

lines(tiempo2,KDQO*DQOscan2,col="red")

legend("topright",c("SST","DQO"),col=c("blue","red"),bty="n",lty=1)

dev.off()

```

## Anexo J

- Prog02\_calib.R:

```

rm(list=ls(all=TRUE))

#Este programa inicia con la lectura de los datos de SST y DQO obtenidos en laboratorio
y obtenidos en campo con el espectrómetro Uv-visible con sus respectivas absorbancias
para cada una de las longitudes de onda (datos_eventos_lamdas.txt).

todo=read.table("datos_eventos_lamdas.txt",header=TRUE)

attach(todo)

#Se crea una matriz con una dimensión de [3:221] para que almacene estos datos pero
únicamente los valores del evento 2 en el punto de muestreo 1.

M=cbind(SSTlabo[2:4],DQOlabo[2:4],todo[2:4,7:225])

#Posteriormente se crea una variable a la cual se le asigna la longitud de onda que tenga
mayor correlación con los valores obtenidos en el laboratorio para SST y para DQO. Esto
se realiza utilizando la función which.max(cor()), la cual exporta el valor máximo de
correlación

iSST=which.max(cor(M)[3:221,1:2][,1])

iDQO=which.max(cor(M)[3:221,1:2][,2])

```

```

#### PARA SST ####

y=SSTlabo[2:4]

x=M[(iSST+2)]

#se realiza un modelo lineal entre la longitud de onda que más se correlaciona para los
valores de SST y los datos obtenidos en laboratorio

modelo=lm(y~x-1)

SSTp=predict(modelo)

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

tiff(filename = "calibracion2SST.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw",
pointsize = 10, bg = "white", res = 300)

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

plot(x,y,xlim=c(0,max(x)),ylim=c(0,max(y)),xlab=paste("abs",iSST," (1/m)",ylab="SST labo
(mg/L)",col="blue",pch=20)

lines(c(0,max(x)),c(0,max(SSTp)),lty=2)

legend("topleft",c("observaciones","modelo"),col=c("blue","black"),bty="n",lty=c(0,2),pch=c(
20,-1))

dev.off()

tiff(filename = "calibracion2bSST.tif", width = wth, height = wth, compression = "lzw",
pointsize = 12, bg = "white", res = 300)

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

plot(y,SSTp,xlim=c(0,max(y,SSTp)),ylim=c(0,max(y,SSTp)),xlab="SST labo
(mg/L)",ylab="SST modelo (mg/L)",col="blue",pch=20)

lines(c(0,max(y,SSTp)),c(0,max(y,SSTp)),lty=2)

#legend("topleft",c("observaciones","modelo"),col=c("blue","black"),bty="n",lty=c(0,2),pch=
c(20,-1))

dev.off()

#se calcula r2 (coeficiente de correlación) y el error promedio de la regresión (RMSE) para
SST

r2=(cor(SSTp,y))^2

RMSE=((sum((SSTp-y)^2))/length(y))^0.5

write.csv(c(r2,RMSE, iSST),"result_calib2.csv",row.names=FALSE)

```

```

write(iSST,"pos1SST.txt")

##Se genera un archivo (correccionSST.txt) con la corrección para los valores de SST
write(modelo$coefficients,"correccionSST2.txt")

#####FIN SST#####

### PARA DQO ###

#se hace el mismo procedimiento para DQO

y=DQOlabo[2:4]

x=M[(iDQO+2)]

modelo=lm(y~x-1)

DQOp=predict(modelo)

tiff(filename = "calibracion2DQO.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw",
pointsize = 10, bg = "white", res = 300)

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

plot(x,y,xlim=c(0,max(x)),ylim=c(0,max(y)),xlab=paste("abs",iDQO," (1/m)"),ylab="DQO
labo (mg/L)",col="blue",pch=20)

lines(c(0,max(x)),c(0,max(DQOp)),lty=2)

legend("topleft",c("observaciones","modelo"),col=c("blue","black"),bty="n",lty=c(0,2),pch=c(
20,-1))

dev.off()

tiff(filename = "calibracion2bDQO.tif", width = wth, height = wth, compression = "lzw",
pointsize = 12, bg = "white", res = 300)

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

plot(y,DQOp,xlim=c(0,max(y,DQOp)),ylim=c(0,max(y,DQOp)),xlab="DQO labo
(mg/L)",ylab="DQO modelo (mg/L)",col="blue",pch=20)

lines(c(0,max(y,DQOp)),c(0,max(y,DQOp)),lty=2)

#legend("topleft",c("observaciones","modelo"),col=c("blue","black"),bty="n",lty=c(0,2),pch=
c(20,-1))

dev.off()

r2=(cor(DQOp,y))^2

RMSE=((sum((DQOp-y)^2))/length(y))^0.5

write.csv(c(r2,RMSE,iDQO),"resultDQO2.csv",row.names=FALSE)

```



```

write(iDQO,"pos1DQO.txt")

write(modelo$coefficients,"correccionDQO2.txt")

#####FIN DQO#####

•      Prog03_series.R:

## EVENTO 1

#Este programa inicia almacenando los datos de entrada serie-lamda-cont1.txt. Este
archivo corresponde al espectro calculado por el espectrómetro UV-visible para el
evento1.

rm(list=ls(all=TRUE))

serie1lamda=read.table("serie-lamda-cont1.txt",header=TRUE)

attach(serie1lamda)

posSST=as.numeric(read.table("pos1SST.txt",header=FALSE))

posDQO=as.numeric(read.table("pos1DQO.txt",header=FALSE))

#Posteriormente se crea una matriz (M) en donde se almacena el archivo con los valores
de absorbanza correspondiente al evento1 y se crean dos variables (lamdaSST y
lamdaDQO) en donde se almacenan los valores de absorbanza para la longitud de onda
mas correlacionada

M=cbind(serie1lamda)

lamdaSST=M[, (posSST+1)]

lamdaDQO=M[, (posDQO+1)]

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

tiff(filename = "serie1lamda.tif", width = wth, height = hth,compression = "lzw", pointsize =
10, bg = "white", res = 300)

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

plot(tiempocont1,lamdaSST,type="l",ylim=c(0,max(lamdaSST,lamdaDQO)),ylab="abs
(1/m)",xlab="tiempo (min)",col="blue")

lines(tiempocont1,lamdaDQO,col="red")

legend("bottomright",c("SST","DQO"),col=c("blue","red"),bty="n",lty=1)

dev.off()

## EVENTO 2

#se almacena de igual forma los datos correspondientes al archivo serie-lamda-cont2.txt

```

```

rm(list=ls(all=TRUE))
serie2lamda=read.table("serie-lamda-cont2.txt",header=TRUE)
attach(serie2lamda)
posSST=as.numeric(read.table("pos1SST.txt",header=FALSE))
posDQO=as.numeric(read.table("pos1DQO.txt",header=FALSE))
#Se crea una matriz (M2) y se usan las mismas variables lamdaSST y lamdaDQO
M2=cbind(serie2lamda)
lamdaSST2=M2[, (posSST+1)]
lamdaDQO2=M2[, (posDQO+1)]
wth=3*580
hth=wth/2^(.5)
tiff(filename = "serie2lamda.tif", width = wth, height = hth,compression = "lzw", pointsize =
10, bg = "white", res = 300)
par(mar=c(4.5,4.5,1,1))
plot(tiempocont2,lamdaSST2,type="l",ylim=c(0,max(lamdaSST2,lamdaDQO2)),ylab="abs
(1/m)",xlab="tiempo (min)",col="blue")
lines(tiempocont2,lamdaDQO2,col="red")
legend("bottomright",c("SST", "DQO"),col=c("blue", "red"),bty="n",lty=1)
dev.off()

```

- Prog03\_seriescorrec.R:

```

rm(list=ls(all=TRUE))
#Este programa inicia con la lectura de los mismos datos de entrada del Prog03_series.R
(Serie-lamda-cont1.txt y Serie-lamda-cont2.txt).
serie1lamda=read.table("serie-lamda-cont1.txt",header=TRUE)
attach(serie1lamda)
#se crea una variable llamada KlamdaSST en donde se almacena el valor de la
corrección para SST (correccionSST2.txt) que se calculó en el Prog02_Calib.R
#se crea una variable llamada KlamdaDQO en donde se almacena la corrección para los
valores de DQO (correccionDQO2.txt)
klamdaSST=as.numeric(read.table("correccionSST2.txt",header=FALSE))
klamdaDQO=as.numeric(read.table("correccionDQO2.txt",header=FALSE))

```

#Se utiliza la misma matriz M y M2 y las variables lambda SST y lambda DQO utilizadas en el programa Prog02\_Calib.R

```
posSST=as.numeric(read.table("pos1SST.txt",header=FALSE))
```

```
posDQO=as.numeric(read.table("pos1DQO.txt",header=FALSE))
```

```
M=cbind(serie1lamda)
```

```
lamdaSST=M[(posSST+1)]
```

```
lamdaDQO=M[(posDQO+1)]
```

```
wth=3*580
```

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

#Se grafican las series corregidas para el evento 1 y para el evento 2

```
tiff(filename = "serie1lamdacorr.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw",  
pointsize = 10, bg = "white", res = 300)
```

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

```
plot(tiempocont1,klamdaSST*lamdaSST,type="l",ylim=c(0,max(lamdaSST*klamdaSST,la  
mdaDQO*klamdaDQO)),ylab="mg/L",xlab="tiempo (min)",col="blue")
```

```
lines(tiempocont1,klamdaDQO*lamdaDQO,col="red")
```

```
legend("topright",c("SST","DQO"),col=c("blue","red"),bty="n",lty=1)
```

```
dev.off()
```

### EVENTO 2

#Se utiliza el mismo procedimiento pero utilizando los datos del segundo evento

```
serie2lamda=read.table("serie-lamda-cont2.txt",header=TRUE)
```

```
attach(serie2lamda)
```

```
klamdaSST=as.numeric(read.table("correccionSST2.txt",header=FALSE))
```

```
klamdaDQO=as.numeric(read.table("correccionDQO2.txt",header=FALSE))
```

```
posSST=as.numeric(read.table("pos1SST.txt",header=FALSE))
```

```
posDQO=as.numeric(read.table("pos1DQO.txt",header=FALSE))
```

```
M2=cbind(serie2lamda)
```

```
lamdaSST2=M2[(posSST+1)]
```

```
lamdaDQO2=M2[(posDQO+1)]
```

```
tiff(filename = "serie2lamdacorr.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw",
pointsize = 10, bg = "white", res = 300)

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

plot(tiempocont2,klamdaSST*lamdaSST2,type="l",ylim=c(0,max(klamdaSST*lamdaSST2,
klamdaDQO*lamdaDQO2)),ylab="mg/L",xlab="tiempo (min)",col="blue")

lines(tiempocont2,klamdaDQO*lamdaDQO2,col="red")

legend("topright",c("SST","DQO"),col=c("blue","red"),bty="n",lty=1)

dev.off()
```

### Anexo K

En el numeral 3.4.1 se hizo uso de los siguientes programas:

- Prog\_05Comparacion1.R

```
###evento 1 para SST
rm(list=ls(all=TRUE))
serie1=read.table("serie-evento1.txt",header=TRUE)
attach(serie1)
serie1lamda=read.table("serie-lamda-cont1.txt",header=TRUE)
attach(serie1lamda)
todo=read.table("ensayo-para-modelo.txt",header=TRUE)
attach(todo)
y=SSTlabo#[2:4]
x=todo[3:221]
modelo=plsr(y~.,ncomp=1,data=as.data.frame(x),validation="LOO",method="widekernelpls")
SSTp=predict(modelo)
klamdaSST=as.numeric(read.table("correccionSST2.txt",header=FALSE))
KSST=as.numeric(read.table("correccionSST.txt",header=FALSE))
posSST=as.numeric(read.table("pos1SST.txt",header=FALSE))
M=cbind(serie1lamda)
lamdaSST=M[, (posSST+1)]
y=SSTlabo#[2:4]
```

```

x=todo[3:221]

modelo=plsr(y~.,ncomp=1,data=as.data.frame(x),validation="LOO",method="widekernelpls")

SSTp=predict(modelo)

serie1predSST=predict(modelo,ncomp=1,newdata=as.matrix(serie1lamda))

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

tiff(filename = "SSTevento1.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize =
10, bg = "white", res = 300)

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

plot(tiempo1,SSTscan1,type="l",ylim=c(0,max(SSTscan1,DQOscan1)),ylab="mg/L",xlab="t
iempo (min)",col="blue")

lines(tiempo1,KSST*SSTscan1,col="red")

lines(tiempo1,klamdaSST*lamdaSST,col="green")

lines(tiempo1,serie1predSST,col="black")

legend("topright",c("serie1","serie1corr","serie1lamdacorr","serie1pls"),col=c("blue","red","g
reen","black"),bty="n",lty=1)

dev.off()

boxplot(SSTscan1,main="SST para Evento
1",KSST*SSTscan1,klamdaSST*lamdaSST,serie1predSST, ylab="mg/L")

summary(cbind(SSTscan1,KSST*SSTscan1,klamdaSST*lamdaSST,serie1predSST))

tiff(filename = "boxplot1SST.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize =
10, bg = "white", res = 300)

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

plot(boxplot(SSTscan1,main="SST para Evento
1",KSST*SSTscan1,klamdaSST*lamdaSST,serie1predSST,
ylab="mg/L"),type="l",ylim=c(0,max(SSTscan1,DQOscan1)),ylab="mg/L",xlab="tiempo
(min)",col="blue")

dev.off()

serie1SST=c(min(SSTscan1),quantile(SSTscan1,0.25),median(SSTscan1),quantile(SSTsc
an1,0.75),max(SSTscan1))

serie1corrSST=c(min(KSST*SSTscan1),quantile(KSST*SSTscan1,0.25),median(KSST*S
STscan1),quantile(KSST*SSTscan1,0.75),max(KSST*SSTscan1))

```

```

serie1lamdacorrSST=c(min(klamdaSST*lamdaSST),quantile(klamdaSST*lamdaSST,0.25)
,median(klamdaSST*lamdaSST),quantile(klamdaSST*lamdaSST,0.75),max(klamdaSST*lamdaSST))

serie1plsSST=c(min(serie1predSST),quantile(serie1predSST,0.25),median(serie1predSST),quantile(serie1predSST,0.75),max(serie1predSST))

SSTparaevento1=cbind(serie1SST,serie1corrSST,serie1lamdacorrSST,serie1plsSST)

write.csv(SSTparaevento1,"summary.csv",row.names=FALSE)

### evento 1 para DQO

rm(list=ls(all=TRUE))

serie1=read.table("serie-evento1.txt",header=TRUE)

attach(serie1)

serie1lamda=read.table("serie-lamda-cont1.txt",header=TRUE)

attach(serie1lamda)

todo=read.table("ensayo-para-modelo.txt",header=TRUE)

attach(todo)

y=DQOlabo#[2:4]

x=todo[3:221]

modeloDQO=plsr(y~.,ncomp=1,data=as.data.frame(x),validation="LOO",method="widekernelpls")

DQOp=predict(modeloDQO)

KDQO=as.numeric(read.table("correccionDQO.txt",header=FALSE))

klamdaDQO=as.numeric(read.table("correccionDQO2.txt",header=FALSE))

posDQO=as.numeric(read.table("pos1DQO.txt",header=FALSE))

M=cbind(serie1lamda)

lamdaDQO=M[, (posDQO+1)]

serie1predDQO=predict(modeloDQO,ncomp=1,newdata=as.matrix(serie1lamda))

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

tiempo=c(1:dim(serie1lamda)[1])

tiff(filename = "DQOevento1.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize = 10, bg = "white", res = 300)

```

```

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

plot(tiempo1,DQOscan1,type="l",ylim=c(0,max(serie1predDQO)),ylab="mg/L",xlab="tiempo (min)",col="blue")

lines(tiempo1,KDQO*DQOscan1,col="red")

lines(tiempo1,klamdaDQO*lamdaDQO,col="green")

lines(tiempo,serie1predDQO,col="black")

legend("bottomright",c("serie1","serie1corr","serie1lamdacorr","serie1pls"),col=c("blue","red","green","black"),bty="n",lty=1)

dev.off()

boxplot(DQOscan1,main="DQO para Evento 1",KDQO*DQOscan1,klamdaDQO*lamdaDQO,serie1predDQO,ylab="mg/L")

summary(cbind(DQOscan1,KDQO*DQOscan1,klamdaDQO*lamdaDQO,serie1predDQO))

tiff(filename = "boxplot1DQO.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize = 10, bg = "white", res = 300)

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

plot(boxplot(DQOscan1,main="DQO para Evento 1",KDQO*DQOscan1,klamdaDQO*lamdaDQO,serie1predDQO,ylab="mg/L"),type="l",ylim=c(0,max(SSTscan1,DQOscan1)),ylab="mg/L",xlab="tiempo (min)",col="blue")

dev.off()

serie1DQO=c(min(DQOscan1),quantile(DQOscan1,0.25),median(DQOscan1),quantile(DQOscan1,0.75),max(DQOscan1))

serie1corrDQO=c(min(KDQO*DQOscan1),quantile(KDQO*DQOscan1,0.25),median(KDQO*DQOscan1),quantile(KDQO*DQOscan1,0.75),max(KDQO*DQOscan1))

serie1lamdacorrDQO=c(min(klamdaDQO*lamdaDQO),quantile(klamdaDQO*lamdaDQO,0.25),median(klamdaDQO*lamdaDQO),quantile(klamdaDQO*lamdaDQO,0.75),max(klamdaDQO*lamdaDQO))

serie1plsDQO=c(min(serie1predDQO),quantile(serie1predDQO,0.25),median(serie1predDQO),quantile(serie1predDQO,0.75),max(serie1predDQO))

DQOparaevento1=cbind(serie1DQO,serie1corrDQO,serie1lamdacorrDQO,serie1plsDQO)

write.csv(DQOparaevento1,"summary.csv",row.names=FALSE)

• Prog_05Comparacion2Final.R

###evento 2 para SST

rm(list=ls(all=TRUE))

```

```

serie2=read.table("serie-evento2.txt",header=TRUE)
attach(serie2)
serie2lamda=read.table("serie-lamda-cont2.txt",header=TRUE)
attach(serie2lamda)
todo=read.table("ensayo-para-modelo.txt",header=TRUE)
attach(todo)
y=SSTlabo#[2:4]
x=todo[3:221]
modelo=plsr(y~.,ncomp=1,data=as.data.frame(x),validation="LOO",method="widekernelpls")
SSTp=predict(modelo)
klamdaSST=as.numeric(read.table("correccionSST2.txt",header=FALSE))
KSST=as.numeric(read.table("correccionSST.txt",header=FALSE))
posSST=as.numeric(read.table("pos1SST.txt",header=FALSE))
M=cbind(serie2lamda)
lamdaSST=M[, (posSST+1)]
y=SSTlabo#[2:4]
x=todo[3:221]
modelo=plsr(y~.,ncomp=1,data=as.data.frame(x),validation="LOO",method="widekernelpls")
SSTp=predict(modelo)
serie2predSST=predict(modelo,ncomp=1,newdata=as.matrix(serie2lamda))
wth=3*580
hth=wth/2^(.5)
tiff(filename = "SSTevento2.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize =
10, bg = "white", res = 300)
par(mar=c(4.5,4.5,1,1))
plot(tiempo2,SSTscan2,type="l",ylim=c(0,max(SSTscan2,DQOscan2)),ylab="mg/L",xlab="t
iempo (min)",col="blue")
lines(tiempo2,KSST*SSTscan2,col="red")

```



```

lines(tiempo2,klamdaSST*lamdaSST,col="green")

lines(tiempo2,serie2predSST,col="black")

legend("topright",c("serie2","serie2corr","serie2lamdacorr","serie2pls"),col=c("blue","red","green","black"),bty="n",lty=1)

dev.off()

boxplot(SSTscan2,main="SST para Evento
2",KSST*SSTscan2,klamdaSST*lamdaSST,serie2predSST,ylab="mg/L")

summary(cbind(SSTscan2,KSST*SSTscan2,klamdaSST*lamdaSST,serie2predSST))

tiff(filename = "boxplot2SST.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize =
10, bg = "white", res = 300)

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

plot(boxplot(SSTscan1,main="SST para Evento
2",KSST*SSTscan1,klamdaSST*lamdaSST,serie2predSST,
ylab="mg/L"),type="l",ylim=c(0,max(SSTscan2,DQOscan2)),ylab="mg/L",xlab="tiempo
(min)",col="blue")

dev.off()

serie2SST=c(min(SSTscan2),quantile(SSTscan2,0.25),median(SSTscan2),quantile(SSTscan2,0.75),max(SSTscan2))

serie2corrSST=c(min(KSST*SSTscan2),quantile(KSST*SSTscan2,0.25),median(KSST*SSTscan2),quantile(KSST*SSTscan2,0.75),max(KSST*SSTscan2))

serie2lamdacorrSST=c(min(klamdaSST*lamdaSST),quantile(klamdaSST*lamdaSST,0.25),median(klamdaSST*lamdaSST),quantile(klamdaSST*lamdaSST,0.75),max(klamdaSST*lamdaSST))

serie2plsSST=c(min(serie2predSST),quantile(serie2predSST,0.25),median(serie2predSST),quantile(serie2predSST,0.75),max(serie2predSST))

SSTparaevento2=cbind(serie2SST,serie2corrSST,serie2lamdacorrSST,serie2plsSST)

write.csv(SSTparaevento2,"summary.csv",row.names=FALSE)

### evento 2 para DQO

rm(list=ls(all=TRUE))

serie2=read.table("serie-evento2.txt",header=TRUE)

attach(serie2)

serie2lamda=read.table("serie-lamda-cont2.txt",header=TRUE)

attach(serie2lamda)

todo=read.table("ensayo-para-modelo.txt",header=TRUE)

```

```

attach(todo)

y=DQOlabo

x=todo[3:221]

modeloDQO=plsr(y~.,ncomp=1,data=as.data.frame(x),validation="LOO",method="wideker
nelpls")

DQOp=predict(modeloDQO)

KDQO=as.numeric(read.table("correccionDQO.txt",header=FALSE))

klamdaDQO=as.numeric(read.table("correccionDQO2.txt",header=FALSE))

posDQO=as.numeric(read.table("pos1DQO.txt",header=FALSE))

M=cbind(serie2lamda)

lamdaDQO=M[, (posDQO+1)]

serie2predDQO=predict(modeloDQO,ncomp=1,newdata=as.matrix(serie2lamda))

wth=3*580

hth=wth/2^(.5)

tiempo=c(1:dim(serie2lamda)[1])

tiff(filename = "DQOevento2.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize
= 10, bg = "white", res = 300)

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

plot(tiempo2,DQOscan2,type="l",ylim=c(0,max(serie2predDQO)),ylab="mg/L",xlab="tiemp
o (min)",col="blue")

lines(tiempo2,KDQO*DQOscan2,col="red")

lines(tiempo2,klamdaDQO*lamdaDQO,col="green")

lines(tiempo,serie2predDQO,col="black")

legend("bottomright",c("serie2","serie2corr","serie2lamdacorr","serie2pls"),col=c("blue","red
","green","black"),bty="n",lty=1)

dev.off()

boxplot(DQOscan2,main="DQO para Evento
2",KDQO*DQOscan2,klamdaDQO*lamdaDQO,serie2predDQO, ylab="mg/L")

summary(cbind(DQOscan2,KDQO*DQOscan2,klamdaDQO*lamdaDQO,serie2predDQO))

tiff(filename = "boxplot2DQO.tif", width = wth, height = hth, compression = "lzw", pointsize
= 10, bg = "white", res = 300)

```

```

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

plot(boxplot(DQOscan2,main="DQO para Evento
2",KDQO*DQOscan2,klamdaDQO*lamdaDQO,serie2predDQO,
ylab="mg/L"),type="l",ylim=c(0,max(SSTscan2,DQOscan2)),ylab="mg/L",xlab="tiempo
(min)",col="blue")

dev.off()

serie2DQO=c(min(DQOscan2),quantile(DQOscan2,0.25),median(DQOscan2),quantile(DQ
Oscan2,0.75),max(DQOscan2))

serie2corrDQO=c(min(KDQO*DQOscan2),quantile(KDQO*DQOscan2,0.25),median(KDQ
O*DQOscan2),quantile(KDQO*DQOscan2,0.75),max(KDQO*DQOscan2))

serie2lamdacorrDQO=c(min(klamdaDQO*lamdaDQO),quantile(klamdaDQO*lamdaDQO,0.
25),median(klamdaDQO*lamdaDQO),quantile(klamdaDQO*lamdaDQO,0.75),max(klamda
DQO*lamdaDQO))

serie2plsDQO=c(min(serie2predDQO),quantile(serie2predDQO,0.25),median(serie2predD
QO),quantile(serie2predDQO,0.75),max(serie2predDQO))

DQOparaevento2=cbind(serie2DQO,serie2corrDQO,serie2lamdacorrDQO,serie2plsDQO)

write.csv(DQOparaevento2,"summary.csv",row.names=FALSE)

```

## Anexo L

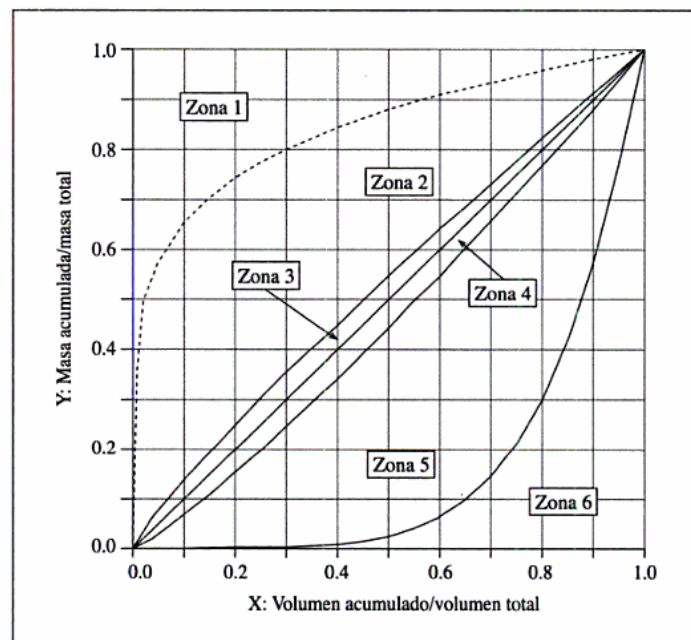


Ilustración representación de las zonas para un gráfico M(V). Fuente: Apuntes de clase sobre hidrología urbana, Andrés Torres, 2004

ANEXO 2

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES

(Licencia de uso)

Bogotá, D.C., 27 de enero de 2014

Señores

Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J.

Pontificia Universidad Javeriana

Ciudad

Los suscritos:

Maria Paula Arboleda Soler	con C.C. No	1026569763
_____		_____
Karen Bustos Pineda	con C.C. No	1022366176
_____	, con C.C. No	_____
_____		_____

En mi (nuestra) calidad de autor (es) exclusivo (s) de la obra titulada:

APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA UV-VISIBLE DE MEDICIÓN EN CONTINUO UTILIZADA PARA MONITOREAR LA CALIDAD DEL AGUA EN UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS UBICADO EN EL CAMPUS DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

(por favor señale con una "x" las opciones que apliquen)

Tesis doctoral  Trabajo de grado  Premio o distinción: Si  No

cual:

presentado y aprobado en el año 2014, por medio del presente escrito autorizo

(autorizamos) a la Pontificia Universidad Javeriana para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mi (nuestra) obra las atribuciones que se indican a

continuación, teniendo en cuenta que en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autorizan a la Pontificia Universidad Javeriana, a los usuarios de la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J., así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado un convenio, son:

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La conservación de los ejemplares necesarios en la sala de tesis y trabajos de grado de la Biblioteca.	x	
2. La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca)	x	
3. La consulta electrónica - on line (a través del catálogo Biblos y el Repositorio Institucional)	x	
4. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer	x	
5. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet	x	
6. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previo convenio perfeccionado con la Pontificia Universidad Javeriana para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones	x	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

De manera complementaria, garantizo (garantizamos) en mi (nuestra) calidad de estudiante (s) y por ende autor (es) exclusivo (s), que la Tesis o Trabajo de Grado en cuestión, es producto de mi (nuestra) plena autoría, de mi (nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy (somos) el (los) único (s) titular (es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o

Trabajo de Grado es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Pontificia Universidad Javeriana por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Pontificia Universidad Javeriana está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA: Información Confidencial:**

Esta Tesis o Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de una investigación que se adelanta y cuyos

resultados finales no se han publicado.

Si  No

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

NOMBRE COMPLETO	No. del documento de identidad	FIRMA
Maria Paula Arboleda Soler	1026569763	
Karen Amanda Bustos Pineda	1022366176	

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO: Ingeniería civil

ANEXO 3

BIBLIOTECA ALFONSO BORRERO CABAL, S.J.  
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO

FORMULARIO

TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS DOCTORAL O TRABAJO DE GRADO	
APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA UV-VISIBLE DE MEDICIÓN EN CONTINUO UTILIZADA PARA MONITOREAR LA CALIDAD DEL AGUA EN UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS UBICADO EN EL CAMPUS DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA	
SUBTÍTULO, SI LO TIENE	
AUTOR O AUTORES	
Apellidos Completos	Nombres Completos
Arboleda Soler	María Paula
Bustos Pineda	Karen Amanda
DIRECTOR (ES) TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO	
Apellidos Completos	Nombres Completos
Torres	Andrés
FACULTAD	
Ingeniería	
PROGRAMA ACADÉMICO	

Tipo de programa ( seleccione con "x" )						
Pregrado	Especialización	Maestría	Doctorado			
x						
Nombre del programa académico						
Ingeniería civil						
Nombres y apellidos del director del programa académico						
María Patricia León						
TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:						
Ingeniero civil						
PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o tener una mención especial):						
CIUDAD	AÑO DE PRESENTACIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO		NÚMERO DE PÁGINAS			
Bogotá	2014		107			
TIPO DE ILUSTRACIONES ( seleccione con "x" )						
Dibujos	Pinturas	Tablas, gráficos y diagramas	Planos	Mapas	Fotografías	Partituras
		x				
SOFTWARE REQUERIDO O ESPECIALIZADO PARA LA LECTURA DEL DOCUMENTO						
<p><b>Nota:</b> En caso de que el software (programa especializado requerido) no se encuentre licenciado por la Universidad a través de la Biblioteca (previa consulta al estudiante), el texto de la Tesis o Trabajo de Grado quedará solamente en formato PDF.</p>						



MATERIAL ACOMPAÑANTE					
TIPO	DURACIÓN (minutos)	CANTIDAD	FORMATO		
			CD	DVD	Otro ¿Cuál?
Vídeo					
Audio					
Multimedia					
Producción electrónica					
Otro Cuál?					
DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVE EN ESPAÑOL E INGLÉS					
<p>Son los términos que definen los temas que identifican el contenido. <i>(En caso de duda para designar estos descriptores, se recomienda consultar con la Sección de Desarrollo de Colecciones de la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J en el correo <a href="mailto:biblioteca@javeriana.edu.co">biblioteca@javeriana.edu.co</a>, donde se les orientará).</i></p>					
ESPAÑOL			INGLÉS		
Sensor UV / VIS,			UV/VIS sensor		
Medición en Continuo			Continuous measurement		
Espectrometría			Spectrometry		
Demanda química de oxígeno			Chemical oxygen demand –DQO		
Sólidos Suspendidos Totales			Total suspended solids – TSS		
Humedal			Wetland		
RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS					
(Máximo 250 palabras - 1530 caracteres)					

En Colombia no existen antecedentes de monitoreo en continuo para instalaciones en sistemas de tratamientos naturales como los humedales construidos. Este trabajo pretende reportar un análisis del comportamiento de los captosres, documentar la experiencia de operación de los sensores utilizados para el monitoreo de calidad de aguas, así como el manejo básico de datos obtenidos en campo adaptados al monitoreo en un sistema de tratamiento y recolección de aguas lluvias, sistema Humedal-Construido/Tanque-Regulador de la Pontificia Universidad Javeriana sede Bogotá. Los resultados de este trabajo demuestran que es posible aplicar e instrumentar la entrada del sistema Humedal-Construido/Tanque-Regulador mediante la tecnología de medición en continuo UV-Visible siempre y cuando se exploren diferentes metodologías de calibración local, con lo cual se abre la posibilidad para que estas tecnologías sean adaptadas para el monitoreo en continuo de calidad del agua en sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias y humedales construidos.

In Colombia there's no such thing as continuous monitoring record for instalations in natural treatment systems like constructed wetlands. This paper's objective is to report an analysis about the behaviour of the captors, document the operations experience of the sensors used for the monitoring of the waters quality, and also the basic managment of the obtained data in the field adapted to monitor a sistem of treatment and recolection of rainwater, Constructed-Wetland/Regulation-Tank of the Pontifical Javeriana University located in Bogotá. The results in this work prove that is posible to apply and instrument the entry of the Constructed-Wetland/Regulation-Tank trough measurement technology in continuous UV-Visible just and if the diferent methodologies of local calibration are explored, wich opens the possibility for this technologies to be adapted for the continued monitoring of the water's quality in rain-water harvesting systems and constructed wetlands.



acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

De manera complementaria, garantizo (garantizamos) en mi (nuestra) calidad de estudiante (s) y por ende autor (es) exclusivo (s), que la Tesis o Trabajo de Grado en cuestión, es producto de mi (nuestra) plena autoría, de mi (nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy (somos) el (los) único (s) titular (es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Pontificia Universidad Javeriana por tales aspectos.

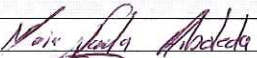

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Pontificia Universidad Javeriana está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA: Información Confidencial:**

Esta Tesis o Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de una investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. Si  No

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

NOMBRE COMPLETO	No. del documento de identidad	FIRMA
Maria Paula Arboleda Soler	1026569763	
Karen Amanda Bustos Pineda	1022366176	

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO: Ingeniería civil