



**DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DE UN  
TRAMO DEL RIO TUNJUELO RESPECTO AL pH Y LA DEMANDA BIOLÓGICA  
DE OXÍGENO (DBO).**

**STEFANNY ALEJANDRA CHAPARRO VELEZ - CODIGO (504283)**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D. C. – 2020**



**DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DE UN  
TRAMO DEL RIO TUNJUELO RESPECTO AL pH Y LA DEMANDA BIOLÓGICA  
DE OXÍGENO (DBO).**

**STEFANNY ALEJANDRA CHAPARRO VELEZ - CODIGO (504283)**

**Trabajo de grado académico para obtener el título de Ingeniero civil**

**ASESOR: DIEGO ALEJANDRO PULGARIN MONTOYA  
INGENIERO**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D. C. – 2020**



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación:

---

---

---

---

Director:

---

---

---

Jurado:

---

---

Jurado:

---

---

**Bogotá D. C., Junio de 2020**

## DEDICATORIA

En primer lugar, doy gracias a Dios por brindarme la paciencia, la sabiduría en este proceso de aprendizaje durante mi carrera, y por el buen proceso en el trabajo de grado.

Dedicar este logro a mis padres, quienes han estado a mi lado en cada paso que he debido enfrentar, quienes se han esforzado para brindarme el apoyo económico y moral para mi título profesional. Ellos quienes han sido el motor principal de mi camino de vida. Igualmente tengo presentes a mis profesores, quienes fueron un factor importante para mi formación académica y de los cuales conservo gratos recuerdos.

## AGRADECIMIENTOS

De manera especial agradezco al tutor Diego Alejandro Pulgarin Montoya Ingeniero. Por orientarme en la investigación, y elaboración del proyecto, a mis compañeros: Luisa, Carlos, Yamid, Johan, Sergio, Vanessa Jean Paul y Sebastián quienes aportaron de manera con su investigación significativa y me apoyaron para sacar adelante este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| DEDICATORIA .....   | 5  |
| AGRADECIMIENTOS.....  | 6  |
| INDICE DE TABLAS.....   | 8  |
| RESUMEN.....  | 10 |
| 1. INTRODUCCIÓN.....  | 12 |
| 2. GENERALIDADES DEL TRABAJO.....   | 13 |
| 2.1. LINEA DE INVESTIGACION.....  | 13 |
| 2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....   | 13 |
| 2.3. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....  | 13 |
| 2.4. PREGUNTA DE INVESTIGACION .....  | 14 |
| 3. JUSTIFICACION .....  | 15 |
| 4. ESTADO DEL ARTE .....  | 17 |
| 5. OBJETIVOS.....   | 20 |
| 5.1. GENERAL .....  | 20 |
| 5.2. ESPECÍFICOS.....   | 20 |
| 6. MARCO DE REFERENCIA.....   | 21 |
| 6.1. MARCO TEÓRICO .....  | 21 |
| 6.2. IMPORTANCIA Y RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS PH Y DBO PARA EL CÁLCULO DEL POTENCIAL DE AUTODEPURACIÓN..... | 26 |
| 6.3. NORMATIVA DE LA CALIDAD HÍDRICA QUE APLICA EN EL RIO TUNJUELO - MARCO LEGAL.....                       | 27 |
| 6.4. MARCO GEOGRAFICO .....   | 28 |
| 7. ALCANCES Y LIMITACIONES. ....  | 31 |
| 7.1. ESPACIO.....   | 31 |
| 7.2. LIMITACIONES. ....   | 31 |
| 8. DESARROLLO METODOLOGICO .....  | 33 |
| 8.1. FASE PRELIMINAR .....  | 33 |
| 8.2. FASE DE CARACTERIZACION E INSPECCION DE CAMPO .....  | 33 |
| 8.3. FASE EXPERIMENTAL.....   | 35 |
| 8.4. FASE DE ANALISIS Y RESULTADOS .....  | 43 |
| 9. CONCLUSIONES .....   | 60 |
| 10. RECOMENDACIONES .....   | 61 |
| BIBLIOGRAFÍA.....   | 62 |
| ANEXOS .....  | 66 |

## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Clase IV DBO5 y pH .....  | 15 |
| Tabla 2. Descripción de problemas encontrados. Realizada por el autor, acorde con la información suministrada por el DAMA y la EAAB..... | 26 |
| Tabla 3. Ubicación de toma de las muestras .....   | 34 |
| Tabla 4. Datos Tunjuelo - Aguas arriba. Primera toma .....   | 37 |
| Tabla 5. Datos Tunjuelo - Aguas abajo. Primera toma .....  | 37 |
| Tabla 6. Datos Tunjuelo - Aguas arriba. Segunda toma.....  | 37 |
| Tabla 7. Datos Tunjuelo - Aguas abajo. Segunda toma .....  | 38 |
| Tabla 8. Oxígeno disuelto (OD) - Toma 2 .....  | 42 |
| Tabla 9. Oxígeno disuelto (OD) - Toma 1 .....  | 42 |
| Tabla 10. DBO5 - Toma 2.....   | 44 |
| Tabla 11. DBO5 - Toma 1.....   | 44 |
| Tabla 12. Objetivo de calidad .....  | 46 |
| Tabla 13. Registro del aforo del caudal.....   | 52 |
| Tabla 14. Velocidad de flujo (U).....  | 52 |
| Tabla 15. Velocidad de descomposición de los contaminantes (K).....  | 53 |
| Tabla 16. Longitud del segmento del río (L) .....  | 53 |
| Tabla 17. Concentración contaminante de entrada (Co) y de salida (Cs) .....  | 54 |
| Tabla 18. Capacidad autodepuración (W) DQO5 - Toma 1.....  | 54 |
| Tabla 19. Capacidad autodepuración (W) DQO5 - Toma 2.....  | 55 |
| Tabla 20. Capacidad autodepuración (W) pH - Toma 1 .....   | 57 |
| Tabla 21. Capacidad autodepuración (W) pH - Toma 2 .....   | 57 |



## INDICE DE ILUSTRACIONES

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1. Zonas de autodepuración de un río .....                                  | 22 |
| Ilustración 2. Rango pH .....   | 24 |
| Ilustración 3. Ubicación geográfica río Tunjuelo .....                                  | 28 |
| Ilustración 4, Ubicación geográfica río Tunjuelo .....                                  | 28 |
| Ilustración 5. Río Tunjuelo (Satélite) .....  | 29 |
| Ilustración 6. Ubicación de los puntos toma 1 y toma 2 .....                            | 30 |
| Ilustración 7. Fotografía río Tunjuelo .....  | 31 |
| Ilustración 8. Ubicación de los puntos toma 1 y toma 2 .....                            | 34 |
| Ilustración 9. Toma 1. Aguas arriba av. Bosa - 58 Sur2 Cra. 80, Bogotá .....            | 35 |
| Ilustración 10. Toma 2. Aguas abajo puente calle 63 sur #81 f 38 .....                  | 35 |
| Ilustración 11. Grafica del OD aguas arriba (Toma 1 y Toma 2) .....                     | 38 |
| Ilustración 12. Grafica del OD aguas abajo (Toma 1 y Toma 2) .....                      | 39 |
| Ilustración 13. Informe de ensayo .....   | 41 |
| Ilustración 14. Comportamiento del DBO5, primera y segunda toma (Aguas arriba)<br>..... | 45 |
| Ilustración 15. Comportamiento del DBO5, primera y segunda toma (Aguas abajo)<br>.....  | 45 |
| Ilustración 16. Grafica DBO5 aguas arriba (Toma 1 y toma 2) .....                       | 47 |
| Ilustración 17. Grafica DBO5 aguas abajo (Toma 1 y toma 2) .....                        | 48 |
| Ilustración 18. Grafica pH aguas arriba y objetivo de calidad .....                     | 49 |
| Ilustración 19. Grafica pH aguas abajo y objetivo de calidad .....                      | 50 |
| Ilustración 20. Capacidad autodepuración (W) DQO5 .....                                 | 56 |
| Ilustración 21. Capacidad autodepuración (W) pH .....                                   | 58 |

## RESUMEN

La autodepuración de las aguas es un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tienen lugar en el curso del agua de modo natural y que provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas al flujo. Éstas son, principalmente, bacterias aerobias, que consumen materia orgánica con ayuda del oxígeno disuelto en el agua.

En este trabajo se implementa la metodología para determinar la capacidad de autodepuración de un tramo del río Tunjuelo respecto a los parámetros de pH y DBO aplicando la metodología presentada por GuoLiang Wei. Se parte de la propuesta aprobada el semestre anterior como anteproyecto.

Se adelantan dos campañas de monitoreo en campo al inicio y al final de un tramo del río Tunjuelo en un periodo de tiempo de 6 meses, los parámetros a estudiar son el pH y la demanda biológica de oxígeno (DBO), factores que se determinaron por medio de la recolección de información secundaria y análisis de laboratorio.

Los resultados obtenidos permiten determinar el índice de autodepuración en un tramo del río Tunjuelo en diferentes épocas del año, mostrando variaciones por diferentes factores mostrados en el presente trabajo.

**Palabras claves:** Agua, autodepuración, río, contaminación, degradación, pH, OD, DQO.

## ABSTRACT

Water self-depuration is a set of physical, chemical and biological phenomena, which take place in the course of the water naturally and cause the destruction of foreign matter incorporated into the flow. These are mainly aerobic bacteria, which consume organic matter with the help of dissolved oxygen in the water.

This work implements the methodology to determining the ability to self-depurad a stretch of the Tunjuelo river with respect pH and BOD parameters applying the methodology presented by GuoLiang Wei. It is based on the proposal approved the previous semester as a preliminary project.

Two field monitoring campaigns are advenced at the beginning and end of stretch of the Tunjuelo river over a 6-month period, the parameters to be studied are PH and the biological oxygen demand (BOD), factors that were determined by the collection secondary information.

The results obtained allow to show the self-depuration on a stretch of the Tunjuelo river at different times of the year, evidencing its variation for a lab analysis.

**Keywords:** Water, Auto-Depuration, River, Pollution, Degradation, pH, OD, COD

## 1. INTRODUCCIÓN.

Durante los últimos tiempos, se ha empezado a tomar conciencia sobre la necesidad de realizar un manejo integral de los recursos hídricos y de contar con información historia y actualizada respecto a la calidad del agua por medio de una cuantificación de las condiciones con pruebas in situ y de laboratorio, ya que es de vital importancia para cualquier tipo de población, teniendo en cuenta que el agua es un recurso fundamental para el desarrollo económico y social de la misma, para el caso de la localidad de Bosa uno de los principales recursos es el río Tunjuelo.

Entidades gubernamentales como la corporación autónoma regional de Cundinamarca, la alcaldía local o la secretaria de ambiente son los encargados de regular los vertimientos que llegan al cauce del río Tunjuelo, sin embargo las regulaciones son muy laxas sumadas a la carencia de infraestructura adecuada para la protección de los ríos urbanos y también a su ya habitual falta de mantenimiento o ineficiencia de las mismas. (BRAVO, 2017)

Este trabajo presenta la aplicación de una metodología ya existente para la evaluación del potencial de autodepuración de corrientes superficiales a nivel de cuenca, se desarrolla la fase número dos (2) del proyecto de investigación, al cual se decidió hacer partícipe como opción de trabajo de grado. Se parte de la propuesta aprobada el semestre anterior como anteproyecto (fase 1), la cual fue la recolección de información secundaria sobre el río Tunjuelo y antecedentes del mismo.

El desarrollo del presente trabajo considera la situación del río Tunjuelo en dos puntos seleccionados como puntos de referencia, que ha tomado especial importancia debido a su problemática actual de contaminación para la toma de muestras, pruebas in situ y pruebas en laboratorio, a partir de una ecuación presentada por el autor GuoLiang Wei, para determinar el potencial de autodepuración respecto a los parámetros de pH y DBO de un tramo del río Tunjuelo.

## 2. GENERALIDADES DEL TRABAJO

### 2.1. LINEA DE INVESTIGACION

Gestión y Tecnologías para la Sustentabilidad

### 2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Bogotá cuenta con cuatro (4) ríos principales (Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo) que en su paso por la ciudad ofrecieron beneficios para los habitantes. La calidad del agua del río Tunjuelo en los tramos altos es óptima pero a medida que el río avanza por la ciudad va siendo contaminada por las industrias o las actividades agrícolas y económicas cercanas a los cauces, además el mal uso por parte de los mismos habitantes, que lo utiliza como un vertedero de basuras y toda clase de desechos han hecho que sus aguas no sean propicias para el beneficio del ser humano, vemos como desde hace años, el principal uso que se le ha dado a estos cursos de agua es la recepción y transporte de aguas residuales. (Munera, 2014)

Es así como se hace necesario un estudio que permita determinar la capacidad de autodepuración de las aguas del río. En nuestro caso un tramo del río ubicado en el tramo cuatro, cuenca baja.

El documento, presenta información secundaria, metodología, mediciones de campo de parámetros, el análisis y antecedentes del mismo, a partir de una ecuación para efectuar el potencial de autodepuración respecto a los parámetros de pH y DBO de un tramo del río Tunjuelo.

### 2.3. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Aproximadamente desde 1960 la problemática ambiental del río Tunjuelo se ha venido agudizando por factores como el crecimiento urbano, así con la industrialización que ha llevado a la contaminación de sus aguas. En la actualidad esto no ha variado positivamente mucho, sus problemas serios de contaminación y las consecuencias que esto puede traer en algunos tramos (T4, Bosa), deben tratarse como una prioridad para la región en especial en Bosa, ya que su contaminación y falta de cuidado se constituye en un riesgo de inundación para ellos. La Corporación Educativa y Cultural Forjadores del Futuro Personería Jurídica 2003 de 2004, deja ver el gran problema hídrico de Bosa.

#### 2.4. PREGUNTA DE INVESTIGACION

¿Cuál es la capacidad de autodepuración que se presenta en un tramo del río Tunjuelo comprendido en coordenadas para K0+000 de  $74^{\circ}10'42.53''\text{O}$ ,  $4^{\circ}36'40.49''\text{N}$  y para K1+400 de  $74^{\circ}10'56.42''\text{O}$ ,  $4^{\circ}36'49.94''\text{N}$ , respecto a los parámetros pH y DBO5?

### 3. JUSTIFICACION

El río Bogotá, atraviesa la capital colombiana es el más importante de nuestra ciudad, razón por la cual es imperante recuperarlo, cuidarlo y protegerlo. Desafortunadamente se convirtió en el punto de recolección de las diferentes materias que son desechadas por los ciudadanos y fábricas de la capital.

Según el decreto 1594 del año 1984 el ministerio de agricultura determino el uso del agua, luego la CAR el uso de cada cuenca del río Bogotá según el acuerdo 43 del 17 de octubre de 2006, donde se clasifican los parámetros según sus usos. Para la subcuenta del río Bajo Tunjuelo, comprendido desde el perímetro urbano de Bogotá hasta su desembocadura en el río Bogotá, corresponde a Clase IV que corresponde a valores de los usos agrícola con restricciones y pecuario.

En la siguiente Tabla se expresan los valores de la Clase IV, así:

Tabla 1. Clase IV DBO5 y pH

| Parámetro                      | Expresado como | Valor más restrictivo (Max que se puede obtener) |                      |       |
|--------------------------------|----------------|--|----------------------|-------|
| Parámetro orgánico             |                |  |                      |       |
| DBO                            | mg/L           | 50.00  | (kg/m <sup>3</sup> ) | 0.050 |
| Parámetro de interés sanitario |                |  |                      |       |
| pH                             | Unidades       | 4.50   | a                    | 9.00  |

Fuente: Acuerdo 43 del 2006

La contaminación del río Tunjuelo es un problema que preocupa , algunas fuentes de contaminación del río según (Bedoya, 2007) son las aguas negras domésticas, responsables de la mitad de la contaminación orgánica de la cuenca aportando 254,7 toneladas de OD por día de un total de 467,7 toneladas de OD por día que se genera (54%). La contaminación por aguas residuales domesticas genera un fuerte concentración bacteriológica y una reducción de oxígeno disuelto (OD) y constituye una amenaza para la salud pública. Otra fuente de contaminación son las aguas de escorrentía superficial, que proviene de actividades como la explotación de canteras, erosión de las vertientes y lechos fluviales.

En esta investigación se pretende determinar de la capacidad de autodepuración en un tramo del río Tunjuelo respecto al pH y la demanda biológica de oxígeno (DBO).

Se hace necesario realizar estudios in situ que permitan obtener datos para mantener controles y plantear alternativas para poder utilizar el agua del río

Tunjuelo en un recurso que permita darle usos agrícolas, industriales o urbanos, por eso la importancia de realizar un estudio que permita medir la capacidad de autodepuración planteada en este trabajo.



#### 4. ESTADO DEL ARTE

Como parte de la investigación se realizó una revisión bibliográfica consultando tesis doctorales a nivel internacional y nacional, que nos ayudan a orientar la investigación determinación de la capacidad de autodepuración del río Tunjuelo respecto a el pH y la demanda biológica de oxígeno (DBO) a continuación, se presenta las más relevantes:

De acuerdo con la tesis doctoral “Estudio de un modelo de autodepuración natural para la cuenca del río Ebro” de María Encarnación Rodríguez Hurtado (1983), realizada en Madrid (España); presenta el estudio de un modelo de autodepuración natural aplicado a dos tramos del río Ebro. En este trabajo se plantea un modelo matemático que relaciona los niveles de oxígeno disuelto (OD) cuyo aporte se ha considerado afectado por el fenómeno de la re aireación y la demanda de la materia orgánica disuelta o en suspensión como la que se encuentra depositada en el lecho del río. (Isabel, 1983)

Para nuestra investigación este trabajo aporta en que en el estudio se permite demostrar la eficacia de la autodepuración y la diferencia que existe entre el comportamiento del río Ebro a lo largo de este en diferentes épocas del año debido a las diferentes temperaturas y las diferencias del caudal, de igual manera prueban la utilidad de un modelo matemático y la realidad de la autodepuración.

La segunda experiencia de investigación de la Dra. Raquel Teresa Monte Rojas de la Universidad Nacional autónoma de México, (2013), en el trabajo de investigación “Metodología para evaluar la modificación de la capacidad de autodepuración de los ríos por efecto del cambio climático”, realizó un estudio en donde propone una metodología que involucra el proceso de autodepuración y las proyecciones de temperatura y precipitación por efecto del cambio climático. Para esto utilizo el modelo de oxígeno disuelto propuesto por Streeter y Phelps, para medir la capacidad de autodepuración. Para la metodología utilizo cuatro etapas: la selección del modelo de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua a estudiar, la construcción del escenario para la autodepuración , la generación del escenario para el OD, y la comparación del escenario con base en los cambios climáticos. El estudio se aplicó al río Magdalena, localizado en el poniente de la ciudad de México a un tramo de 7 kilómetros. (Monte Rojas, 2013)

Otro informe en Ecuador, habla de la “Evaluación de la capacidad de autodepuración en ríos” realizado por Quiroz fernandez, Izquierdo Kulich y Menendez Gutierrez (2013), los autores propones un modelo matemático para evaluar la capacidad de auto depuración en corrientes superficiales y es aplicado en la cuenca del río Portoviejo. Para esto se tomaron datos experimentales históricos de la concentración de oxígeno disuelto en varios puntos de la corriente,

los cuales se ajustan en el modelo a través del empleo de técnicas estadísticas de regresión no lineal y de esta forma estima los valores de las constantes de velocidad de re-oxigenación y de degradación de los contaminantes. Los resultados obtenidos permiten identificar el tramo de mayor afectación y la predicción del comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en función de la trayectoria en ambas zonas de estudio. De esta forma vemos la relación con nuestro trabajo ya que por medios de modelación matemáticas se puede determinar la cantidad de oxígeno presente en un tramo del río, y su capacidad de autodepuración.

En este estudio se encontró que para este tramo del río no se espera una disminución en la capacidad de autodepuración, el clima podría mejorar las condiciones del río, dato que es nuestro trabajo se evidenció en las dos tomas que fueron realizadas en distintas épocas del año y que evidencian resultados diferentes. La metodología utilizada es considerada como una buena herramienta para el estudio de la capacidad de autodepuración de los ríos.

En la 18ª convención científica de ingeniería y arquitectura realizado en el palacio de convenciones de la Habana, Luis Santiago Quiroz Fernández, Elena Izquierdo Kulich, Carlos Menéndez Gutiérrez (2016) en su trabajo “EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE AUTO DEPURACIÓN EN RÍOS” proponen un modelo matemático para evaluar la capacidad de auto depuración en corrientes superficiales y es aplicado en la cuenca del río Portoviejo, la cual es dividida en dos secciones geográficas bien definidas, limitadas por una laguna donde se vierten desechos municipales. Para su estudio tomaron datos experimentales históricos de la concentración de oxígeno disuelto en varios puntos de la corriente, los cuales se ajustan en el modelo a través del empleo de técnicas estadísticas de regresión no lineal mediante el método “Marquard” y de esta forma estimaron los valores de las constantes de velocidad de re-oxigenación y de degradación de los contaminantes.

En su estudio obtuvieron una diferencia apreciable en los valores determinados para cada zona, donde en la región después de la laguna el valor es 10 veces superior. Este resultado se explica considerando que en esta región el vertimiento implica una mayor carga contaminante, originado por un tratamiento deficiente de las aguas residuales de la población en la laguna. Como consecuencia, la zona posterior a la laguna presenta un mayor déficit de oxígeno, indicativo de un mayor deterioro ambiental. Vemos como los resultados obtenidos permiten identificar el tramo de mayor afectación y la predicción del comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en función de la trayectoria en ambas zonas de estudio.

Continuando con la búsqueda de antecedentes encontramos el proyecto de investigación titulado: “Determinación de la capacidad de autodepuración en un tramo del río Fonce en San Gil con base en el balance de oxígeno disuelto” cuyos

autores : Duarte Silva, Cristian Camilo , Pico Pinto, Gerardo Sebastián y Estupiñán Pinto, Rafael Antonio San Gil Colombia(2015) realizaron un estudio para determinar la capacidad de autodepuración del río Fonce en un tramo, tomando como método el balance de oxígeno disuelto en un tramo del río en San Gil , basándose en la cuantificación del oxígeno , la carga del medio de DBO (demanda biológica de oxígeno ) y su evolución a través del cauce del río.

Los resultados del estudio arrojaron que si la capacidad del río Fonce se mide por su recuperación y nivel de oxígeno disuelto, es autodepurable en el tramo de estudio; si esta capacidad del río Fonce se mide por la degradación de la carga microbiológica, este se considera muy contaminado y no es autodepurable en la zona de estudio. (Duarte Silva, 2015)

Este estudio es de gran importancia para nuestra investigación, pues en uno de sus hallazgos menciona sé que se hace necesario utilizar una fórmula matemática que muestre el comportamiento de ríos con déficit de oxígeno, formula que se implementó en nuestro estudio.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1. GENERAL

Determinar la capacidad de autodepuración de un tramo del río Tunjuelo respecto a los parámetros de pH y DBO.

### 5.2. ESPECÍFICOS

- Recoger y efectuar un análisis de la información disponible de la zona de estudio sobre la calidad del agua del río Tunjuelo, para ayudar con su estudio a las instituciones encargadas del cuidado de las aguas de los ríos de acuerdo a los parámetros del pH y DBO.
- Realizar campañas de monitoreo en campo al inicio y al final del tramo seleccionado del río para un análisis y pruebas en laboratorio bajo la norma NTC 5667-6.
- Analizar el potencial de autodepuración en el tramo seleccionado del río Tunjuelo.

## 6. MARCO DE REFERENCIA

### 6.1. MARCO TEÓRICO

#### Aguas residuales

Son aquellas contaminadas por residuos de las industrias o de desechos domésticos, que no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o ríos.

Las aguas residuales pueden ser: domésticas, industriales y de infiltración. Los principales contaminantes del agua son los siguientes:

- Aguas residuales y materia orgánica que en su descomposición produce la desoxigenación del agua.
- Plantas acuáticas producidas por algunos nutrientes vegetales, que al descomponerse acaban el oxígeno.
- Sustancias utilizadas para la minería en su mayoría radiactiva.
- Petróleo.
- Productos químicos.

No hay una legislación específica que indique qué parámetros se deben analizar en un agua residual y qué límites debe cumplir. Cada vertido debe disponer de su correspondiente autorización en la que se indican estos aspectos.

Los parámetros de control pueden ser sencillos como sucede con los vertidos de aseo y asimilables a aguas urbanas (pH, conductividad, amonio, DBO5, DQO, Sólidos en suspensión, etc.) o más complejos y específicos de actividades industriales (aldehídos, aminas, amidas, pesticidas, etc.). Si el vertido se produce a un sistema general de saneamiento es probable que se disponga de una legislación general para todo el sistema. (ENVIRA, 2018)

#### Autodepuración

La autodepuración de las aguas es un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tienen lugar en el curso del agua de modo natural y que provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas al flujo. Éstas son, principalmente, **bacterias aerobias**, que consumen materia orgánica con ayuda del **oxígeno disuelto en el agua**. Además, hay que añadir las plantas acuáticas,

que asimilan algunos componentes en forma de nutrientes, así como mediante otros procesos fotoquímicos. (Structuralia, 2017)

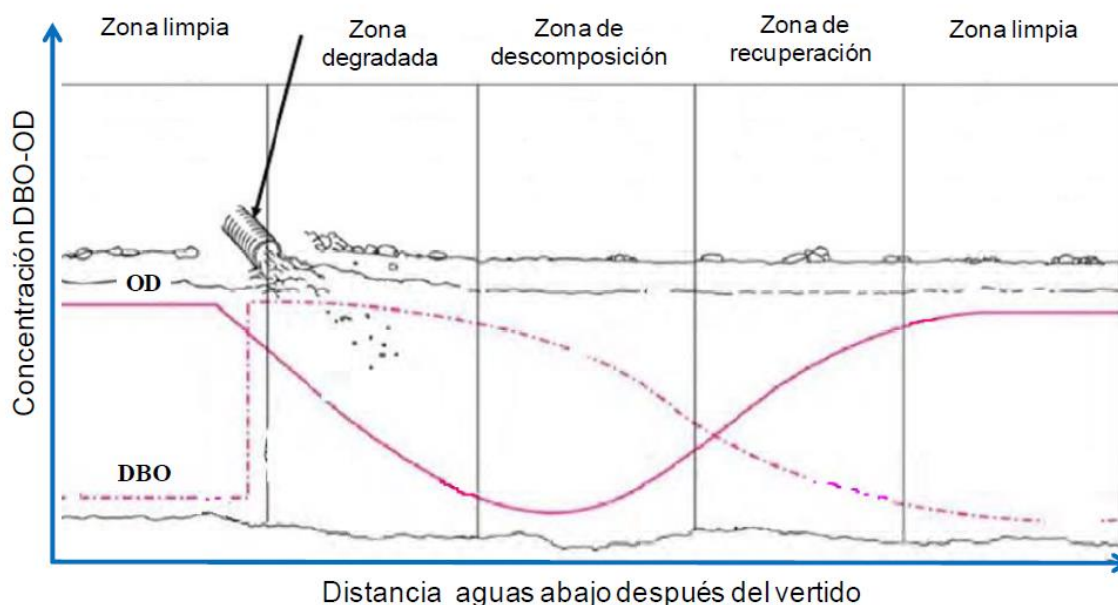
### Capacidad de Autodepuración

La capacidad de autodepuración de un río dependerá de los siguientes tres aspectos: el caudal, que permitirá diluir el vertido y facilitar su posterior degradación, la turbulencia del agua, que aportará oxígeno diluido al medio, favoreciendo la actividad microbiana y, la naturaleza y tamaño del vertido que se haya producido a lo largo de su curso.

Los mecanismos de autodepuración de un río están representados por cuatro zonas, según el nivel de contaminación y la fase de depuración:

- Zona de degradación. Se produce al incorporarse agua residual al río, dando lugar a la presencia principalmente de sólidos suspendidos, turbiedad, se incrementa la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), comienza la biodegradación por parte de la flora microbiana y hay reducción de oxígeno; por lo que se altera el entorno ecológico de las forma de vidas más delicadas.

Ilustración 1. Zonas de autodepuración de un río



Tomado de: <http://132.248.9.195/ptd2013/agosto/0700391/0700391.pdf>

- En la zona de descomposición activa. Aparecen aguas sucias, ennegrecidas, con espumas, y malolientes. Existe una descomposición anaerobia que provoca un desprendimiento de gases.
- La tercera zona es la de recuperación. Reaparecen los vegetales y el agua se clarifica. Todo ello debido a la presencia de oxígeno disuelto o procedente de la actividad fotosintética de los vegetales, que ayuda a degradar los compuestos contaminantes.
- Zona de aguas limpias. Se restauran las condiciones de oxígeno disuelto originales de la corriente, puede incluso ser cercana a la concentración de saturación. La flora y la fauna se desarrollan de forma normal (Raquel Teresa Monte Rojas, 2013)

La velocidad de autodepuración depende de:

- ✓ Movimiento del agua: a mayor velocidad mayor autodepuración, ya que se oxigena más rápidamente.
- ✓ Profundidad: A más profundidad, menos autodepuración debido a la escasez del oxígeno disuelto vertical.
- ✓ Superficie: Cuando mayor sea la superficie, mayor será el contacto con el oxígeno del aire y será mayor la transferencia de masa aire/agua.
- ✓ Presencia o ausencia de compuestos tóxicos para los microorganismos.

Calidad del agua

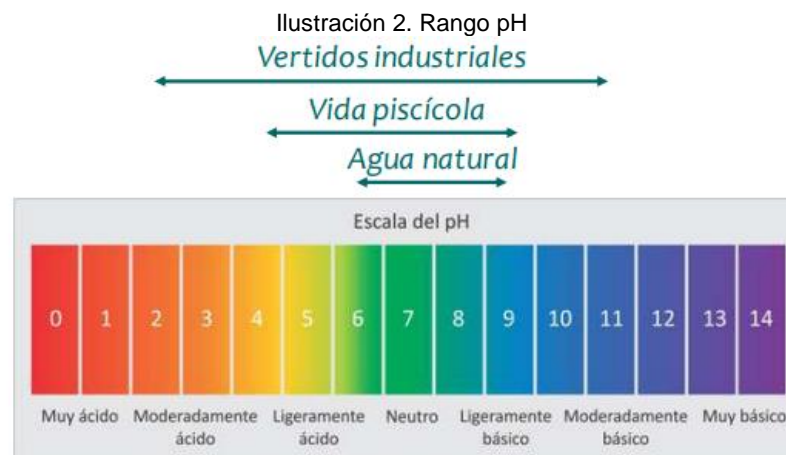
La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana, de una forma técnica la calidad del agua vendría determinada naturalmente por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua. Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de con unas directrices de calidad del agua o estándares. (ONU-DAES, 2014)

## Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua - pH

Indica la acidez o alcalinidad del agua. Las aguas muy poco mineralizadas son por lo general ligeramente ácidas, el resto son alcalinas fundamentalmente por los bicarbonatos que tiene disueltos el agua. Junto con otros parámetros (alcalinidad, dureza, etc...) determina si el agua es incrustante o corrosiva. (EMASA, 2019)

El pH natural del agua: 6 – 9

La mayoría de los organismos son sensibles a los cambios del pH => Rango de pH válido para la vida piscícola: 4,5 – 9,5.



Fuente: [http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/12\\_Calidad-agua-r%C3%ADos\\_v2015\\_resumen.pdf](http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/12_Calidad-agua-r%C3%ADos_v2015_resumen.pdf)

## Parámetros Biológicos de Calidad del agua - Oxígeno disuelto (OD).

Corresponde a la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua. Un nivel alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad, y un nivel bajo de oxígeno, revela contaminación con materia orgánica, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida en peces y otros organismos.

La solubilidad del oxígeno tiene una relación inversa con la cantidad de materia orgánica presente en el cuerpo de agua lo cual es de gran relevancia en el presente estudio ya que se tiene el conocimiento del aporte de materia orgánica que genera los vertimientos por parte de la industria de las curtiembres. El oxígeno disuelto se mide en unidades de mg/l de O<sub>2</sub>. (Andrés Moreno Torres, 2015)



Demanda Biológica de oxígeno (DBO).

La DBO corresponde al oxígeno disuelto y requerido por los organismos para la descomposición aeróbica de la materia orgánica presente en el agua. Las cargas de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) se definen como el oxígeno en masa (miligramos, gramos, kilogramos, toneladas, etc.) que se requiere para degradar materia orgánica, tanto por la vía biológica, en cierto tiempo determinado, ya sean en minutos, horas, días o años. (Observatorio regional ambiental y de desarrollo sostenible del río Bogotá, 2018)

Temperatura.

Es un parámetro físico que afecta la calidad del agua y los aspectos como la influye notablemente en la calidad del agua ya que afecta los parámetros o características como solubilidad, reacciones químicas y físicas, el desplazamiento de aspectos como tensión superficial, etc. La temperatura se expresa en grados centígrados [°C]. (Andrés Moreno Torres, 2015)

Biodegradabilidad.

Es la propiedad que hace que las aguas contaminadas sean depuradas por microorganismos ya que ellos utilizan como alimento y energía, así como para la reproducción estas sustancias. (Pedro Osorio)

La situación del río.

El docente de la facultad tecnológica Jairo Alfonso Ruiz Caicedo, plantea una visión global de las problemáticas del río mediante el siguiente cuadro.

El Río es un enorme recurso hídrico de la ciudad, pero una vez entra a ella su utilización en regadío, consumo animal y / ó humano se hace imposible. Con el conocido fenómeno del Pacífico y demás fenómenos climáticos que se vivencian hoy en día, el privilegio que se tenía en los países ecuatoriales en cuanto a la posesión de grandes fuentes hídricas ya no lo es tanto. Por ello en todo momento nos vemos amenazados por la posibilidad de afrontar apagones, racionamientos energéticos y / o hídricos. Si se lograran alcanzar nuevamente los mínimos niveles de pureza con los que contaba en la década de los 70s, el Río sería una alternativa importante para obtener agua potable, pues, aunque aún hoy es uno de los aportantes a la represa de La Regadera, su aporte podría ser muy superior.

Tabla 2. Descripción de problemas encontrados. Realizada por el autor, acorde con la información suministrada por el DAMA y la EAAB.

| PROBLEMA   | DESCRIPTOR   | INDICADOR   |
|--|--|---|
| La contaminación hídrica del río Tunjuelito y su cuenca es alta        | <ul style="list-style-type: none"> <li>No hay vida acuática en él en más de la mitad de su cauce.</li> <li>Sus aguas luego de Usme no son aptas para el consumo humano.</li> <li>El río es aportante a la contaminación del río Bogotá.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>El nivel de Oxígeno disuelto en más de la mitad del cauce es de 1.2 mg/lit.</li> <li>El nivel de Oxígeno disuelto pasa de 4 mg/lit a 1.2 mg/lit después de Usme.[1]</li> <li>El 23% de las descargas contaminantes sobre el río Bogotá lo entrega el río Tunjuelito.</li> <li>Al Río Tunjuelito le llegan 61 descargas o vertimientos de aguas negras, 7 de aguas lluvias y 23 de aguas industriales. [2]</li> </ul> |
| La recolección de aguas negras domésticas e industriales es inadecuada | <ul style="list-style-type: none"> <li>Existen canales(no tuberías) para conducción de aguas negras domésticas y aguas residuales industriales.</li> <li>Hay mezcla en canales comunes de aguas lluvias y aguas negras.</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hay 84 canales en la cuenca del río.</li> <li>Todos los canales de aguas negras también lo son de aguas lluvias</li> </ul>   |
| Se drenan en él desechos domésticos                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Los afluentes del río son verdaderos aportantes de descargas orgánicas.</li> <li>Las basuras se disponen en las rondas de los ríos.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>La quebrada Chiguaza aporta una carga orgánica 4 veces mayor que la llevada por el río en ese punto.</li> </ul>  |
| Se drenan en él desechos industriales                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vertimiento de industria extractiva que origina sedimentación.</li> <li>Vertimiento de curtiembres.</li> <li>Vertimiento de frigoríficos y mataderos.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Más de 300 toneladas diarias son arrojadas al río en punto donde la pendiente es mínima.</li> <li>El 50% de la industria de las curtiembres drenan directamente al río sin tratamientos residuales previos vertiendo en él nitratos, oxido, plomo, etc.[3]</li> <li>Todos los mataderos de Usme drenan sus residuos sobre el río al igual que los frigoríficos que hay a su paso.</li> </ul>                         |
| No se aplica legislación ambiental                                     | Las rondas están invadidas de basuras y asentamientos.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sólo se han reubicados los invasores en Isla del Sol.</li> </ul>   |

Fuente: Camacho, 2016

## 6.2. IMPORTANCIA Y RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS PH Y DBO PARA EL CÁLCULO DEL POTENCIAL DE AUTODEPURACIÓN

La capacidad de auto regeneración de las aguas de un río, se basa en el caudal, la turbulencia de sus aguas y la capacidad de vertido.

Al mencionar la calidad de su agua, independiente sea su fin, es importante determinar ciertos parámetros físico-químicos por medio de métodos, con el objetivo de investigar si los valores de esos parámetros se encuentran en el rango de las leyes vigente. (Jimenez, 2010). Esta elección de factor o parámetro, para determinar el grado de impureza de un río es difícil porque cada parámetro arroja diferentes tipos de contaminantes sobre las aguas.

El pH y DBO, son dos de los parámetros importantes para el cálculo de autodepuración de un río. Se necesitan de información y análisis de carácter cuantitativo para estudiar a fondo el proceso de autodepuración, ya que es un

proceso natural que provoca la eliminación de materias contaminadas existentes en el río. (Structuralia, 2017)

Surge la hipótesis de que debe existir una relación funcional que permite reconstruir las características de auto-depuración de cualquier tramo si son conocidos los parámetros morfométricos que controlan su hidráulica. Esto para responder a la pregunta: ¿Cuál es la capacidad de autodepuración que se presenta en un tramo del río Tunjuelo comprendido en coordenadas para K0+000 de 74°10'42.53"O, 4°36'40.49"N y para K1+400 de 74°10'56.42"O, 4°36'49.94"N, respecto a los parámetros pH y DBO5?

Los índices de pH y demanda biológica de Oxígeno (DBO) son problemas de salud pública y ecológicos, a los cuales debe prestarse especial atención; esto en el caso del río Tunjuelo (Tramo IV), objeto del estudio.

### **6.3. NORMATIVA DE LA CALIDAD HÍDRICA QUE APLICA EN EL RÍO TUNJUELO - MARCO LEGAL**

- NORMA TÉCNICA NTC-ISO COLOMBIANA 5667-6

Muestreo de aguas de ríos y corrientes.

Establece técnicas para las muestras y su manejo en los ríos y su caudal, con el fin de evaluar características físicas, químicas y microbiológicas

**Nota:** No aplica para el muestreo de aguas costeras y es de aplicación limitada para el muestreo de canales y otras aguas interiores

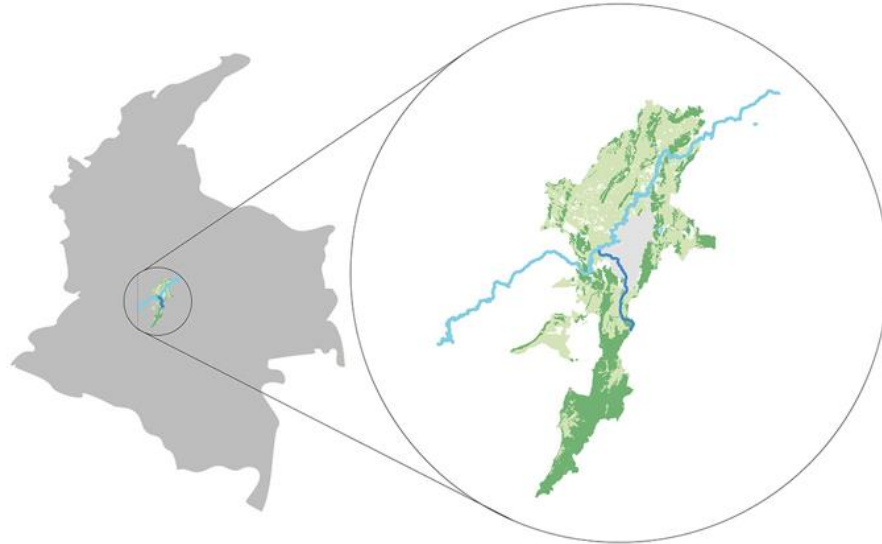
- ACUERDO NÚMERO 43 DEL 17 DE OCTUBRE DE 2006. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA – CAR

Por el cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020.

## 6.4. MARCO GEOGRAFICO

### Ubicación

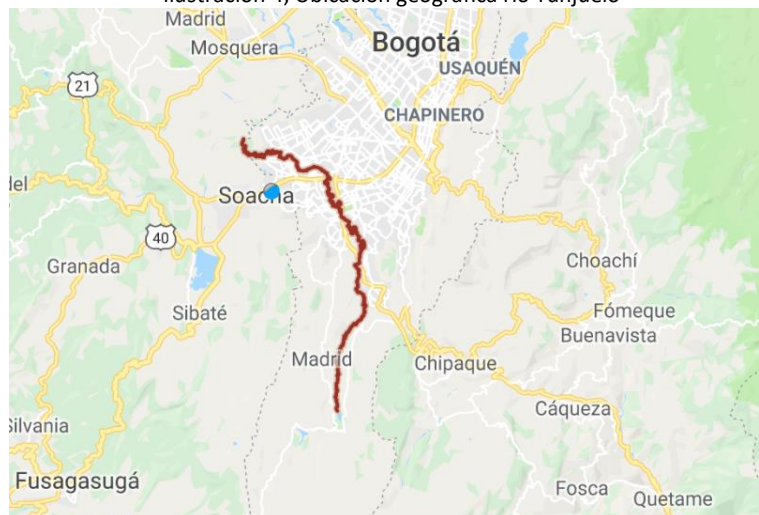
Ilustración 3. Ubicación geográfica río Tunjuelo



Fuente: [http://portfolios.uniandes.edu.co/gallery/54312003/E\\_Modelar-Ciudad\\_-Intervencion-Rio-Tunjuelo](http://portfolios.uniandes.edu.co/gallery/54312003/E_Modelar-Ciudad_-Intervencion-Rio-Tunjuelo)

Gran parte de la población de la ciudad de Bogotá, está cerca del río Tunjuelo. Es el segundo más largo de Bogotá y hace algunos años sus aguas sirvieron al acueducto de la ciudad. (ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA, 2016)

Ilustración 4. Ubicación geográfica río Tunjuelo



Fuente: Google maps

Toda esta problemática se ha hecho notoria en la contaminación del río Tunjuelo, afectando a las personas que habitan cerca de sus riveras y llevándolas a efectuar reclamos a los entes administrativos.

Recorrido.

Su origen es en el embalse de Chisacá, que está ubicado en el páramo de Sumapaz y desemboca en el río Bogotá.



Fuente: <http://bdigital.unal.edu.co/52643/1/1088000081.2015.pdf>

El río Tunjuelo cuenta con cuatro (4) tramos:

Tramo 1: Va desde la entrada al perímetro urbano hasta la desembocadura Quebrada Yomasa

Tramo 2: Desde la desembocadura quebrada Yomasa hasta la av. Boyacá

Tramo 3: Va desde la avenida Boyacá hasta la autopista Sur

Tramo 4: Va desde la autopista Sur hasta la desembocadura en el río Bogotá.

El lugar seleccionado corresponde al tramo 4, cuenca baja:

- Toma 1 av. Bosa - 58 Sur 2 Cra. 80, Bogotá
- Toma 2 puente calle 63 sur #81f38, Bogotá.

Ilustración 6. Ubicación de los puntos toma 1 y toma 2



Fuente: Google Earth

### Contaminación

En las épocas de invierno los barrios aledaños al río Tunjuelo se desbordan e inundan gran parte de los barrios que están cerca de su cuenca.

Los estudios demuestran que la principal causa de contaminación del río son las canteras de la región, de igual manera, las industrias y el crecimiento poblacional sin control de planificación urbanística.

Ilustración 7. Fotografía río Tunjuelo



Fuente: [https://riosdelplaneta.com/rio-tunjuelito/#Historia\\_del\\_Rio\\_Tunjuelito](https://riosdelplaneta.com/rio-tunjuelito/#Historia_del_Rio_Tunjuelito)

## 7. ALCANCES Y LIMITACIONES.

### 7.1. ESPACIO.

- Aplicar la metodología propuesta por GuoLiang Wei, para efectuar la potencial de autodepuración a un tramo del Río Tunjuelo, en dos campañas en un transcurso de 6 meses.
- El tramo seleccionado para la toma de las muestras de agua en el río Tunjuelo está ubicado en:

Toma 1 = aguas arriba av. Bosa - 58 Sur 2 Cra. 80, Bogotá

Toma 2 = aguas abajo puente calle 63 sur #81f38, Bogotá

- Evaluar los parámetros: pH y DBO, para determinar la concentración de contaminante del tramo a analizar del río Tunjuelo.
- Analizar la calidad del agua que fluye en el sector del río determinado.

### 7.2. LIMITACIONES.

Entre los limitantes que se pueden presentar en la toma de muestras, las mediciones de campo de parámetros y su análisis en laboratorio:

- La falta de información en las fuentes de consulta serias como lo es la CAR, los pocos estudios realizados a través del tiempo respecto al tratamiento del agua o informes técnicos de otros estudios hechos.



- La dificultad de acceso al lugar por la inseguridad de algunas zonas que atraviesan los tramos.
- El tiempo, ya que varias de las salidas prácticas tanto al lugar de la toma como al laboratorio fueron entre semana y por cuestiones de trabajo, era complicado asistir a todas.



## **8. DESARROLLO METODOLOGICO**

El proceso metodológico usado para la realización de este proyecto es cuantitativo y experimental, donde se parte de información propia de la zona y un proceso experimental en campo, con su respectivo análisis en laboratorio. De esta manera se estructura las conclusiones que nos permita plantear alternativas para solucionar el problema objeto de este proyecto.

### **8.1. FASE PRELIMINAR**

Como fase preliminar, se realiza una recopilación informativa y bibliográfica de la cuenca del río Tunjuelo (Cuenca baja, Tramo 4) como referente metodológico para el proyecto.

Esta información nos Suministra los conceptos, información georreferenciada sobre uso del suelo, hidrografía, relieve y las afirmaciones teóricas necesarias para dar inicio a su elaboración, dentro de la información recolectada se encontraron proyectos realizados por entidades estatales la CAR, donde se hacían una interpretación de la problemática de las fuentes hídricas locales y de la fuente objeto de esta investigación (el río Tunjuelo), de igual manera se obtuvo información respecto a las normativas para establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá, dependiendo de la clasificación de usos del agua, se expresan los valores más restrictivos (Max que se pueden obtener).

### **8.2. FASE DE CARACTERIZACION E INSPECCION DE CAMPO**

Una vez se cumple con la Fase preliminar, se adelantan las mediciones de campo de parámetros físicos- químicos y biológicos (pH, temperatura y OD).

En esta fase se plantea realizar un reconocimiento a la zona objeto del proyecto estableciendo en ella dos (2) puntos de campaña donde sea posible, se realiza la toma de muestras de acuerdo con el protocolo de modelación de la calidad del agua. Se sigue un procedimiento de acuerdo a la norma NTC 5667-6.

Ubicación de las secciones de muestreo:

Ilustración 8. Ubicación de los puntos toma 1 y toma 2



Fuente: Google Earth

Tabla 3. Ubicación de toma de las muestras

| SECCION | E (UTM)                   | N (UTM)                 | DESCRIPCION DEL PUNTO  |
|---------|---------------------------|-------------------------|--|
| K0+000  | Longitud<br>74°10'42.53"O | Latitud<br>4°36'40.49"N | Toma 1. Primera sección de muestreo. Aguas arriba av. Bosa - 58 Sur2 Cra. 80, Bogotá |
| K1+400  | Longitud<br>74°10'56.42"O | Latitud<br>4°36'49.94"N | Toma 2. Segunda sección de muestreo. Aguas abajo puente calle 63 sur #81f38, Bogotá  |

Fuente: Propia

Para la ubicación de toma de las muestras, se tuvo en cuenta el fácil acceso que se pudiera tener (la topografía del terreno y que garantice la seguridad de los participantes de la toma). Sin embargo, para la toma de aguas arriba, se tuvo que tomar la muestra desde la parte superior del puente calle 63 sur. Haciendo uso de recipiente sujetos por una cuerda.

Ilustración 9. Toma 1. Aguas arriba av. Bosa - 58 Sur2 Cra. 80, Bogotá



Fuente: Google Maps

Ilustración 10. Toma 2. Aguas abajo puente calle 63 sur #81 f 38



Fuente: Google Maps

### 8.3. FASE EXPERIMENTAL

#### Ensayos in situ

El uso de este ensayo permite estudiar parámetros más habituales por medio de sencillos procedimientos como lo son: Temperatura [°C], pH [unidades de pH] y Oxígeno disuelto [mg/L].

La determinación cuantitativa de los factores determinados en las fases anteriores es el proceso que se contempla en esta fase, mediante los ensayos de laboratorio buscamos determinar las condiciones de los muestreos realizados en la zona de estudio (demanda biológica de oxígeno [mg O<sub>2</sub>/L], cantidad de oxígeno disuelto [mg/L] y demanda biológica de oxígeno a los cinco días [mg O<sub>2</sub>/L]).

## Mediciones en campo

### Procedimiento:

- Realizar un reconocimiento a la zona objeto del proyecto estableciendo en ella dos (2) campañas, frecuencia y tiempo de muestreo.
- Será una muestra compuesta, ya que se tomas en varios tramos (2 tramos/campañas).
- Selección del método de muestreo (Muestreo físico-químico o muestreo microbiológico).
- Se llevan al lugar de la toma de la muestra frascos de vidrio o polietileno.
- Para nuestro caso, se amarraron las botellas con una cuerda y se arrojó desde la parte superior del puente, ya que el acceso era difícil al río.
- Antes de empezar a tomar las muestras, se debe homogeneizar el frasco. Lavándolo con la misma agua del río tres veces.
- Una vez arrojado el primer frasco, se recoge y se tapa inmediatamente sin dejar vacíos de aire (aguas arriba y aguas abajo). Las tomas se deben hacer en contra corriente.
- Se procede a repetir el anterior paso cada 30 minutos durante 2.5 horas, para tener un total de 5 muestras de agua.
- A la par, en un tramo de aproximadamente 1.4 km aguas abajo. Se repite la toma de otras 5 muestras.
- Se toman mediciones IN SITU de parámetros químicos, físicos y biológicos (pH, temperatura y OD).
- Tomadas las muestras aguas arriba y aguas abajo, inmediatamente se sellan, se marcan las muestras con el nombre y la ubicación.
- Se transportan inmediatamente a una hielera a 4°.
- La muestra se envía al laboratorio sellada herméticamente y protegido de la luz, almacenada a una temperatura de 4° (periodo corto. para el laboratorio antes de 48 horas. Si es para un análisis microbiológico antes de 24 horas).

**NOTA.** Es conveniente marcar los recipientes de muestras en forma clara, concisa y documentar todo el procedimiento con material fotográfico.

A continuación, encontramos los parámetros medidos en un tramo del río Tunjuelo mediante dos campañas, de igual manera los recipientes en los que fueron guardados el volumen de la muestra y su forma de preservación.

Datos tomados en campo:

- Tipo de preservación: Refrigerado
- Temperatura refrigeración (°C): 4

Se registran los datos de los parámetros físico-químicos y biológicos en la tabla 4

Tabla 4. Datos Tunjuelo - Aguas arriba. Primera toma

| <b>Datos Tunjuelo - Aguas arriba. Primera toma</b> |         |       |        |             |
|--|---------|-------|--------|-------------|
| HORA   | MUESTRA | pH    | OD     | TEMPERATURA |
|  |         |       | (mg/L) |             |
| 9:30 a. m.   | P1-M1   | 8.40  | 0.8    | 16.0        |
| 10:00 a. m.  | P1-M2   | 10.47 | 1.0    | 16.5        |
| 10:30 a. m.  | P1-M3   | 10.70 | 1.3    | 17.8        |
| 11:00 a. m.  | P1-M4   | 10.80 | 1.3    | 17.9        |
| 11:30 a. m.  | P1-M5   | 10.50 | 1.5    | 17.9        |

Fuente: Propia

Tabla 5. Datos Tunjuelo - Aguas abajo. Primera toma

| <b>Datos Tunjuelo - Aguas abajo. Primera toma</b> |         |      |        |             |
|---|---------|------|--------|-------------|
| HORA  | MUESTRA | pH   | OD     | TEMPERATURA |
|   |         |      | (mg/L) |             |
| 9:40 a. m.  | P2-M1   | 7.04 | 0.00   | 15.80       |
| 10:10 a. m.                                       | P2-M2   | 7.16 | 0.00   | 17.30       |
| 10:40 a. m.                                       | P2-M3   | 7.49 | 0.00   | 16.40       |
| 11:10 a. m.                                       | P2-M4   | 7.40 | 0.00   | 15.50       |
| 11:40 a. m.                                       | P2-M5   | 7.45 | 0.00   | 16.50       |

Fuente: Propia

Tabla 6. Datos Tunjuelo - Aguas arriba. Segunda toma

| <b>Datos Tunjuelo - Aguas arriba. 2 ida</b> |         |      |        |             |
|---|---------|------|--------|-------------|
| HORA  | MUESTRA | pH   | OD     | TEMPERATURA |
|   |         |      | (mg/L) |             |
| 9:10 a. m.                                  | P1-M1   | 6.85 | 2.00   | 15.60       |
| 9:40 a. m.                                  | P1-M2   | 7.91 | 1.50   | 16.00       |
| 10:10 a. m.                                 | P1-M3   | 7.69 | 2.00   | 15.90       |
| 10:40 a. m.                                 | P1-M4   | 7.92 | 1.90   | 17.00       |
| 11:10 a. m.                                 | P1-M5   | 7.60 | 1.30   | 19.00       |

Fuente: Propia

Tabla 7. Datos Tunjuelo - Aguas abajo. Segunda toma

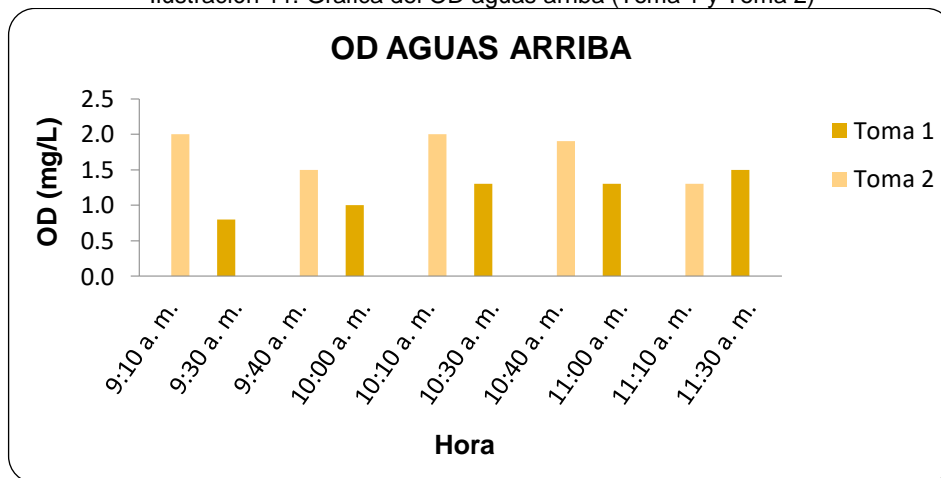
| Datos Tunjuelo - Aguas abajo. 2 ida |         |      |        |             |
|-------------------------------------|---------|------|--------|-------------|
| HORA                                | MUESTRA | pH   | OD     | TEMPERATURA |
|                                     |         |      | (mg/L) |             |
| 9:30 a. m.                          | P2-M1   | 8.02 | 0.80   | 15.00       |
| 10:00 a. m.                         | P2-M2   | 7.91 | 0.70   | 16.00       |
| 10:30 a. m.                         | P2-M3   | 7.93 | 0.50   | 16.90       |
| 11:00 a. m.                         | P2-M4   | 7.98 | 0.70   | 17.60       |
| 11:30 a. m.                         | P2-M5   | 8.23 | 0.60   | 17.50       |

Fuente: Propia

### Oxígeno disuelto (OD)

Se realizaron gráficas de columnas confrontando los datos tomados de oxígeno disuelto (OD) en campo el mes de Febrero y los datos tomados en campo para el mes de Agosto aguas arriba y aguas abajo (primera y segunda toma).

Ilustración 11. Grafica del OD aguas arriba (Toma 1 y Toma 2)



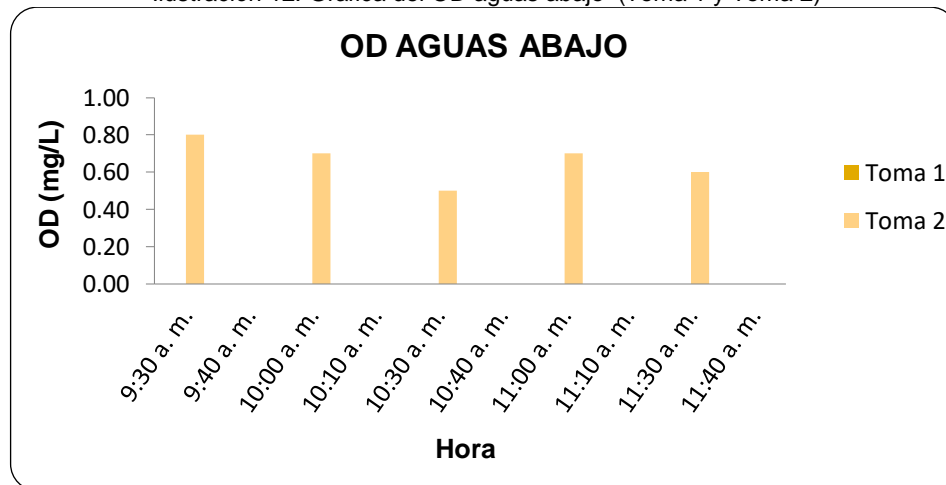
Fuente: Propia.

En la ilustración 10 se observa el oxígeno en masa (miligramos) que se requirió para degradar materia orgánica por la vía biológica en los dos puntos de campaña en un lapso de tiempo de seis meses aguas abajo. Para la primera toma se ve un comportamiento ascendente a medida que transcurre la mañana, por el contrario para la segunda toma la concentración de oxígeno disuelto es variable.

Según el Documento CONPES 3320 de 2004, propone unas condiciones ideales para propender por el cumplimiento de los objetivos de calidad por parámetros que

corresponden a OD (mg/L) >4, por lo que claramente en nuestras campañas no cumple, lo que quiere decir que el oxígeno disuelto es escaso, seguramente la materia orgánica es alta, esto explica el estado deplorable en el sitio y su mala calidad del agua.

Ilustración 12. Grafica del OD aguas abajo (Toma 1 y Toma 2)



Fuente: Propia

En la ilustración 11, el día que se realizó la toma 1 de las muestras aguas abajo, se evidencio que cantidad de oxigeno gaseoso que esta disuelto en el agua es 0, por esto en la gráfica anterior no hay registro de la toma 1, por el contrario para la toma 2, hubo presencia de oxígeno en el agua pero aún por debajo de 4. Estas concentraciones se pueden deber al estado del año en que realizaron las campañas, a la temperatura ya que es importante a causa de sus efectos sobre la solubilidad del oxígeno y, en consecuencia, sobre las velocidades en el metabolismo, difusión y reacciones químicas y bioquímicas.

### Trabajo en Laboratorio

#### Medición parámetro

Llevadas las muestras al laboratorio de la Pontificia Universidad Javeriana a una temperatura de 4°C y selladas herméticamente, el día 30 de agosto de 2019, se almacenan allí para la medición del DQO5

#### Reactivos y materiales

- Volumen dilución para 2 ida (ml): 25 y 50

- Volumen dilución para 1 ida (ml): 10, 20 y 50
- Cepa o semilla: 2ml
- Agua destilada
- Equipo para determinar la concentración : Axiómetro

#### Resultados laboratorio.

Los estudiantes y docentes de la Universidad Católica de Colombia implicados en el proyecto de investigación, nos dirigimos a las instalaciones de los laboratorios de La Pontificia Universidad Javeriana, a realizar el análisis de laboratorio, debido a que la Universidad Católica de Colombia hizo un contrato con La Pontificia Universidad Javeriana para realizar el análisis de laboratorio de acuerdo con los protocolos de preservación de muestras y determinación de parámetros técnicos establecidos y acreditados por el IDEAM (DBO, DBO5). Días después la Pontificia Universidad Javeriana nos envió un informe de ensayo, de donde se partió para realizar los cálculos correspondientes y la fase de análisis.

En el laboratorio se realizó el siguiente procedimiento:

- Tomamos las muestras traídas al laboratorio y creamos unas diluciones en las botellas winkler; para la primer campaña se tomaron dos (2) diluciones de 25ml y 50ml, para la segunda campaña se tomaron tres (3) diluciones de 10ml, 20ml y 50ml.
- Se deposita en la botella winkler cada volumen de muestra (10, 20, 25 y 50) ml respectivamente; se adiciona 2 ml de cepa o semilla, ya que los microorganismos no son suficientes para el consumo de oxígeno del agua destilada y se completa a volumen la botella winkler con el agua destilada.
- Se cierra la botella winkler, se ladea suavemente para descartar el remanente y homogeneizar y se marca la botella con nombre y la fecha.
- Se enciende el oxímetro para tomar de la lectura, se introduce el electrodo en la botella de winkler, se esperan unos segundos que se toma el equipo para su estabilización y este arroja la cantidad de OD.
- Repetimos este paso a paso con cada volumen de dilución (10, 20, 25 y 50) ml.



- Los resultados obtenidos de datos de oxígeno disuelto de cada dilución (ODi) en ambos tramos del río Tunjuelo, fueron analizados en los laboratorios de la Pontificia universidad Javeriana y se presenta en la tabla 8.
- Por último y registrados el oxígeno disuelto inicial, se llevan todas las diluciones a incubación por 5 días a una temperatura d 20°C.
- Pasados los cinco (5) días tomamos nuevamente el oxígeno disuelto (ODf), se registra y mediante unos cálculos se calcula el DBO5, como se muestra en la tabla 9.

**NOTA.** Es importante marcar los recipientes de muestras en forma clara, concisa y documentar todo el procedimiento con material fotográfico.

Ilustración 13. Informe de ensayo

| ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS<br>INFORME DE ENSAYO  |   |                                   |     |                    |                 |                                 |     |  |    |
|---|---|-----------------------------------|-----|--------------------|-----------------|---------------------------------|-----|--|----|
| <b>CÓDIGO ORDEN:</b> 039-19 y 039(1)-19<br><br><b>PROYECTO:</b> Desarrollo de un metodología para la evaluación de autodepuración de corrientes superficiales a nivel cuenca  | <b>CLIENTE:</b> Universidad Católica de Colombia<br><br><b>TELÉFONO:</b> 3277300/3245 |                                   |     |                    |                 |                                 |     |  |    |
| <b>1. CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA</b><br><br><div style="text-align: center;">Muestra preservada para ensayos de DBO5</div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Temperatura de refrigeración (°C)</td> <td style="text-align: center;">4°C</td> </tr> <tr> <td>Tipo de recipiente</td> <td style="text-align: center;">Botella Winkler</td> </tr> <tr> <td>Volumen de Botella Winkler (ml)</td> <td style="text-align: center;">300</td> </tr> <tr> <td>Incubador controlado por termostato (°C)</td> <td style="text-align: center;">20</td> </tr> </table> |   | Temperatura de refrigeración (°C) | 4°C | Tipo de recipiente | Botella Winkler | Volumen de Botella Winkler (ml) | 300 | Incubador controlado por termostato (°C) | 20 |
| Temperatura de refrigeración (°C)   | 4°C   |                                   |     |                    |                 |                                 |     |  |    |
| Tipo de recipiente  | Botella Winkler   |                                   |     |                    |                 |                                 |     |  |    |
| Volumen de Botella Winkler (ml)   | 300   |                                   |     |                    |                 |                                 |     |  |    |
| Incubador controlado por termostato (°C)  | 20  |                                   |     |                    |                 |                                 |     |  |    |

Fuente: PUJ

Para los resultados de laboratorio de la segunda ida o campaña se realizaron dos diluciones de 25 ml y 50 ml. Arrojando los datos de OD inicial y OD final como se muestra en la tabla 8

Tabla 8. Oxígeno disuelto (OD) - Toma 2

| <b>Oxígeno disuelto (OD) - 2 Ida</b> |         |            |            |            |            |
|--------------------------------------|---------|------------|------------|------------|------------|
| Hora                                 | Muestra | 25 ml      |            | 50 ml      |            |
|                                      |         | ODi (mg/L) | ODf (mg/L) | ODi (mg/L) | ODf (mg/L) |
| 9:10 a. m.                           | P1-M1   | 6.58       | 0.17       | 6.16       | 0.36       |
| 9:40 a. m.                           | P1-M2   | 6.55       | 0.19       | 6.08       | 0.25       |
| 10:10 a. m.                          | P1-M3   | 6.63       | 0.17       | 6.24       | 0.20       |
| 10:40 a. m.                          | P1-M4   | 6.59       | 0.14       | 6.15       | 0.19       |
| 11:10 a. m.                          | P1-M5   | 6.63       | 0.16       | 6.16       | 0.14       |
| 9:30 a. m.                           | P2-M1   | 6.67       | 0.19       | 6.19       | 0.15       |
| 10:00 a. m.                          | P2-M2   | 6.64       | 0.16       | 6.18       | 0.14       |
| 10:30 a. m.                          | P2-M3   | 6.55       | 0.13       | 6.10       | 0.18       |
| 11:00 a. m.                          | P2-M4   | 6.60       | 0.13       | 6.16       | 0.14       |
| 11:30 a. m.                          | P2-M5   | 6.62       | 0.17       | 6.20       | 0.15       |
|                                      | Blanco  | 6.77       | 6.16       |            |            |

Fuente: Propia

Para los resultados de laboratorio de la primera ida se realizaron tres diluciones de 10 ml, 20 ml y 50 ml. Arrojando los datos de OD inicial y OD final como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Oxígeno disuelto (OD) - Toma 1

| <b>Oxígeno disuelto (OD) - 1 Ida</b> |         |            |            |            |            |            |            |
|--------------------------------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Hora                                 | Muestra | 10 ml      |            | 20 ml      |            | 50 ml      |            |
|                                      |         | ODi (mg/L) | ODf (mg/L) | ODi (mg/L) | ODf (mg/L) | ODi (mg/L) | ODf (mg/L) |
| 9:30 a. m.                           | P1-M1   | 6.80       | 3.97       | 6.48       | 1.27       | 7.02       | 5.36       |
| 10:00 a. m.                          | P1-M2   | 6.74       | 0.59       | 6.36       | 0.24       | 6.90       | 3.72       |
| 10:30 a. m.                          | P1-M3   | 6.80       | 3.05       | 6.42       | 0.26       | 6.94       | 5.01       |
| 11:00 a. m.                          | P1-M4   | 6.81       | 3.05       | 6.43       | 0.23       | 6.98       | 5.05       |
| 11:30 a. m.                          | P1-M5   | 6.74       | 2.21       | 6.36       | 0.22       | 6.92       | 4.63       |
| 9:40 a. m.                           | P2-M1   | 6.78       | 4.00       | 6.35       | 1.25       | 6.92       | 5.35       |
| 10:10 a. m.                          | P2-M2   | 6.74       | 3.32       | 6.44       | 0.61       | 6.97       | 5.03       |
| 10:40 a. m.                          | P2-M3   | 6.83       | 2.98       | 6.44       | 0.28       | 6.97       | 5.02       |
| 11:10 a. m.                          | P2-M4   | 6.80       | 2.74       | 6.38       | 0.24       | 6.98       | 4.85       |
| 11:40 a. m.                          | P2-M5   | 6.76       | 2.74       | 6.40       | 0.24       | 6.94       | 4.75       |
|                                      | Blanco  | 7.00       | 6.36       |            |            |            |            |

Fuente: Propia

#### 8.4. FASE DE ANALISIS Y RESULTADOS

Una vez realizado la fase preliminar: caracterización e inspección de campo y la fase experimental, se procede a realizar un análisis de los datos teniendo en cuenta los estándares regulados nacionalmente por la normatividad.

##### Demanda biológica de oxígeno a los 5 días (DBO5)

El método consiste en llenar completamente un frasco con muestra cerrando herméticamente e incubarlo a temperatura de 20°C durante 5 días. El OD se mide antes y después (OD<sub>i</sub> y OD<sub>f</sub>) de la incubación, y la DBO5 se calcula mediante la siguiente fórmula: (Abramovich, 2005)

Ecuación 1. Demanda biológica de oxígeno a los 5 días

$$DBO5 \left[ \frac{\text{mg O}_2}{\text{L}} \right] = \frac{(OD_i - OD_f) - (B1 - B2)f}{P}$$

Dónde:

- OD<sub>i</sub>: Oxígeno disuelto tomado antes de la incubación [mg/L]
- OD<sub>f</sub>: Oxígeno disuelto tomado después de la incubación [mg/L]
- P: Factor de dilución

Ecuación 2. Factor de dilución

$$P = \frac{\text{Volumen de la muestra (ml)}}{\text{Volumen de la botella (ml)}}$$

- (B1-B2): Depleción del blanco [mg/L]
- F: P de la simiente en la muestra diluida con respecto al control de la simiente

Ecuación 3. Factor de dilución de la simiente en la muestra diluida con respecto al control de la simiente

$$F = (1 - P)$$

A partir de la tabla 8 donde se registró el ODi y el Odf de cada muestra con sus respectivas diluciones con los que se realizó el laboratorio, se efectúa el cálculo del DBO<sub>5</sub> reemplazando en la ecuación 1, como se muestran en la tabla 9.

En la tabla 9 se sacó el promedio del DBO5 para cada dilución

Tabla 10. DBO5 - Toma 2

| DBO5 (mg O2/l) - 2 Ida |         |            |       |          |
|------------------------|---------|------------|-------|----------|
| Hora                   | Muestra | Disolución |       |          |
|                        |         | 25 ml      | 50 ml | Promedio |
| 9:10 a. m.             | P1-M1   | 63.80      | 25.95 | 44.88    |
| 9:40 a. m.             | P1-M2   | 63.25      | 26.10 | 44.68    |
| 10:10 a. m.            | P1-M3   | 64.35      | 27.15 | 45.75    |
| 10:40 a. m.            | P1-M4   | 64.24      | 26.75 | 45.50    |
| 11:10 a. m.            | P1-M5   | 64.46      | 27.05 | 45.76    |
| 9:30 a. m.             | P2-M1   | 64.57      | 27.15 | 45.86    |
| 10:00 a. m.            | P2-M2   | 64.57      | 27.15 | 45.86    |
| 10:30 a. m.            | P2-M3   | 63.91      | 26.55 | 45.23    |
| 11:00 a. m.            | P2-M4   | 64.46      | 27.05 | 45.76    |
| 11:30 a. m.            | P2-M5   | 64.24      | 27.20 | 45.72    |

Fuente: Propia

A partir de la tabla 9 donde se registró el ODi y el Odf de cada muestra con sus respectivas diluciones con los que se realizó el laboratorio, se efectúa el cálculo del DBO<sub>5</sub> reemplazando en la ecuación 1. Datos que se muestran en la tabla 10.

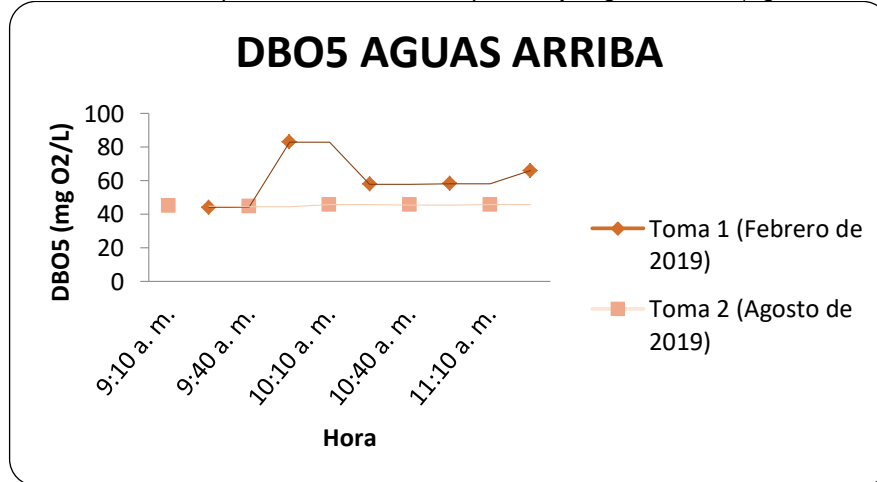
En la tabla 10 se sacó el promedio del DBO5 para cada dilución

Tabla 11. DBO5 - Toma 1

| DBO5 - 1 Ida |                |       |       |          |
|--------------|----------------|-------|-------|----------|
| Disolución   | DBO5 (mg O2/l) |       |       |          |
|              | 10 ml          | 20 ml | 50 ml | Promedio |
|              | 63.51          | 63.98 | 5.10  | 44.20    |
|              | 159.79         | 76.72 | 12.70 | 83.07    |
|              | 90.19          | 77.28 | 6.45  | 57.97    |
|              | 90.48          | 77.84 | 6.45  | 58.26    |
|              | 112.81         | 77.00 | 8.25  | 66.02    |
|              | 62.06          | 62.44 | 4.65  | 43.05    |
|              | 80.62          | 72.66 | 6.50  | 53.26    |
|              | 93.09          | 77.28 | 6.55  | 58.97    |
|              | 99.18          | 77.00 | 7.45  | 61.21    |
|              | 98.02          | 77.28 | 7.75  | 61.02    |

Fuente: Propia

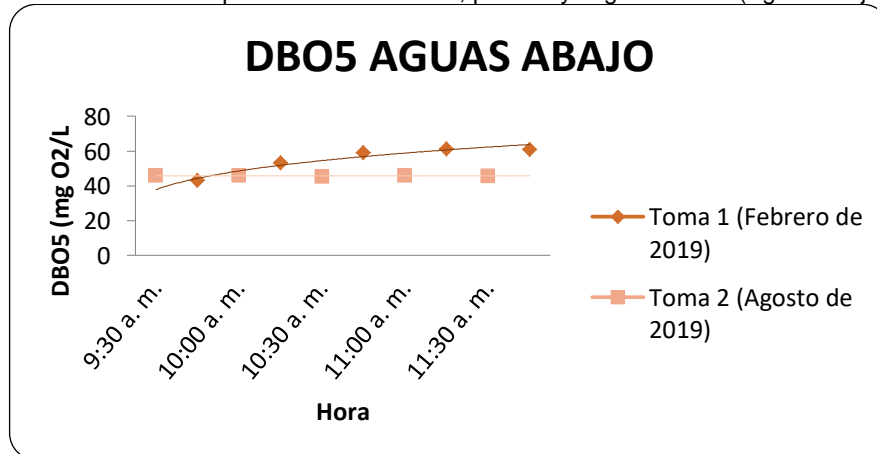
Ilustración 14. Comportamiento del DBO5, primera y segunda toma (Aguas arriba)



Fuente: Propia

En la ilustración 13 se observa un comportamiento casi lineal de la DBO5 en la segunda toma; por el contrario el comportamiento de la BDO5 en la primera toma fue muy variado, esto puede ser por varios factores como la temperatura en el intervalo de tiempo, una temperatura alta conduce a la disminución del oxígeno disuelto y hace que la tasa de descomposición de los contaminantes disminuya, otro factor es que la materia orgánica es muy alta, lo que causa que el OD sea escaso.

Ilustración 15. Comportamiento del DBO5, primera y segunda toma (Aguas abajo)



Fuente: Propia

Se observa un comportamiento casi lineal y constante de la DBO5 en la segunda toma; por el contrario el comportamiento de la BDO5 en la primera toma se comporta casi lineal pero ascendente.

## Objetivo de calidad

Según estudios realizados por la CAR, el ACUERDO NÚMERO 43 DEL 17 DE OCTUBRE DE 2006 “Por el cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020”, y teniendo en cuenta que el río es un afluente clase IV que corresponde a valores de los usos agrícola con restricciones y pecuario.

El valor restrictivo Max que se puede obtener para DBO es de 50 mg/L y entre 4.5 a 9 para pH; tal como se observa en la tabla 12

Tabla 12. Objetivo de calidad

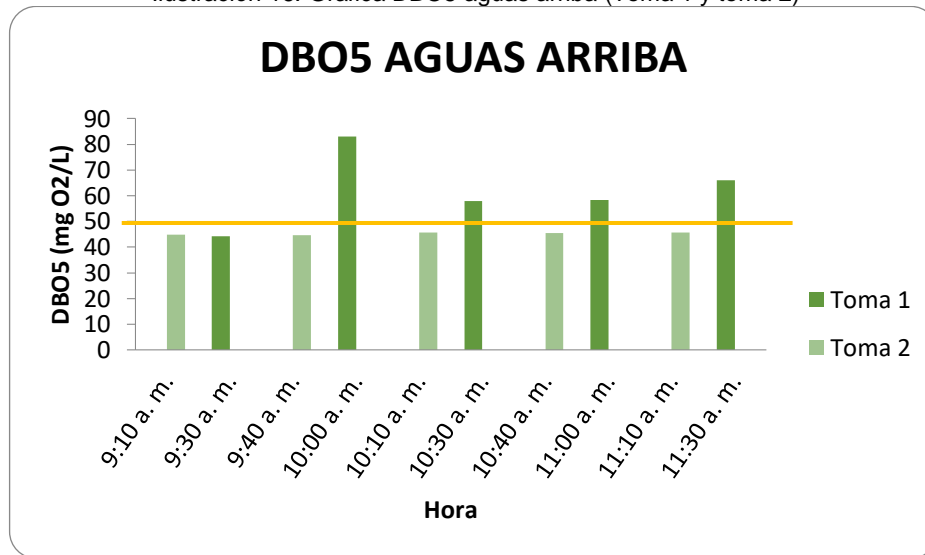
| Objetivo de calidad            |                |  |                      |       |
|--------------------------------|----------------|--|----------------------|-------|
| Parámetro                      | Expresado como | Valor más restrictivo (Max que se puede obtener) |                      |       |
| Parámetro orgánico             |                |  |                      |       |
| DBO                            | mg/L           | 50.00  | (kg/m <sup>3</sup> ) | 0.050 |
| Parámetro de interés sanitario |                |  |                      |       |
| pH                             | Unidades       | 4.50   | a                    | 9.00  |

Fuente: ACUERDO NÚMERO 43 de 2006

- DBO5

Las siguientes graficas indican el cumplimiento del objetivo de calidad en las tomas (aguas arriba y aguas abajo).

Ilustración 16. Grafica DBO5 aguas arriba (Toma 1 y toma 2)

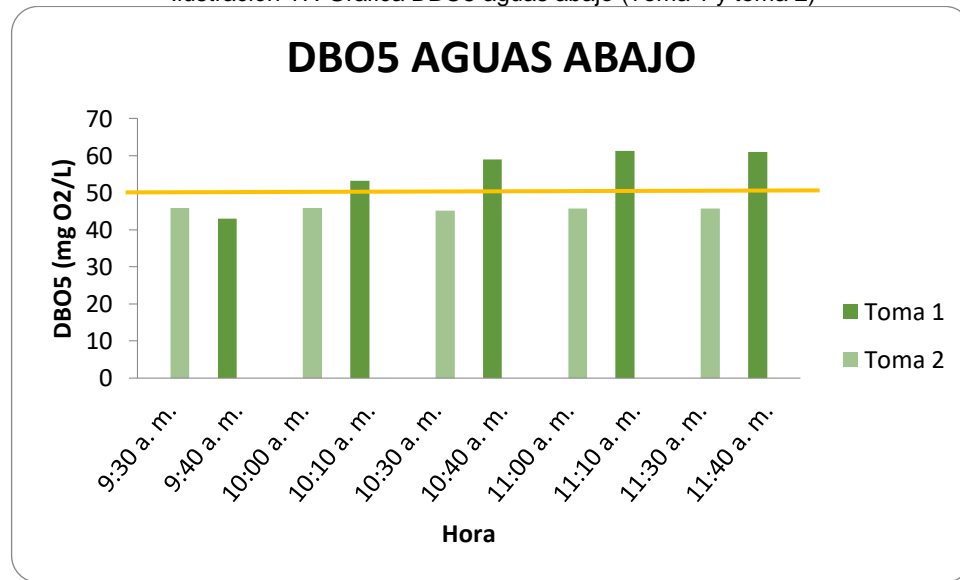


Fuente: Propia

Sobre la gráfica 15 se trazó una línea (amarilla), que indica el valor de calidad. Se observa en la primera toma (realizada en febrero del 2019) hay picos por encima del Max valor restrictivo, lo que significa que no cumple el objetivo de calidad, limitando el aprovechamiento del recurso en el tramo. Por otra parte en la segunda toma (realizada en Agosto del 2019) los valores de la DBO5 están por debajo del objetivo de calidad lo que define que los usos para el afluente son limitados, pero es propicio para usos agrícola con restricciones y pecuario según el acuerdo NÚMERO 43 de la CAR.

Otro aspecto puede ser la temperatura en la que estaba el agua al momento de la toma de las muestras, ya que en aguas residuales la temperatura es importante a causa de sus efectos sobre la solubilidad del oxígeno y, en consecuencia, sobre las velocidades en el metabolismo, difusión y reacciones químicas y bioquímicas.

Ilustración 17. Grafica DBO5 aguas abajo (Toma 1 y toma 2)



Fuente propia

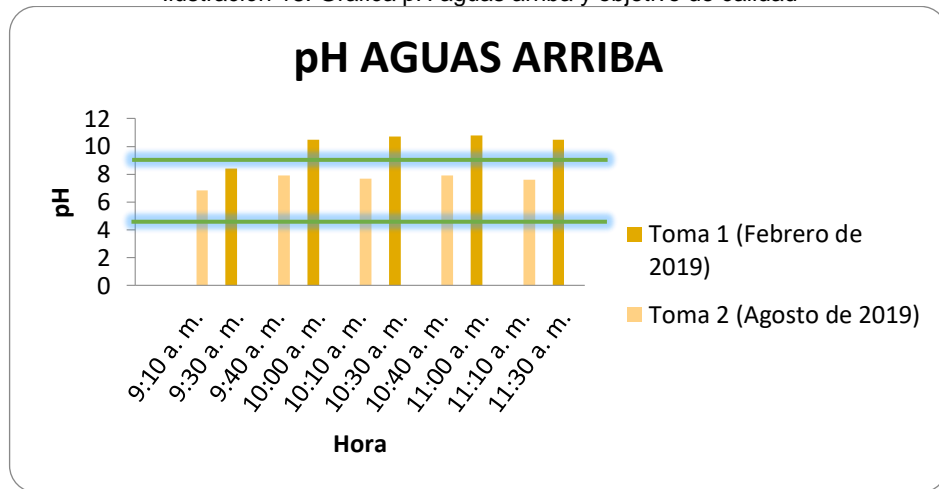
Por otro lado la gráfica 16, para la primera toma (realizada en febrero del 2019) se presenta un comportamiento ascendente de picos, puede deberse al clima o la hora en que se tomaron las muestras, estando por encima del Max valor restrictivo, lo que significa que no cumple el objetivo de calidad. En la segunda toma (realizada en Agosto del 2019) los valores de la DBO5 están por debajo y se comportan de manera casi lineal. Cumple el objetivo de calidad según el acuerdo NÚMERO 43 de la CAR.

- pH

Se realizaron gráficas de columnas confrontando los datos tomados de pH en campo en el mes de Febrero (Toma 1) y los datos tomados en campo en el mes de Agosto (Toma 2) aguas arriba y aguas abajo y el cumplimiento del objetivo de calidad en las tomas



Ilustración 18. Grafica pH aguas arriba y objetivo de calidad

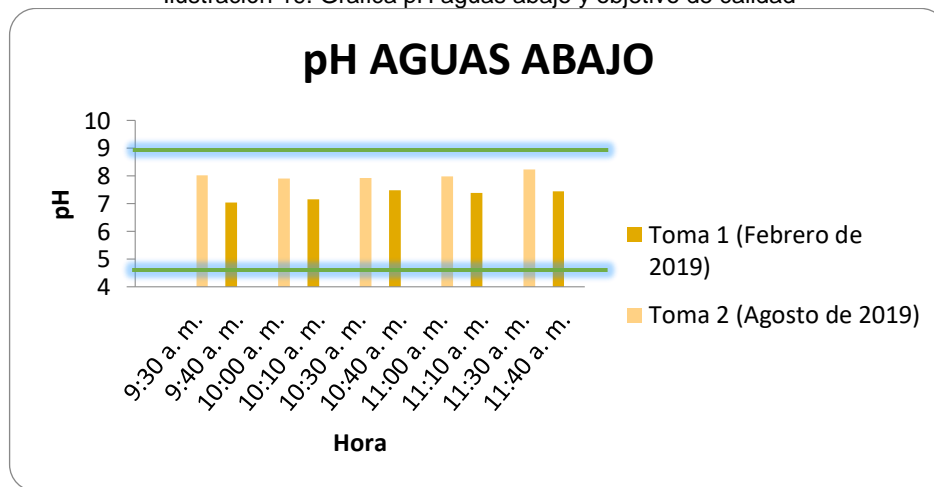


Fuente: Propia

En la gráfica 17 se trazan dos líneas (verdes) de referencia las cuales señalan el rango en el que está el objetivo de calidad según el acuerdo NÚMERO 43 de la CAR. Para la toma 1 aguas arriba, de 9:10 a 9:30 de la mañana el valor del pH es de 6.8, cumple el objetivo de calidad a diferencia de las otras horas del día, que a medida que transcurre la mañana se sale del rango de calidad; puede deberse a un incremento de la temperatura, donde produce a un aumento de la acción bacteriana, acelerando la disminución de los recursos de oxígeno en el río. Un valor fuera del rango restrictivo de pH puede originar la muerte de peces, alteraciones en la flora y fauna o reacciones secundarias dañinas.

Los valores de pH para la toma 2 aguas arriba, están dentro del rango lo que significa que el uso del agua es propicio para usos agrícola con restricciones y pecuario.

Ilustración 19. Grafica pH aguas abajo y objetivo de calidad



Fuente: Propia

En la gráfica 18, los valores de pH en la toma 1 aguas abajo y toma 2 aguas abajo, se comportaron de manera casi lineal, no variaron significativamente y se encuentran dentro del rango Max que se puede obtener.

El valor del pH compatible con la vida piscícola está comprendido entre 5 y 9. Sin embargo, para la mayoría de las especies acuáticas, la zona de pH favorable se sitúa entre 6.0 y 7.2. Fuera de este rango no es posible la vida como consecuencia de la desnaturalización de las proteínas. (Santos, 1992)

#### Evaluación de la capacidad de auto-purificación del agua.

La capacidad de auto-depuración de una corriente hace referencia a la posibilidad natural de un tramo de corriente para diluir y/o degradar los contaminantes (especialmente carga orgánica) que le son vertidos en su cauce principal (Silva, Camilo, Pinto, & Antonio, 2015). Esta característica se define por los parámetros hidráulicos de los tramos sumados a ejercicios de modelación matemática de la calidad de agua.

Son limitados los estudios que proponen una metodología para efectuar la capacidad auto-depurativa de un río; sin embargo (Wei et al. 2009), establece un acercamiento a un modelo matemático, el cual está dado por:

Ecuación 4. Capacidad de auto-purificación de un segmento del río

$$W = Q(C_s - C_o) + KC_s \left(\frac{L}{U}\right) Q$$

Fuente: Artículo La cuenca del río Tunjuelo: una herida abierta en la vena de Bogotá

Dónde:

- W= Capacidad de auto-purificación de un segmento del río
- Q= Caudal del segmento analizado
- Co=Concentración punto 1 (Aguas abajo/ aguas arriba)
- Cs= Concentración punto 2 (Aguas abajo/ aguas arriba)
- K=Velocidad de descomposición de los contaminantes
- L= Longitud del segmento del río
- U= Velocidad del flujo

Este modelo permite definir la interpretación y predicción de la respuesta de un río cuando en él ingresa una carga contaminante. El primer componente establece la cantidad de masa que debe ser removida, la diferencia entre las concentraciones delimita el exceso del parámetro en análisis que genera la polución y el caudal el flujo que presenta el cauce. El segundo término, presenta la constante de reacción, por ende este corresponde a la capacidad de remoción de ese parámetro en función de la longitud del tramo, es decir, a mayor longitud, mayor remoción del parámetro, de tal forma que cumpla con el objetivo de calidad. (LA CUENCA DEL RIO TUNJUELO: UNA HERIDA ABIERTA EN LA VENAS DE BOGOTÁ, 2017)

Para la aplicación de la fórmula 4 se requiere tener de cierta información hidráulica y morfométricos y análisis de carácter cuantitativo para estudiar a fondo el proceso de autodepuración, ya que es un proceso natural que provoca la eliminación de materias contaminadas existentes en el río.

- Caudal del segmento analizado (Q) y velocidad del flujo (U)

Las condiciones hidráulicas para determinar la capacidad de auto-purificación de un segmento del río (W), se tomaron del proyecto “Modelación de un tramo del río

Tunjuelo en el sector de bosa libertador” donde Cristian Reyes y Luis Ruiz, realizaron un estudio de calidad del agua en el sector de bosa la libertar. La metodología de aforo consistió en la medida de la lámina de agua mediante el uso de una mira topográfica la cual arrojó una altura de 1.60 m, medida la cual permite realizar la calibración del modelo hidráulico, posterior a esto se sumerge el molinete mediante una soga y un anclaje al lecho del río de forma tal que el extremo donde se encuentre el molinete se encuentre sobre el eje principal del río y a una altura de 2/3 de la lámina de agua medida, echo esto podemos registra la velocidad que nos arroja la pantalla digital del molinete en su otro extremo, medida que es registrada por el aparato en unidades de pulgada por segundo (0.8708 in/s = 0.022 m/s) (REYES OJEDA , y otros, 2017). Dicha información se registra en la tabla 13 y tabla 14

Tabla 13. Registro del aforo del caudal

| <b>Caudal del segmento analizado (Q)</b> |          |
|--|----------|
| Q (m <sup>3</sup> /s)                    | Sección  |
| 0.626                                    | K0+200   |
| 0.6573                                   | k0+400   |
| 0.6855                                   | K0+600   |
| 0.7245                                   | K0+800   |
| 0.6733                                   | Promedio |

Fuente: (REYES OJEDA , y otros, 2017)

Tabla 14. Velocidad de flujo (U)

| <b>Velocidad del flujo (U)</b> |       |
|--------------------------------|-------|
| U (m/s)                        | 0.022 |

Fuente: (REYES OJEDA , y otros, 2017)

- Velocidad de descomposición de los contaminantes (K)

La Velocidad de descomposición de los contaminantes (K), se tomaron del proyecto “Modelación de la calidad del agua del río Tunjuelo en dos escenarios de implementación del plan de saneamiento de Bogotá” donde Juan Manuel Castaño, presenta la aplicación de un modelo integrado de calidad del agua en el río Tunjuelo. Los parámetros obtenidos en el modelo generan un valor de la función objetivo de 0.6637. Tasas de calibración óptima mostrada a continuación (Ossa, 2015):

Tabla 15. Velocidad de descomposición de los contaminantes (K)

| Velocidad de descomposición de los contaminantes (K) |           |
|--|-----------|
| Kn (DBO5)  | 0.0360    |
| Kn (pH)  | 0.0000015 |

Fuente: (Ossa, 2015)

- Longitud del segmento del río (L)

El tramo objeto de estudio está delimitado en K1+400 aproximadamente del cauce del río a partir de la av. Bosa - 58 Sur 2 Cra. 80 al puente calle 63 sur #81 f 38, perteneciente al tramo 4 cuenca baja del río Tunjuelo.

Las condiciones de la zona muestran un claro deterioro de la vegetación nativa de la cuenca, cerca de la zona mojada se pudo percibir también una grave problemática de plagas producto de la presencia de roedores debido a los desechos.

Tabla 16. Longitud del segmento del río (L)

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Longitud del segmento del río (L) |      |
| L (m)                             | 1400 |

Fuente: Propia

- Concentración de la DQO5 toma 2 (Cs) y Concentración de DQO5 toma 1 (Co)

Por ultimo las concentraciones de la DBO5 registradas en la tabla 10 y 11, y el valor del pH tomado en campos registrados en las tabla 5 y 6 se consolidan y se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Concentración contaminante de entrada (Co) y de salida (Cs)

| Concentración contaminante de entrada (Co) y de salida (Cs) |         |               |              |       |
|---|---------|---------------|--------------|-------|
| Toma  | Muestra | DBO5 (mg 2/L) | DBO5 (kg/m3) | pH    |
| Toma 1,<br>aguas arriba                                     | 1       | 44.20         | 0.0442       | 8.40  |
|   | 2       | 83.07         | 0.0831       | 10.47 |
|   | 3       | 57.97         | 0.0580       | 10.70 |
|   | 4       | 58.26         | 0.0583       | 10.80 |
|   | 5       | 66.02         | 0.0660       | 10.50 |
| Toma 1,<br>aguas abajo                                      | 1       | 43.05         | 0.0431       | 7.04  |
|   | 2       | 53.26         | 0.0533       | 7.16  |
|   | 3       | 58.97         | 0.0590       | 7.49  |
|   | 4       | 61.21         | 0.0612       | 7.40  |
|   | 5       | 61.02         | 0.0610       | 7.45  |
| Toma 2,<br>aguas arriba                                     | 1       | 44.88         | 0.0449       | 6.85  |
|   | 2       | 44.68         | 0.0447       | 7.91  |
|   | 3       | 45.75         | 0.0458       | 7.69  |
|   | 4       | 45.50         | 0.0455       | 7.92  |
|   | 5       | 45.76         | 0.0458       | 7.60  |
| Toma 1,<br>aguas abajo                                      | 1       | 45.86         | 0.0459       | 8.02  |
|   | 2       | 45.86         | 0.0459       | 7.91  |
|   | 3       | 45.23         | 0.0452       | 7.93  |
|   | 4       | 45.76         | 0.0458       | 7.98  |
|   | 5       | 45.72         | 0.0457       | 8.23  |

Fuente: Propia

- DQO5

Aplicando la ecuación 4 obtenemos los siguientes resultados de capacidad de auto-purificación (W) de un segmento del río Tunjuelo respecto a la DBO5 (ver tabla 18 y 19)

Tabla 18. Capacidad autodepuración (W) DQO5 - Toma 1

| Capacidad autodepuración (W) DQO5 - Toma 1 |       |
|--|-------|
| HORA                                       | W     |
| 9:30 a. m.                                 | 66.40 |
| 9:40 a. m.                                 |       |
| 10:00 a. m.                                | 82.13 |
| 10:10 a. m.                                |       |
| 10:30 a. m.                                | 90.97 |
| 10:40 a. m.                                |       |
| 11:00 a. m.                                | 94.42 |
| 11:10 a. m.                                |       |
| 11:30 a. m.                                | 94.12 |
| 11:40 a. m.                                |       |
| Promedio                                   | 85.61 |

Fuente: Propia

Tabla 19. Capacidad autodepuración (W) DQO5 - Toma 2

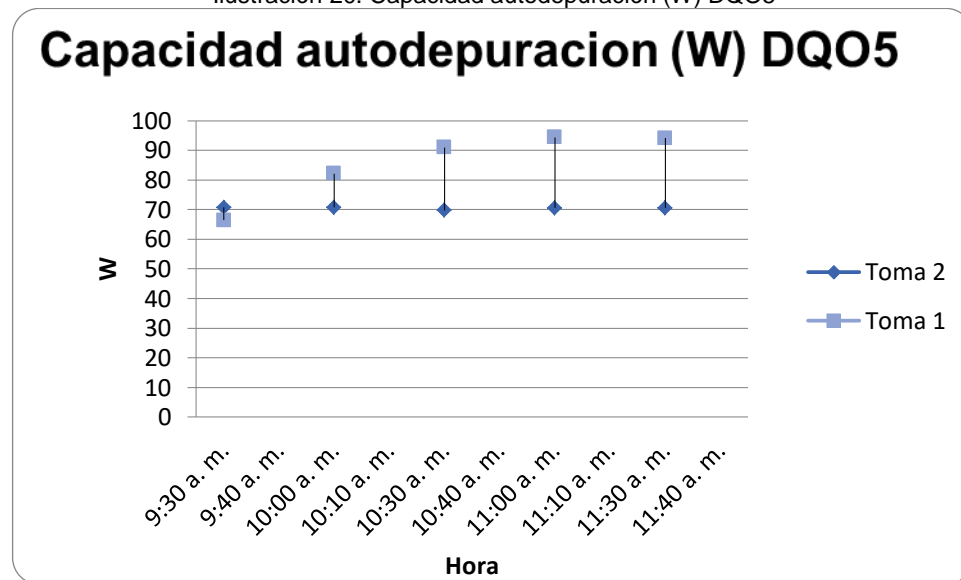
| Capacidad autodepuración (W) DQO5 - Toma 2 |       |
|--|-------|
| HORA                                       | W     |
| 9:10 a. m.                                 | 70.74 |
| 9:30 a. m.                                 |       |
| 9:40 a. m.                                 | 70.74 |
| 10:00 a. m.                                |       |
| 10:10 a. m.                                | 69.77 |
| 10:30 a. m.                                |       |
| 10:40 a. m.                                | 70.58 |
| 11:00 a. m.                                |       |
| 11:10 a. m.                                | 70.52 |
| 11:30 a. m.                                |       |
| Promedio                                   | 70.47 |

Fuente: Propia

La autodepuración de las aguas es un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tienen lugar en el curso del agua de modo natural y que provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas al flujo. Éstas son, principalmente, bacterias aerobias, que consumen materia orgánica con ayuda del oxígeno disuelto en el agua.

Al comparar la toma 1 con la toma 2 se observa que en la toma 1 (Febrero) se obtuvo una capacidad de autodepuración de 85.61 kg por segundo, mientras en la toma 2 (Agosto) hubo una disminución de 15.14 kg obteniéndose 70.47 kg por segundo.

Ilustración 20. Capacidad autodepuración (W) DQO5



Fuente: Propia

En la tabla 19 se observa el comportamiento en diferentes horas del día de la autodepuración del río. Es evidente que en la toma 1 la autodepuración es mayor y aumenta en el transcurso de la mañana, mientras en la toma 2 la autodepuración se comporta de manera lineal, es decir es la misma en las diferentes hora de la mañana.

La capacidad de autodepuración depende en esencia de la Velocidad de degradación y del oxígeno disuelto. Para el caso del río Tunjuelo, se encontró que los niveles de oxígeno disuelto están por debajo de los valores de saturación, lo que indicó, que tiene una baja capacidad de reaireación, debido a sus condiciones hidráulicas

- pH

Al organizar los datos anteriores y aplicar la ecuación 4 obtenemos los siguientes resultados de W respecto a el pH (ver tabla 20 y 21)



Tabla 20. Capacidad autodepuración (W) pH - Toma 1

| <b>Capacidad autodepuración (W)<br/>pH - Toma 1</b> |              |
|---|--------------|
| HORA  | pH           |
| 9:30 a. m.  | -0.46        |
| 9:40 a. m.  |              |
| 10:00 a. m.   | -1.77        |
| 10:10 a. m.   |              |
| 10:30 a. m.   | -1.68        |
| 10:40 a. m.   |              |
| 11:00 a. m.   | -1.81        |
| 11:10 a. m.   |              |
| 11:30 a. m.   | -1.57        |
| 11:40 a. m.   |              |
| Promedio  | <b>-1.46</b> |

Fuente: Propia

Tabla 21. Capacidad autodepuración (W) pH - Toma 2

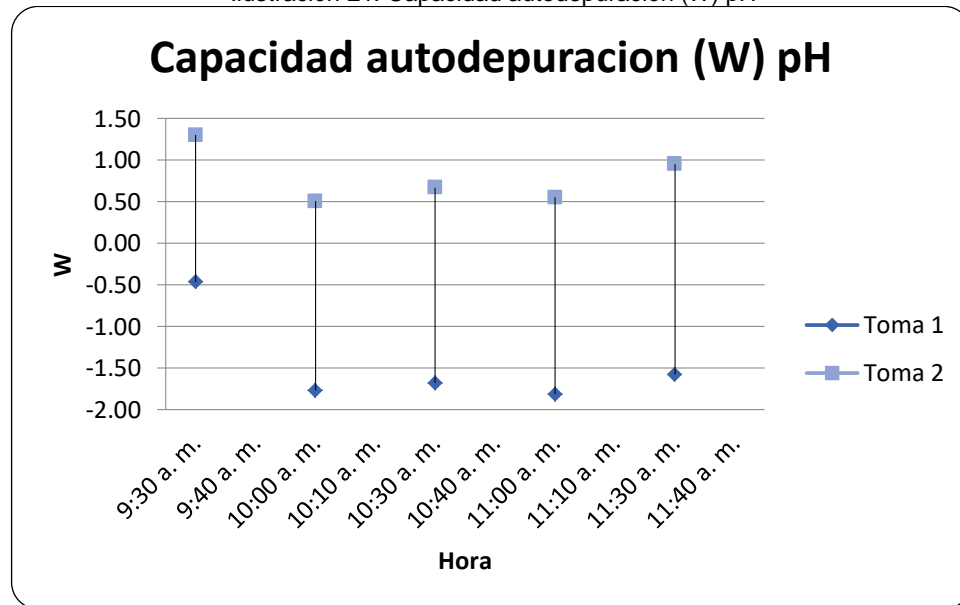
| <b>Capacidad autodepuración (W)<br/>pH - Toma 2</b> |             |
|---|-------------|
| HORA  | pH          |
| 9:10 a. m.  | 1.30        |
| 9:30 a. m.  |             |
| 9:40 a. m.  | 0.51        |
| 10:00 a. m.   |             |
| 10:10 a. m.   | 0.67        |
| 10:30 a. m.   |             |
| 10:40 a. m.   | 0.55        |
| 11:00 a. m.   |             |
| 11:10 a. m.   | 0.95        |
| 11:30 a. m.   |             |
| Promedio  | <b>0.80</b> |

Fuente: Propia

El río auto depura con una media de 1.46, pasados 6 meses el río auto depura con una media de 0.80, incremento un 2.26 en la toma 2 (Agosto) en cuanto a la toma 1 (Febrero).

La Capacidad autodepuración (W) respecto al pH es un factor importante en los sistemas químicos y biológicos de las aguas naturales, ya que un pH balanceado en el agua es fundamental para la vida acuática sana.

Ilustración 21. Capacidad autodepuración (W) pH



Fuente: Propia

En la tabla 20 se observa un comportamiento de la capacidad de autodepuración variado en distintas horas de la mañana. Es evidente que en la toma 1 la capacidad de autodepuración fue menor, excepto en las primeras horas de la mañana (9:30 am), por otro lado en la toma 2, los valores de autodepuración fueron mayores en comparación a la toma 1. Mostrándose el pico más alto a las 9:30 am.

Respuesta a la pregunta planteada.

Para dar respuesta a la pregunta planteada: ¿Cuál es la capacidad de autodepuración que se presenta en un tramo del río Tunjuelo comprendido en coordenadas para K0+000 de 74°10'42.53"O, 4°36'40.49"N y para K1+400 de 74°10'56.42"O, 4°36'49.94"N, respecto a los parámetros pH y DBO5?, se obtuvieron los siguientes valores:

Para parámetro físico-químico - pH

- El río autodepuro -1.46 para el mes de Febrero (Toma 1)
- El río autodepuro 0.80 para el mes de Agosto (Toma 2)

Para parámetro biológico - DBO5

- El río autodepuro 85.61 kg por segundo para el mes de Febrero (Toma 1)
- El río autodepuro 70.47 kg por segundo para el mes de Febrero (Toma 2)

Resultados que se obtuvieron realizando todo el proceso metodológico desde la toma de las muestras hasta el análisis en laboratorio y posteriormente la consolidación y estudio de la información.

## 9. CONCLUSIONES

A partir de lo analizado en este proyecto “Determinación de la capacidad de autodepuración de un tramo del río Tunjuelo respecto a el pH y la demanda biológica de oxígeno (DBO)”.

- Se concluye que la capacidad de autodepuración del Río Tunjuelo respecto a los parámetros de pH y DBO varía en las diferentes épocas del año.
- Mediante la metodología de GuoLiang Wei, para analizar el potencial de autodepuración del agua se pudo realizar un estudio práctico de las aguas del tramo del río respecto a los parámetros del pH y DBO.
- Frente a los resultados obtenidos se dedujo que la capacidad de autodepuración está determinada por el clima del medio ambiente y la temperatura del agua, así como el caudal, la turbulencia de sus aguas y la capacidad de vertido.
- De igual forma se evidencio que la capacidad de autodepuración en el tramo estudiado es mayor en horas cercanas al medio día.
- De este modo, la cantidad de oxígeno depende de aspectos como el consumo de oxígeno de microorganismos, temperatura y cantidad de algas, así mismo la cantidad de oxígeno es importante para la vida de los peces, la abundancia de microorganismos, corrosión de algunos materiales, etc.

## 10. RECOMENDACIONES

- Se hace necesario tomar mayor cantidad de muestras de agua durante diferentes horas del día que permitan obtener mayor cantidad de datos para realizar un mejor análisis de la calidad del agua del río Tunjuelo.
- Otra recomendación sería que para futuros estudios se tomaran tramos más largos poder analizar la capacidad de autodepuración ya que a mayor longitud, mayor remoción del parámetro.
- Es importante que la universidad Católica de Colombia dote a los laboratorios de aguas de equipos que permitan realizar los estudios de todos los parámetros de las muestras, para que los estudiantes no tengan que desplazarse a otros lugares a realizar las pruebas de laboratorio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abramovich, Beatriz Lermann de. 2005.** [En línea] 2005.  
[http://www.fiq.unl.edu.ar/gir/archivos\\_pdf/GIR-TecnicasAnaliticas-DemandaBiologicadeOxigeno.pdf](http://www.fiq.unl.edu.ar/gir/archivos_pdf/GIR-TecnicasAnaliticas-DemandaBiologicadeOxigeno.pdf).
- Aguamarket. 2015.** Aguamarket. [En línea] 2015.  
<https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=2693&termino=ox%EDgeno+disuelto%2C+od>.
- ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA.** [En línea] <http://www.tunjuelito.gov.co/milocalidad/resena-rio-tunjuelo>.
- Alcaldia de Santiago de Cali. 2012.** [En línea] 2012.  
[http://calisaludable.cali.gov.co/saludPublica/2015\\_SaludAmbiental/RESOLUCION%20DE%20TANQUE%20UES.pdf](http://calisaludable.cali.gov.co/saludPublica/2015_SaludAmbiental/RESOLUCION%20DE%20TANQUE%20UES.pdf).
- ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA. 2016.** [En línea] 2016.  
<http://www.tunjuelito.gov.co/milocalidad/resena-rio-tunjuelo>.
- Alvarado, Canon. 2016.** Universidad Francisco Jose de Caldas. [En línea] 2016.  
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5375/1/PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf>.
- Andres Moreno Torres, Francy Vera Forero. 2015.** Repository Universidad Santo Tomas . [En línea] 2015.  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2961/Morenoandrea2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Bolivar, Wilfredo Marimon. 2019.** *Desarrollo de una metodología para la evaluación del potencial de autodepuración de corrientes superficiales a nivel de cuenca.* Bogota : s.n., 2019.
- BRAVO, CRISTIAN FERNANDO REYES OJEDA. LUIS EDUARDO RUIZ. 2017.** DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE CÁLCULO DE UN ICA Y MODELACIÓN DE UN TRAMO DEL RIO TUNJUELO. [En línea] 2017.  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15510/1/TRABJO%20DE%20GRADO%20RESPALDO.pdf>.
- CAMACHO, GUERRERO, DUQUE. 2006.** [En línea] 2006.  
<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/13184/62002044.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Chapra, S. C. 2008.** *Surface Water-Quality Modeling.* 2008.
- Correa, Nicolas Fuentes. 2018.** [En línea] 2018.  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/35016/Trabajo%20de%20Grado.pdf?sequence=6&isAllowed=y>.

**Duarte Silva, Pisco Pinto, Estupiñan Pinto. 2015.** Determinacion de la capacidad de autodepuracion en un tramo del rio Fonce en San Gil con base en el balance de oxigeno disuelto. *Determinacion de la capacidad de autodepuracion en un tramo del rio Fonce en San Gil con base en el balance de oxigeno disuelto.* San Gil, Santander, Colombia : s.n., 2015.

**E., Tchobanoglous G. y Schroeder. 1987.** *Water Quality: Characteristic, modelling and modification.* 1987.

**eaau. 2015.** eaau. [En línea] 2015. <http://www.eaav.gov.co/Paginas/Glosario.aspx>.

**EMASA. 2019.** [En línea] 27 de Marzo de 2019.  
[https://www.emasa.es/3\\_calidad/analisis\\_agua/3221\\_analisis.php?PFILE=1](https://www.emasa.es/3_calidad/analisis_agua/3221_analisis.php?PFILE=1).

**ENVIRA. 2018.** AGUASRESIDUALES.INFO. [En línea] 25 de Octubre de 2018.  
<https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/parametros-de-calidad-del-agua-caracteristicas-fisicas-quimicas-y-normativas-que-lo-regulan>.

**Freddy La Cruz, Franklin Paredes y Edilberto Guevara. 2006.** *MODELACIÓN DE LA AUTODEPURACIÓN DEL AGUA EN EL TRAMO MEDIO DEL RÍO SAN CARLOS.* 2006.

**2017.** galeon. [En línea] 2017. <http://www.galeon.com/ecologicos/cvitae1038578.html>.

**Gonzalez P. 2014.** PubLMed. [En línea] Septiembre de 2014.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24888622>.

**hidritec. 2016.** [En línea] 2016. <http://www.hidritec.com/hidritec/tratamiento-de-aguas-residuales-y-disminucion-de-dqo>.

**ideam. 2011.** [En línea] 2011.  
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21135/CARACTERIZACION+CLIMATICA+BOGOTA.pdf/d7e42ed8-a6ef-4a62-b38f-f36f58db29aa>.

**Isabel, Rodriguez Hurtado Maria. 1983.** Estudio de un modelo de autodepuracion natural para la cuenca del rio Ebro. *Estudio de un modelo de autodepuracion natural para la cuenca del rio Ebro.* Madrid, España : s.n., Julio de 1983.

**Jimenez, Antonio Aznar. 2010.** [En línea] 2010. <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>.

**John, Edward. 1969.** *Concepts of ecology.* 1969.

**LA CUENCA DEL RIO TUNJUELO: UNA HERIDA ABIERTA EN LA VENAS DE BOGOTÁ. Revista TECKNE. 2017.** Bogota : s.n., 2017.

**Lopez, Ricardo. 2003.** *Elementos de diseno para acueductos y alcantarillado.* Bogota : Escuela Colombiana de Ingenieria , 2003.

**M. ESPIGARES GARCIA, J. A. PEREZ LOPEZ.** [En línea]

[http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf).

**Martinez, Edwin.** 2012. Academia. [En línea] 2012.

[https://www.academia.edu/9275462/Fuente\\_de\\_Abastecimiento](https://www.academia.edu/9275462/Fuente_de_Abastecimiento).

**Monte Rojas, Raquel Teresa.** 2013. Metodología para evaluar la modificación de la capacidad de Autodepuración de los ríos por efecto del cambio climático. *Metodología para evaluar la modificación de la capacidad de Autodepuración de los ríos por efecto del cambio climático*. Mexico. DF, Mexico : s.n., Septiembre de 2013.

**Munera, Catalina.** 2014. CONVENIO ESPECIAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA 1520 DE 2014. [En línea] 2014. [http://www.ambientebogota.gov.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=c2f6ebca-3ac6-4bb8-b7eb-1f2f97753c0a&groupId=3564131](http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=c2f6ebca-3ac6-4bb8-b7eb-1f2f97753c0a&groupId=3564131) .

**Observatorio regional ambiental y de desarrollo sostenible del río Bogotá.** 2018. Orarbo. [En línea] 2018. <http://www.orarbo.gov.co/esm/indicadores?id=1298&v=l>.

**ONU-DAES.** 2014. ONU. [En línea] 22 de Octubre de 2014.

<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>.

**Ossa, Juan Manuel Castaño.** 2015. [En línea] 2015.

<http://bdigital.unal.edu.co/52643/1/1088000081.2015.pdf>.

**Pedro Osorio, Daysi Peña.** [En línea] <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>.

**PJ Rudden.** 2012. [En línea] 2012.

<http://apresidentsblogbyjrudden.blogspot.com/2012/05/opening-world-congress-on-water-climate.html>.

**REYES OJEDA , CRISTIAN FERNANDO y RUIZ BRAVO , LUIS EDUARDO.** 2017. Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia. [En línea] 2017.

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15510/1/TRABJO%20DE%20GRADO%20RESPALDO.pdf>.

**riosdelplaneta.** 2019. [En línea] 2019. [https://riosdelplaneta.com/rio-tunjuelito/#Historia\\_del\\_Rio\\_Tunjuelito](https://riosdelplaneta.com/rio-tunjuelito/#Historia_del_Rio_Tunjuelito).

**Rodríguez Hurtado, María Encarnación.** 1983. Estudio de un modelo de autodepuración natural para la cuenca del río Ebro. [En línea] 1983.

**Santos, Díaz de.** 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas. [En línea] 1992.

[https://www.upct.es/~minaees/analisis\\_aguas.pdf](https://www.upct.es/~minaees/analisis_aguas.pdf).

**Structuralia.** 2017. Structuralia. [En línea] 27 de Marzo de 2017.

<https://blog.structuralia.com/como-se-produce-la-autodepuracion-de-los-rios>.





**Torres, Antonio. 2011.** granada.org. [En línea] 2011. [http://a21-granada.org/redgramas/images/Presentacion\\_ANTONIO.pdf](http://a21-granada.org/redgramas/images/Presentacion_ANTONIO.pdf).

**UICN. 2005.** portals. [En línea] Septiembre de 2005.  
<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2006-094.pdf>.

**Venecia, Alcaldía de. 2018.** Alcaldía municipal de Venecia . [En línea] 2018. <http://www.venecia-cundinamarca.gov.co/>.

**WHITEHEAD, P., WILBY, R., BATTARBEE, R., KERNAN, M., and WADE, A. 2009.** A review of the potential impacts of climate change on surface wate. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*. s.l. : Vol. 54, No. 1, pp. 101-123., 2009.

## ANEXOS

### Anexo a. Registro fotográfico de Análisis de laboratorio Pontificia Universidad Javeriana





Fuente: Propia

## Anexo b. Fuentes de contaminación del río Tunjuelo según (Bedoya, 2007)


**Tabla 1-2 Fuentes de contaminación del río Tunjuelo según (Bedoya, 2007)**

| <b>Fuente de contaminación</b>          | <b>Descripción</b>   |
|---|--|
| <b>Aguas negras domésticas</b>          | Responsables de la mitad de la contaminación orgánica de la cuenca, aportando 254,7 Toneladas de OD por día de un total de 467,4 Tonelada de OD por día que se generan en la cuenca (54%). Están compuestas por sustancias químicas minerales, como metales pesados y sales vertidas directamente o resultantes de los procesos de descomposición de la materia orgánica contenida en el agua; y las sustancias químicas orgánicas como los detergentes, aceites y grasas, fenoles y otros similares. La contaminación por aguas residuales domésticas genera una fuerte concentración bacteriológica y una reducción del oxígeno disuelto, por lo cual constituye una amenaza para la salud pública, disminuye o elimina la vida acuática, especialmente peces y crustáceos, constriñe o elimina otros usos posibles del agua (navegación, riego de cultivos y pastos, recreación) y deteriora seriamente los paisajes. |
| <b>Aguas residuales industriales</b>    | Generan una DBO de 212.6 toneladas por día, equivalente al 46% de la carga orgánica total que produce la cuenca. Y son responsables de la contaminación por metales pesados, fenoles, aceites y grasas. Una fuente importante de contaminación química del río Tunjuelo es la conformada por el vertimiento de los lixiviados de Relleno Sanitario Doña Juana. Sin embargo, el relleno cuenta con su propia planta de tratamiento para sus lixiviados, los cuales contienen una alta carga de DBO5 y DQO. Los contaminantes químicos inorgánicos resultan generalmente de los procesos de fabricación, transporte y uso de diversos productos industriales.  |
| <b>Aguas de escorrentía superficial</b> | Proviene de materiales tales como arcillas, gravillas y otros, los cuales provienen generalmente de la erosión de las vertientes y lechos fluviales, de la explotación de las canteras, gravilleras e industrias ladrilleras de la construcción y mantenimiento de las vías, de la basura depositada en las calles y plazas, de las actividades domésticas y de la industria. Como en el caso de la contaminación química, existe un aporte de contaminación física de color, especialmente por los lixiviados provenientes del relleno de Doña Juana, en una magnitud no establecida actualmente.   |

Fuente: <http://bdigital.unal.edu.co/52643/1/1088000081.2015.pdf>

## Anexo c. Cotización de servicios de laboratorio - Pontificia Universidad Javeriana

FORMATO: FSE 03



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA**  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS

| COTIZACIÓN DE SERVICIOS DE LABORATORIO   |  |  |                                    |  |  |  |
|--|--|--|------------------------------------|--|--|--|
| Razón Social: <u>Universidad Católica de Colombia</u>  |  |  | NIT / CC: <u>860028971-9</u>       |  |  |  |
| Dirección: <u>Dg. 46a #15-10, Facultad de Ingeniería, Sede El Claustro, Piso 4, Bloque O</u> |  |  | Ciudad: <u>Bogotá</u>              |  |  |  |
| Proyecto: <u>depuración de corrientes superficiales a nivel cuenca</u>                       |  |  | Teléfono: <u>3277300 ext. 3245</u> |  |  |  |
| Solicitado por: <u>Wilfredo Marimon Bolívar</u>  |  |  | Fecha: <u>12/03/2019</u>           |  |  |  |
| Correo Electrónico: <u>w.marimon@javeriana.edu.co</u>  |  |  | Cotización No.: <u>025-19</u>      |  |  |  |

| No. | ENSAYO   | NORMA | CANT. | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL        | CONDICIONES DE LA MUESTRA |
|-----|--|-------|-------|----------------|--------------------|---------------------------|
| 1   | Análisis de Nitrato (N-NO <sub>3</sub> ), fosfatos (P-PO <sub>4</sub> ), fósforo total (P-PO <sub>4</sub> ), Nitrógeno total Kjeldahl (NTK), demanda biológica de oxígeno (DBO5) | ---   | 50    | \$3.000.000    | \$ 3.000.000       | ---                       |
|     |  |       |       |                | <b>VALOR TOTAL</b> | <b>\$ 3.000.000</b>       |

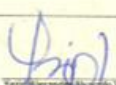
NOTA: El laboratorio acepta exclusivamente solicitudes de financiación de obras o que cambien de planta física en sus procesos internos y está autorizado para emitir este presupuesto en formato pdf. No autoriza el envío de gestión de calidad ni el cobro de honorarios de apoyo a este servicio.

**OBSERVACIONES:** La cantidad de muestras es un valor aproximado.  
Los ensayos serán realizados por el estudiante en compañía del personal técnico del laboratorio.

| CONDICIONES COMERCIALES   | CONDICIONES GENERALES  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Condiciones de pago: Contratación de resultados.</li> <li>- Tiempo estimado de entrega: Según programación interna del laboratorio.</li> <li>- Validez de la oferta: 30 días.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- La presente cotización no incluye el transporte de las muestras al laboratorio.</li> <li>- Horario de atención: Lunes a Viernes de 8:00 a 12:00 horas y de 14:00 a 17:00 horas.</li> <li>- Recepción de muestras: Lunes a Viernes de 8:00 a 11:00 horas y de 14:00 a 17:00 horas.</li> <li>- Confirma la disponibilidad del laboratorio antes de traer las muestras.</li> </ul> |

**RESPONSABILIDAD TRIBUTARIA DE LA UNIVERSIDAD**

- La Pontificia Universidad Javeriana, fundada y regida por la compañía de Jesús, es una persona jurídica de derecho eclesialístico, que deriva su nombre de San Francisco Javier, miembro de la misma Compañía y Doctor de la Universidad de París.  
 - De acuerdo con las leyes de la República de Colombia, es una Institución de Educación Superior, no oficial, de carácter privado, de utilidad común, sin fines de lucro (ESAL), de duración indefinida, reconocida como persona jurídica mediante la Resolución número 72 expedida el 12 de diciembre de 1933 por el Ministerio de Gobierno.  
 - El Gobierno de la República de Colombia la reconoció al carácter de Universidad mediante el Decreto número 1267 proferido el 30 de mayo de 1964.  
 - La universidad, de acuerdo con el artículo 140 de la Ley 1819 de 2016 que modificó el artículo 19 del Estatuto Tributario Nacional, pertenece al Régimen Tributario Especial - RTE.  
 - Con respecto al beneficio neto o excedente de la Universidad, todo su acervo, ya que se cumple con todo lo indicado en el artículo 1.2.1.5.1.27 del Decreto 1625 de 2016.  
 - Por otro lado, la universidad ha sido calificada por la DIAN como Gran Contribuyente según Resolución No. 7714 del 18 de diciembre de 1998, y ratificada por la Resolución No. 088078 del 1 de diciembre de 2016.  
 - La universidad es agente de retención y responsable por el recuento y cancelación del impuesto a través del mecanismo de retención en la fuente.  
 - Teniendo en cuenta que la Universidad está catalogada como una Institución de Educación Superior y de acuerdo con el artículo 82 de la Ley 30 de 1992, no es responsable del IVA, sin embargo, por ser catalogada como Gran Contribuyente, la Universidad es agente de retención de IVA según el artículo 49 de la Ley 488 de 1998.  
 - La universidad Javeriana es responsable directa del pago del impuesto de Industria y Comercio Años y Talleros - ICA tanto en Bogotá D.C. como en los demás municipios en donde presta sus servicios, y según Resolución No. 023-042065 de 13 de octubre de 2017 de la SIND de Bogotá D.C. fue catalogada como Gran Contribuyente de este tributo.

  
 Representante legal: Guillermo Vargas  
 Director de Pruebas y Ensayos  
 Departamento de Ingeniería Civil

Calle 40 No. 5-60, piso 1 Edificio Juan Gómez Márquez S.J. - Bogotá D.C., Colombia  
Tel: (57-1) 3286328 Ext. 5073/5208/1288



---

STEFANNY ALEJANDRA CHAPARRO VÉLEZ  
CÓDIGO: 504283

---

ING DIEGO ALEJANDRO PULGARIN MONTOYA

FECHA (11/06/2020)