

**ALTERNATIVAS PARA MITIGAR EL DÉFICIT HÍDRICO DEL HUMEDAL TIBANICA PARA LA  
EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ EAAB – ESP**

**JOHAN SEBASTIAN RAMIREZ NOCUA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.  
2021**

**ALTERNATIVAS PARA MITIGAR EL DÉFICIT HÍDRICO DEL HUMEDAL TIBANICA PARA LA  
EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ EAAB - ESP**

**JOHAN SEBASTIAN RAMIREZ NOCUA**

**ANTEPROYECTO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL  
MODALIDAD PASANTÍA**

**DIRECTOR  
DARWIN MENA RENTERÍA  
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO - ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**CODIRECTORES  
ANGELA PAOLA JIMENEZ PORTELA  
INGENIERA AMBIENTAL  
HECTOR PEÑA CHACON**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C  
2021**

## TABLA DE CONTENIDO

Resumen .....	6
Abstract.....	7
Introducción .....	8
Objetivos.....	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
1. Marco referencial.....	10
1.1 Marco conceptual.....	10
1.1.1 Humedales.....	10
1.1.2 Los humedales en Colombia.....	10
1.1.3 Humedal urbano.....	10
1.1.4 Humedales capitalinos.....	11
1.1.5 Regulación térmica .....	11
1.2 Marco teórico .....	12
1.2.1 Humedales.....	12
1.2.2. Humedal Tibanica .....	13
1.2.3 Déficit hídrico .....	14
1.3 Marco contextual.....	14
1.3.1 Localización.....	14
1.4 Marco legal .....	15
2. Desarrollo de la pasantía .....	17
2.1. Fase 1. Diagnóstico .....	17
2.2 Fase 2. Planteamiento de alternativas para mitigar el déficit hídrico .....	17
2.3. Fase 3: Selección de la alternativa más viable .....	19
3. Resultados obtenidos.....	20
3.1. Fase 1. Diagnóstico .....	20
3.2 Fase 2. Planteamiento de alternativas para mitigar el déficit hídrico .....	29
3.3. Fase 3: Selección de la alternativa más viable .....	32
3.3.1. Selección de alternativa .....	36

4. Conclusiones y recomendaciones.....	39
3.1. Conclusiones .....	39
3.2. Recomendaciones .....	39
5. Bibliografía .....	41
6. Anexos .....	43
Anexo A: Formato de recolección de información del humedal Tibanica .....	43
Anexo B. Matriz de ponderación de criterios de calificación .....	44
Anexo C. Criterios de calificación .....	45
Anexo E. Documento final (entregable para la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá) .....	47

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Principales beneficios del humedal Tibanica .....	13
Ilustración 2. Ubicación del humedal Tibanica .....	15
Ilustración 3. Metodología general .....	17
Ilustración 11. Criterios para el planteamiento de alternativas de mitigación.....	18
Ilustración 4. Clasificación según criterios RAMSAR .....	22
Ilustración 5. Histograma de precipitación media mensual multianual.....	23
Ilustración 6. Histograma de temperatura media mensual multianual .....	24
Ilustración 7. Histograma de humedad relativa media mensual multianual .....	25
Ilustración 8. Histograma de evaporación media mensual multianual .....	25
Ilustración 9. Escenarios de suministro.....	27
Ilustración 10. Datos de calidad de agua .....	29
Ilustración 12. Distancia entre la Estación de bombeo la Isla y el humedal Tibanica .....	30
Ilustración 13. Distancia entre la Quebrada Tibanica y el Humedal Tibanica .....	31
Ilustración 14. Distancia entre el Rio Tunjuelito y el Humedal Tibanica.....	32
Ilustración 15. Esquema de abastecimiento seleccionado.....	37

## TABLAS

Tabla 1. Marco normativo .....	15
Tabla 3. Pasos para el planteamiento de alternativas .....	17
Tabla 2. Categorías del hidro-periodo de los suelos de los humedales.....	23
Tabla 4. Ponderación por componente .....	33

Tabla 5. Calificación para la matriz de evaluación.....	33
Tabla 6. Matriz de calificación.....	34

## Resumen

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB - ESP es una empresa prestadora del servicio de Acueducto y Alcantarillado sanitario y pluvial, comprometida con el medio ambiente por ende a lo largo su funcionamiento ha venido desarrollando proyectos con tecnologías que buscan disminuir los impactos generados al medio ambiente; teniendo como compromiso ambiental el cuidado y la preservación de alrededor de 40 mil hectáreas de la Reserva Natural Chingaza y 5000 ha en los cerros orientales.

La Empresa se encuentra constituida por nueve áreas, pero en cabeza de la Gerencia Corporativa Ambiental se encuentra la labor de protección, conservación y recuperación el recurso hídrico de la Capital tiene a su cargo el mantenimiento y cuidado de los 13 humedales; por ende, debe coordinar, diseñar, definir, asesorar y apoyar los lineamientos para dar control y mantenimiento a los humedales y quebradas en la ciudad de Bogotá.

Teniendo en cuenta que, la Reserva Distrital de Humedal Tibanica presenta déficit hídrico por las condiciones climáticas de la microcuenca de la quebrada Tibanica y por la ausencia de conectividad hidráulica con su fuente de agua natural, el presente documento tiene como objetivo plantear un análisis de alternativas para evitar la disminución del cuerpo de agua de la Reserva Distrital de Humedal Tibanica. El presente trabajo de pasantía se realizó en conjunto con la Dirección Gestión Ambiental del Sistema Hídrico, Gerencia Corporativa Ambiental quien dio acompañamiento y supervisión, considerándolo un proyecto útil para otros Humedales del Distrito, dando como resultado la opción mas viable teniendo en cuenta la calidad del agua y bajos costos en su construcción, el bombeo desde la estación la Isla.

**Palabras clave:** déficit hídrico, humedal, alternativas.

## **Abstract**

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB - ESP is a company that provides water and sewage services, committed to the environment, therefore throughout its operation it has been developing projects with technologies that seek to reduce the impacts generated to the environment; having as environmental commitment the care and preservation of about 40 thousand hectares of the Chingaza Natural Reserve and 5 thousand in the eastern hills.

The Company is made up of nine areas, but the Corporate Environmental Management is in charge of the protection, conservation and recovery of the water resources of the Capital and is responsible for the maintenance and care of the 13 wetlands; therefore, it must coordinate, design, define, advise and support the guidelines to control and maintain the wetlands and streams in the city of Bogota.

Considering that the Tibanica Wetland District Reserve has a water deficit due to the climatic conditions of the Tibanica Creek micro-watershed and the absence of hydraulic connectivity with its natural water source, this document aims to propose an analysis of alternatives to prevent the decrease of the water body of the Tibanica Wetland District Reserve. This internship work was carried out in conjunction with the Environmental Management of the Water System, Corporate Environmental Management who gave support and supervision, considering it a useful project for other wetlands in the District, resulting in the most viable option taking into account the water quality and low costs in its construction, the pumping from the Isla station.

**Key words:** water deficit, wetland, alternatives.

## Introducción

Los humedales son vitales para la supervivencia humana y son considerados como espacios de especial importancia ecológica para la ciudad de Bogotá. Además, son uno de los entornos más productivos del mundo, cunas de diversidad biológica y fuentes de agua. Teniendo en cuenta los diferentes servicios ecosistémicos que prestan para la regulación de los ciclos hidrológicos y el mejoramiento en la calidad del aire y el agua, se hace necesario realizar estudios que formulen estrategias de recuperación y conservación.

Considerando el contexto anterior, el Parque Ecológico Distrital de Humedal Tibanica (PEDH) representa uno de los pocos espacios ecológicos con categoría de área protegida sobre el sector sur occidental del Distrito [1], además, al pasar del tiempo, sobrevive a impactos ambientales resultado de actividades humanas. Dentro de las principales problemáticas, se encuentran fallas en el drenaje superficial del recurso hídrico, fuentes de abastecimiento contaminadas, reducción de su área por crecimiento urbanístico y baja precipitación de lluvias en el sector, generando así déficit hídrico e impacto negativo a las dinámicas naturales.

El presente trabajo tiene como objeto presentar alternativas para la mitigación del déficit hídrico del Parque Ecológico Distrital de Humedal Tibanica (PEDH), por medio de la elaboración de un diagnóstico inicial para determinar la opción más favorable desde los aspectos técnicos, económicos y ambientales.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Seleccionar la alternativa más viable para mitigar el déficit hídrico del humedal Tibanica mediante la relación de criterios de selección, con el fin de realizar un análisis a nivel de prefactibilidad.

### **Objetivos específicos**

- Realizar el diagnóstico de las condiciones hidrológicas actuales del humedal Tibanica.
- Evaluar las alternativas para mitigar el déficit hídrico a corto plazo para el humedal a partir de criterios económicos, técnicos y ambientales.
- Determinar la viabilidad de cada una de las alternativas de mitigación del déficit hídrico para seleccionar la más viable mediante una matriz de calificación.

## **1. Marco referencial**

### **1.1 Marco conceptual**

#### **1.1.1 Humedales**

De acuerdo con lo estipulado por la "Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas" realizada en 1971, más conocida como la Convención de Ramsar, un humedal se define como: "extensiones de marisma, pantanos, turberas, cuerpos de agua de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas, corrientes, dulces, salobres y saladas incluyendo las áreas de aguas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros" [2]. En otras palabras, los humedales son todos los ecosistemas cuyo componente fundamental es el agua, en torno a la cual se forman ambientes intermedios que varían entre permanentemente inundados y normalmente secos, estos sistemas incluyen, desde luego, todos los niveles de diversidad biológica que allí se puedan sustentar.

#### **1.1.2 Los humedales en Colombia**

Colombia es el segundo país más diverso del mundo, con una alta riqueza de especies en flora, fauna y en recursos naturales, posee una cantidad inmensa y diversa de fuentes hídricas abastecedoras de los suelos y de la población en general. Entre las diferentes fuentes hídricas, se encuentran alrededor de 31702 humedales, los cuales se pueden clasificar en: arrecifes, ciénagas, chucuas, estuarios, lagunas, manglares, marismas, meandros y pantanos, ocupando 20 millones de hectáreas aproximadamente en el territorio colombiano [3].

No obstante, dicha riqueza ha sido difícil de conservar y preservar, debido a que los procesos ejecutados por el hombre y su exceso de explotación, en actividades como el desarrollo industrial, actividades agropecuarias, mineras y hasta el acelerado crecimiento demográfico, han tenido como consecuencia la pérdida total o parcial de muchos de estos humedales, generando un desequilibrio en los procesos de regulación hídrica y de biodiversidad.

#### **1.1.3 Humedal urbano**

La mitad de la humanidad, unos 4.000 millones de personas, vive actualmente en zonas urbanas. Esa proporción alcanzará el 66 % en 2050 ya que las personas se trasladarán a las ciudades en busca de mejores puestos de trabajo y una vida social activa. Las ciudades generan alrededor del 80 % de la producción económica mundial. La expansión de las ciudades y el aumento de la demanda de tierras trae consigo presiones para los humedales, que se degradan, se rellenan y se utilizan como terrenos para la construcción. Sin embargo,

los humedales urbanos que permanecen intactos o que se restauran contribuyen a que las ciudades sean habitables. Teniendo en cuenta que los humedales son superficies terrestres que se inundan de forma estacional o permanentes. Los humedales urbanos se refieren a los que se encuentran dentro y/o alrededor de las ciudades y sus suburbios e incluyen ríos y llanuras, lagos y pantanos, también variantes costeras como marismas, manglares y arrecifes de coral [4].

#### **1.1.4 Humedales capitalinos**

Los humedales son ecosistemas de transición entre el medio acuático y terrestre, están constituidos por un cuerpo de agua permanente o estacional y debido a su importancia ambiental, hacen parte de la estructura ecológica principal, que establece la relación de conectividad entre los páramos, los cerros, el bosque, las quebradas y el río Bogotá, Bogotá cuenta con 15 humedales, 11 de ellos se consideran RAMSAR, es decir, cuentan con apoyo internacional para su conservación [5].

De acuerdo con la Política de Humedales del Distrito Capital (Decreto 624 de 2007), los humedales son fundamentales en el equilibrio ecológico y ambiental global, ya que son el hábitat de muchas especies de fauna y flora, y elementos vitales en la estructura ecosistémica, sociocultural y económica de las naciones y del mundo [1].

#### **1.1.5 Regulación térmica**

Los servicios de regulación de los ecosistemas influyen en diferentes aspectos climáticos, como la eliminación de contaminantes presentes en el aire, suministro acuático, influencia directa en la precipitación, cabe resaltar la importancia de la regulación térmica que puede generar un ecosistema, siendo la temperatura el indicador que determina los límites en que se regula los cambios climáticos, debido a la capacidad de almacenar y conservar los GEI [6].

#### **1.1.6 Mitigación del cambio climático**

Los humedales son los sumideros de carbono más efectivos del planeta, ya que su función es capturar cerca del 40% de los GEI generados en el planeta, por tanto, son una solución ante el cambio climático (Instituto Humboldt, 2015). Sin embargo, estos son vulnerables por acciones naturales como antropogénicas. Los humedales tienen como función la estabilización de costas, así como constituyen una línea de defensa ante la acción de fenómenos severos del tiempo (inundaciones, tormentas y sequías) que permiten el desgaste y la disminución de la intensidad de estos cuando actúan sobre otras áreas [6].

## 1.2 Marco teórico

### 1.2.1 Humedales

Los humedales se han afectado ambientalmente a partir del año 1538, donde las aguas usadas y las basuras se arrojan a las calles, convirtiéndose en desechos que llegan al río Bogotá y las lagunas o humedales; así mismo comienza el proceso de adecuación de tierras que al ser urbanizadas genera la desecación de las lagunas. Con el tiempo se ha observado que el crecimiento urbano es constante y continuó, lo que impide una estabilidad ambiental frente a los humedales. Durante 1930 a 1950, se llevan a cabo varios proyectos urbanísticos como lo son grandes avenidas que traen como consecuencia el deterioro de los cuerpos de agua, fraccionándose la Laguna del Tintal en los humedales de Tibanica, La Vaca, El Burro, Techo y Lago Timiza, y así dar comienzo a los rellenos e invasiones ilegales [8].

En el Decreto Ley 2811 de 1974 -Código de los Recursos Naturales donde está contemplada la protección y conservación de los sistemas ambientales y de las áreas protegidas que existen en el territorio colombiano, en particular para los 15 humedales de Bogotá, los cuales fueron declarados como importancia ecológica principal a partir de la expedición del acuerdo 19 de 1994, bajo los lineamientos previstos en el acuerdo 6 de 1990 - Estatuto de Ordenamiento Físico del Distrito de Bogotá-, por medio de esta norma se ha venido desarrollando una serie de actividades y de acciones tendientes a la recuperación ambiental de estos ecosistemas, no sin antes advertir que los humedales de Bogotá en las últimas cinco décadas han sido sometidos a perturbaciones tales como: rellenos, disposición inadecuada de residuos sólidos, conducción de aguas residuales, etc., que han hecho cambiar sus condiciones naturales deteriorando el medio ambiente. Por otra parte, se debe tener en cuenta los lineamientos y protocolos mundiales para la protección del medio ambiente, orientados a la conservación y protección de los diferentes ecosistemas y por medio del cual el hombre se beneficia a través de los servicios ambientales prestados por cada uno de ellos, tenemos el caso de la Convención de Ramsar, la cual fue adoptada por Colombia mediante la Ley 1997, en la cual se hace partícipe y responsable de la conservación de los humedales del territorio colombiano, es a partir de allí y con la norma anteriormente citada, conforme a los protocolos de recuperación, donde se trazan los lineamientos y acciones para la recuperación geofísica, biológica, natural y jurídica de los territorios determinados espacialmente como humedales; para este estudio del caso se hace referencia a las acciones adelantadas y que están por desarrollar del Humedal La Vaca, ecosistema ubicado en la Localidad de Kennedy entre las avenidas Ciudad de Cali y Dagoberto Mejía y la Avenida Ciudad Villavicencio [9].

En la *Ilustración 1* se presente los beneficios que proporciona un humedal:

Ilustración 1. Principales beneficios del humedal Tibanica



Fuente: autor

### 1.2.2. Humedal Tibanica

El nombre del Humedal Tibanica proviene de la lengua muisca Muyskkubun, que quiere decir del vocablo Tiba (capitán o señorío), Nikki (puerta, altar) e Ica o Iku (origen del Dios Chiminigagua). Tibanica significa El Portal de los Altares. En época precolombina el uso del humedal se constituía como un lugar sagrado, en el cual para eventos especiales se rendía tributo a deidades muiscas. El Parque Ecológico Distrital de Humedal Tibanica (PEDH) cuenta con un área de 27.39 Hectáreas y se encuentra en el sur occidente de la ciudad de Bogotá y hace parte de la localidad séptima de Bosa. Limita al norte por con los barrios Manzanares, La Esperanza y Primavera; por el oriente con los barrios Charles de Gaulle, Urbanización Alamedas del Parque, Israelitas, Llano Oriental, El Palmar y Villa Anny; por el occidente con la quebrada Tibanica y el municipio de Soacha que corresponde a la hacienda Potrero Grande y por el sur con los barrios La María y Los Olivos, también del municipio de Soacha. Hace parte de la subcuenca del río Tunjuelo e integra un particular potencial ecosistémico y singular belleza paisajística, por el contraste que ofrece como humedal en el ambiente semiárido del límite suroccidental del Distrito Capital; aunque actualmente presenta afectaciones directas y constantes sobre su estructura y composición natural, debido a la presión y concentración urbana de sus alrededores [10].

Durante los años 2014, 2015 y 2016 se ha presentado un fenómeno de desecamiento del humedal significativo y progresivo, siendo evidentes la pérdida de espejo de agua, exposición del lecho del humedal, marchitamiento de vegetación acuática, mayor competencia y dominancia de plantas terrestres oportunistas invasoras sobre litorales y zonas acuáticas del

humedal; lo cual repercute en la transformación de la estructura y composición del vaso del humedal y área de litoral, así como en la disminución de oferta de hábitats para la fauna silvestre, la pérdida de fauna y el incremento de riesgo de eventos de incendios en el ecosistema [10].

### **1.2.3 Déficit hídrico**

El déficit hídrico responde a los gramos de vapor de agua que le faltan a la atmósfera, a una temperatura, para estar saturada. Depende de la humedad relativa y la temperatura ambiental. Se mide en gramos de agua en cada kilogramo de aire. Este indicador nos marca los posibles periodos tanto de estrés hídrico, debidos a baja humedad relativa y altas temperaturas, como de peligro de plagas y enfermedades por exceso de humedad relativa y temperaturas bajas [11].

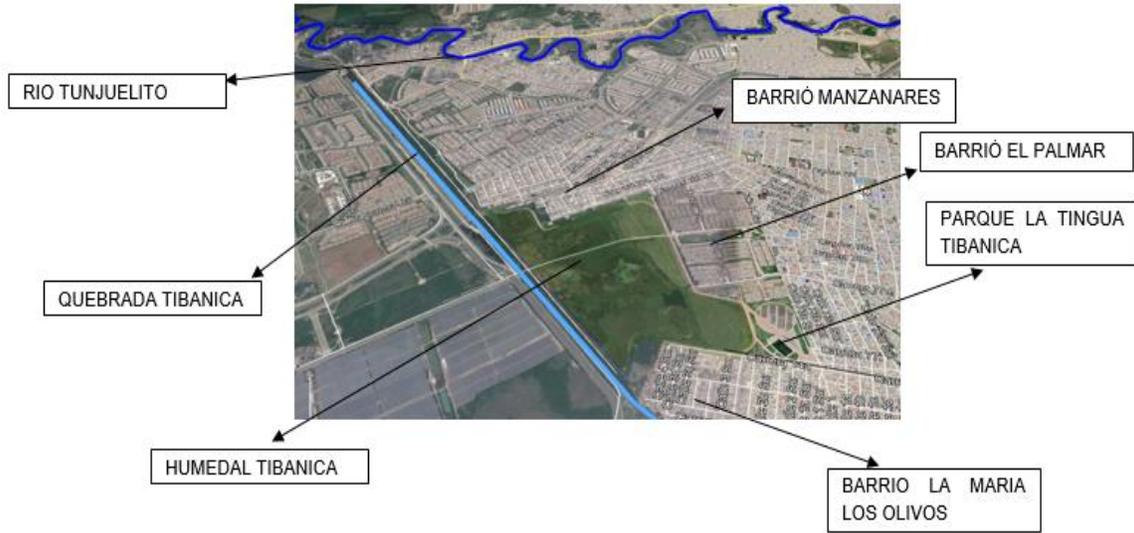
Como consecuencia del déficit hídrico en humedales se pueden presentar la pérdida de agua y el cambio en las características hídricas del suelo, contracción y expansión de suelos orgánicos, característicos de los humedales, que pierden agua durante la sequía y vuelven a expandirse cuando hay rehumedecimiento, por otra parte, cesa el crecimiento de tallos hasta presentar marchitez en las plantas, además de limitación en cuanto al abastecimiento del agua, como mecanismo para solucionar el déficit hídrico, se tiene la implementación de un caudal ecológico (entrada de agua permanente) el cual se estima con base a los volúmenes de agua en 2 l/s en el Humedal [12].

## **1.3 Marco contextual**

### **1.3.1 Localización**

El proyecto comprenderá de manera inicial el área oficial del ecosistema, la cual limita con el canal Tibanica al sur del humedal, con los barrios La María y Los Olivos en Soacha al oriente, con el parque la Tingua Tibanica y el barrio el palmar en su costado norte y con el barrio Manzanares en el costado occidental (*Ilustración 2*)

Ilustración 2. Ubicación del humedal Tibanica



Fuente: google Earth 2019

#### 1.4 Marco legal

La legislación ambiental vigente aplicada para humedales y abastecimiento del agua se presenta en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Marco normativo

NORMA	DESCRIPCIÓN
Convención RAMSAR, 1971 Comunidad Internacional	Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas
Constitución Política de Colombia, 1991 Congreso de Colombia	Artículo 58: Se garantizan la propiedad privada y los demás derechos adquiridos con arreglo a las leyes civiles, los cuales no podrán ser desconocidos ni vulnerados por leyes posteriores. Cuando de la aplicación de una ley expedida por motivo de utilidad pública o interés social, resultaren en conflicto los derechos de los particulares con la necesidad por ella reconocida, el interés privado deberá ceder al interés público o social....Artículo 63: Los bienes de uso público, los parques naturales, las tierras comunales de grupos étnicos, las tierras de resguardo, patrimonio arqueológico de la nación y los demás bienes que determine la ley, son inalienables, imprescriptibles e inembargables. Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectar. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de

	especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Artículo 366. El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable. Para tales efectos, en los planes y presupuestos de la nación y de las entidades territoriales, el gasto público social tendrá prioridad sobre cualquier otra asignación.
Decreto-Ley 2811 de 1974 Congreso de Colombia	Código de los Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente
Decreto 1541 de 1978 Ministerio de Agricultura	Por el cual se reglamenta la parte III del libro II del Decreto Ley 2811 de 1974; «De las aguas no marítimas» y parcialmente la Ley 23 de 1973. Normas relacionadas con el recurso agua. Dominio, ocupación, restricciones, limitaciones, condiciones de obras hidráulicas, conservación y cargas pecuniarias de aguas, cauces y riberas.
Decreto 1594 de 1984 Ministerio de Agricultura	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título 1 de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la parte III - Libro I - del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a Usos del Agua y Residuos Líquidos. Los usos de agua en los humedales, dados sus parámetros físicos-químicos son: Preservación de Flora y Fauna, agrícola, pecuario y recreativo.
Ley 357 de 1997 Congreso de Colombia	Por medio de la cual se aprueba la "Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas"
Resolución 157 de 2004 MAVDT	Por la cual se reglamenta el uso sostenible, conservación y manejo de los humedales, y se desarrollan aspectos referidos a los mismos en aplicación de la convención RAMSAR.
Acuerdo 19 de 1994, del Concejo de Bogotá	Por el cual se declaran reservas ambientales naturales los Humedales del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones que garanticen su cumplimiento.
Decreto 386 de 2008 23/12/2008 Alcalde Mayor	Por el cual se adoptan medidas para recuperar, proteger y preservar los humedales, sus zonas de ronda hidráulica y de manejo y preservación ambiental, del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones.
Resolución 0334 de 2007 DAMA	Por medio de la cual se aprueba el Plan de Manejo Ambiental del humedal Tibanica.

*Fuente: autor*

## 2. Desarrollo de la pasantía

El presente trabajo hace parte de una pasantía profesional desarrollada en la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB – ESP, se basa en una metodología que tiene como fin la selección de la alternativa más viable para mitigar el déficit hídrico del humedal Tibanica. El proyecto se elaboró mediante las siguientes fases:

*Ilustración 3. Metodología general*



*Fuente: autor*

### 2.1. Fase 1. Diagnóstico

Se realizó un diagnóstico general de información relevante para el proyecto en función de localización, tipo de humedal, adecuaciones morfológicas y demás características del humedal Tibanica, tales como la precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación, balance hídrico y caudal ecológico, para posteriormente efectuar la descripción actual del área de estudio mediante el análisis de cada uno de los componentes técnicos, ambientales y económicos.

### 2.2 Fase 2. Planteamiento de alternativas para mitigar el déficit hídrico

Para el planteamiento de las alternativas para la mitigación del déficit hídrico del humedal Tibanica, siguieron los pasos presentados a continuación:

*Tabla 2. Pasos para el planteamiento de alternativas*

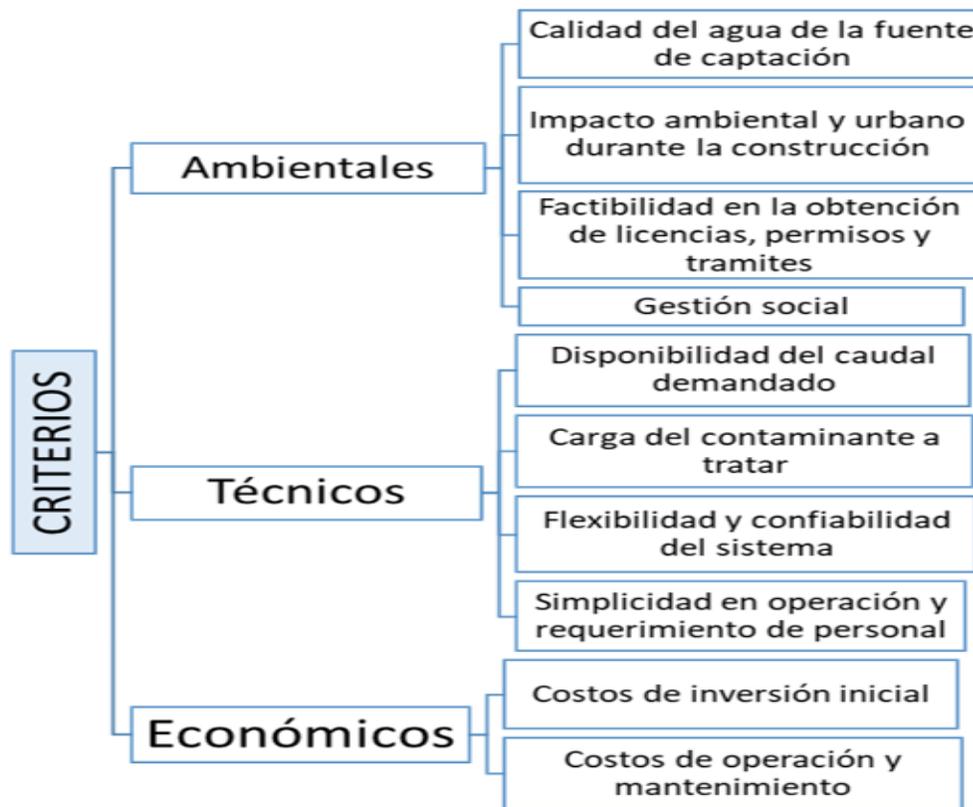
PASOS	DESCRIPCIÓN
1	Investigación de las posibles alternativas teniendo en cuenta su cercanía con el área del proyecto y su disponibilidad de recurso hídrico para abastecer el Humedal Tibanica

2	Se realizó una descripción general de cada una de las alternativas propuestas y de su proceso constructivo.
---	---

*Fuente: autor*

En el planteamiento de las alternativas para la mitigación del déficit hídrico del humedal Tibanica, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

*Ilustración 4. Criterios para el planteamiento de alternativas de mitigación*



*Fuente: autor*

### 2.2.1.1. Ambientales

Para llevar a cabo el planteamiento de alternativas, se tuvo en cuenta 4 criterios ambientales, inicialmente, la calidad del agua de la fuente de captación, el cual evalúa el cumplimiento del cuerpo de agua según los criterios establecidos por Acuerdo 043 de 2006. Además, se tendrá en cuenta el impacto Ambiental y Urbano durante la Construcción, a partir del análisis de los impactos ambientales por la red implementada y la facilidad de emplear acciones para minimizarlos. Por otra parte, considerando los permisos de concesión de agua, ocupación de

cauce, servidumbres, licencia de excavación, PMT, tratamiento forestal, se tendrá en cuenta la factibilidad en la obtención de licencias, permisos y trámites ambientales. Y finalmente, la gestión social donde básicamente se cuantifica la recepción de la comunidad al proyecto y su aporte en la socialización de las actividades, adicional a la búsqueda de fuentes de abastecimiento.

#### **2.2.1.2. Técnicos**

Para llevar a cabo el planteamiento de alternativas, se tuvo en cuenta 4 criterios técnicos, inicialmente, la disponibilidad del caudal demandado, teniendo en consideración la oferta hídrica de cada una de las fuentes analizadas, se evalúa la cantidad de agua disponible para alimentar el humedal. El siguiente es la carga contaminante para tratar en el biotratamiento, que abarca el análisis de calidad de agua de las fuentes propuestas, determinan el sistema de tratamiento que se implementará para mejorar las condiciones del humedal. Por otra parte, la flexibilidad y confiabilidad del sistema, es importante ya que estos permiten cierta flexibilidad en la operación ante cambios en las características del influente al tiempo que asegure el cumplimiento de la calidad del agua tratada. Y finalmente, la simplicidad en la operación y requerimientos de personal, en el cual se desea que la operación del sistema sea lo más simple posible, ya sea en la instalación de los sistemas de suministro e instalación del sistema de tratamiento los cuales se proponen que no requieran un alto nivel de capacitación en términos tecnológicos del personal que opere el sistema.

#### **2.2.1.3. Económicos**

Para llevar a cabo el planteamiento de alternativas, se tuvo en cuenta 2 criterios económicos, el primero, los costos de inversión inicial donde se evaluarán los costos de inversión de las tecnologías, dando mayor puntaje a aquellas de menor costo. Este aspecto, aunque es muy importante para la optimización de recursos se les da menor peso con respecto a los costos de operación y mantenimiento, estos últimos son un factor crítico durante toda la vida útil del proyecto. El segundo, los costos de operación y mantenimiento, los que se consideran primordiales, ya que, este parámetro es uno de los factores más importantes en cuanto a la sostenibilidad económica del proyecto.

### **2.3. Fase 3: Selección de la alternativa más viable**

En la fase de selección de la alternativa más viable, para esto, se realizó una matriz de ponderación donde inicialmente, cada aspecto recibió una ponderación según su importancia a criterio del autor. Esta técnica permite tener una evaluación cualitativa y tiende a ser más objetiva. La matriz considera y pondera los siguientes aspectos: aplicabilidad del proceso, la aceptación por parte de la comunidad, costo de inversión inicial, coste de operación y

mantenimiento, aspectos de diseño, así como la influencia en la construcción y operación sobre el entorno e impacto al medio ambiente y demás aspectos como tramites de licencias o permisos y calidad de agua de la fuente receptora.

### **3. Resultados obtenidos**

#### **3.1. Fase 1. Diagnóstico**

La información obtenida en esta primera fase se diligenció en un formato elaborado por el autor (*Anexo A*), dando como resultado la siguiente información:

Inicialmente, se identificó que la actividad económica del Acueducto y Alcantarillado de Bogotá es la prestación de servicios públicos de acueducto y/o alcantarillado sanitario y pluvial en el área de jurisdicción del Distrito Capital de Bogotá, cuenta con 132 años de experiencia y más de 2 millones de subscriptores. Cuenta con una calificación AAA, por la alta capacidad de generación de caja y estrategia de inversión de las utilidades en proyectos de ampliación de los servicios, por otra parte, se ubica en el sector de agua potable y saneamiento básico, son pioneros en Colombia en el uso de tecnologías de punta que disminuyen los impactos ambientales y de movilidad, además cuentan con certificaciones por parte del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC- la gestión comercial; los procesos de captación, transporte y tratamiento de agua; de operación y control del sistema matriz; de interventoría y el de contratación y compras, y los laboratorios de medidores cuentan con acreditaciones que permiten suministrar datos confiables a clientes nacionales e internacionales.

La empresa tiene como funciones principales:

Percibir y administrar subsidios y aportes solidarios, con arreglo a las leyes vigentes que regulan esta materia.

- Asociarse, aportar o suscribir acciones en sociedades que tengan por objeto la prestación de los mismos servicios o la realización de actividades conexas o complementarias. Asimismo, podrá asociarse, consorciarse y formar uniones temporales con otras entidades públicas o privadas, nacionales o extranjeras, para el desarrollo de sus cometidos sociales.
- Promover la investigación y el desarrollo de tecnologías en los campos relacionados con la empresa; explotar y divulgar los resultados y avances que obtenga la empresa, según las reglas pertinentes.
- Celebrar convenios de cooperación con entidades nacionales y extranjeras en desarrollo de su objeto.

- Contratar empréstitos y realizar operaciones financieras encaminadas a obtener recursos para atender las obligaciones a su cargo.
- Participar y presentar ofertas en procesos de licitación nacional e internacional en forma individual o mediante la constitución de consorcios o uniones temporales.
- Expedir los actos, celebrar los contratos y realizar las operaciones necesarias para el cumplimiento de su objeto social.
- En general, cumplir las demás funciones o actividades que, por razón de su objeto, le señalan la Ley, los Acuerdos y Decretos Distritales, y las decisiones de la Junta Directiva.

Por otra parte, para el Humedal Tibanica, se recolectó la siguiente información dando como resultado el siguiente diagnóstico:

El Humedal de Tibanica se encuentra en la cuenca del Río Bogotá, en la parte plana sobre la llanura fluvio-lacustre del mismo río, específicamente en la subcuenca del Río Tunjuelito (sur de la ciudad), la cual tiene un sistema de quebradas y pequeños ríos afluentes que drenan los cerros y terrenos del suroriente de la sabana de Bogotá. El humedal es de origen cuaternario, formó parte de la antigua Laguna el Tintal, de la cual quedan hoy en día un conjunto de humedales aislados: Capellanía, Techo, La Vaca, El Burro, Potrero Grande y La Tibanica [13]. Además, es uno de los pocos espacios ecológicos con categoría de área protegida y sobrevive a presiones antrópicas y ambientales, dentro de las problemáticas más recurrentes, se encuentran las fallas de drenaje superficial, contaminación en las fuentes de abastecimiento, baja precipitación de lluvias en el sector y déficit hídrico [1].

Teniendo en cuenta los criterios de la convención Ramsar, el humedal presenta la siguiente clasificación:

Ilustración 5. Clasificación según criterios RAMSAR



Fuente: autor

El humedal Tibanica se encuentra adyacente al área inundable Potrero Grande. Sin embargo, estos humedales no se encuentran conectados hidráulicamente y no prestan ninguna función de amortiguamiento y/o prevención de inundaciones. El área inundable de Potrero Grande, bordeado por el Canal Tibanica, drena la mayor parte de la zona urbanizada al nororiente de Soacha (las montañas de las zonas de canteras de Cazucá incluyendo el área de canteras de Terreros, área urbana de San Mateo y anexas) descargando debajo de la autopista por medio de dos box culverts separados que se unen para formar el Canal Tibanica. Este canal recibe aguas combinadas desde la parte más alta de la cuenca y bordea tanto el área inundable Potrero Grande como el Humedal Tibanica, el mismo fluye aguas abajo hasta descargar en el Río Bogotá [14]. Además, el Canal Tibanica, ubicado cerca del Humedal Tibanica, fue desviado hacia la zona urbanizada denominada Los Olivos para conformar una protección natural contra la invasión del humedal. Varios puentes pequeños están en el Canal Tibanica, los cuales restringen el flujo e incrementan la elevación de los niveles cuando se producen crecientes, pero como tienen diques permiten almacenar agua del tránsito de la creciente.

Por otro lado, teniendo en cuenta los criterios definidos por la Política de Humedales del Distrito Capital de Bogotá, Tibanica es un cuerpo de agua panda, andino de planicie fluviolacustre, conocido como chucua, que se caracteriza por estar ubicado en la sabana por debajo de los 2.700 m de altitud con un espejo múltiple y áreas inundables morfométricamente no uniformes.

Por otra parte, se considera un humedal permanente (*Tabla 2*), es decir, se mantiene inundado todo el año y solo se deseca en temporadas de sequía prolongadas [15].

*Tabla 3. Categorías del hidro-periodo de los suelos de los humedales*

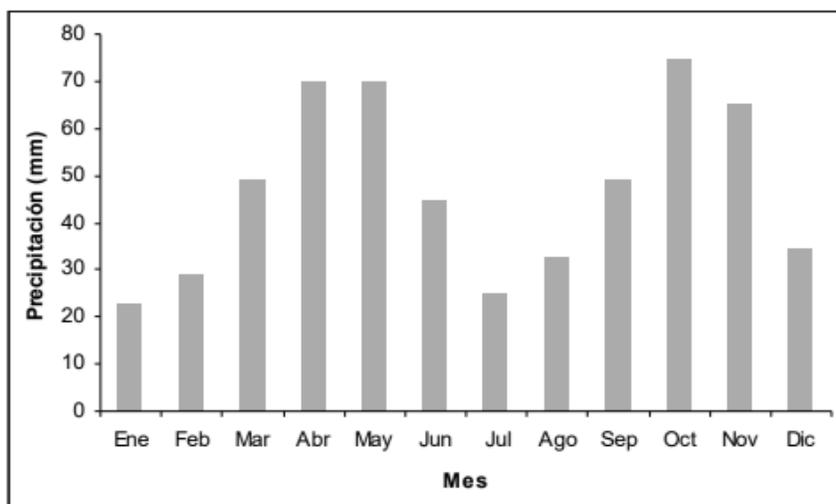
TIPO DE HUMEDAL	DESCRIPCIÓN
Permanentes	Se mantienen inundados todo el año y tan sólo se desecan en temporadas de sequía prolongadas
Semipermanentes	Se secan por un corto período del año
Estacionales	Inundados por largos períodos, pero hay una estación de sequía definida
Saturados	El suelo está saturado por largos periodos, pero el agua casi nunca aflora en la superficie
Temporalmente inundados	La inundación es de corta duración, el nivel freático del agua es usualmente profundo
Inundación intermitente	Suelos secos casi permanentemente, inundaciones cortas y aperiódicas

*Fuente: autor*

- **Precipitación**

La precipitación en la zona de estudio es de tipo bimodal, con dos temporadas de altas precipitaciones (abril, junio y octubre, noviembre), y dos periodos de menores precipitaciones intercalados con los periodos de altas precipitaciones, el promedio anual en la región es de 630,2 mm, siendo octubre el mes más lluvioso, con precipitación media del orden de 85,4 mm y enero el mes más seco con 21,2 mm [16].

*Ilustración 6. Histograma de precipitación media mensual multianual*

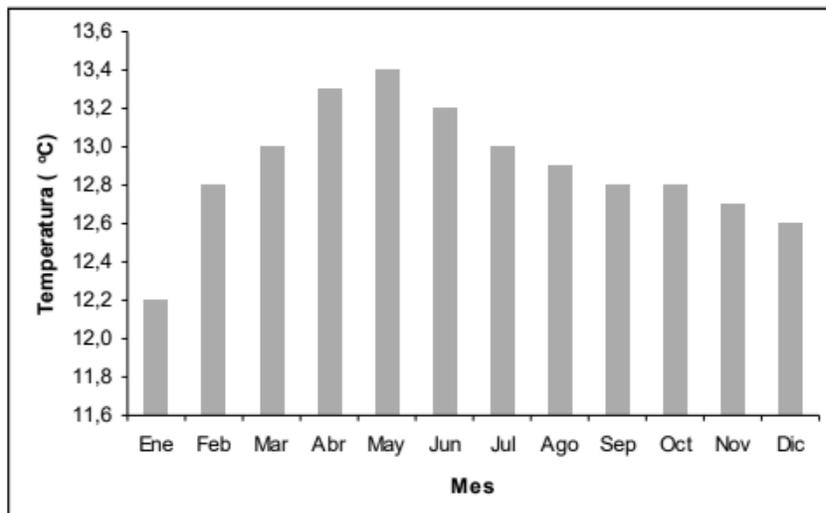


*Fuente: [15]*

- **Temperatura**

El valor medio anual de temperatura es 12,9 °C, con variaciones de hasta 1,2 °C. Se distingue un periodo caluroso en el año, de marzo a julio, siendo enero el mes más frío. De noviembre a enero se registra el menor promedio de temperatura y aunque en la Sabana de Bogotá estos meses son de poca precipitación, la baja nubosidad ocasiona altas temperaturas diurnas que contrastan con bajas temperaturas nocturnas reduciendo los promedios. La regularidad de estas condiciones, así como la de los otros parámetros climáticos es muy variable debido a los fenómenos de El Niño y La Niña [16].

*Ilustración 7. Histograma de temperatura media mensual multianual*

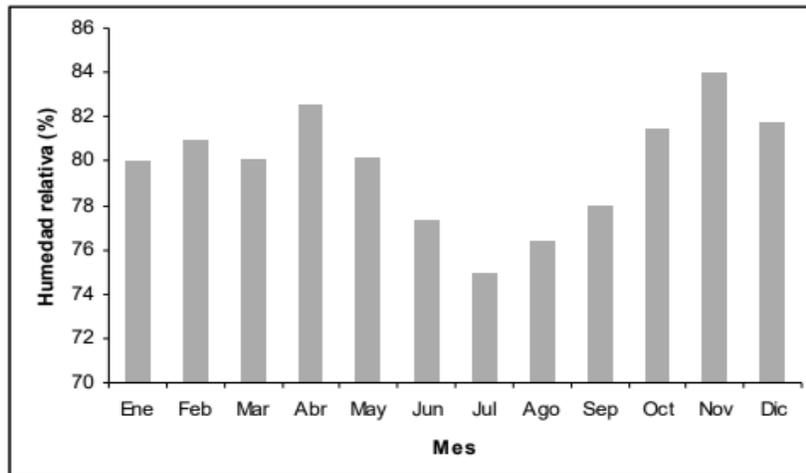


*Fuente: [15]*

- **Humedad relativa**

La humedad relativa registra un valor medio anual de 79,8%, con medias mensuales que oscilan entre 74,9% y 84,0%, según la variación de la precipitación, valores que se consideran entre medios y altos. Durante las noches se presenta un incremento de la humedad relativa y se reduce a medida que se calienta la atmósfera durante el día [16].

Ilustración 8. Histograma de humedad relativa media mensual multianual

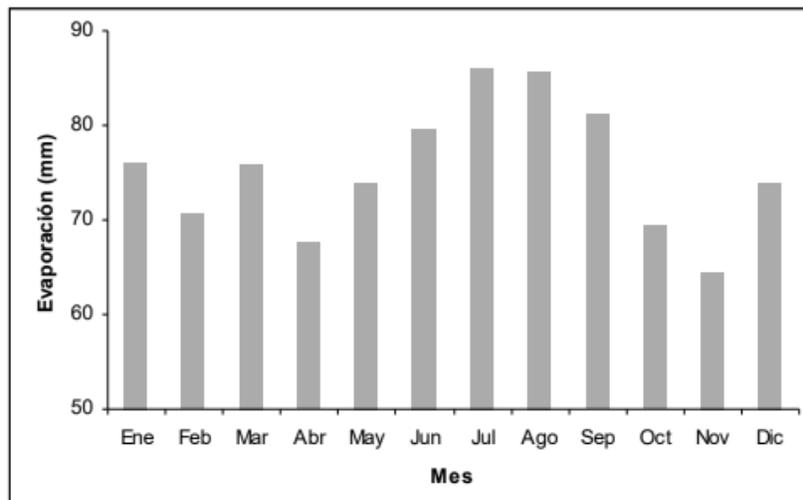


Fuente: [15]

- **Evaporización**

La evaporación en la zona oscila entre 64,5 y 86,0 mm al mes, según el comportamiento de la precipitación, ya que, durante los meses más lluviosos, al existir menor radiación solar, se registran menores valores de evaporación [16].

Ilustración 9. Histograma de evaporación media mensual multianual



Fuente: [15]

- **Balance hídrico**

El balance hídrico tiene como objetivo conocer la variabilidad del volumen almacenado y en caso de requerirse agregar agua de fuentes externas, con el fin de mantener determinada lámina de agua para dar cumplimiento a sus funciones ecosistémicas, las cuales se presentan a continuación, los datos fueron proporcionados por la empresa en cuestión.

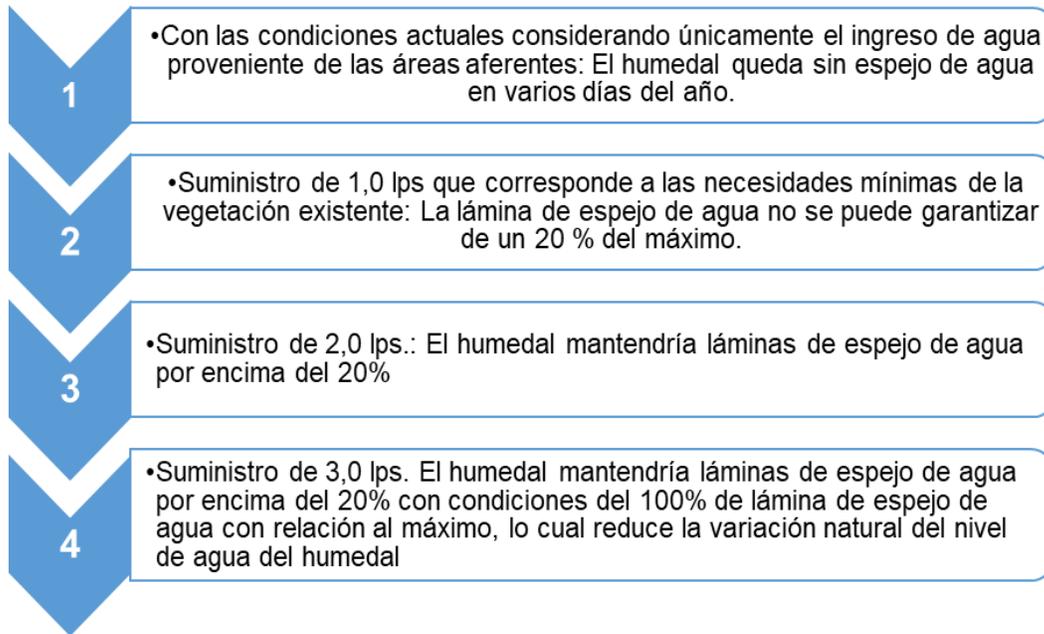
- ✓ Control de inundaciones
- ✓ Reposición de agua superficiales
- ✓ Retención y exportación de sedimentos y nutrientes
- ✓ Depuración de aguas
- ✓ Reservorios de biodiversidad
- ✓ Mitigación y adaptación al cambio climático

El modelo tiene un enfoque de estimación de la cantidad de agua que ingresa al humedal (escorrentía y sistemas de alcantarillado) y cantidad de agua que sale del humedal (evaporación), los componentes del modelo son la precipitación, la evaporación, la escorrentía y la infiltración. No se consideró aportes de agua subterránea. Las descargas se producen cuando el volumen sobrepase la capacidad de almacenamiento del humedal el cual se estableció en 36.553 m<sup>3</sup> de acuerdo con la batimetría disponible.

A partir de la información topográfica y batimetría se construyó las curvas de elevación área-capacidad, considerando variación de la elevación de lámina de agua entre los 2.539 msnm a los 2.541,4 msnm en el cual el área de espejo de agua puede llegar a los 175.000 m<sup>2</sup> y el volumen del vaso a los 35.000 m<sup>3</sup>. Las condiciones climáticas son el insumo para la estimación del balance hídrico. La precipitación total mensual promedio multianual tiene un régimen bimodal, sin embargo, todo el año resulta ser insuficiente para atender la evapotranspiración total estimada. El balance se realizó a nivel diario y se estimó el volumen total por escurrimiento que llega al humedal en el período de análisis de 1990 a 2018, sin tener en cuenta infiltración dada la alta velocidad de escurrimiento. Se consideró cuatro escenarios de suministro [16] como se muestra en la *Ilustración 9*.

Se concluye que el escenario 2 es el más indicado presentando un almacenamiento de agua mayor al 60 % del máximo en la gran mayoría del año. Solamente en los meses de febrero y marzo se presentaría el 60%; el resto del año estaría por encima del 80% y en los meses de junio y noviembre alcanzaría el 90% del máximo volumen.

Ilustración 10. Escenarios de suministro



Fuente: autor

- **Caudal ecológico**

Se define al caudal ecológico como la cantidad de agua necesaria para conservar un sistema biótico, conformado esencialmente por los hábitats naturales de flora y fauna. La degradación de los humedales de la Sabana de Bogotá ha sido materia de preocupación ambiental en los últimos años. La invasión urbanística y la eliminación de las aguas que los alimentan han sido constante, y es por eso por lo que han venido desapareciendo. Una forma de recuperar los humedales es proporcionarles agua suficiente que permita la conservación de los hábitats [17].

De acuerdo con las necesidades del humedal y conservando una lámina de agua del 25%, el caudal requerido es de 2 l/s. Sin embargo, realizando los análisis de las condiciones hidráulicas del sistema en las cuales se pre dimensiona los diámetros en los que operaría el sistema de manera óptima y atendiendo a la recomendación de los rangos de velocidades (entre 1 y 3 m/s), se obtiene que el sistema con diámetros entre 2" y 4" se obliga a bombear con caudales mayores a 10 horas. En este sentido se define un caudal de 4 l/s (bombeo a 12 horas) sobre el cual el sistema de bio tratamiento tendría el área suficiente para cumplir con el objetivo de este.

Finalmente, después de la adopción del PMA [18], el humedal presentó dos declaraciones de estado crítico y/o alerta naranja por parte de la Alcaldía Mayor de Bogotá, justificando problemáticas de importancia:

### **a) Déficit hídrico**

La situación del déficit hídrico del Humedal Tibanica es crítica, ya que este situado en una zona seca como Bosa, la restricción de la alimentación hídrica de su cuenca natural facilita su desecación a corto plazo. Por otra parte, la urbanización acelerada de la subcuenca de la Quebrada Tibanica, la cual fue pavimentada, aumentó de forma importante la velocidad de la escorrentía, ocasionando menores tiempos de residencia y recorridos canalizados y rectificadas que no circulan por el humedal, además se presenta alteración de la dinámica cuenca-humedal es el relleno del cual ha sido víctima el Humedal Tibanica en los últimos años, que ha ocasionado que la diferencia de niveles entre éste y los barrios circundantes dificulte el tiempo de retención del humedal, disminuyendo drásticamente los períodos de inundación, pasando de días a horas e implicando peligrosas inundaciones en los barrios vecinos[18].

Finalmente, se encontró que el humedal tiene bajas precipitaciones, evidenciando un bajo nivel de entrada de agua a comparación del agua saliente, estos factores pueden ocasionar a corto plazo su desaparición y dará paso a un ecosistema terrestre [18].

### **b) Perdida de espejos de agua y desecamiento**

El Humedal Tibanica debe considerarse como un relicto de esos sistemas de espejos de agua de gran extensión, el cual sobrevive gracias a su proximidad al curso de la quebrada Tibanica que aportaba agua. Las áreas aledañas al humedal como Potrero Grande se encuentran anegadas frecuentemente y sufren el mismo proceso de inundación, Sin embargo, el clima actual y la distancia de los Ríos Tunjuelo y Bogotá, no permiten un caudal suficiente para mantener la zona inundada [18].

### **c) Deterioro alarmante de la calidad del agua**

La principal causa del deterioro de la calidad del agua del Humedal Tibanica está representada por la acumulación de residuos de naturaleza inorgánica. Las altas concentraciones (*Ilustración 10*) de carbonato de calcio sugieren que, por algún tiempo, el humedal ha venido recibiendo descargas de residuos sólidos y líquidos que contienen altas concentraciones de carbonatos. La condición anteriormente explicada se ve agravada por la falta o nula movilidad del agua en el humedal, en especial por el hecho de que prácticamente no tiene una salida, lo que hace que la evaporación del agua tienda a concentrar los agentes contaminantes. Dado que la entrada del Río Claro (canal Tibanica) se encuentra parcialmente taponada por los desechos que el mismo río arrastra, éste ejerce su nivel más importante de impacto en las temporadas de lluvias; en las épocas de sequía, por el contrario, las entradas más importantes las constituyen los desagües de redes formales e informales que llegan al humedal. Algunas de estas redes, aunque fueron construidas sólo para aguas lluvias, también arrastran aguas servidas [18].

Ilustración 11. Datos de calidad de agua

Estación de Muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8
Coordenadas norte	4°36'35	4°36'35	4°36'30	4°36'28	4°36'24	4°36'34	4°36'20	4°36'30
Coordenadas oeste	74°12'45	74°12'54	74°12'51	74°12'41	74°12'46	74°12'50	74°12'44	74°12'44
Temperatura	21,28	20,42	19,45	22,36	21,8	20,52	18,00	18,00
pH	8,92	8,86	8,84	8,79	8,79	7,80	6,50	6,80
Conductividad (mS x cm <sup>-1</sup> )	3.442	3.370	3.259	3.747	3.820	1.500	402	756
Oxígeno disuelto	2,16	1,92	1,72	1,69	1,52	1,14	1,25	1,08
Alcalinidad	820	560	840	740	680	680	160	280
Cloruros (mg/l)	60,0	65,0	65,0	60,0	15,0	85,0	3,0	6,0
Dureza Total (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	1.880	1.280	1.160	1.800	1.640	1.520	380	420
DQO(mg/l)	1.024	640	384	896	512	512	800	1.920
DBO (mg/l)	410	225	179	296	183	218	-	-
Fosfatos (mg/l)	7,37	8,77	7,10	4,32	4,05	15,19	0,64	0,97
Fósforo (mg/l)	33,60	33,60	34,70	36,40	32,50	30,80	7,68	15,64
Nitrógeno (mg/l)	9,01	10,96	8,64	8,75	7,02	14,19	43,12	56,56
Nitratos (mg/l)	0,601	0,685	0,617	0,547	0,540	0,887	3,140	3,350
Nitritos (mg/l)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002		
Amonio (mg/l)	27,58	26,75	25,07	28,13	33,24	30,33	6,97	6,95
Sulfatos (mg/l)	-	-	-	-	-	-	0,005	0,005
Sólidos Suspendidos (mg/l)	455	345	440	275	270	540	147	157
Sólidos Totales (mg/l)	3.160	3.180	3.384	3.134	3.250	2.382	266	338

Fuente: [18]

#### d) Deterioro de la flora y fauna

El Humedal Tibanica presenta pérdida de la biodiversidad fauna (terrestre, acuática y bentos), causando la eliminación de especies, algunas de ellas producto de actividades humanas como casería, saqueo de nidos, destrucción o alteración del hábitat. Además, presenta pérdida de biodiversidad flora (terrestre, acuática, fitoplancton y bentos), creando una homogenización de cobertura vegetal y causando una alteración trófica debido a la disminución en la oferta de alimento para la fauna [18].

En conclusión, la cuenca que aporta agua al Humedal Tibanica está completamente urbanizada y no posee una infraestructura apropiada de desagüe de aguas lluvias, en otro orden de ideas, actualmente, el Humedal Tibanica registra una precipitación que oscila entre los 550-660 mm anuales [17], y por evapotranspiración el ecosistema está perdiendo 1633.7 mm, es decir, en el Humedal Tibanica la demanda de agua es más alta que la cantidad disponible por precipitaciones durante ciertos periodos del año.

### 3.2 Fase 2. Planteamiento de alternativas para mitigar el déficit hídrico

Teniendo en cuenta el caudal ecológico suministrado de 4 l/s y consideraciones como la calidad del agua por suministrar, la distancia y el nivel de captación, costos de inversión inicial

y de operación y mantenimiento, se identificaron tres alternativas para el abastecimiento de agua del humedal:

### Alternativa 1. Abastecimiento desde la Estación de Bombeo La Isla

Esta alternativa, plantea una alimentación al humedal Tibanica desde la estación de bombeo la Isla, alimentada por el embalse existente en Ciudad verde y partiendo de una captación y un sistema de bombeo desde el predio mencionado y una conducción de 2500 metros desde la estación de bombeo la Isla hasta el humedal, paralelo al dique. La estación de bombeo se encuentra a una distancia de 3.4 kilómetros (*Ilustración 11*) y garantiza el suministro de agua al humedal durante los 12 meses del año, adicionalmente presenta buenos indicadores de calidad del agua para el humedal, con un pH de 8,2, oxígeno disuelto de 7,13 mg/l, DBO5 de 93 mg/l y DQO de 154 mg/l.

*Ilustración 12. Distancia entre la Estación de bombeo la Isla y el humedal Tibanica*



*Fuente. google maps*

Con base al estudio denominado “Informe Anteproyecto - Macroproyecto Ciudad Verde”, en este documento se exponen los estudios de pre factibilidad del alcantarillado pluvial propuesto para el manejo de las aguas lluvias de ciudad Verde, concluyendo los siguientes aspectos:

- El caudal de aguas lluvias producido en Ciudad Verde es de aproximadamente 16 m<sup>3</sup>/s.
- Se requiere un volumen efectivo de amortiguación en el canal embalse de aproximadamente 32000 m<sup>3</sup>.
- La estación de bombeo de aguas lluvias debe tener una capacidad de bombeo de 4 m<sup>3</sup>/s aproximadamente.

Para llevar a cabo esta alternativa, inicialmente se debe realizar una excavación en el suelo blando de 2 metros, es decir, no requiere maquinaria. Luego, se realiza un relleno, primero con arena de peña, la cual sirve para guiar el agua, recebo como material de relleno y material seleccionado proveniente excavación para tener como base para la construcción del pozo húmedo, después se realiza el retiro y disposición de materiales sobrantes. Finalmente se debe instalar 2 bombas centrífugas con 4 HP de fuerza, con las respectivas tuberías acordes: tubos flexibles (marca pe 100) de 2 y 4 pulgadas y tuberías de presión.

## Alternativa 2. Abastecimiento desde la Quebrada Tibanica

La Quebrada Tibanica es una fuente hídrica lotica que anteriormente fue fuente de abastecimiento del humedal, con un área aproximada de 18,5 km y un caudal de 80 m<sup>3</sup>/s. A la altura del humedal Tibanica, con una altura media de 2710,9 metros. y una variación de 600 metros, variando desde 3131 msnm a los 2531 msnm. La pendiente media de la microcuenca es de 17,4 %, finalmente la distancia entre la quebrada y el humedal es de aproximadamente 5 kilómetros (*Ilustración 12*).

*Ilustración 13. Distancia entre la Quebrada Tibanica y el Humedal Tibanica*



*Fuente. google maps*

La calidad del agua de la quebrada Tibanica se caracteriza por tener pH que varía entre 6,89 y 7,28, una DBO5 que varía entre 88 y 150 mg/l, DQO entre 129 y 512 mg/l, sólidos suspendidos entre 146 2883 mg/l, grasas y aceites entre 0,22 y 1,76 mg/ nitrógeno total entre 13,98 y 60,82 variando de acuerdo con la época del año.

Para llevar a cabo esta alternativa es necesario llevar a cabo una pequeña adecuación hidráulica que permita nuevamente la conexión de la quebrada con el humedal, por lo cual requiere un movimiento de tierras y conexión por medio de tuberías. Además de una inclusión de un tratamiento del efluente por las deficientes condiciones fisicoquímicas de este.

### Alternativa 3. Abastecimiento desde el Rio Tunjuelito por ronda hídrica

Topológicamente viable corresponde a la toma del recurso mediante un trasvase de cuencas desde el río Tunjuelito. Evaluando la disponibilidad del recurso en la cuenca aledaña, es posible diseñar una conducción (flujo a presión) de 29.76 km de longitud que inicia en una elevación aproximada de 2617 msnm en el punto de toma sobre el río, y a través de la ronda hídrica del río Tunjuelito hasta los 2543.22 msnm en la entrada al humedal Tibanica. Con una diferencia de altitud de 73.78, una DBO5 que varía entre 90 y 110 mg/l y una distancia de aproximadamente 27 kilómetros.

*Ilustración 14. Distancia entre el Rio Tunjuelito y el Humedal Tibanica*



*Autor. Google maps*

Para llevar a cabo esta alternativa, es necesario hacer un trasvase de cuenca. Se realiza un relleno, primero con arena de peña, recebo como material de relleno y material seleccionado proveniente excavación, se realiza el retiro y disposición de materiales sobrantes, además se debe instalar una serie de tuberías.

### 3.3. Fase 3: Selección de la alternativa más viable

La matriz de decisión considera y pondera los siguientes aspectos: aplicabilidad del proceso, la aceptación por parte de la comunidad, costo de inversión inicial, costo de operación y

mantenimiento, aspectos de diseño, así como la influencia en la construcción y operación sobre el entorno e impacto al medio ambiente y demás aspectos como los tramites de licencias o permisos y calidad de agua de la fuente receptora. De acuerdo con lo anterior, se asignan valores de ponderación a cada aspecto o criterio acorde a la importancia de cada uno dentro del proyecto y se diligenció la matriz de ponderación presentada en el *Anexo B*. Se ha dado mayor peso al componente técnico, específicamente en el aspecto de disponibilidad de caudal demandado con un 30% de ponderación, seguido del componente ambiental con 50% y el componente económico cada uno con un 20% de ponderación.

La suma de estas ponderaciones para todos los aspectos a analizar debe ser igual a 100% y cabe resaltar que la calificación resultante para las diferentes alternativas depende del peso que se le dé a cada uno de los criterios a evaluar en la matriz de los aspectos, los porcentajes de ponderación se presentan en una tabla de ponderación por componente donde se evidenciará el porcentaje estipulado para cada uno de ellos (*Tabla 4*).

*Tabla 4. Ponderación por componente*

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Ambiental	50
Técnico	30
Económico	20
<b>TOTAL</b>	100

*Fuente: autor*

Luego, se realizó el planteamiento de la matriz de calificación de factores, la cual contiene las alternativas analizadas y los parámetros a evaluar una relación costo – beneficio cuyo resultado será la cuantificación hecha entre los costos estimados de inversión y mantenimiento, en relación con la confiabilidad del sistema, su simplicidad y los efectos positivos que la implementación de una alternativa pueda tener en calidad de vida del humedal y la comunidad que reside en el sector. Una vez definidos los aspectos a evaluar y los valores de ponderación en cada parámetro, se califica cada una de las alternativas seleccionadas como se presenta en la siguiente tabla:

*Tabla 5. Calificación para la matriz de evaluación*

CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
2.5	Deficiente
5	Bajo
7.5	Bueno
10	Optimo

*Fuente: autor*

Cuando los valores de los parámetros se puedan cuantificar como en el caso de los costos, se calculan las diferencias como un porcentaje ponderado y sobre ese valor se obtienen las calificaciones. Teniendo calificado cada aspecto de acuerdo con los criterios presentados en

el Anexo C, se multiplica este valor por el valor ponderado asignado, esto dando como resultado la alternativa más factible. Finalmente, se diligenciará la matriz de calificación de alternativas presentada a continuación:

Tabla 6. Matriz de calificación.

		GRADO DE IMPORTANCIA		Alternativa 1. Abastecimiento desde la Estación de Bombeo La Isla	Alternativa 2. Abastecimiento desde la quebrada Tibanica	Alternativa 3. Abastecimiento desde el Rio Tunjuelito Zona Urbana
		100				
AMBIENTAL	Calidad del agua de la fuente de captación	50	20	7.5	2.5	5
	Impacto Ambiental y Urbano durante la Construcción		10	7.5	2.5	5
	Factibilidad en la obtención de licencias, permisos y tramites		10	5	5	5
	Gestión social		10	10	2.5	5
TECNICO	Disponibilidad del caudal demandado	30	10	5	7.5	5
	Carga del contaminante a tratar		10	7.5	5	5
	Flexibilidad y confiabilidad del sistema		5	5	10	5
	Simplicidad en operación y requerimiento de personal		5	2.5	10	5
ECONOMICO	Costos de inversión inicial	20	10	2.5	10	2.5
	Costos de operación y mantenimiento		10	7.5	10	5
SUMATORIA				6.38	5.75	4.75

Fuente: autor

- Costos de inversión inicial

Los cálculos de costos de inversión inicial (Anexo D), muestran que la alternativa de mayor costo de inversión la cual es el Abastecimiento del humedal Tibanica desde el río por ronda hídrica, por lo tanto, se le asignó la calificación, (2.5). La alternativa de menor costo de inversión inicial es la alternativa de alimentación por parte de la Quebrada Tibanica y por ello se le asigna la mayor calificación e decir 10.

- Costo de operación y mantenimiento

Teniendo en cuenta que la alternativa que se seleccione es la que menos gastos operativos acarree, evaluándose los rubros asociados a su operación y mantenimiento solo dependen de

los costos en los que se incurra el gasto energético por el uso de las bombas en los sistemas de impulsión. Para efectos de la asignación de los valores de ponderación se evalúan con menor puntaje las alternativas que incurren en la construcción de sistemas de bombeo y trasvase de cuenca.

- Disponibilidad del caudal demandado

Se evalúa la oferta hídrica de la fuente de captación en relación con el caudal demandado para el humedal, obteniendo un puntaje menor aquellas alternativas que presentan déficit para aportar el caudal requerido.

- Carga contaminante que afecta la calidad del agua

Teniendo en consideración la información recopilada, en la cual se tiene la carga contaminante de las fuentes, se asigna un menor puntaje para aquellas que presenten carga contaminante alto en el agua que abastecerá el humedal.

- Flexibilidad y confiabilidad

Este aspecto hace referencia a la posibilidad de adaptación del sistema a cambios en los trazados e instalación de las tuberías, ya sea por situaciones prediales u obras que se adelanten en el futuro, dejando con mayor puntaje las alternativas que contemplen los menores problemas de localización y mínimos riesgos en su desarrollo constructivo de abastecimiento.

- Simplicidad en la operación y requerimientos de personal

De los planteamientos de abastecimiento se ponen en consideración las alternativas que presenten la mayor simplicidad en instalación y que evite las mayores dificultades a la hora de ejecutar las obras como pueden ser aquellas asociadas a las condiciones topográficas del terreno, al uso de servidumbres, los diámetros de las tuberías de las redes, el riesgo para la construcción, entre otros. A mayor simplicidad de la alternativa, mayor fue la calificación que se le asigno dentro de la matriz de comparación.

- Calidad del agua de la fuente de captación

Los principales impactos ambientales negativos que se pudieran llegar a presentar por las alternativas contempladas son la calidad de agua en cuanto a aportes industriales y generación de olores y vectores. En adición a lo anterior se contempla el impacto que genera como tal las obras sobre el humedal (afectación a la flora y fauna) y la afectación a la comunidad en cercanías al humedal. Sin embargo, si se considera el impacto positivo del mejoramiento de la calidad del agua, todas las alternativas presentan una valoración similar, a excepción de la alternativa de La Isla que presenta una buena calidad.

- Impacto Ambiental y Urbano durante la Construcción

Se le asignara un menor valor a la alternativa que contemple los mayores impactos ambientales (*Tabla 6*) durante la ejecución de las obras necesarias para abastecer al humedal.

- Factibilidad en la obtención de licencias, permisos y tramites ambientales

Dadas las características del proyecto y teniendo en cuenta la normatividad ambiental en cuanto a permisos y licencias, se otorgará mayor puntaje a la alternativa que contemple el menor trámite de permisos necesarios para la ejecución de la obra y permisos para ocupación de cauce.

- Gestión Social

Según las visitas realizadas y la integración de la comunidad en la elección de alternativas, se evaluó cada alternativa según el nivel de aceptación de estos para con el proyecto. Así mismo, se incluyeron las alternativas que las personas manifestaron que podían evaluarse.

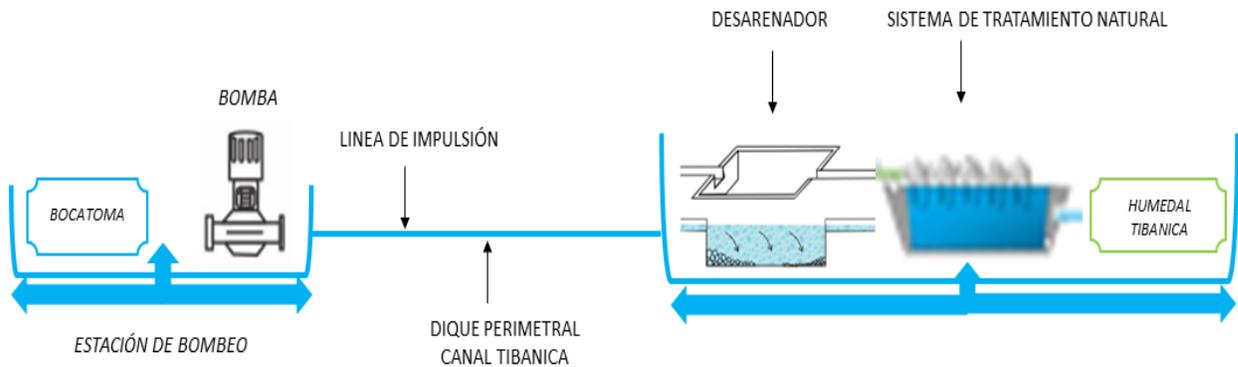
Teniendo en cuenta esta información, se elaboró el documento que se tendrá en cuenta en la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB – ESP presentado en el *Anexo D*.

### **3.3.1. Selección de alternativa**

Teniendo en cuenta los diferentes criterios evaluados, como se describen en la matriz de calificación presentada en la *Tabla 6*, con las tres alternativas propuestas, y teniendo en cuenta que la asignación de puntaje de cada alternativa en cada componente como se muestra en el *Anexo C* del presente trabajo. Se concluye que la alternativa con mejor puntaje es la alternativa de abastecimiento desde la estación de bombeo La Isla, teniendo en cuenta principalmente su alto puntaje en el componente ambiental ya que presenta buena calidad de agua, de acuerdo a las necesidades del humedal, además de un bajo impacto urbano constructivo de las de las obras necesarias puesto que estas se realizarán dentro de la estación de bombeo La Isla, el dique del canal Tibanica y el humedal Tibanica, adicionalmente, también se obtiene una puntuación importante frente a las demás en el componente social por su aceptación de la comunidad con esta alternativa.

En la *Ilustración 14* se observa el esquema del sistema de abastecimiento para mitigar el déficit hídrico en el humedal Tibanica.

Ilustración 15. Esquema de abastecimiento seleccionado.



Fuente: autor

El sistema comprende un sistema de tratamiento proyectado, consiste en un humedal de flujo superficial constituido por una lámina de agua con plántulas tubulares. Previamente se proyecta un sistema desarenador para retener las partículas que al mismo tiempo cumple la función de tanque de homogenización y regulación del caudal.

El caudal proveniente será de 4l/s dependiendo de los niveles hídricos de la quebrada y del bombeo, por 12 horas diarias, el cual es bombeado a través de un equipo y línea de conducción de 2.5 kilómetros aproximadamente hasta entregar al gavión previo al desarenador del sistema, otra forma corresponde a una entrada desde el canal Tibanica a través del vertedero proyectado sobre el gavión existente.

Aspectos para tener en cuenta en el ingreso de agua al sistema de tratamiento:

- ✓ Teniendo en cuenta que la bomba de impulsión de la isla esta retirada, se debe mantener siempre una válvula abierta durante la operación de la bomba.
- ✓ En caso de cerrar la entrada de agua al humedal proveniente del sector la isla debe abrirse la válvula de envío al canal Tibanica.
- ✓ El bombeo debe efectuarse durante las épocas de verano a una razón de 4 litros por segundo durante 12 horas diarias.
- ✓ El ingreso del canal Tibanica, se realiza a través de la estructura de entrada pasando por la tubería de 3 pulgadas. Debe verificarse la entrada a una razón de 2 litros por segundo 24 horas diarias.
- ✓ La entrada del agua proveniente del canal Tibanica, está supeditada a la calidad del mismo cauce, ya que puede generar olores y vectores dentro del humedal

Para el adecuado funcionamiento del humedal es necesario mantener un caudal uniforme a través de su área, siendo conveniente ajustar los mecanismos de entrada y salida para conseguir el rendimiento esperado en el tratamiento. El operador debe inspeccionar con atención los colectores de entrada y salida, ajustarlos regularmente, retirar los desechos que puedan obstruir la entrada y la salida. Puede que sea necesario realizar limpiezas adicionales con rociado de agua a alta presión o por medios mecánicos.

Los sólidos en el afluente tienden a acumularse cerca a la entrada hacia el humedal y estas acumulaciones pueden reducir los tiempos de retención hidráulica, por tanto, a medida que vaya pasando el tiempo, será necesario retirar estos sólidos acumulados o redistribuirlos en el humedal. Es conveniente llevar a cabo la remoción de desechos flotantes arrastrados por la corriente o por el viento y de limos bacterianos que crezcan, tanto en el humedal como en el desarenador, que son las estructuras de tratamiento preliminar.

Por otra parte, podría presentarse un caso de inundación, esta situación se considera extrema y se presentaría cuando se tengan niveles máximos en el canal Tibanica de manera que se desborde del cauce e inunde la zona del humedal. En este caso el sistema de Biotratamiento se saldrá de parámetros, permanecerá sumergido hasta que los niveles bajen. Ante esta situación no se espera que el sistema en su integridad física se vea afectado pero el proceso de tratamiento se desestabilizará y cuando se reestablezcan las condiciones de diseño se reiniciará un proceso recuperación. Posteriormente a una situación de estas, se debe hacer limpieza a las estructuras de entrada y salida retirando el material que haya podido acumularse en las mismas.

## **4. Conclusiones y recomendaciones**

### **3.1. Conclusiones**

Se efectuó una valoración de alternativas, desde los criterios ambientales, técnicos y económicos.

La alternativa desde el río Tunjuelito por ronda hídrica es la más larga (29.76 kilómetros), sin embargo, técnicamente se considera apropiada, ya que es solventada por una pendiente natural del río, además, no tiene paramentos y las interferencias serían mínimas, por lo cual el diseño y construcción sería más sencillo. Sin embargo, los costos son muy elevados y es necesario realizar un trasvase de cuenca.

Por otra parte, la alternativa de abastecimiento desde la quebrada Tibanica es la más económica, sin embargo, ambientalmente hablando, no es la más recomendable debido a que sus condiciones de calidad de agua no son las más adecuadas, ya que, en consecuencia, de las invasiones urbanas, las descargas de aguas contaminadas domésticas aumento desfavorablemente, haciendo así más difícil el acuerdo social para realizar adecuaciones en dicha quebrada.

Finalmente, la alternativa seleccionada corresponde al bombeo desde La Isla que ofrece la mejor calidad de agua, gran facilidad en su operación y mantenimiento y costos más favorables.

### **3.2. Recomendaciones**

El cuidado de las diferentes estructuras de la planta depende principalmente de la buena capacitación que tenga el operador y de la dedicación de tiempo que se les dedique a las diferentes actividades de operación y mantenimiento. A medida que se presenten problemas en la planta, el operador debe actuar rápidamente para solucionarlos adecuadamente. Es muy importante que los problemas se resuelvan a medida que van ocurriendo ya que al dejar pasar el tiempo los problemas se acumulan y las estructuras y equipos se van deteriorando fácilmente.

Por otro lado, el operador debe ser consciente que el buen funcionamiento de la planta y el cumplimiento de los requerimientos de calidad en cuanto a medidas de higiene van directamente relacionados. Estos dos aspectos aseguran el buen estado del medio ambiente y por consiguiente se reducen los problemas de salud pública que puedan afectar a los habitantes del sector.

Estas estructuras de entrada y salida están compuestas por un canal de entrada y tuberías de salida. Para la ejecución de esta actividad se requiere una pala, un rastrillo y una carretilla para transportar los lodos hacia los lechos de secado. Para el mantenimiento adecuado del humedal, promover crecimiento activo y evitar la proliferación de mosquitos, se recomienda cosechar periódicamente la vegetación emergente. Esta actividad debe realizarse por lo menos cada año o cuando se requiera.

## 5. Bibliografía

- [1] Alcaldía Mayor de Bogotá (2007). "*Compilación de la Legislación Aplicable al Distrito Capital* :: Régimen Legal de Bogotá". <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=23377&dt=S>
- [2] Minciencias. (2016). Biodiversidad en Colombia. [https://minciencias.gov.co/sala\\_de\\_prensa/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del-mundo](https://minciencias.gov.co/sala_de_prensa/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del-mundo)
- [3] Minciencias. (2016). *Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo*. Minciencias.com. [https://minciencias.gov.co/sala\\_de\\_prensa/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del-mundo](https://minciencias.gov.co/sala_de_prensa/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del-mundo)
- [4] ONU. (2018). *Humedales por un futuro sostenible*. ONU HABITAT. [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/wwd18\\_handouts\\_spanish](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/wwd18_handouts_spanish)
- [5] Secretaria Distrital de Ambiente (2019). "Infraestructura de Datos Espaciales de Bogotá". Ideca. <https://www.ideca.gov.co/recursos/historias/los-humedales-en-bogota>
- [6] FAO. (2020). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/regulating-services/es/#:~:text=El%20mantenimiento%20de%20>
- [7] S. Buitrago y S. Lopez. "Aporte del humedal el Charco-Oasis a la regulación térmica por medio del análisis de variables microclimáticas y de cobertura en Villavicencio".
- [8] Diagnóstico POMCA, "Estado de los recursos naturales y el ambiente en Bogotá," 2007.
- [9] H. Arias Gaviria, "Los humedales en Bogotá," 2003.
- [10] Alcaldía Mayor de Bogotá, "Humedal Tibanica," Secretara Distrital de Ambiente, 2021. Recuperado de: <http://humedalesdebogota.ambientebogota.gov.co/inicio/humedal-tibanica/>.
- [11] BioAgro, "Déficit Hídrico," Brioagro, 26-May-2020. Recuperado de: <https://brioagro.es/deficit-hidrico/>.
- [12] L. Franco, J. Delgado, and G. Andrade, "Factores de la vulnerabilidad de los humedales," 2013. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v22n2/v22n2a05.pdf>.
- [13] Instituto de Estudios Ambientales -IDEA de la Universidad Nacional de Colombia - DAMA (hoy Secretaría Distrital de Ambiente), "Plan de Manejo Ambiental del Humedal Tibanica", 2006.

[14] Plan de manejo ambiental del Humedal de Tibanica – Potrero Grande Tomo 5 – Anexo No. 8., "Ecology and environment Inc e Hidromecánicas Ltda", Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Bogotá D.C., 1998.

[15] C. Hernandez y E. Valenzuela, "Clasificación del humedal Tibanica", 2004.

[16] M. A. Bettín, "Componente físico del Humedal Tibanica", 2004.

[17] G. Aguilera y M. Pouilly, "Caudal ecológico: definiciones, metodologías y adaptación a la región andina", Acta zoológica lilloana, 2012.

[18] Secretaria Distrital de Ambiente. "*Plan de Manejo Ambiental del Humedal Tibanica*» Observatorio Ambiental de Bogotá". Observatorio Ambiental de Bogotá. [https://oab.ambientebogota.gov.co/?post\\_type=dlm\\_download&p=15050](https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=15050)

## 6. Anexos

### Anexo A: Formato de recolección de información del humedal Tibanica

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DEL HUMEDAL TIBANICA					
¿Qué tipo de humedal es Tibanica?	Artificial	Natural	Observaciones El humedal Tibanica es un cuerpo de agua panda, humedal andino de planicie fluviolacustre		
		X			
¿Qué tipo de humedal es Tibanica según el convenio Ramsar?	Estuarinos	Lacustres	Ribereños	Palustres	
				X	
Ubicación		Altitud (m)	Área inundable ( ha <sup>2</sup> )		8.05
			Uniforme		No uniforme
Cl. 73 bis sur, Bosa, Bogotá.		2700			X
¿Ha recibido adecuaciones hidrogeomorfológicas?	Si	No	Observaciones Ha recibido 2 adecuaciones hidromorfológicas para mejorar la capacidad del vaso hidráulico del humedal y permitir espacios de anidación para avifauna endémica y migratoria		
	X				
¿Ha presentado declaraciones de “estado crítico” o alerta naranja?	Si	No	Observaciones Ha presentado 2 declaraciones de estado crítico y/o alerta naranja por parte de la Alcaldía Mayor de Bogotá		
	X				
Suelo protegido (ha)		28.8	Cuenca	Rio Bogotá	
Principal fuente de abastecimiento		Quebrada Tibanica	Extensión (ha)	27.39	
<b>Información adicional</b>					
El humedal Tibanica está ubicado dentro de la subcuenca Tunjuelito en la llanura fluviolacustre plana de la cuenca del rio Bogotá, como un área de descarga del sistema de drenaje de algunos canales y quebradas provenientes de los cerros orientales y terrenos del suroriente de la sabana de Bogotá.					

## Anexo B. Matriz de ponderación de criterios de calificación

COMPONENTE	No	FACTOR O ASPECTO POR EVALUAR	DESCRIPCIÓN	PONDERACIÓN
Ambiental	1	Calidad del agua de la fuente de captación	Se evalúa el cumplimiento del cuerpo de agua según los criterios establecidos por Acuerdo 043 de 2006.	20
	2	Impacto Ambiental y Urbano durante la Construcción	Análisis de los impactos ambientales por la red implementada y la facilidad de emplear acciones para minimizarlos.	10
	3	Factibilidad en la obtención licencias, permisos y tramites ambientales	Considerando los permiso de concesión de agua, ocupación de cauce, servidumbres, licencia de excavación, PMT, tratamiento forestal.	10
	4	Gestión social	Básicamente se cuantifica la recepción de la comunidad al proyecto y su aporte en la socialización de las actividades, adicional a la búsqueda de fuentes de abastecimiento.	10
Técnico	5	Disponibilidad del caudal demandado	Teniendo en consideración la oferta hídrica de cada una de las fuentes analizadas, se evalúa la cantidad de agua disponible para alimentar el humedal.	10
	6	Carga contaminante para tratar en el Biotratamiento.	El análisis de calidad de agua de las fuentes propuestas, determinan el sistema de tratamiento que se implementará para mejorar las condiciones del humedal.	10
	7	Flexibilidad y confiabilidad del sistema	Durante la operación de los sistemas de tratamiento es importante que estos permitan cierta flexibilidad en la operación ante cambios en las características del influente al tiempo que asegure el cumplimiento de la calidad del agua tratada.	5
	8	Simplicidad en la operación y requerimientos de personal	Se desea que la operación del sistema sea lo más simple posible, ya sea en la instalación de los sistemas de suministro e instalación del sistema de tratamiento los cuales se proponen que no requieran un alto nivel de capacitación en términos tecnológicos del personal que opere el sistema.	5
Económico	9	Costos de inversión inicial	Se evaluarán los costos de inversión de las tecnologías, dando mayor puntaje a aquellas de menor costo. Este aspecto, aunque es muy importante para la optimización de recursos se le da menor peso con respecto a los costos de operación y mantenimiento, estos últimos son un factor crítico durante toda la vida útil del proyecto.	10
	10	Costos de operación y mantenimiento	Este aspecto se considera primordial, ya que, este parámetro es uno de los factores más importantes en cuanto a la sostenibilidad económica del proyecto.	10
<b>TOTAL</b>				100

### Anexo C. Criterios de calificación

		CRITERIOS DE EVALUACIÓN		
CRITERIOS	DESCRIPTOR	NIVEL	DESCRIPCIÓN	
<b>Ambiental</b>	Calidad del agua de la fuente de captación	Deficiente	2.5	El cuerpo de agua NO cumple con los establecidos por Acuerdo 043 de 2006, Clases y usos del agua de la Cuenca Río Bogotá, Clase III (DBO, SST, OD, CT)
		Bajo	5	El cuerpo de agua cumple parcialmente los objetivos de calidad establecidos por Acuerdo 043 de 2006, Clases y usos del agua de la Cuenca Río Bogotá, Clase III (DBO, SST, OD, CT)
		Bueno	7.5	El cuerpo de agua cumple los objetivos de calidad establecidos por Acuerdo 043 de 2006, Clases y usos del agua de la Cuenca Río Bogotá, Clase III (DBO, SST, OD, CT), Sin embargo, es susceptible al aumento de cargas contaminantes
		Optimo	10	El cuerpo de agua cumple en su totalidad los criterios establecidos por Acuerdo 043 de 2006, Clases y usos del agua de la Cuenca Río Bogotá, Clase III (DBO, SST, OD, CT)
	Impacto Ambiental y Urbano durante la Construcción	Deficiente	2.5	Conforme a la edificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales y sociales su calificación fue Alta
		Bajo	5	Conforme a la edificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales y sociales su calificación fue Media
		Bueno	7.5	Conforme a la edificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales y sociales su calificación fue Baja
		Optimo	10	Conforme a la edificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales y sociales su calificación fue No significativos o despreciables
	Factibilidad en la obtención licencias, permisos y tramites ambientales	Deficiente	2.5	Se requiere tramitar permiso de concesión de agua, ocupación de cauce, servidumbres, licencia de excavación, PMT, tratamiento forestal y su actividad es incierta (6 Permisos 2) Negativismo por parte de la AA
		Bajo	5	Se requiere tramitar permiso de concesión de agua, ocupación de cauce, licencia de excavación, PMT, tratamiento forestal y es factible el trámite (5 Permisos) Escepticismo por la AA
		Bueno	7.5	Se requiere tramitar permiso de concesión de agua, ocupación de cauce, licencia de excavación, PMT, y es factible su trámite (4 Permisos)
		Optimo	10	Se requiere tramitar permiso de concesión de agua, ocupación de cauce, licencia de excavación, PMT, y es factible su trámite (3 Permisos) Aceptabilidad por la AA
	Gestión Social	Deficiente	2.5	No hay aceptabilidad hacia las obras, existen grupos de ambientales y sociales negativos con el proyecto, el volumen de actas de vecindad y de entorno superan las 1000 und
		Bajo	5	Se requiere un proceso de socialización fuerte con la comunidad, las actas de vecindad y de entorno están entre 500 y 1000 und, existen grupos ambientales y sociales asépticos con el proyecto.
		Bueno	7.5	Se requiere un proceso de socialización efectiva con la comunidad, las actas de vecindad y de entorno están entre 100 y 500 und, existen grupos ambientales y sociales veedores del proyecto
		Optimo	10	Aceptabilidad de la comunidad hacia el proyecto, hay confianza de los grupos ambientales y sociales con el proyecto.

<b>Técnico</b>	Disponibilidad del caudal demandado	Deficiente	2.5	El análisis hidrológico y/o las mediciones históricas (Obtenidas de información secundaria) presentan déficit de caudal en la cuenca.
		Bajo	5	Las mediciones históricas, obtenidas de información secundaria, presentan bajos caudales (0 - 50 l/s) en la cuenca.
		Bueno	7.5	Las mediciones históricas, obtenidas de información secundaria, presentan caudales moderados (50 - 100 l/s) en la cuenca.
		Optimo	10	Las mediciones históricas, obtenidas de información secundaria, presentan altos caudales (<100 l/s) en la cuenca.
	Complejidad en el Tratamiento	Deficiente	2.5	Teniendo en consideración los valores de DBO y SST, se prevé un sistema de tratamiento más complejo (Mayores dimensiones)
		Bajo	5	Teniendo en consideración los valores de DBO y SST, se prevé un sistema de tratamiento más complejo (Mayores dimensiones)
		Bueno	7.5	Teniendo en consideración los valores de DBO y SST, se prevé un sistema de tratamiento más complejo (Mayores dimensiones)
		Optimo	10	Teniendo en consideración los valores de DBO y SST, se prevé un sistema de tratamiento más complejo (Mayores dimensiones)
	Flexibilidad y confiabilidad del sistema	Deficiente	2.5	Capacidad de modificarse el sistema, trazado, material, mantenimientos, etc., Muy Baja
		Bajo	5	Capacidad de modificarse el sistema, trazado, material, mantenimientos, etc., Baja
		Bueno	7.5	Capacidad de modificarse el sistema, trazado, material, mantenimientos, etc., Moderada
		Optimo	10	Capacidad de modificarse el sistema, trazado, material, mantenimientos, etc., Alta
	Simplicidad en la operación y requerimientos de personal	Deficiente	2.5	El sistema posee muy baja autonomía, a nivel operativo y de mantenimiento requiere de altos costos
		Bajo	5	El sistema posee baja autonomía, a nivel operativo y de mantenimiento requiere de mayores costos
		Bueno	7.5	El sistema posee una moderada autonomía, a nivel operativo y de mantenimiento requiere de costos promedios.
		Optimo	10	El sistema posee alta autonomía, a nivel operativo y de mantenimiento requiere de menores costos
<b>Económico</b>	Costos de inversión inicial	Deficiente	2.5	El presupuesto de la obra supera los 500 millones de pesos.
		Bajo	5	El presupuesto de la obra varía entre 250 y 500 millones de pesos.
	Costos de operación y mantenimiento	Bueno	7.5	El presupuesto de la obra varía entre 100 y 250 millones de pesos.
		Optimo	10	El presupuesto de la obra varía entre 0 y 100 millones de pesos.

Anexo E. Documento final (entregable para la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá)

# PLAN DE ALTERNATIVAS PARA MITIGAR EL DÉFICIT HÍDRICO DEL HUMEDAL TIBANICA PARA LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ EAAB - ESP



**Johan Sebastián Ramírez Nocua**

**Universidad Santo Tomás**

**2022**