

**DIAGNÓSTICO ACTUAL DEL MANEJO DE VERTIMIENTOS DOMÉSTICOS
GENERADOS EN LA SEDE USME DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO, A
PARTIR DE LA VERIFICACIÓN DE MÉTODOS NORMALIZADOS PARA EL
ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD .**

**ANA MARÍA BRUCE RAMIREZ
MARIANA CARREÑO BERNAL**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ
2014**

**DIAGNÓSTICO ACTUAL DEL MANEJO DE VERTIMIENTOS DOMÉSTICOS
GENERADOS EN LA SEDE USME DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO, A
PARTIR DE LA VERIFICACIÓN DE MÉTODOS NORMALIZADOS PARA EL
ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD .**

**ANA MARÍA BRUCE RAMIREZ
MARIANA CARREÑO BERNAL**

**Proyecto de pasantía presentado como requisito para optar el título de:
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Director:
Ing. JUAN JOSE VARGAS OSORIO**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ
2014**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
1. OBJETIVOS	12
1.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. MARCO REFERENCIAL.....	13
2.1 MARCO CONTEXTUAL.....	13
2.2 MARCO TEÓRICO.....	14
2.2.1 Calidad del agua.....	15
2.2.2 Validación y verificación de métodos normalizados	16
2.2.3. Tratamiento del agua residual	18
2.3 MARCO CONCEPTUAL	24
2.4 MARCO LEGAL.....	28
3. DESARROLLO DE LA PASANTÍA.....	28
3.1 CAPACIDAD DEL LABORATORIO PARA DESARROLLAR MÉTODOS NORMALIZADOS.....	28
3.2 VERIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS NORMALIZADOS	30
3.3 DOCUMENTACIÓN DE LOS MÉTODOS NORMALIZADOS.....	38
3.4 IDENTIFICACIÓN DE LA RED SANITARIA	39
3.5 MONITOREO Y CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA .	41
3.6 DOCUMENTACIÓN DE LA DIVERSIDAD DEL MATERIAL VEGETAL PRESENTE EN EL HUMEDAL ARTIFICIAL	43
3.7 EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.....	44
4. RESULTADOS.....	50
4.1 CAPACIDAD DEL LABORATORIO PARA DESARROLLAR MÉTODOS NORMALIZADOS.....	50
4.2 VERIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS NORMALIZADOS	51
4.3 DOCUMENTACIÓN DE LOS MÉTODOS NORMALIZADOS.....	55
4.4 IDENTIFICACIÓN DE LA RED SANITARIA	55

4.5	MONITOREO Y CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA .	63
4.5.1	Condiciones del muestreo	64
4.5.2	Preservación, materiales, equipos y métodos utilizados.....	65
4.5.3	Parámetros analizados in situ.....	66
4.5.4	Parámetros analizados en laboratorio.....	71
4.6	DOCUMENTACIÓN DE LA DIVERSIDAD DEL MATERIAL VEGETAL PRESENTE EN EL HUMEDAL ARTIFICIAL	78
4.7	EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.....	80
	CONCLUSIONES.....	90
	REFERENCIAS	94

Lista de tablas

Tabla 1. Casos en los que se realiza Validación o Verificación	17
Tabla 2 Procesos de remoción para humedal.....	20
Tabla 3. Formato de lista de chequeo para determinación del estado y existencia de equipos, materiales y reactivos.....	29
Tabla 4. Clasificación de capacidad.....	29
Tabla 5. Metodología de verificación para método de DBO ₅ incubación 5 días- electrométrico	30
Tabla 6. Metodología de verificación para método de DBO ₅ incubación 5 días- manométrica.....	32
Tabla 7. Metodología de verificación para método de DQO- Colorimétrico de dicromato a reflujo cerrado rango medio.	34
Tabla 8. Metodología de verificación para método de Fósforo total- Digestión por persulfato. Método ácido fosfo vanado molibdico.....	34
Tabla 9 Rangos de operatividad	36
Tabla 10. Metodología de verificación para método de Nitrógeno Total Kjendahl- Método semi-micro Kjendahl titrimetrico.	36
Tabla 11. Parámetros analizados in situ con su respectivo equipo de medición.	42
Tabla 12. Parámetros analizados en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y métodos utilizados.	43
Tabla 13. Especificación del nivel de complejidad	48
Tabla 14. Dotación neta según el nivel de complejidad del sistema.....	48
Tabla 15. Aportes per cápita para aguas residuales domésticas	49
Tabla 16. Capacidad del laboratorio para desarrollar los métodos normalizados.....	50
Tabla 17. Resultados de la verificación del método para análisis de la DQO- Colorimétrico de dicromato a reflujo cerrado para rango medio (0-1500 mg/L).....	52
Tabla 18 Resultados de la absorbancia de los patrones de fósforo según la longitud de onda	53
Tabla 19. Verificación del método para análisis de fósforo Digestión por persulfato - Método Ácido Fosfo vanado molibdico.	54
Tabla 20. Verificación del método para análisis de NTK Kjendahl - Método semi-micro Kjendahl titrimetrico.	55
Tabla 21. Recomendaciones específicas.....	61
Tabla 22. Descripción de puntos de muestreo	63
Tabla 23. Preservación y material utilizado según parámetro.	65
Tabla 24. Equipos utilizados para la medición de parámetros in situ.	66
Tabla 25: eficiencias esperadas según la literatura para humedales artificiales.....	80
Tabla 26: Eficiencia del humedal artificial para la reducción de parámetros. Campaña 1.	81
Tabla 27. Eficiencia del humedal artificial para la reducción de parámetros. Campaña 2.	82
Tabla 28: Límites de los tramos de la cuenca del Río Tunjuelo	85

Tabla 29. Valores máximos admisibles de la concentración por parámetro para el tramo 1	85
Tabla 30. Valores de caudal y DBO ₅ obtenidos en el muestreo	86
Tabla 31 valores de caudal y DBO ₅ del punto 1 en la segunda campaña de muestreo...	88

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Formato de guía de laboratorio para documentar los métodos normalizados verificados.	38
Ilustración 2. Símbolo que indica la dirección del flujo.	40
Ilustración 3 Figura para identificar las tuberías	40
Ilustración 4. Ejemplo de ficha técnica para fuentes generadoras y puntos de inspección.	41
Ilustración 5. Formato de ficha técnica para cada una de las plantas presentes en el humedal.....	44
Ilustración 6. Curvas de calibración para patrones de fósforo total.	54
Ilustración 7 condiciones físicas del punto de muestreo 5.....	64
Ilustración 8. Variación del Caudal en función de los puntos de muestreo.Fuente: elaboración propia.	67
Ilustración 9.Variación del OD en función de los puntos de muestreo.....	68
Ilustración 10.Variación del pH en función de los puntos de muestreo. Fuente: elaboración propia.	69
Ilustración 11. Variación de la turbidez en función de los puntos de muestreo.....	70
Ilustración 12. Variación de los sólidos sedimentables de los puntos de muestreo.	71
Ilustración 13. Variación de la DBO ₅ en función de los puntos del muestreo.....	72
Ilustración 14. Relación entre la DBO y el OD.	73
Ilustración 15. Variación de la DQO en función de los puntos del muestreo. Fuente: elaboración propia.	74
Ilustración 16. Relación de la DBO y la DQO	74
Ilustración 17. Variación del NTK en función de los puntos del muestreo. Fuente: elaboración propia.	75
Ilustración 18. Variación del PT en función de los puntos del muestreo.....	76
Ilustración 19 Presencia de Botoncillo en el humedal artificial.	79
Ilustración 20 Presencia de Cartucho en el humedal artificial.	79
Ilustración 21 Presencia de Rumex en el humedal artificial.	79
Ilustración 22 Humedal artificial.	79
Ilustración 23 Presencia de Achira en el humedal artificial.....	80
Ilustración 24 Presencia de Cardo santo en el humedal artificial.	80
Ilustración 25 Desarenadores del sistema de tratamiento.....	83
Ilustración 26 Agua residual a la entrada del sistema de tratamiento de agua residual....	84

Lista de Anexos

Anexo 1. Informe de la capacidad de laboratorio para analizar las aguas residuales a partir de algunos métodos normalizados

Anexo 2. Guías de laboratorio para llevar a cabo métodos normalizados para la determinación de los parámetros DBO₅, DQO, NTK y PT

Anexo 3. Fichas de fuentes generadoras y puntos de inspección.

Anexo 4. Diagrama de la red sanitaria

Anexo 5. Informe de la diversidad del material vegetal presente en el humedal artificial

DIAGNÓSTICO ACTUAL DEL MANEJO DE VERTIMIENTOS DOMÉSTICOS GENERADOS EN LA SEDE USME DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO, A PARTIR DE LA VERIFICACIÓN DE MÉTODOS NORMALIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD .

RESUMEN

Para llevar a cabo métodos analíticos en un laboratorio de ensayo es necesario cumplir con criterios de calidad, entre los que se encuentran la verificación de métodos normalizados. El laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Antonio Nariño (UAN), se encuentra en esta etapa. Este proyecto de pasantía recopila el trabajo realizado para la verificación de los métodos normalizados, incubación 5 días manométrica y electrométrica para la determinación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los cuales no cumplieron con los criterios de aceptabilidad, el método colorimétrico de dicromato a reflujo cerrado para la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO), el cual no cumplió con los criterios de aceptabilidad, el método semi-micro Kjendahl titrimétrico para la determinación de nitrógeno total Kjendahl (NTK), el cual cumplió con los criterios de aceptabilidad y el método de digestión por persulfato ácido fosfo vanado molibdico para la determinación de fósforo total (PT), el cual también cumplió con los criterios de aceptabilidad. Para llevar a cabo la aplicación de la verificación de estos métodos se realizó el diagnóstico actual de manejo de vertimientos domésticos en la sede Usme de la UAN, en el cual se determinaron problemas en las conexiones de la red sanitaria, la cual presenta conexiones erradas, ocasionando una alta dilución de la carga contaminante producida por los vertimientos domésticos y un aumento considerable del caudal, además de evidenciar problemas en los diseños de las cajas de inspección. Se realizaron fichas técnicas en las que se especificó la condición de cada una. Se realizó un diagrama esquemático que presenta factores relevantes de la red sanitaria. Se analizó el agua residual doméstica por medio de los métodos anteriormente mencionados, obteniendo los comportamientos esperados al identificar la red sanitaria, los valores obtenidos a la salida del sistema de tratamiento de agua residual (humedal artificial) no cumplen con la normativa colombiana legal vigente para vertimientos. Se determinó la diversidad del material vegetal y se documentó en fichas técnicas de cada una. Las especies encontradas actualmente fueron botoncillo, cartucho, rumex, achira y cardosanto. Se evaluó la eficiencia del humedal artificial, encontrándose variaciones dependiendo las condiciones

climatológicas, bajas eficiencias en tiempo seco y eficiencias más altas en época húmeda, sin embargo la eficiencia más alta no alcanza a depurar el agua para poder cumplir la normativa. El dimensionamiento actual del humedal artificial también fue evaluado y se encontró un área deficiente para tratar las aguas residuales, se estimó un área 231, 1 m² para depurar la carga actual que llega al humedal artificial, sin realizar ninguna modificación en la red sanitaria ni en el pretratamiento y un área de 111,78 m² para una situación ideal en la que se regule el flujo y se rediseñe la red sanitaria.

ABSTRACT

To perform analytical methods in a laboratory test is necessary to meet quality criteria, including verification of standard methods. Laboratory of Environmental Engineering of the University Antonio Nariño (UAN) is in this stage. This internship project collects work performed for verification of standard methods, 5 days incubation and electrometric gauge for determination of biochemical oxygen demand (BOD₅) which did not meet the eligibility criteria. The colorimetric method of dichromate closed for the determination of chemical oxygen demand (COD) did not meet eligibility criteria reflux. The semi-micro Kjendahl titrimetric method for the determination of total Kjendahl nitrogen (TKN) which met the criteria quality and persulfate digestion method phospho molybdic acid winding for determination of total phosphorus (TP) which also met the eligibility criteria. To carry out the implementation of the verification of these methods the current diagnosis of handling domestic effluents was made in the seat Usme UAN in which problems were determined in the connections of the health network is performed, which presents wrong connection causing a high dilution of the pollutant load produced by domestic discharges and a significant increase in flow and show problems in the designs of manholes. Technical specifications relating to the condition of each specified are performed. Domestic wastewater was analyzed by the above methods obtaining the expected behaviors to identify the health network. In addition, the values obtained at the outlet of the treatment system of wastewater (constructed wetland) do not comply with the legal regulations in force for Colombia discharges. The diversity of plant material was determined and documented in each chip techniques, species currently found were botoncillo cartridge, rumex, achira and Cardosanto. The efficiency of the constructed wetland was evaluated finding variations depending on the weather conditions, dry low efficiencies and higher efficiencies in wet season time, however the highest efficiency is not enough to treat the water to meet the regulations. The current sizing of artificial wetland was also evaluated and poor area to treat waste water

was found which is 231, 1 m² was estimated to debug the current load that reaches the artificial wetland without change in the health network or pretreatment and an area of 111, 78 m² for an ideal situation where the flow is regulated and health network redesign.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de pasantía tiene como objetivo realizar el diagnóstico actual del manejo de vertimientos domésticos, generados en la sede Usme de la UAN a partir de la verificación de métodos normalizados para el análisis de calidad de agua en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad.

El laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UAN, adquirió hace algunos años equipos de laboratorio para llevar a cabo análisis de calidad del agua, pero no habían tenido uso alguno. Teniendo en cuenta que para implementar un nuevo método normalizado en un laboratorio de ensayos, es necesario realizar su respectiva verificación, la UAN realiza un convenio con la Universidad Santo Tomas, con el objetivo de obtener apoyo por parte de pasantes para realizar esta labor y la aplicación de estos métodos verificados, en un proyecto que beneficie a la UAN.

Para la verificación de algunos métodos normalizados de determinación de los parámetros, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), nitrógeno total Kjendahl (NTK) y fósforo total (PT), se determina la capacidad del laboratorio para llevar a cabo algunos métodos seleccionados, teniendo en cuenta la existencia y el estado de equipos, materiales y reactivos. Esta determinación se realiza por medio de listas de chequeo. Posterior a esto, utilizando patrones para cada uno de los parámetros, se analiza si el método normalizado, cumple con los criterios de aceptabilidad establecidos previamente.

El proyecto asignado para la aplicación de los métodos normalizados verificados, consiste en llevar a cabo el diagnóstico actual del manejo de vertimientos domésticos de la sede Usme de la Universidad, el cual comprende la identificación de la red sanitaria, el monitoreo y caracterización del agua residual doméstica de la sede en los puntos más representativos de su recorrido, la documentación de la diversidad del material vegetal presente en el humedal artificial y la evaluación de eficiencia y dimensionamiento de este.

La pasantía requiere trabajo de campo y de laboratorio, con una duración de 480 horas. El contenido del documento, presenta conceptos necesarios para entender el trabajo a realizar, la metodología para cumplir cada uno de los objetivos específicos y finalmente muestra los resultados que se obtienen con su respectivo análisis y recomendaciones.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diagnóstico actual del manejo de vertimientos domésticos generados en la sede Usme de la UAN a partir de la verificación de métodos normalizados para el análisis de calidad de agua en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la capacidad del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UAN sede Circunvalar, para ejecutar algunos métodos normalizados para el análisis de aguas residuales de acuerdo a los parámetros DBO₅, DQO, NTK y PT, teniendo en cuenta la existencia y el estado actual de equipos y reactivos.
- Verificar los métodos normalizados para el análisis de aguas residuales de acuerdo a los parámetros DBO₅, DQO, NTK y PT, que se pueden llevar a cabo según la capacidad del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UAN.
- Documentar los procedimientos para llevar a cabo los métodos normalizados para el análisis de aguas residuales de acuerdo a los parámetros DBO₅, DQO, NTK y PT, por medio de guías de laboratorio.
- Identificar la red sanitaria de la sede Usme de la UAN proporcionando un diagrama esquemático y unas fichas técnicas con la información obtenida.
- Monitorear y caracterizar el agua residual doméstica generada en la sede Usme en los puntos más representativos de su recorrido.
- Documentar la diversidad del material vegetal presente en el humedal artificial por medio de fichas técnicas.

- Evaluar el humedal artificial que brinda tratamiento a las aguas residuales domésticas de la sede Usme de la UAN, con respecto a su dimensión y eficiencia.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO CONTEXTUAL

La pasantía fue realizada en la UAN la cual es una entidad privada de educación superior de Colombia, cuenta con sedes de educación presencial en prácticamente todas las capitales departamentales y en otros municipios. Su sede principal está ubicada en Bogotá.[1]

En la actualidad la UAN se encuentra en un proceso de validación y verificación de métodos en el laboratorio de Ingeniería Ambiental, el cual tiene diversos equipos que fueron adquiridos algún tiempo atrás pero que aún no habían tenido su primer uso, como es el caso de los equipos para realizar análisis de calidad de agua. La UAN desea realizar la aplicación de los métodos, después de la respectiva validación y/o verificación de cada uno, en proyectos que benefician la Universidad.

Como por ejemplo el proyecto para mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales de la sede Usme donde se encuentra actualmente funcionando el Colegio Antonio Nariño. Este sistema se basa en un humedal artificial que funciona como estación depuradora de las aguas residuales producidas por la sede Usme (el humedal es producto del desarrollo de la investigación denominada “Depuración de aguas residuales domésticas e industriales utilizando especies macrófitas nativas de la granja integral de Usme de la UAN”)[2] para cumplir con el Decreto 3930 del 2010. El humedal cuenta con un registro de eficiencia elaborado en mayo de 2007, este registro toma como parámetro la caracterización realizada por medio de muestreos compuestos en tres puntos de la sede (Caja de inspección interna del colegio, entrada humedal y salida humedal), por el laboratorio ANALQUIM LTDA [3].

Los resultados de este registro demuestran el cumplimiento de la resolución 1074/1997 del DAMA (Derogada por el artículo 25 de la resolución 3956 de 2009) pero el incumplimiento del Decreto 1594/1984 (derogado por el artículo 79 del

decreto 3930 de 2010) teniendo como salvedad las bajas concentraciones de contaminantes en el vertimiento, las cuales no representan un impacto significativo en el cuerpo hídrico.

Sin embargo se registra que la caja de inspección en la que se llevó uno de los muestreos compuestos no estaba conectada a las cajas que conducen la entrada al humedal, es por ello que las concentraciones varían drásticamente en estos dos puntos.

Para corregir este inconveniente la Universidad propone unas condiciones futuras en las cuales se llevaría a cabo una obra civil de interconexión hidráulica con el fin de unificar el sistema [2] pero actualmente no se cuenta con registros de la elaboración de la misma.

El documento también presenta un promedio ponderado en el que se mezclan las concentraciones de la caja no conectada y la entrada del humedal, esto con el fin de llevar a cabo el diseño y determinar el área del humedal que se requiere para depurar dicha mezcla.

Según estos cálculos los ocho baffles que se tienen contruidos con un área total de 82.5m^2 no serían suficientes. El humedal artificial de la sede cuenta con un medio soporte plástico que según las investigaciones reduciría hasta 5 veces el área necesaria para la depuración, con la misma eficiencia, asunción que aún no se ha comprobado.

Por todo lo anterior, la UAN desea iniciar el proyecto con una primera etapa en la que se lleve a cabo un diagnóstico inicial.

2.2 MARCO TEÓRICO

El aumento de los vertimientos de aguas residuales a los cuerpos hídricos se ha convertido en un problema ambiental crítico, viéndose reflejado en el deterioro del estado actual de la calidad del recurso. Además considerando que este problema está relacionado directamente con el crecimiento poblacional y la situación socioeconómica del país, el deterioro en poco tiempo puede ser peor [4].

Se presentan casos más críticos cuando se realizan vertimientos de aguas residuales en una corriente de agua y aguas abajo de estos se requiere el recurso para actividades domésticas, industriales, agrícolas, pecuarias, etc. En este caso

las condiciones de calidad del agua ya se han alterado, por lo tanto pueden ocasionar problemas de salud pública, ambientales y económicos [4].

Los principales centros urbanos de Colombia, captan alrededor de 170 m³/s de agua potable, de los cuales se pierde entre el 40% y el 50% de esta. Regresa al ambiente en forma de agua residual el 50% o 60% del agua captada restante. Se estima que en Colombia se descargan diariamente cerca de 700 toneladas de carga orgánica del sector doméstico urbano a los cuerpos de agua, depositándose en ellos sin poder ser oxidadas o removidas. Estas cargas superan la capacidad de depuración que tienen los sitios receptores provocando eutrofización y anoxia en los sistemas, además de graves problemas de salud pública [4][5].

2.2.1 Calidad del agua

La calidad del agua esta determina por las condiciones que presenta el agua teniendo en cuenta características físicas, químicas y biológicas, tanto en su estado natural como después de ser alteradas por actividades humanas. Dependiendo el tipo de uso para el que se requiera al agua, se puede determinar su aceptabilidad según su calidad [6].

La calidad de un cuerpo de agua además de estar definida en términos de sus características y requerimientos para ser suministrada, también se define de acuerdo con los requisitos exigidos a los efluentes que se descargan en el cuerpo hídrico receptor. Esta condición se cumple en la mayoría de ciudades que utilizan el mismo río aguas arriba para abastecimiento de agua potable y luego aguas abajo lo utilizan como sitio de descarga de sus efluentes municipales [6][7].

A partir de lo anterior, los factores que intervienen en la calidad de agua son:

- **Factores físicos:** La calidad del agua puede estar modificada por sustancias que generan cambios en su aspecto, pero no siempre son sustancias tóxicas, entre ellas se encuentran los sólidos en suspensión, la turbidez, el color, la temperatura, el pH [6].
- **Factores químicos:** El agua es el solvente universal por lo cual puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, el tratamiento del agua residual no tiene en cuenta todos los elementos, solo aquellos que son significativos para el agua de consumo o los que puedan tener afectaciones adversas al entorno [6].

- **Factores biológicos-bacteriológicos:** Entre los principales organismos que contaminan el agua se encuentran las bacterias, además de virus, algas, protozoos y hongos. La existencia de coliformes representan un indicador biológico de presencia de materia orgánica, pero los coliformes totales no, puesto que estos existen en el ambiente como organismos libres. La escherichia coli es la única bacteria que está ligada a la presencia de heces fecales de origen humano y de animales de sangre caliente[6].

La calidad del agua se mide por la presencia y cantidad de contaminantes y para conocerse con exactitud es necesario realizar un análisis del agua en un laboratorio especializado, donde se hayan validado y/o verificado los métodos normalizados [6].

2.2.2 Validación y verificación de métodos normalizados

2.2.2.1 Método Normalizado

Un método normalizado se refiere a un método analítico que es desarrollado por un organismo de normalización u otro tipo de organismo reconocido, cuyos métodos son generalmente aceptados por el sector técnico correspondiente[8].

Para que dichos métodos normalizados, puedan ser desarrollados en el laboratorio y que los resultados sean verídicos y confiables, se realiza la validación o la verificación de métodos previa según sea el caso.

2.2.2.2 Validación

La validación de un método analítico es necesaria para asegurar que los resultados que se obtengan por dicho método sean confiables. Dicha validación por parte del laboratorio, se realiza con el fin de determinar estadísticamente que el método es adecuado para los fines previstos[9].

La validación implica demostrar la determinación de las fuentes de variabilidad y del error sistemático y al azar de un procedimiento, no sólo dentro de la calibración sino en el análisis de muestras reales[8].

En general, se establece que el laboratorio debe validar:

- Métodos no normalizados: Corresponden a métodos desarrollados por el laboratorio o métodos nuevos (ejemplo: publicado en revista científica), o bien, a métodos que tradicionalmente se han utilizado en el laboratorio pero que no están normalizados [9].
- Método normalizado con una modificación significativa [9].

2.2.2.3 Verificación

Por medio de la verificación se comprueba que el laboratorio domina el método de ensayo normalizado y lo utiliza correctamente, en caso de tratarse de un método normalizado modificado para la verificación se requiere solo realizar aquellas pruebas que indiquen que la variación realizada no afecta el ensayo[9].

Esta verificación indica el proceso que lleva a cabo el laboratorio con el fin de demostrar su capacidad para ejecutar correctamente un método normalizado cuando lo realiza exactamente como está descrito en la norma, en ocasiones, lo que se busca a través de una verificación es demostrar que un método es equivalente a otro[8].

El objetivo de la validación y la verificación, es demostrar que el método utilizado por un laboratorio es adecuado para la aplicación en la que se propone utilizar, así, como también demostrar que las modificaciones que pudieron haberse realizado no afectan su desempeño, ni la confiabilidad de los resultados [9].

Para determinar en qué casos se valida o se verifica un método, se tiene en cuenta la tabla 1.

Tabla 1. Casos en los que se realiza Validación o Verificación

Validación	Verificación
• Método desarrollado por el propio laboratorio • Método no normalizado • Método normalizados empleado fuera del alcance previsto	• Método normalizado • Método normalizado que sufre algún tipo de modificación

Fuente: Servicios y sistemas integrales de capacitación y calidad S.A de C.V

Se debe tener en cuenta que para llevar a cabo cualquier validación o verificación de métodos, es necesario cumplir con cuatro prerequisites [10]. Dichos prerequisites son:

1. Que los equipos funcionen adecuadamente y se encuentren calibrados
2. Que el operador que corre la técnica sea técnicamente competente
3. Que la muestra haya sido tomada, transportada y resguardada adecuadamente
4. Que los reactivos usados sean confiables.

Según el Instituto de Salud Pública [9], si se va a realizar la verificación o validación de un método en el laboratorio, según sea el caso, es necesario:

- Establecer los parámetros a evaluar
- Establecer las pruebas experimentales
- Establecer los criterios de aceptabilidad
- Desarrollar las pruebas experimentales
- Evaluar los resultados

Cuando en la evaluación de los resultados, se cumplen con los criterios de aceptabilidad, se admite el desarrollo del método normalizado en el laboratorio. De lo contrario, si los resultados obtenidos no son los esperados, el método no estará verificado. No se permitiría su repetitividad ni reproducibilidad. Es necesario revisar los criterios de aceptabilidad.

Por lo tanto, el principal objetivo de la verificación de métodos es comprobar científicamente por medio de prácticas de laboratorio, que un método analítico se está desarrollando adecuadamente y cumple con los objetivos establecidos. Los métodos a verificar en el presente documentos son cuantitativos[11] y se encuentran normalizados según el Standard Methods [12]

2.2.3. Tratamiento del agua residual

El tratamiento del agua residual consta de varios procesos y operaciones unitarias físicas, químicas y biológicas que con una adecuada selección y combinación, eliminan o reducen la contaminación o los compuestos presentes no deseables dentro del agua. Son alternativas para las necesidades de disposición final y el reaprovechamiento de los vertimientos de esas aguas residuales[13].

En general, se presentan procesos fisicoquímicos y procesos biológicos, donde los fisicoquímicos hacen uso de las propiedades entre el contaminante y el agua (sedimentación o flotación), o con la adición de reactivos para variar la forma del

contaminante, buscando la manera de separarlo del líquido (agua), y los biológicos utilizan microorganismos que se alimentan de la materia orgánica contaminante y con ella la eliminan del agua en forma de células o gases[13].

- Pretratamiento: Es la fase donde se eliminan los objetos gruesos, arenas y grasas. Por medio de rejillas y tamices de diferentes tamaños se eliminan los sólidos gruesos como plásticos, trapos, etc. Con el desarenado y el desengrasado se retiran las arenas y las grasas del agua residual[14].
- Tratamiento primario: Es el tratamiento por el cual se elimina la materia sedimentable y flotante por medio de procesos físicos y químicos, Se tienen decantadores donde por gravedad se eliminan los sólidos en suspensión como materia orgánica particulada, sólidos inertes, entre otros. En algunos casos se utiliza las operaciones de coagulación-floculación[14].
- Tratamiento Secundario: Es el tratamiento por el cual se elimina la materia orgánica disuelta o coloidal, se utilizan procesos biológicos, como la degradación bacteriana o la decantación secundaria. Las bacterias presentes y otros organismos utilizan la materia orgánica presente en el agua residual y la utilizan como fuente de alimentación. Por lo tanto si se tienen las condiciones correctas para estos procesos biológicos, se consigue la reducción de compuestos nitrogenados y fosforados[14].

2.2.3.1 Humedales artificiales

Un humedal artificial es un sistema de ingeniería en el que ocurren procesos biológicos y fisicoquímicos paralelamente para optimizar el tratamiento de aguas residuales; consiste en un compartimiento impermeable de poca profundidad en donde se relacionan el flujo de agua residual, el sustrato, la vegetación, los microorganismos y los animales acuáticos, para la remoción de contaminantes en diferentes proporciones. Los humedales artificiales ofrecen varias ventajas como la selección del sitio, flexibilidad en el tamaño, el control de la hidráulica y el tiempo de retención[12][15].

Este sistema se basa en los principios de los humedales naturales que son áreas saturadas por aguas superficiales o subterráneas que se mantienen en esta condición saturada. La vegetación y el sustrato permiten la formación de una biopelícula que transforma las sustancias orgánicas e inorgánicas en material

aprovechable para poder ser fijado en la vegetación. Las plantas impiden la penetración directa de la luz solar evitando el crecimiento de algas y sus raíces además, facilitan la transferencia de oxígeno a través de la columna de agua. El resultado de esta interacción es un flujo de agua sin adición de patógenos, de bacterias, y de toxinas no-biodegradables obteniendo un efluente en condiciones aceptables para diferentes usos.[15].

En los humedales artificiales se llevan a cabo diferentes procesos de remoción de contaminantes del agua residual, Procesos tanto biológicos, físicos como químicos, esto se debe a las interacciones que se presentan entre todos los componentes que interactúan dentro del humedal.

Los principales procesos que se llevan a cabo en los humedales se observan en la tabla 2.

Tabla 2 Procesos de remoción para humedal

Parámetro evaluado	Proceso de remoción
Sólidos suspendidos	- Sedimentación / Filtración
DBO	- Degradación microbiana (aeróbica y anaeróbica) - Sedimentación
Nitrógeno Amoniacal	- Amonificación seguida por nitrificación y denitrificación amoniacal - Captado por la planta
Patógenos	- Sedimentación / filtración - Declinación - Radiación ultravioleta

Fuente: Brix, 1993; citado por Kolb, 1998

- **Remoción de sólidos suspendidos:** La mayoría de estos sólidos deben ser removidos durante el pretratamiento. En el humedal artificial se filtran y sedimentan los remanentes, gracias a la disminución de la velocidad del flujo ocasionada por la vegetación y el sustrato.[16].
- **Remoción de materia orgánica:** Este proceso se realiza por biodegradación aeróbica o anaeróbica. Intervienen también procesos físicos como la sedimentación y filtración cuando se fija la materia orgánica a los sólidos suspendidos. Los microorganismos heterótrofos presentan en el humedal utilizan la materia orgánica como fuente de alimentación y energía,

por lo tanto son ellos son responsables de esta remoción, teniendo en cuenta que el oxígeno disuelto es un factor limitante[16].

- **Remoción de nitrógeno:** La mayor parte de nitrógeno que entra al sistema es amonio. Los principales procesos que se llevan a cabo para la remoción de nitrógeno es la nitrificación y denitrificación, que ocurren en diferentes zonas del sustrato. El proceso inicia con la amonificación, nitrificación y termina con la denitrificación[16].

La amonificación se lleva a cabo por la mineralización del nitrógeno contenido en los orgánicos. La nitrificación necesita de oxígeno disuelto, amonio y dióxido de carbono, y junto con bacterias nitrificantes convierten los iones de amonio a nitrito y luego a nitrato. Y por último la denitrificación ocurre bajo condiciones anóxicas, donde se remueve el nitrógeno, el nitrato se convierte en nitrito, se produce óxido nítrico y gas nitrógeno que es perdido en la atmosfera[16].

- **Remoción de fósforo:** La mayoría de fósforo que entra al humedal se encuentra como ortofosfatos, y están disponibles para el metabolismo biológico inmediato. La remoción de ortofosfatos se da por la adsorción y las reacciones de precipitación en el sustrato. El fósforo está presente en el humedal como una sal soluble o minerales insolubles por lo tanto son transferidos fácilmente dentro del sistema[16].

2.2.3.1.1 Tipos de Humedales Artificiales

Existen dos tipos de humedales artificiales para el tratamiento del agua residual, se clasifican según el tipo de flujo que se presente, los de Flujo Superficial (SF) y los de Flujo Subsuperficial (SFS) [17].

En un humedal de Flujo Superficial (SF) el agua circula sobre la superficie del sustrato, y en el de Flujo Subsuperficial, el agua circula a nivel de la superficie del lecho o por debajo del sustrato, estos sistemas presentan una mayor capacidad de tratamiento, es decir, mayor capacidad para soportar la carga orgánica [17].

2.2.3.1.2 Componentes de un Humedal Artificial

Los humedales artificiales están constituidos por el compartimiento impermeable, el agua, el sustrato, las plantas y los dependientes a la interrelación de estos como lo son las comunidades de microorganismos.

2.2.3.1.2.1 Agua

El agua es la fase móvil dentro del humedal, la encargada del transporte de los contaminantes y en la cual se van a producir la mayoría de las reacciones responsables de la depuración[18]

2.2.3.1.2.2 Sustrato

En los humedales, el sustrato está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico. La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él [16].

Se han clasificado en dos tipos, los minerales o convencionales como suelo, arena, grava y materiales orgánicos, y los especialmente fabricados, de materiales económicos y diferentes formas geométricas, con la intención de incrementar el área superficial para obtener mayor contacto con el flujo de agua residual [19].

Estudios asociados a la comparación de sustratos utilizados en los humedales artificiales demuestran las ventajas que conlleva la utilización de medios soporte plástico (MSP), como las altas fracciones de espacios que llegan a ser mayores al 90 % y los amplios espacios intersticiales en el soporte [19].

2.2.3.1.2.3 Vegetación

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (tallos, raíces y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y el transporta el oxígeno de manera más profunda de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión[20].

De acuerdo a Lara (1999), las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y esorrentía de varias maneras:

- Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono, nutrientes y elementos traza y los incorporan a los tejidos de la planta.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.

2.2.3.1.2.4 Microorganismos

Siendo el humedal artificial un ecosistema, se genera una biocenosis constituida por los seres vivos que allí habitan, entre ellos se encuentran los microorganismos, que dependiendo de las características del humedal artificial variarán en especie y cantidad. Dentro de los microorganismos se encuentran bacterias, levaduras, hongos y protozoarios[18].

Una parte fundamental del proceso de depuración depende de la actividad microbiana, ya que son los microorganismos los encargados de transformar los nutrientes y el carbono orgánico en productos asimilables para la vegetación y fuente de energía para la formación de nueva biomasa microbiana[18].

2.2.3.1.3Tratamientos previos del afluente

El agua deberá ser tratada con antelación, con el objetivo de eliminar o disminuir la presencia de materiales que pueden obturar y desgastar los canales o saturar el humedal. Este tratamiento previo puede dividirse en dos etapas, en la primera se retiran los sólidos gruesos, grasas y arenas que puedan dañar o interferir en el proceso del humedal y en la segunda se retiene la materia en suspensión para evitar en la medida de lo posible la colmatación del humedal[20].

2.2.3.1.3 Mantenimiento y Monitoreo

Para realizar un adecuado mantenimiento será necesario identificar el periodo vegetativo, como también actividades de mantenimiento, incluyen: uniformidad del agua de flujo (entrada y salida de la estructura), administración de la vegetación, control de olor, control de animales molestos e insectos, y mantenimiento de reboses, diques y otras estructuras de control del agua[20].

El control del nivel del agua es el parámetro operacional más crítico, está actividad asegura la función del sistema como un humedal. Los rebordes deben ser periódicamente inspeccionados para garantizar su integridad[20].

Un mantenimiento adecuado de las conexiones de entrada y salida de las tuberías asegurará que estas estructuras no se obstruyan, así garantizamos el nivel y el flujo del agua. Asociado a las actividades de mantenimiento de obstrucción se incluyen remoción física de basuras o desechos de la sedimentación, lavado de las tuberías y tubo colector, y el uso de alta presión del agua para limpiezas periódicas[20].

2.3 MARCO CONCEPTUAL

Acidez Capacidad de una solución acuosa para reaccionar con iones hidroxilo. Se mide cuantitativamente por titulación con una solución alcalina normalizada y se expresa usualmente en términos de mg/L como carbonato de calcio [21].

Afluente Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento[22].

Aguas lluvias Aguas provenientes de la precipitación pluvial [21].

Aguas residuales Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria [22].

Álcali término que se aplica a los hidróxidos de amonio y otros metales alcalinos, y a los hidróxidos de estroncio, calcio y bario [23].

Alcalinidad Capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Esta capacidad se origina en el contenido de carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), hidróxidos (OH^-) y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos [21].

Analito Componente de interés analítico de una muestra[24].

Biodegradable Cualidad de un compuesto químico o sustancia de poder ser degradada por acción biológica [21].

Diversidad Expresa el número de especies y abundancia relativa de las mismas en una comunidad [25].

Biopelícula Película biológica adherida a un medio sólido que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica [22].

Carga de diseño Producto del caudal por la concentración de un parámetro específico; se usa para dimensionar un proceso de tratamiento, en condiciones aceptables de operación. Tiene unidades de masa por unidad de tiempo, (M/T) [22].

Carga orgánica Producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (kg/d) [21].

Caudal máximo horario Caudal a la hora de máxima descarga [22].

Concentración Denominase concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido, la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que lo contiene [22].

Conexiones Erradas Corresponden a conexiones fuera de lugar en los sistemas de alcantarillado separado. Una conexión de aguas residuales al alcantarillado pluvial es una conexión errada, así como una conexión de aguas lluvias al alcantarillado sanitario es una conexión errada [26].

Desarenadores Cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena) [22].

Destilación es el proceso que se utiliza para llevar a cabo la separación de diferentes líquidos, o sólidos que se encuentren disueltos en líquidos, o incluso

gases de una mezcla, gracias al aprovechamiento de los diversos puntos de ebullición de cada sustancia partícipe, mediante la vaporización y la condensación[24].

Efluente Líquido que sale de un proceso de tratamiento [22].

Eutrofización Crecimiento desmedido de la materia vegetal debido a un exceso de nutrientes en los medios acuáticos, que origina un aumento en la demanda de oxígeno [23].

Exactitud Es la cercanía del valor experimental al valor verdadero o teórico de concentración de compuesto de interés en la muestra examinada, en otras palabras, es la concordancia entre estos valores[9].

Factor de dilución Cociente del volumen (flujo o gasto) de agua de una corriente o cuerpo receptor, con el volumen (flujo o gasto) del desecho vertido en aquella [27].

Mantenimiento Conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones y/o equipos para prevenir daños o para la reparación de los mismos cuando se producen [21].

Método volumétrico manual método por el cual se toma un volumen de muestra y se mide el tiempo transcurrido desde que se introduce a la descarga hasta que se retira de ella, la relación de estos dos valores permite conocer el caudal en ese instante de tiempo [28].

Muestra puntual Muestra de agua residual tomada al azar en un momento determinado para su análisis. Algunos parámetros deben determinarse in situ y otros en el laboratorio [22].

Oxígeno disuelto Concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/L[22].

Patrón es una sustancia utilizada en química como referencia al momento de hacer una valoración o estandarización, teniendo una composición conocida que permite realizar los análisis y cálculos necesarios[24].

Pretratamiento Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario [22].

Proceso biológico Proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc.) [22].

Punto de descarga. Sitio o lugar donde se realiza un vertimiento al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo[29]

Repetitividad Es la precisión bajo las condiciones de repetitividad, es decir, condiciones donde los resultados de análisis independientes se obtienen con el mismo método en ítems de análisis idénticos en el mismo laboratorio por el mismo operador utilizando el mismo equipamiento dentro de intervalos cortos de tiempo[9].

Reproducibilidad Es la precisión bajo las condiciones de reproducibilidad, es decir, condiciones donde los resultados de los análisis se obtienen con el mismo método en ítem idénticos de análisis en condiciones diferentes ya sea de laboratorio, diferentes operadores, usando distintos equipos, entre otros[9].

Tiempo de retención hidráulico Tiempo medio teórico que permanecen las partículas de líquido en un proceso de tratamiento [30]

Titulación Es el proceso por el que se mide la cantidad o la concentración de una sustancia en un muestra, un reactivo llamado titulador de volumen y concentración conocida, se utilizada para que reaccione con una solución del analito de concentración desconocida[24].

Tratamiento biológico Procesos de tratamiento en los cuales se intensifican la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. Usualmente se utilizan para la remoción de material orgánico disuelto [22] .

Vertimiento. Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido[31].

2.4 MARCO LEGAL

NTC ISO/IEC 17025

Esta norma técnica especifica los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, en los que se encuentra la verificación para métodos normalizados

Resolución 5931 de 2008

Por la cual se deroga la Resolución 1813 de 2006 y se adoptan nuevos objetivos de calidad para los Ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y el Canal Torca en el Distrito Capital.

Resolución 3956 de 2009

Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos, realizados al recurso hídrico en el Distrito Capital. En esta resolución se establecen los parámetros de calidad de agua para vertimientos domésticos teniendo como referencia la resolución 5931 de 2008.

Decreto 3930 de 2010

Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. El artículo 31 menciona las soluciones individuales de saneamiento, especificando la obligatoriedad de dotarse de sistemas de recolección y tratamiento de residuos líquidos y de contar con el respectivo permiso de vertimiento, para edificaciones no conectados al alcantarillado público.

Acuerdo CAR 43 de 2010

Por la cual se establecen los objetivos de calidad de agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el 2020, especificando las concentraciones máximas admisibles dependiendo el tramo de la cuenca del río Bogotá.

3. DESARROLLO DE LA PASANTÍA

3.1 CAPACIDAD DEL LABORATORIO PARA DESARROLLAR MÉTODOS NORMALIZADOS.

A partir de listas de chequeo, se determinó la existencia y el estado de los equipos, reactivos y materiales necesarios para analizar los parámetros DBO₅, DQO, NTK y PT a partir de los siguientes métodos:

Demanda Bioquímica de Oxígeno

- Incubación 5 días (Electrométrico)
- Incubación 5 días (Manométrico)

Demanda Química de Oxígeno

- Colorimétrico de dicromato a reflujo cerrado.

Nitrógeno Total Kjendahl

- Método semi-micro Kjendahl titrimétrico.

Fósforo Total

- Digestión por persulfato - Método colorimétrico Ácido Fosfo vanado molibdico.

El formato utilizado para las listas de chequeo se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Formato de lista de chequeo para determinación del estado y existencia de equipos, materiales y reactivos.

Método	Equipos, Materiales y Reactivos	Existencia	Estado	Comentarios
Nombre del método	Nombre del equipo, material o reactivo	Si/No/No Aplica	Bueno/Regular/Malo	Información relevante respecto al equipo, material o reactivo

Fuente: elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en las listas de chequeo, se determinó la capacidad del laboratorio de Ingeniería Ambiental para realizar los análisis de los parámetros DQO, DBO, NTK y PT, teniendo en cuenta la clasificación de la tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de capacidad.

Clasificación	Descripción
Sin capacidad	El laboratorio no cuenta con uno o más equipos, reactivos o materiales para realizar el método los cuales requieren una alta inversión (más de \$1'500.000) o su tiempo de adquisición supera 30 días después de solicitarlo.

Capacidad incompleta	El laboratorio no cuenta con uno o más equipos, reactivos o materiales para realizar el método los cuales no requieren una alta inversión (más de \$1'500.000) o su tiempo de adquisición no supera 30 días después de solicitarlo.
Con capacidad	El laboratorio cuenta con todos los equipos, materiales y reactivos para realizar el método.

Fuente: elaboración propia.

3.2 VERIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS NORMALIZADOS

Teniendo en cuenta la capacidad con la que cuenta el laboratorio de Ingeniería Ambiental para llevar a cabo los métodos anteriormente mencionados, se realizó la verificación de cada uno de estos, por medio de la siguiente metodología:

1. Establecer los parámetros a evaluar.
2. Establecer las pruebas experimentales.
3. Establecer los criterios de aceptabilidad.
4. Desarrollar las pruebas experimentales.
5. Evaluar los resultados obtenidos.

- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)- Incubación 5 días (Electrométrico):

En la tabla 5 se especifican los aspectos que se tuvieron en cuenta para la verificación de este método.

Tabla 5. Metodología de verificación para método de DBO₅ incubación 5 días-electrométrico

Parámetros a evaluar	Exactitud
Pruebas experimentales	Análisis de patrón - Glucosa y ácido glutámico. Comparación con valor teórico
Criterios de aceptabilidad	Error entre $\pm 30,5$ mg/L

Fuente: elaboración propia.

Este método se fundamenta en estimar la cantidad de oxígeno (por medio de un electrodo de membrana) que necesitan los microorganismos para oxidar biológicamente la materia orgánica, en un periodo de incubación de 5 días a 20°C. Se realizó su verificación utilizando una solución patrón de glucosa con ácido glutámico que según la teoría contiene una DBO₅ de 198 $\pm 30,5$ mg/L.[12]

Para preparar este patrón se adicionaron 150 mg de glucosa y 150 mg de ácido glutámico previamente secos (103°C durante una hora) en agua de destilada aireada diluyendo a 1 L. Se sembró una solución del 2%, es decir, se adicionaron 6 mL del patrón en una botella Winkler de 300 mL, completando el volumen con agua de dilución aireada la cual se prepara de la siguiente manera:

Se adicionan por cada litro de agua destilada aireada 1 mL de cada una de las siguientes soluciones:

- Solución de cloruro férrico - 0.25 g de cloruro férrico hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) a 1 L de agua destilada.
- Solución de cloruro de calcio - 27.5 g de cloruro cálcico anhídrido (CaCl_2) a 1 L de agua destilada.
- Solución de sulfato de magnesio - 22.5 g de sulfato magnésico heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) a 1 L de agua destilada.
- Solución amortiguadora de fosfatos - 8.5 g de fosfato potásico monobásico (KH_2PO_4), 33.4 g de fosfato di-Sódico heptahidratado ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$), 21.7 g de fosfato Di-potásico (K_2HPO_4), 1.7 g de cloruro amónico, ($\text{NH}_4 \text{Cl}$) a 1 L de agua destilada.

Se midió el oxígeno disuelto inicial por medio de un electrodo de membrana, se tapó con sello de agua sin dejar burbujas de aire en la botella, seguido a esto se mezcló la muestra girando la botella manualmente varias veces. La muestra se incubo durante 5 días a $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$.

Pasados los 5 días, se midió el oxígeno disuelto en la botella y se calculó la DBO_5 por medio de la ecuación 1:

$$\text{DBO}_5 \text{ mg/L} = \frac{D_1 - D_2}{V_{\text{muestra}}} * V_{\text{botella}} \quad \text{Ecuación 1}$$

D_1 = Oxígeno disuelto inicial de la muestra diluida (mg/L).

D_2 = Oxígeno disuelto final de la muestra diluida (mg/L).

V_{muestra} = Volumen de muestra adicionado.

V_{botella} = Volumen de la botella Winkler.

Se comparó el valor experimental del patrón con el valor teórico, y se determinó si cumplía con el criterio de aceptabilidad.

- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5)- Incubación 5 días (Manométrica):**

En la tabla6 se especifican los aspectos que se tuvieron en cuenta para la verificación de este método.

Tabla 6. Metodología de verificación para método de DBO_5 incubación 5 días-manométrica.

Parámetros a evaluar	Exactitud
Pruebas experimentales	Análisis de patrón - Glucosa y ácido glutámico. Comparación con valor teórico
Criterios de aceptabilidad	Error entre $\pm 18\text{mg/L}$

Fuente: elaboración propia.

Los microorganismos que se encuentran en una muestra de agua que contiene materia orgánica biodegradable, usan oxígeno para sus procesos bioquímicos produciendo un volumen equivalente de dióxido de carbono[32].

Este método se lleva a cabo en un sistema cerrado. Contiene una fuente álcali que absorbe el dióxido de carbono permitiendo medir un descenso progresivo en la presión interna. Esta medición se realiza a través de un transductor de presión interno, controlado por un microprocesador que traduce el valor de presión a valores de DBO_5 [32].

Para la verificación del método se utilizaron soluciones con un contenido conocido de glucosa y ácido glutámico, grado puro, previamente secos a 105°C durante 1 hora.

Se preparó el patrón con 150 mg de glucosa y 150 mg de ácido glutámico en un litro de solución (agua destilada con nutrientes) que según la teoría contiene una $DBO_5 = 220 \pm 18 \text{ mg O}_2/\text{L}$. Esta solución consiste en adicionar

por cada litro de agua destilada 1 mL de cada una de las siguientes soluciones:

- Solución de cloruro férrico - 0.25 g de cloruro férrico hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) a 1 L de agua destilada.
- Solución de cloruro de calcio - 27.5 g de cloruro cálcico anhidrido (CaCl_2) a 1 L de agua destilada.
- Solución de sulfato de magnesio - 22.5 g de sulfato magnésico heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) a 1 L de agua destilada.
- Solución amortiguadora de fosfatos - 8.5 g de fosfato potásico monobásico (KH_2PO_4), 33.4 g de fosfato di-Sódico heptahidratado ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$), 21.7 g de fosfato Di-potásico (K_2HPO_4), 1.7 g de cloruro amónico, ($\text{NH}_4 \text{Cl}$) a 1 L de agua destilada.

En una botella de incubación se introdujeron 250 mL del patrón diluido 1:10 con agua destilada y se inoculó. Se introdujo un agitador magnético en la botella y se llenó el depósito de álcali con una cantidad de absorbente de hidróxido de potasio que no superara los agujeros.

Se colocaron las botellas dentro del equipo de agitación, posteriormente se introdujo el equipo de agitación dentro de un refrigerador termostático a $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$. Se esperó un tiempo de 20 a 30 minutos para que las muestras y el equipo llegaran a un equilibrio térmico. Finalmente fueron colocados los sensores de DBO_5 , reseteándolos e iniciando un nuevo ciclo de medición según el manual del equipo (Equipo Velp para determinación Manométrica de la D.B.O.).

Cada lote comprende tres botellas con el patrón glucosa-acido glutámico, un blanco para el agua de dilución y un blanco para agua de dilución inoculada. Pasados 5 días, se leyó el valor correspondiente a 5 días de incubación. Se comparó este valor experimental con el valor teórico y se determinó si el cumplía con el criterio de aceptabilidad.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)- Colorimétrico de dicromato a reflujo cerrado para rango medio (0-1500 mg/L).**

En la tabla 7 se especifican los aspectos que se tuvieron en cuenta para la verificación de este método.

Tabla 7. Metodología de verificación para método de DQO- Colorimétrico de dicromato a reflujo cerrado rango medio.

Parámetros a evaluar	Exactitud
Pruebas experimentales	Análisis de patrón - ftalato hidrógeno potásico. Comparación con valor teórico
Criterios de aceptabilidad	Error entre $\pm 15\%$

Fuente: elaboración propia.

Para la verificación de este método, se utilizó el patrón de ftalato hidrógeno potásico (KHP), con una DQO de 1000 mg O₂/L. El cual fue preparado pensando 0,425g de biftalato de potasio previamente seco a 110°C y aforando a 500 mL con agua destilada.

A partir de este patrón se realizaron diluciones para llegar a 50mg/L, 300 mg/L y 500 mg/L. Se utilizaron los viales Hanna HI 93754B – 25 los cuáles son los estándar del fotómetro Hanna HI 83099, existente en el laboratorio.

Para llevar a cabo las mediciones, se tomaron 2 mL de las diluciones y 2 mL de agua destilada para el blanco y se agregaron a los viales con una inclinación de 45°. Posteriormente se colocaron a digestión en el termoreactor de DQO durante 120 minutos a 150°C.

Al terminar este periodo de digestión, se esperó un tiempo aproximado de 20 minutos para que los viales llegaran a una temperatura de 120°C y se agitaron cuidadosamente. Luego de que estos llegaran a temperatura ambiente, se llevó a cabo la correspondiente medición en el fotómetro, tomando primero la medida del blanco preparado.

- **Fósforo Total (PT) - Digestión por persulfato - Método Ácido Fosfo vanado molibdico.**

En la tabla 8 se especifican los aspectos que se tuvieron en cuenta para la verificación de este método.

Tabla 8. Metodología de verificación para método de Fósforo total- Digestión por persulfato. Método ácido fosfo vanado molibdico.

Parámetros a evaluar	Exactitud
----------------------	-----------

Pruebas experimentales	Análisis de patrón - Patrón de fosfato. Calcular R^2 de los datos.
Criterios de aceptabilidad	$R^2 > 99\%$

Fuente: elaboración propia.

Este método fue verificado por medio de una solución patrón de fosfato, que se preparó disolviendo 219,5 mg de KH_2PO_4 anhidro en agua destilada y diluyendo a 1 litro; 1 mL de esta solución equivalente a 50 μg de P = 50 ppm de P.

A partir de este patrón se realizaron diluciones para llegar a valores de 0,5 mg/L de $\text{PO}_4\text{-P}$, 1 mg/L de $\text{PO}_4\text{-P}$, 2 mg/L de $\text{PO}_4\text{-P}$, 3 mg/L de $\text{PO}_4\text{-P}$, 4 mg/L de $\text{PO}_4\text{-P}$, 5 mg/L de $\text{PO}_4\text{-P}$, 7,5 mg/L de $\text{PO}_4\text{-P}$, 10 mg/L de $\text{PO}_4\text{-P}$, 15 mg/L de $\text{PO}_4\text{-P}$ y 18 mg/L de $\text{PO}_4\text{-P}$.

Se tomaron 100 mL de las diluciones y se les agregó 1 mL de solución de ácido sulfúrico (300 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) en aproximadamente 600 mL de agua destilada y aforar a 1 litro) y 0,4 g de persulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$). Posterior a esto, fueron colocadas en una plancha de calentamiento precalentada hasta llegar a un volumen final de 10 mL.

Se dejó enfriar y se agregó a cada muestra 20 mL de agua destilada, y una gota de solución indicadora de fenolftaleína. Se realizó la adición de NaOH 6N hasta llegar a un rosado suave y se agregó 1 mL de HCL 1+1. (Se verificó la acidificación con solución indicadora de fenolftaleína hasta que desapareció el color rosado). Se afora a 100 mL con agua destilada.

Para la determinación colorimétrica se tomaron 35 mL de este aforado en un balón de 50 mL, se adicionaron 10 mL de reactivo de vanadio-molibdato y se aforó a 50 mL con agua destilada.

El reactivo vanadio-molibdato se preparó de la siguiente manera:

- Solución A. Se disolvieron 25 g de molibdato de amonio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, en 300 mL de agua destilada
- Solución B. Se disolvieron 1,25 g de metavanadato de amonio NH_4VO_3 , por calentamiento hasta ebullición en 300 mL de agua

destilada. Se dejó enfriar y se agregaron 330 mL de HCl concentrado en baño de agua.

Se enfrió la solución B a temperatura ambiente, y se agregó la solución A, se mezcló y se aforó a un litro.

Después de 10 minutos, se realizó un barrido espectrofotométrico de absorbencia a 400, 420 y 470 nm. Con los resultados obtenidos se realizó una curva para cada longitud de onda (concentración vs absorbencia), con el rango de operatividad para cada longitud de onda presentado en la tabla 9.

Tabla 9 Rangos de operatividad

Rango de P (mg/L)	Longitud de onda (nm)
1,0-5.0	400
2,0-10	420
4,0-18	470

Adaptado de Standard methods of the examination of water and wastewater 21 Edición, 2005- Método de referencia SM 4500-P B(5) y C.

Se verificó que el R^2 entre los datos de cada curva obtenida fuera mayor al 99 %.

- **Nitrógeno Total Kjendahl - Método semi-micro Kjendahl titrimétrico.**

En la tabla 10 se especifican los aspectos que se tuvieron en cuenta para la verificación de este método.

Tabla 10. Metodología de verificación para método de Nitrógeno Total Kjendahl- Método semi-micro Kjendahl titrimétrico.

Parámetros a evaluar	Exactitud
Pruebas experimentales	Análisis de patrón - Cloruro de amonio. Comparación con valor teórico
Criterios de aceptabilidad	Error Para valores de 1- 9.9 ppm =11%, 10-99 ppm =7.3%, para valores mayores a 100 ppm =5.3%.

Fuente: elaboración propia.

Para la verificación de este método se utilizó un patrón de 1000 ppm de nitrógeno (N) que se realizó pesando 3,819 g de cloruro de amonio

previamente seco a 105 °C y llevándolo a 1 litro con agua destilada. Partiendo de este patrón se preparó una solución intermedia de 100 ppm de N, y luego de 2 ppm de N.

Se adicionaron 50 mL de cada una de los patrones y 50 mL de agua destilada para un blanco, a los tubos de digestión (un tubo por muestra). Se agregó a cada uno 350 mg de óxido de mercurio (HgO), 7 g de sulfato de potasio (K₂SO₄) y 10 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) junto con una perla de ebullición.

Posterior a esto, fueron llevados los tubos a digestión en el Digestor marca Velp Scientifica modelo DK6, programados con un primer set de 60 minutos a 200°C y un segundo set de 120 minutos a 370°C. Al terminar la digestión se dejó enfriar hasta 50°C.

Se destiló por 3 minutos cada una de las muestras, programando el Destilador de arrastre por vapor marca Velp Scientifica modelo UDK132, con 50 mL de agua destilada y 50 mL de NaOH al 34%. Se recogió el destilado en 25 mL de ácido bórico al 4%.

Se llevó a cabo la titulación de cada una de las muestras con una solución de 0,01M de H₂SO₄ hasta llegar al pH del ácido bórico al 4% que fue medido con anterioridad.

Finalmente, se determinó la concentración de NTK según la ecuación 2.

$$mg\ N/L = \frac{ml\ (A - B) \times N \times 14,000}{ml\ muestra} \quad \text{Ecuación 2}$$

A=Volumen de H₂SO₄ gastado en la titulación de la muestra, mL

B= Volumen de H₂SO₄ gastado en la titulación del blanco, mL

N = Normalidad del ácido utilizado en la estandarización

Se verificó que la diferencia porcentual relativa estuviera para valores entre 1 y 9.9 ppm = 11%, entre 10 y 99 ppm = 7.3%, y para valores mayores a 100 ppm = 5.3%.

3.3 DOCUMENTACIÓN DE LOS MÉTODOS NORMALIZADOS

Para la repetitividad y reproducibilidad de los métodos normalizados verificados, fue necesario realizar la documentación de estos por medio de guías de laboratorio, para futuros análisis de muestras reales. Dichas guías presentan la información que se muestra en la Ilustración 1.

The image shows a template for a laboratory guide. At the top left is the logo of UAN (Universidad Antonio Nariño) with the text 'Una Universidad con Presencia Nacional y Vocación Regional' to its right. Below the logo, there are two fields: 'TITULO DEL PARAMETRO' and 'TITULO DEL MÉTODO NORMALIZADO'. The main body of the form contains six numbered sections, each with a descriptive text: 1. FUNDAMENTO (Se especifica el principio teórico del método que se lleva a cabo además de los conceptos básicos a tener en cuenta para su comprensión y desarrollo.), 2. INTERFERENCIAS (Se indican las interferencias posibles para el desarrollo de método), 3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS (Lista de materiales, equipos y reactivos necesarios para llevar a cabo el método.), 4. PREPARACIÓN (Indica las instrucciones a llevar a cabo para la preparación de patrones, soluciones o diluciones.), 5. PROCEDIMIENTO (Proporciona los pasos a seguir para desarrollar el método.), and 6. CÁLCULO (Indican las ecuaciones y los cálculos necesarios para obtener los resultados.). At the bottom left, there is contact information for the 'Laboratorio de ingeniería Ambiental', 'Facultad de Ingeniería Ambiental', 'Dirección: Cra 3 este No.47a - 15', and 'Sede- Circunvalar'.

UAN
UNIVERSIDAD
ANTONIO NARIÑO

Una Universidad con Presencia
Nacional y Vocación Regional

TITULO DEL PARAMETRO
TITULO DEL MÉTODO NORMALIZADO

1. FUNDAMENTO.
Se especifica el principio teórico del método que se lleva a cabo además de los conceptos básicos a tener en cuenta para su comprensión y desarrollo.

2. INTERFERENCIAS.
Se indican las interferencias posibles para el desarrollo de método

3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.
Lista de materiales, equipos y reactivos necesarios para llevar a cabo el método.

4. PREPARACIÓN.
Indica las instrucciones a llevar a cabo para la preparación de patrones, soluciones o diluciones.

5. PROCEDIMIENTO.
Proporciona los pasos a seguir para desarrollar el método.

6. CÁLCULO.
Indican las ecuaciones y los cálculos necesarios para obtener los resultados.

Laboratorio de ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería Ambiental
Dirección: Cra 3 este No.47a - 15
Sede- Circunvalar

Ilustración 1. Formato de guía de laboratorio para documentar los métodos normalizados verificados.

Fuente: elaboración propia.

Esta documentación se llevó a cabo por medio de búsqueda bibliográfica acerca de los parámetros DBO_5 , DQO, NTK y PT y la descripción de sus respectivos métodos para ser analizados, además se tuvo en cuenta el análisis de muestras reales realizado en el laboratorio.

3.4 IDENTIFICACIÓN DE LA RED SANITARIA

Para la aplicación de los métodos normalizados verificados, se llevó a cabo el diagnóstico del manejo de vertimientos del agua residual doméstica generada en la sede Usme de la UAN. El primer paso para este diagnóstico fue identificar la red sanitaria de la sede.

Para dicha identificación, fue necesario realizar una búsqueda de información secundaria acerca de la red. Esta búsqueda se llevó a cabo en la sede Circunvalar, sede Sur y sede Usme de la UAN. Posterior a esto se realizaron cuatro visitas de campo a la sede Usme, en las cuales se efectuaron las siguientes actividades:

- Primera visita: Se determinaron visualmente los puntos de inspección y las fuentes generadoras de agua residual, realizando un recorrido por las instalaciones de la sede con guía del auxiliar de investigación Alcibíades Bohorquez, quien conoce la sede a la perfección. En este recorrido se estableció la nomenclatura a utilizar para los bloques (ver anexo 3), con el fin de facilitar el registro de la información. Se consultó acerca de la existencia de información secundaria relevante para el diagnóstico en esta sede.
- Segunda Visita: Se comprobó por medio de colorantes la procedencia y dirección del flujo de agua en cada punto de inspección del bloque 2 y 3. Levantando las tapas de cada uno de los puntos de inspección, se pudo realizar la observación de estos, además se determinó el material y diámetro de tuberías y el tipo de agua residual proveniente de las fuentes generadoras del bloque 2 y 3 (Ver nomenclatura en el anexo 3), finalmente se tomó el registro fotográfico de este procedimiento y se consignó la información.
- Tercera visita: Se comprobó por medio de colorantes la procedencia y dirección del flujo de agua en cada punto de inspección del bloque 1. Levantando las tapas de cada uno de los puntos de inspección, se pudo realizar la observación de estos, además se determinó el material y diámetro de tuberías y el tipo de agua residual proveniente de las fuentes generadoras del bloque 1 (Ver nomenclatura en el

anexo 3), finalmente se tomó el registro fotográfico de este procedimiento y se consignó la información.

- Cuarta Visita: Se Comprobó que los datos observados fueran coherentes con la información consignada anteriormente.

El estado de cada una de las fuentes de generación y de los puntos de inspección fue consignado en un formato de fichas técnicas el cual contiene la siguiente información:

- Nombre de la fuente generadora de agua residual o punto de inspección.
- Fecha de inspección.
- Descripción detallada.
- Recomendaciones (si las hay).
- Registro fotográfico, en el cual se indican las fuentes generadoras y los puntos de inspección señalando puntos de interés.
- Tabla donde se muestra información sobre el material de los tubos de conducción y su diámetro, el tipo de agua de alimentación y la procedencia (si es un tubo de entrada) o destino (si es un tubo de salida).

Para especificar la dirección del flujo de agua en el registro fotográfico de cada punto, se utilizó una flecha como se muestra en la Ilustración 2.



Ilustración 2. Símbolo que indica la dirección del flujo.

Fuente: elaboración propia.

Para identificar las tuberías se utilizó un cuadrado con una numeración en su interior como se muestra la ilustración 3.

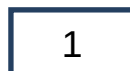


Ilustración 3 Figura para identificar las tuberías

Fuente: elaboración propia.

Cada una de las fuentes generadoras y puntos de inspección fueron descritas como se muestra en la Ilustración 4.

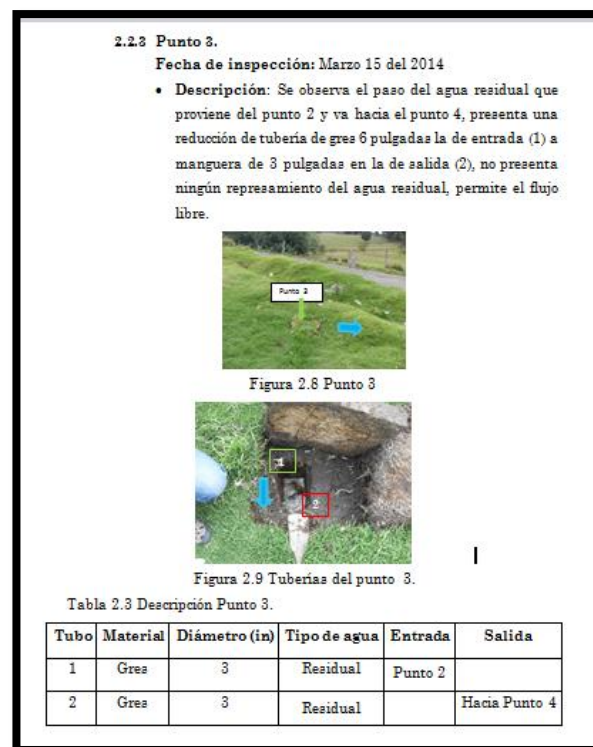


Ilustración 4. Ejemplo de ficha técnica para fuentes generadoras y puntos de inspección.
Fuente: elaboración propia.

3.5 MONITOREO Y CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

El monitoreo del agua residual doméstica de la sede Usme, se llevó a cabo con la siguiente metodología:

- Se seleccionaron los puntos, días y horas del monitoreo de acuerdo a las observaciones realizadas en las visitas de campo para la identificación de la red sanitaria. Se determinaron los 5 puntos más representativos o con condiciones especiales para la toma de muestras.
- Se prepararon los materiales, equipos, reactivos y formatos para el muestreo siguiendo el protocolo para la toma de

muestras de aguas residuales[28], además se realizó el etiquetado de las botellas para el muestreo, que fue diligenciado con la información general.

- Se realizó el desplazamiento al sitio de muestreo y la inspección del mismo en los días acordados con anterioridad. Cada punto de descarga dentro del muestreo fue debidamente georeferenciado.
- Se calibraron los equipos para la medición de parámetros in situ, el pHmetro, el turbidímetro y el oxímetro siguiendo los procedimientos del fabricante.
- En cada punto de descarga dentro del muestreo se midió el caudal del efluente por medio del método volumétrico manual, empleando el cronómetro y uno de los baldes aforados previamente con probetas graduadas.
- Se tomaron las muestras simples como se indica en el protocolo[28], y se midieron los parámetros de campo, (pH, turbidez, temperatura, oxígeno disuelto y sólidos sedimentables).
- Al terminar, cada botella fue colocada dentro de la nevera y se agregó suficiente hielo para refrigerar. Las muestras fueron dirigidas al laboratorio de Ingeniería Ambiental, refrigeradas a 4°C y almacenadas para su posterior análisis.

Los parámetros in situ fueron analizados en el monitoreo por medio de equipos portátiles con los que cuenta el laboratorio de la UAN. Cada parámetro in situ con su respectivo equipo de medición se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Parámetros analizados in situ con su respectivo equipo de medición.

Parámetro Insitu	Equipo
pH - Temperatura	HI 8424 medidor de pH/mV/T
Oxígeno Disuelto	HI 9142 Medidor de Oxígeno disuelto
Sólidos sedimentables	Conos Imhoff
Turbidez	HI 93703c Turbidímetro portátil

Fuente: elaboración propia.

Los parámetros DBO₅, DQO, NTK y PT fueron analizados en el laboratorio de Ingeniería Ambiental siguiendo los métodos normalizados de la tabla 12 anteriormente verificados.

Tabla 12. Parámetros analizados en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y métodos utilizados.

Parámetro	Método normalizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Incubación 5 días- electrométrico
	Incubación 5 días - manométrica
Demanda Química de Oxígeno	Colorimétrico de dicromato a reflujo cerrado
Fósforo Total	Digestión por persulfato - Método Acido Fosfo vanado molibdico.
Nitrógeno Total Kjendahl	Método semi-micro Kjendahl titrimetrico

Fuente: elaboración propia.

Para realizar la caracterización del agua residual doméstica según los anteriores parámetros, se utilizaron las guías de laboratorio (Anexo 2) realizadas previamente, las cuales contienen la metodología específica para desarrollar cada uno de los métodos.

3.6 DOCUMENTACIÓN DE LA DIVERSIDAD DEL MATERIAL VEGETAL PRESENTE EN EL HUMEDAL ARTIFICIAL

Además de la caracterización fisicoquímica de los vertimientos, fue necesario caracterizar otros elementos relevantes que intervienen en estos. La vegetación es uno de los componentes primordiales en el funcionamiento del humedal artificial, ya que dependiendo de las especies presentes en el, puede variar su comportamiento respecto a la depuración del agua residual. Conforme a esto, se elaboró una documentación en forma de fichas técnicas de la diversidad del material vegetal (Anexo 5) que se encontró dentro del humedal. Esta información fue obtenida con el fin de aportar documentación para futuras investigaciones. El formato para cada ficha técnica se muestra en la Ilustración 5.

FOTO DE LA PLANTA	Reino: División: Clase: Orden: Familia: Género: Especie: Nombre común:
• Descripción Botánica: • Forma de Propagación: • Hábitat y Ecología: • Origen y Distribución: • Usos:	
Hábito: Duración: Origen: Requerimiento de luz: Propagación: Profundidad: Frecuencia de la planta en humedales:	
FUENTE:	

Ilustración 5. Formato de ficha técnica para cada una de las plantas presentes en el humedal.

Fuente: elaboración propia.

Se comparó el estado inicial con el estado actual de la diversidad del material vegetal presente en el humedal, por medio de la información secundaria obtenida y con las visitas de campo realizadas. Para esta comparación se tuvieron en cuenta aspectos como la presencia o ausencia de las especies, crecimiento de las especies, cobertura de las especies y presencia de nuevas especies en el humedal.

3.7 EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL

La evaluación del humedal se llevó a cabo mediante la determinación de su eficiencia para la depuración de cada parámetro, verificando si es suficiente para cumplir con la legislación Colombiana legal vigente, y el redimensionamiento del humedal verificando si el área construida, teóricamente podría depurar la carga orgánica que ingresa.

La determinación de la eficiencia se llevó a cabo por medio de la ecuación 3.

$$E = \frac{(C_0 - C) * 100}{C_0}$$

Ecuación 3

Dónde:

E= Eficiencia

C₀= Concentración en el afluente.

C= Concentración en el efluente.

A partir del análisis de la caracterización del agua residual doméstica generada en la sede Usme de la UAN a la hora de máxima descarga, se realizó el dimensionamiento del humedal artificial por medio de la adaptación de la metodología descrita en el libro, Small Decentralized Wastewater Treatment Systems [33]. Se tomó esta metodología porque a diferencia de otras, esta contempla entre sus variables la porosidad del medio soporte, el cual es muy relevante en este caso por la utilización de un soporte plástico no convencional.

Fue necesario determinar la temperatura media mínima mensual del ambiente en el que se encuentra el humedal. Se calculó la constante de velocidad de reacción (kr) para DBO₅ para la temperatura media mínima, se tomó este parámetro ya que la metodología a utilizar parte de este para realizar el dimensionamiento, teniendo la constante de velocidad de reacción para 20°C (k₂₀) (obtenida de la literatura), por medio de la ecuación 4.

$$K_r = K_{20}(1,06^{T-20}) \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

- K_r = Constante de velocidad de reacción con corrección para temperatura.
- K₂₀ = Constante de velocidad de reacción a 20°C
- T = Temperatura media mínima (°C)

Se calculó el tiempo de retención (tiempo que el agua debe quedarse en el sistema para alcanzar el nivel de DBO₅ deseado) con la ecuación 5.

$$t = \frac{-\ln(C/C_0)}{K_r} \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

- t=Tiempo de retención (días)
- C=Concentración deseada en el efluente (norma) (mg/L)
- C_0 =Concentración en el afluente.(mg/L)
- K_r =Constante de velocidad de reacción con corrección para temperatura.(día⁻¹)

Se determinó el área de terreno necesario para la cama del humedal artificial por medio de la ecuación 6.

$$As = \frac{Q * t}{n * dw} \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

- As=Área superficial (m²)
- t=Tiempo de retención (días)
- n=Porosidad específica del sustrato
- d_w =Profundidad del lecho (m)
- Q=Caudal (m³/día)

Para determinar las dimensiones se utiliza la ecuación 7

$$W = \left[\frac{As}{R_A} \right]^{1/2} \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde:

- W= Ancho del humedal artificial
- As=Área superficial (m²)
- R_A = Proporción longitud/Ancho

Para calcular la longitud se utiliza la ecuación 8.

$$l = \frac{As}{W}$$

Ecuación 8

Dónde:

- L= longitud del humedal artificial
- W= Ancho del humedal artificial
- As=Área superficial (m²)

Se dimensionó el humedal para una situación real y una ideal.

- **Dimensionamiento de la situación real**

Según el muestreo realizado en el horario de máxima descarga, se estableció el valor de DBO₅ y el caudal a la entrada del humedal artificial.

Teniendo en cuenta la metodología mencionada se procedió a calcular el área superficial.

- **Dimensionamiento de la situación ideal**

Se propone una situación ideal, en la que se rediseñe la red sanitaria, eliminando las conexiones erradas, lo que permitiría el tratamiento de toda el agua residual, sin realizar diluciones y disminuyendo el caudal que entra al humedal.

Para esta situación se tomó como referencia el punto 1 de medición de la campaña 2, el cual es representativo para la carga orgánica en hora de máxima descarga antes de presentarse la dilución.

A partir de todo lo anterior y teniendo en cuenta la metodología mencionada se procedió a calcular el área superficial.

Además se realizó el dimensionamiento del humedal para un caudal y una concentración de diseño que contempló un periodo y población futura, lo anterior teniendo en cuenta que:

El RAS 2000 título E especifica:

“Para comunidades sin alcantarillado debe determinarse el caudal medio de diseño con base en la dotación de agua potable multiplicada por la población y un factor de retorno entre 0.70 y 0.80, más los caudales de infiltración, conexiones erradas y aportes institucionales comerciales e industriales”

Para el cálculo de la dotación se siguieron las recomendaciones contempladas en el capítulo B.2 [34], sobre “población, dotación y demanda” especificadas en la tabla 13 y 14.

Tabla 13. Especificación del nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	>60000	Alta

Fuente: Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico, sección 2, título E.

Tabla 14. Dotación neta según el nivel de complejidad del sistema

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta mínima (L/hab-día)	Dotación neta máxima (L/hab-día)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio Alto	130	-
Alto	150	-

Fuente: Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico, sección 2, título E

Población:

Para la población de diseño se analizó la evolución histórica de la población estudiantil y administrativo de la sede Usme de la UAN.

El caudal de diseño se calculó por medio de la ecuación 7.

$$Qd = P * D \text{ neta} * Fr + I + Ce$$

Ecuación 7

Dónde:

Qd=Caudal de diseño (L/día)

P=Población (hab)

Dneta=Dotación neta minima (L/(hab*día))

Fr=factor de retorno

I=Infiltraciones (L/día)

Ce=Conexiones erradas (L/día)

Concentración del Afluente:

Para estimar la concentración de la DBO₅ del afluente se tomó como referencia la tabla 15.

Tabla 15. Aportes per cápita para aguas residuales domésticas

Parámetro	Intervalo	Valor sugerido
DBO ₅ Días, 20°C, g/hab/día	25-80	50
Sólidos en suspensión, g/hab/día	30-100	50
NH ₃ -N como N, g/hab/día	7.4 - 11	8.4
N Kjeldahl total como N, g/hab/día	9.3 - 13.7	12
Coliformes totales, #/hab/día	2x10 ⁸ - 2x10 ¹¹	2x10 ¹¹
Salmonella Sp., #/hab/día		1x10 ¹¹
Nematodos intes., #/hab/ día		4x10 ¹¹

Fuente: Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico, sección 2, título E

Con esta información se procede a estimar la concentración de DBO₅, según la ecuación 8.

$$C = \frac{Ap * hab}{Q}$$

Ecuación 8

Dónde:

C=Concentración de DBO₅ en el afluente

Ap=Aporte per cápita de DBO₅

Hab=Habitantes

Q=Caudal

Este resultado de concentración y caudal teórico se utilizó para dimensionar el humedal por medio de la metodología mencionada anteriormente.

4. RESULTADOS

4.1 CAPACIDAD DEL LABORATORIO PARA DESARROLLAR MÉTODOS NORMALIZADOS.

Las listas de chequeo utilizadas al determinar la capacidad del laboratorio para ejecutar los métodos normalizados se encuentran en el anexo 1.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las listas de chequeo, se determinó que el laboratorio en condiciones generales presenta una capacidad incompleta para ejecutar los 5 métodos normalizados, principalmente por la falta de algunos reactivos, los cuales son indispensables para desarrollar los métodos. La clasificación de la capacidad se encuentra especificada en la tabla 16.

Tabla 16. Capacidad del laboratorio para desarrollar los métodos normalizados.

Método normalizado	Tipo de capacidad	Descripción
DBO ₅ Incubación 5 días electrométrico	Capacidad incompleta	El laboratorio no cuenta con 5 reactivos necesarios para el método.
DBO ₅ Incubación 5 días manométrico	Capacidad incompleta	El laboratorio no cuenta con 5 reactivos necesarios para el

		método.
Fósforo total - Digestión Por Persulfato –Método Ácido fosfo vanado molibdico.	Capacidad Incompleta	El laboratorio no cuenta con 2 reactivos necesarios para el método, ni con cámara de extracción.
DQO- Colorimétrico de dicromato a reflujo cerrado.	Capacidad Incompleta	El laboratorio cuenta con todos los equipos reactivos y materiales. Pero el fotómetro carece del adaptador de DQO, por lo que no se asegura la confiabilidad de los datos obtenidos.
NTK- Método semi-micro Kjendahl titrimetrico.	Capacidad incompleta	El laboratorio no cuenta con 2 reactivos necesarios ni con las perlas de ebullición (material)

Fuente: elaboración propia.

En general el laboratorio puede llegar a tener una capacidad completa para desarrollar los métodos, realizando una baja inversión (menor a 1'500.000) para cada uno de ellos.

Se resalta la importancia de adquirir la cámara de extracción ya que al no tenerla se está generando un riesgo de salud ocupacional para los operarios.

4.2 VERIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS NORMALIZADOS

- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)- Incubación 5 días (Manométrica):**

Este método se verificó según los criterios de calidad establecidos por el fabricante[32], llevando a cabo tres pruebas experimentales. Cada una de estas, contempló tres réplicas del patrón ácido glutámico- glucosa en diferentes diluciones, un blanco y un blanco inoculado.

Ninguna de estas pruebas experimentales cumplió con los criterios de aceptabilidad. Se registraron valores entre 6 y 25 mg/L de DBO₅, valores muy alejados respecto al valor teórico del patrón 220 ±18 mg/L.

Por lo tanto el método no fue verificado, sin embargo se recomienda una nueva verificación ya que se sospecha que los reactivos con los que fue realizado el patrón, se encontraban contaminados.

El resultado de esta verificación no significa que al realizar el procedimiento del método normalizado en muestras reales, no se obtengan resultados veraces, ya que los reactivos usados para la elaboración del patrón (glucosa y ácido glutámico), no son usados en este.

- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)- Incubación 5 días (Electrométrica):**

La verificación de este método fue realizada según el aseguramiento de calidad establecido por el estándar methods [12], llevando a cabo dos pruebas experimentales. Cada una de estas, contempló tres réplicas del patrón ácido glutámico- glucosa en diferentes diluciones, un blanco y un blanco inoculado.

Ninguna de estas pruebas experimentales cumplió con los criterios de aceptabilidad. Se registraron valores entre 10 y 20 mg/L de DBO₅, valores muy alejados respecto al valor teórico del patrón $198 \pm 30,5$ mg/L.

Por lo tanto el método no fue verificado, sin embargo se recomienda una nueva verificación ya que se sospecha que los reactivos con los que fue realizado el patrón, se encontraban contaminados.

El resultado de esta verificación no significa que al realizar el procedimiento del método normalizado en muestras reales, no se obtengan resultados veraces, ya que los reactivos usados para la elaboración del patrón (glucosa y ácido glutámico), no son usados en este.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)- Colorimétrico de dicromato a reflujo cerrado para rango medio (0-1500 mg/L).**

Los resultados de la verificación de este método se presentan en la tabla 17.

Tabla 17. Resultados de la verificación del método para análisis de la DQO- Colorimétrico de dicromato a reflujo cerrado para rango medio (0-1500 mg/L).

Valor teórico	Valor real	Error	Criterio de aceptabilidad
50	177	127	±2.5
300	440	140	±15
500	524	24	±25

Fuente: elaboración propia.

Este método no pudo ser verificado dado que los valores obtenidos en las pruebas experimentales a partir del patrón, sobrepasan los valores del criterio de aceptabilidad. Se asume que el error en los resultados es causado por la ausencia del adaptador de viales de DQO para el fotómetro(HI 83099) el cual fue solicitado al proveedor, pero el tiempo de adquisición superaba el tiempo destinado para este proyecto. Se diseñó e instaló en el equipo una especie de adaptador que permitió la lectura de los viales, pero con los resultados obtenidos se puede constatar que no fue lo suficientemente óptimo.

- **Fósforo Total (PT) - Digestión por persulfato - Método Ácido Fosfo vanado molibdico.**

Los resultados de la absorbancia obtenida al leer en el fotómetro los patrones de fósforo por cada una de las longitudes de onda se encuentran en la tabla 18.

Tabla 18 Resultados de la absorbancia de los patrones de fósforo según la longitud de onda

C ppm	Absorbancia								
	400 nm			420 nm			470 nm		
	1	2	Prom	1	2	Prom	1	2	Prom
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,028	0,029	0,0285	0,018	0,023	0,0205	0,006	0,01	0,008
1	0,051	0,052	0,0515	0,037	0,037	0,037	0,012	0,015	0,0135
2	0,097	0,098	0,0975	0,061	0,061	0,061	0,025	0,025	0,025
3	0,152	0,153	0,1525	0,092	0,097	0,0945	0,027	0,028	0,0275
4	0,184	0,184	0,184	0,115	0,12	0,1175	0,043	0,043	0,043
5	0,253	0,265	0,259	0,167	0,166	0,1665	0,058	0,059	0,0585
7,5	0,407	0,416	0,4115	0,253	0,254	0,2535	0,088	0,088	0,088
10	0,555	0,556	0,5555	0,347	0,347	0,347	0,112	0,111	0,1115
15	0,792	0,796	0,794	0,496	0,496	0,496	0,168	0,168	0,168
18	0,955	0,953	0,954	0,593	0,593	0,593	0,201	0,201	0,201

Fuente: elaboración propia.

A partir de estos resultados, se realizaron las curvas de calibración según los rangos de operatividad de la tabla 9, las cuales se muestran en la Ilustración 6.

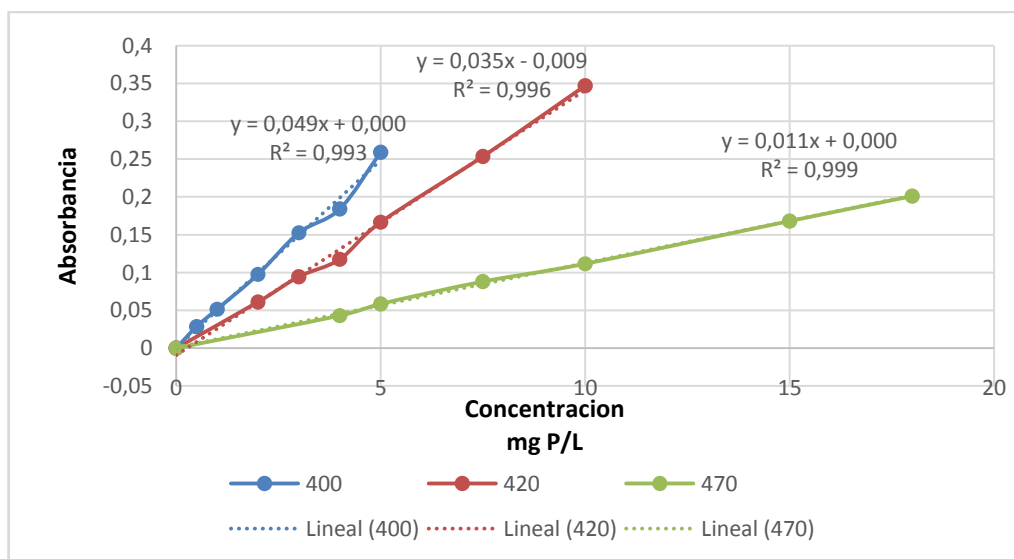


Ilustración 6. Curvas de calibración para patrones de fósforo total.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la tabla 19 muestran que el criterio de aceptabilidad para el R^2 de los datos se cumple para las curvas de las tres longitudes de onda.

Tabla19. Verificación del método para análisis de fósforo Digestión por persulfato - Método Ácido Fosfo vanado molibdico.

Longitud de onda	R ²	Criterio de aceptabilidad
400	99,31%	>99%
420	99,64%	
470	99,92%	

Fuente: elaboración propia.

La exactitud del método cumple con el criterio de aceptabilidad, con esto se puede corroborar su confiabilidad, por lo que al seguir la misma metodología con muestras reales se podrán obtener datos confiables. El método fue verificado.

- **Nitrógeno Total Kjendahl - Método semi-micro Kjendahl titrimetrico.**

Los resultados de la verificación de este método se presentan en la tabla 20.

Tabla 20. Verificación del método para análisis de NTK Kjendahl - Método semi-micro Kjendahl titrimétrico.

Valor teórico	Valor real	Error	Criterio de aceptabilidad
2	1,792	-0,208	±0,22
100	96,88	-3,12	±5,3
1000	1034,88	34,88	±53

Fuente: elaboración propia.

La exactitud del método cumple con el criterio de aceptabilidad, con esto se puede corroborar su confiabilidad, por lo que al seguir la misma metodología con muestras reales se podrán obtener datos veraces. El método fue verificado.

4.3 DOCUMENTACIÓN DE LOS MÉTODOS NORMALIZADOS.

Las guías de laboratorio que se realizaron para documentar los procedimientos para llevar a cabo paso a paso cada método normalizado y verificado se encuentran en el anexo 2. Se incluye una guía de laboratorio para cada uno de los siguientes métodos:

Demanda Bioquímica de Oxígeno

- Incubación 5 días (Electrométrico)
- Incubación 5 días (Manométrico)

Demanda Química de Oxígeno

- Colorimétrico - Reflujo Cerrado.

Nitrógeno Total Kjendahl

- Método semi-micro Kjendahl titrimétrico.

Fósforo Total

- Digestión por persulfato - Método colorimétrico Ácido Fosfo vanado molibdico.

4.4 IDENTIFICACIÓN DE LA RED SANITARIA

La UAN cuenta con los siguientes documentos como información secundaria relevante para la identificación de la red sanitaria de la sede Usme:

- Planos Arquitectónicos del colegio Antonio Nariño

Estos planos muestran la ubicación y las dimensiones de los bloques 1 y 2, no se encontraron registros del bloque 3.

Estos documentos no aportan información sobre la red sanitaria ni pueden ser utilizados para ubicar el humedal espacialmente, no proporcionan información relevante para el diagnóstico.

- Informe sobre la población de la sede Usme[35]

Este informe se renueva anualmente, tiene el número de estudiantes clasificados por género y grado de escolaridad, profesores, personal administrativo y de servicios generales, además de un dato de población flotante. No se encuentra establecido el número de estudiantes de veterinaria que visitan la sede. Este informe además muestra los periodos de actividad e inactividad del colegio, incluyendo los días culturales en los que la población flotante aumenta drásticamente.

Registra actualmente 19 docentes, 4 personas en el área administrativa, 2 en el área de servicios generales, 4 en mantenimiento, 379 estudiantes y 55 personas como población flotante, teniendo un total de 463 personas.

- Informe de caracterización de agua residual doméstica UAN Vía Usme, Mayo 2 de 2007[36]

Este documento elaborado por el laboratorio ANALQUIM LTDA en el 2007, muestra la caracterización fisicoquímica y microbiológica de tres puntos de la sede, una caja de inspección interna del colegio, la entrada al sistema de tratamiento de agua residual y por último la salida del mismo. Tiene como fin verificar la carga contaminante aportada y la eficiencia del humedal artificial. No tiene especificada la ubicación geográfica de la caja de inspección interna del colegio tomada como punto de muestreo. Presenta la comparación de los

resultados obtenidos de la muestra contra los valores permisibles de la resolución 1074 del 28 de Octubre de 1997 establecida por el DAMA para vertimientos a un cuerpo de agua y/o red de alcantarillado público (Derogada por el artículo 25 de la resolución 3956 de 2009), el cual cumple.

- Documento manejo de vertimientos sede Usme –UAN [37]

Este documento fue elaborado por la Facultad de Ingeniería Ambiental de la UAN en el 2007, menciona las condiciones de la época en el manejo de vertimientos, el cual incluye un humedal artificial como estación depuradora de agua residual. Se hace un resumen de los resultados obtenidos en el Informe de caracterización de agua residual doméstica realizado por ANALQUIM LTDA, señalando el cumplimiento de la resolución 1074 de 1997 y el incumplimiento del Decreto 1594 de 1984, pero señalando las bajas concentraciones y el bajo impacto generado al verter las aguas residuales al río Tunjuelo después de pasar por el humedal artificial.

El informe registra que la caja de inspección en la que se llevó uno de los muestreos compuestos no estaba conectada a las cajas que conducen la entrada al humedal, es por ello que las concentraciones varían drásticamente en estos dos puntos, como es el caso de la DBO la cual tiene una concentración de 161 mg/L O_2 en la caja y 20 mg/L O_2 en la entrada del humedal.

Para corregir este inconveniente, la Universidad propone unas condiciones futuras en las cuales se llevaría a cabo una obra civil de interconexión hidráulica con el fin de unificar el sistema pero actualmente no se cuenta con registros de la elaboración de la misma.

El documento también presenta un promedio ponderado en el que se mezclan las concentraciones de la caja no conectada y la entrada del humedal, esto con el fin de llevar a cabo el diseño y determinar el área del humedal que se requiere para depurar dicha mezcla.

Según estos cálculos los ocho baffles que se tienen contruidos con un área total de 82.5 m^2 no serían suficientes ya que se requerirían 434 m^2 , estos cálculos fueron realizados teniendo como referencia la metodología de diseño planteado por Kadlec et al, la cual corresponde a humedales con soporte pétreo. El humedal artificial de la sede cuenta con un medio soporte plástico que según las investigaciones reduciría hasta 5 veces el área necesaria para la depuración, con la misma eficiencia, asunción que aún no se ha comprobado. Debe tenerse en cuenta que este dimensionamiento se hizo con los caudales reportados para el año 2007, para un dimensionamiento correcto debe tomarse la población futura para un periodo de diseño adecuado.

Esta mezcla teórica no debería realizarse dado que se está teniendo en cuenta un caudal de agua lluvia alto que no debería entrar al humedal, además de presentarse una dilución de la carga contaminante. En este caso es necesario calcular la carga y el caudal de diseño de una manera teórica teniendo en cuenta la producción per cápita, y una ecuación de dimensionamiento del humedal que contemple la reducción del volumen por el uso del soporte plástico.

Se señalan unas condiciones futuras en las que se llevaría a cabo una obra civil para unificar las redes. Pero actualmente no se ha llevado a cabo la obra, se resalta la importancia de realizar la obra, ya que de no ser así, el sistema de tratamiento no podría aumentar su eficiencia, ya que el caudal es muy elevado y la carga contaminante se encuentra diluida por agua lluvia.

- Propuesta de desarrollo social, educativo, tecnológico y científico para el sur de Bogotá, en los predios de Usme de la UAN. Parque Eco-Tecnológico y campus Universitario para el sur de Bogotá[38]

La UAN propone un gran proyecto vinculado y comprometido con el futuro científico, tecnológico y cultural, que además tendrá implícito un enfoque netamente ambiental y social. El objetivo final es el de desarrollo de ciencia y tecnología de punta y vincularla con desarrollos industriales y empresariales del país y el mundo. El proyecto actualmente no se encuentra activo.

Por medio de esta propuesta, se dan a conocer características de la sede como su localización, área y usos del suelo. La localización de la sede Usme, corresponde al kilómetro 15 de la carretera a Usme. Según el plan territorial, se encuentra en la Localidad de Ciudad Bolívar por estar al margen occidental del Río Tunjuelito, pero tanto su área de influencia como su accesibilidad están en la Localidad de Usme. Cuenta con una Zona Urbana de 27 hectáreas, una Zona de Expansión de 118 hectáreas y una Zona Rural de 126 hectáreas, para un total de 271 hectáreas.

Como se pudo evidenciar, la información con la que cuenta la UAN respecto a la red sanitaria es incompleta, los planos arquitectónicos son los únicos planos con los que cuenta la sede y no están actualizados a los cambios realizados recientemente. Es necesario contar con los planos de la red sanitaria para realizar los ajustes y adecuaciones pertinentes, lo que se puede llevar a cabo con un levantamiento topográfico.

Posterior a la búsqueda de información secundaria, se realizó la identificación de los bloques, de las fuentes generadoras de agua residual y los puntos de inspección.

- El bloque 1 ubicado al costado suroccidental del predio del colegio tiene como fuentes generadoras de agua residual la alberca, el baño de mujeres el cual presentaba una fuga constante, el baño de profesores, el baño de rectoría y la cocina de profesores. Este bloque cuenta con 2 puntos de inspección. Los flujos de agua residual que se generan se mezclan en la segundo punto de inspección. La salida del segundo punto de inspección genera un vertimiento directo a la vegetación, encontrándose allí un parque infantil y la oficina de la rectoría muy cerca. Esto representa un incumplimiento al artículo 31 del Decreto 3930 del 2010 el cual exige la existencia de un sistema de recolección y de tratamiento para los residuos líquidos antes de ser vertidos y la resolución 3956 de 2009 en el artículo 10 el cual presenta las condiciones para vertimientos de aguas residuales.
- El bloque 2 tiene como fuentes generadoras de agua residual el baño de mujeres y el baño de hombres, estas aguas son conducidas

por 10 puntos de inspección hacia el bloque 3 que posteriormente llegan al humedal artificial. En el punto 4 se genera una dilución del agua residual dado que se mezcla con agua lluvia y el agua del rebosamiento de un tanque de agua tratada que se encuentra en la parte superior del colegio, esta llega al punto por medio de un canal. Se presenta una segunda dilución al mezclarse con agua conducida por el lavado de una carretera en el punto 7, estas aguas diluidas llegan al punto 1 del bloque 3. Además se observó la presencia de tuberías de agua potable en los puntos de inspección 5,6 y 7, que se encontraban dentro de la tubería de agua lluvia pero no había mezcla entre estas aguas.

- El bloque 3 tiene como fuentes generadoras de agua residual los baños mixtos, unos baños en desuso y la cocina; las aguas residuales producidas en los baños mixtos y la cocina son conducidas por los siete puntos de inspección del bloque hacia el humedal artificial; no se pudo determinar la ruta de las aguas residuales que se producirían en los baños en desuso.

Para observar la distribución espacial de los puntos de inspección y de los bloques de la sede, ver el Anexo 4

En general el estado de los puntos de inspección es deficiente, cabe resaltar que no cuentan con micro medidores, se encuentran colmatados por residuos sólidos, lo que se debe en primer lugar a la ausencia de cestos de basura en las instalaciones y alrededores del colegio y en segundo lugar a la ausencia de rejillas ubicadas en lugares estratégicos para evitar la entrada al sistema por arrastre de residuos sólidos, además de las malas condiciones estructurales y la falta de mantenimiento en todos los puntos de inspección.

RECOMENDACIONES

Partiendo de los resultados se realizan las siguientes recomendaciones generales y específicas.

- **RECOMENDACIONES GENERALES**

Las recomendaciones generales necesarias para mejorar la red sanitaria son:

- Unificar las tuberías de agua residual del bloque 1 con las del bloque 2 para así evitar el vertimiento directo a la vegetación, y asegurar el tratamiento para toda el agua residual generada en el colegio.
- Separar las aguas lluvia de las aguas residuales desde el punto 4 del bloque 2 por medio de una obra civil, para evitar la dilución de la carga contaminante y la entrada de exceso de caudal al humedal artificial en época de actividad del colegio.
- Implementar cestos de basura por toda la sede, para así disminuir la presencia de residuos sólidos en la red sanitaria.
- Implementar rejillas en lugares estratégicos como en los puntos de inspección para evitar el arrastre de residuos sólidos a la red tanto sanitario como de aguas lluvia.
- Rediseñar los puntos de inspección de tal manera que sean aptos para llevar a cabo muestreos y verificaciones periódicas, además de cumplir con las especificaciones técnicas exigidas.
- Elaborar el plan de mantenimiento de los puntos de inspección para evitar posibles colmataciones.
- Rediseñar el pretratamiento del humedal artificial ya que el que se encuentra actualmente es deficiente y no permite el correcto funcionamiento del mismo.
- Realizar el levantamiento topográfico del colegio.
- Revisar la ubicación de la cocina del bloque 3 para determinar la afectación o no de la cercanía al humedal artificial.
- Rediseñar el humedal artificial con la población actual y futura, utilizando la ecuación de dimensionamiento que incluya el aumento de remoción por el uso del soporte plástico.

• RECOMENDACIONES ESPECIFICAS

La tabla 21 contiene las recomendaciones específicas para las fuentes generadoras y los puntos de inspección que lo requieren.

Tabla 21. Recomendaciones específicas

BLOQUE	LUGAR	RECOMENDACION
1	FG Baño niñas	Realizar mantenimiento para eliminar la fuga.
1	PI 2	Sellar este punto de inspección y llevar las aguas

		que llegan a este punto al punto de inspección 1, para luego unificar las aguas con la red del bloque 2 que llega al humedal.
2	PI 1	Es necesario aumentar la profundidad en este punto ya que con la profundidad actual no sería posible realizar mediciones, caracterizaciones, etc, Como segunda recomendación se propone sellar la tubería en desuso para evitar estancamiento del agua.
2	PI 2	Aumentar la pendiente y los periodos de mantenimiento.
2	PI 4	Se recomienda hacer la separación de agua lluvia y agua residual en este punto, además de implementar un sistema para realizar la alimentación del humedal con agua lluvia en periodos de inactividad del colegio.
2	PI 6	Reubicar la red de agua potable.
2	PI 8	Realizar el cambio de la tapa junto con el mantenimiento del punto de inspección.
3	FG Baños en desuso	Es necesario identificar a donde se dirigen las aguas de estos baños, por medio de levantamiento topográfico.
3	FG Cocina	Revisión de la ubicación del casino, para determinar la afectación o no de la cercanía al humedal artificial.
3	PI 2a	Implementar una trampa de grasas para retener aceites y tensoactivos del agua residual proveniente de la cocina. Sellar la tubería (4) para que toda el agua residual que llega a este punto sea dirigida al punto 2 y posteriormente a los desarenadores.
3	PI 3	Es necesario implementar un sistema de rejillas antes de entrar a este punto. El diseño actual de los desarenadores no es el adecuado, el tubo que conecta los dos desarenadores no permite un tiempo óptimo de retención hidráulica lo que disminuye la eficiencia, es necesario rediseñarlos.

3	PI 4	Sellar este punto, ya que no es necesario.
3	PI 5	Sellar este punto, ya que no es necesario.

FG: fuente generadora, PI: Punto de inspección

4.5 MONITOREO Y CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

Las dos campañas de muestreo se establecieron para horarios diferentes, esto con el fin de comprobar el horario de máxima descarga de la sede y analizar las variaciones en los parámetros más significativos. La primera campaña se realizó en horario de descanso escolar (8:50 am a 9:40 am) el día 6 de Agosto de 2014 y el segundo muestreo se realizó en el horario de almuerzo del colegio (12:30pm a 1:30pm) el día 13 de Agosto del 2014.

Para las dos campañas fueron seleccionados 5 puntos representativos los cuales se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22. Descripción de puntos de muestreo

PUNTO	NOMBRE	GEOREFERENCIACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Punto de inspección 4 del Bloque 2	H: 2723 m N: 04°29'0,6" HO: 74° 0,7' 24,36"	Este punto es tomado como representativo del agua residual doméstica antes de diluirse con agua lluvia y agua de escorrentía
2	Punto de inspección 9 del Bloque 2	H: 2715 m N: 04°29'0,84" HO: 74° 0,7' 22,5"	Este punto es tomado como representativo del agua residual doméstica al diluirse con agua lluvia y agua de escorrentía.
3	Punto de inspección 3 del Bloque 3	H: 2714 m N: 04°29'0,78" HO: 74° 0,7' 21,66"	Este punto es tomado como representativo del agua residual doméstica que entra al sistema de tratamiento, después de diluirse con agua lluvia y agua de escorrentía además de recibir una nueva carga de agua residual doméstica.
4	salida del sistema de tratamiento de agua residual (humedal	H: 2709 m N: 04°29'1,44" HO: 74° 0,7' 20,76"	Este punto es tomado como representativo de la calidad del agua después de pasar por el sistema de tratamiento

	artificial)		
5	Punto de inspección 2 del bloque 1	H: 2728 m N: 04°28'56,86" HO: 74° 0,7' 25,75"	Este punto es tomado como representativo del vertimiento directo a la vegetación.

Fuente: elaboración propia.

*La nomenclatura usada corresponde a la presentada en el Anexo 3

El punto 5, a pesar de ser un punto de inspección importante para estimar el volumen y la concentración de contaminantes que son vertidos sin tratamiento alguno a la vegetación, no pudo ser muestreado, ya que las condiciones físicas del lugar no lo permitieron. La ilustración 7 muestra el vertimiento, el cual fue teñido con un colorante para facilitar la identificación de su recorrido, además de mostrar las condiciones físicas que imposibilitaron el muestreo.



Ilustración 7 condiciones físicas del punto de muestreo 5

Fuente: elaboración propia.

4.5.1 Condiciones del muestreo

- Condiciones climatológicas

- Campaña 1

Durante el tiempo de muestreo, se presentó lluvia constante.

- Campaña 2

Durante el tiempo de muestro, predominó el cielo nublado y se presentaron lloviznas intermitentes.

- Condiciones especiales

- Campaña 1

Durante el tiempo de muestreo, la sede realizó el mantenimiento de las cajas de agua lluvia las cuales hacen parte de la red sanitaria, por lo tanto fue necesario esperar un tiempo prudente para que se estabilizaran las condiciones y posteriormente realizar la toma de muestras.

- Campaña 2

Las cajas de inspección que conforman la red sanitaria se encontraban estancadas por causa de presencia de residuos sólidos, por lo que antes de llevar a cabo el muestreo en cada punto, fue necesario realizar una limpieza en ellas y esperar un tiempo prudente para que se generara un caudal constante.

4.5.2 Preservación, materiales, equipos y métodos utilizados

La preservación, los materiales, los equipos y los métodos utilizados, corresponden a los recomendados en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”[12] y el “Protocolo para toma de muestras de aguas residuales”[28]. En la Tabla 23 se muestra el método de preservación y material utilizado para cada uno de los parámetros a analizar.

Tabla 23. Preservación y material utilizado según parámetro.

PARÁMETRO	RECIPIENTE	PRESERVACIÓN	MÉTODO
DBO ₅	Plástico	Refrigeración 4°C	Incubación 5 días (electrométrica y manométrica)
DQO	Vidrio ámbar	Refrigeración 4°C y 0,8mL de H ₂ SO ₄ /L	Colorimétrico de dicromato a reflujo cerrado
NTK	Vidrio ámbar	Refrigeración 4°C y 0,8mL de H ₂ SO ₄ /L	Semi micro Kjendahl titrimetrico
PT	Vidrio ámbar	Refrigeración 4°C y 0,8mL de H ₂ SO ₄ /L	Digestión por persulfato método ácido fosfo vanado molibdico

Fuente: elaboración propia.

Para las mediciones de los parámetros in situ pH, Temperatura (T), Turbidez, Oxígeno Disuelto (O.D) y Sólidos sedimentables (SS), se utilizaron los equipos presentados en la Tabla 24.

Tabla 24. Equipos utilizados para la medición de parámetros in situ.

PARÁMETRO	EQUIPO	MARCA/REFERENCIA
pH y Temperatura	Medidor portátil	Hanna/ HI 8424
Turbidez	Turbidímetro portátil	Hanna/ HI 93703c
Oxígeno Disuelto	Oxímetro	Hanna/ HI 9142
Sólidos sedimentables	Conos Imhoff	

Fuente: elaboración propia.

4.5.3 Parámetros analizados in situ

- **Caudal**

El caudal fue determinado mediante el método volumétrico puntual para cada uno de los 4 puntos de muestreo en las dos campañas que se llevaron a cabo.

Los valores reportados para caudal en los puntos de muestreo de las dos campañas presentan variaciones significativas (Ilustración 8). Durante la campaña 1 se presentó lluvia constante, lo que se ve representado en el aumento drástico del punto 1 con un valor de 0,058 L/s al punto 2 con 0,51 L/s. Comportamiento que no se observa en la campaña 2, que a pesar de presentarse lloviznas intermitentes se observa una disminución del caudal entre estos dos puntos, un valor de 0,17 L/s en el punto 1 y 0,04 L/s en el punto 2. Se asume que este comportamiento se presenta cuando no hay un volumen considerable de agua lluvia, ya que la mayoría de cajas de muestreo no se encuentran recubiertas con ningún material impermeable, lo que posibilita la infiltración del agua residual en el terreno.

En las dos campañas se observa una disminución del caudal entre el punto 3, que representa el afluente del sistema de tratamiento y el punto 4 el cual representa el efluente del mismo, esta disminución es evidencia de que se aumenta la capacidad de recepción de agua, es decir, se amplía el volumen de almacenamiento por la misma infraestructura del sistema de tratamiento, lo que ocasiona dicha disminución a la salida.

Estos resultados muestran que es necesario continuar con un plan de monitoreo para identificar el comportamiento de la cantidad de agua a tratar, ya que los resultados de estas dos campañas no permiten establecer un patrón de flujo del sistema.

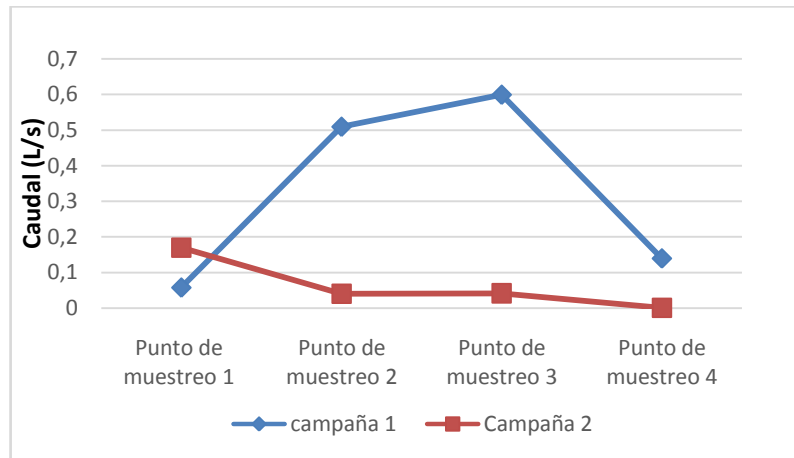


Ilustración 8. Variación del Caudal en función de los puntos de muestreo. Fuente: elaboración propia.

- **Oxígeno Disuelto (OD)**

Los resultados del OD para las dos campañas se observa en la Ilustración 9. En forma general se muestra que el consumo de oxígeno disminuye durante el trayecto, lo cual puede ser atribuido al proceso de descomposición de materia orgánica. Es importante resaltar que a pesar del aumento del caudal en el punto 2 de la campaña 1 debido al ingreso de agua lluvia, el sistema no tiene la suficiente capacidad de reaeración para aumentar la cantidad de oxígeno.

Se presenta un descenso de la concentración de OD al pasar por el sistema de tratamiento. Esta disminución se debe al consumo de oxígeno por parte de los microorganismos para llevar a cabo la oxidación biológica de compuestos nitrogenados orgánicos y amoniacales que típicamente se encuentran en gran concentración en las aguas residuales domésticas.

Los resultados de las dos campañas presentan alguna similitud pero es importante realizar más monitoreos para encontrar una tendencia más clara.

EL valor de OD en el efluente del sistema de tratamiento para la campaña 1 es de 0 mg/L y para la campaña 2 es de 0,5 mg/L, valores que se

encuentran por debajo del valor mínimo permisible de la normativa para este parámetro, el cual es 8 mg/L, esto evidencia que el sistema de tratamiento no es el adecuado o que requiere alguna optimización al proceso.

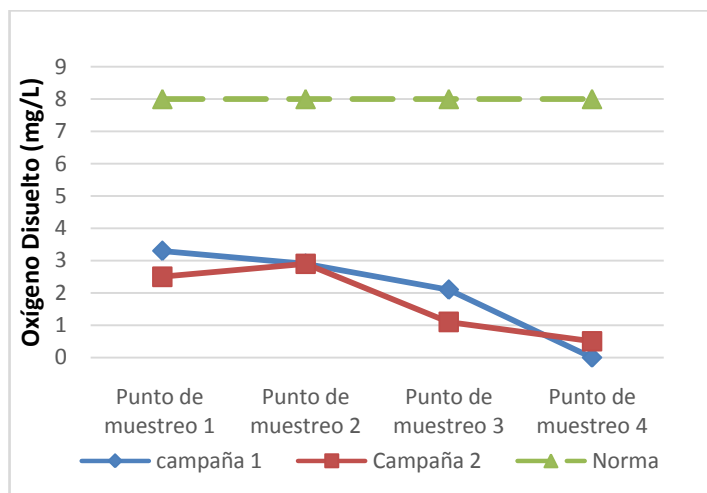


Ilustración 9. Variación del OD en función de los puntos de muestreo.
Fuente: elaboración propia.

- **pH**

Los valores reportados de pH para los puntos de muestreo se encuentran entre 6,43 y 7,07 unidades (ilustración 10). Se observa una concentración típica de aguas residuales domésticas, aunque no se evidencia una tendencia marcada. Los valores registrados en todos los puntos a excepción del punto 2 en la campaña 2 cumplen con la normativa, por lo cual el pH no representa un impacto significativo.

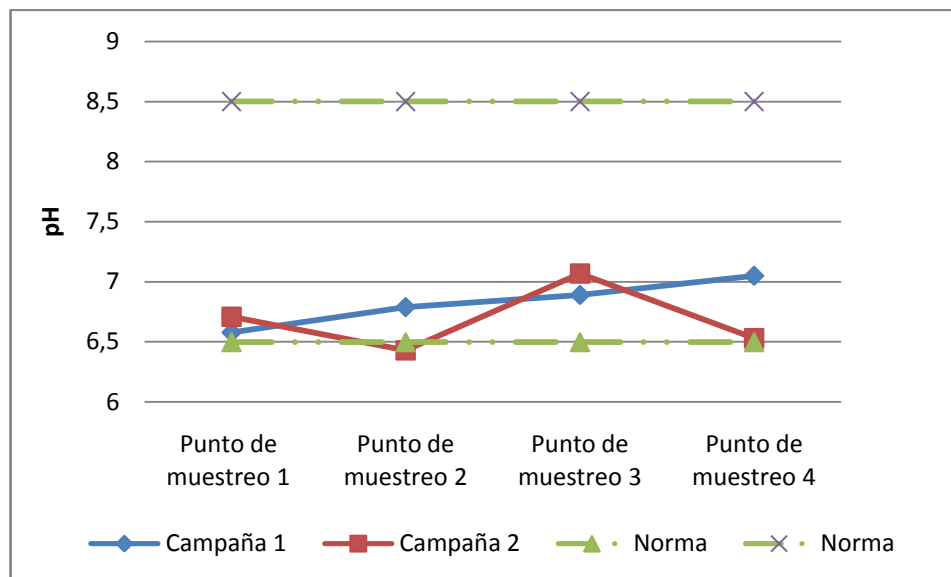


Ilustración 10. Variación del pH en función de los puntos de muestreo. Fuente: elaboración propia.

• Turbidez y Sólidos Sedimentables

El comportamiento de la turbidez y los sólidos sedimentables para las dos campañas se encuentran en la Ilustración 11 y 12. Estos dos parámetros presentaron la misma tendencia en cada una de las campañas. En la campaña 1, se presenta un aumento del punto 1 al punto 2 y vuelve a aumentar considerablemente en el punto 3, esto se debe al gran arrastre de sedimentos que ocasiono la lluvia ese día. Los puntos de inspección que se encuentran antes de llegar al punto de muestreo 3, no se encuentran impermeabilizados ni cuentan con las condiciones hidráulicas adecuadas, por lo tanto hay arrastre de tierra y material vegetal. El valor en el punto 4, que corresponde al efluente del humedal artificial, tiene una reducción en su valor. Esta disminución se debe a que el humedal filtra y sedimenta los sólidos por medio de las raíces de la vegetación y el soporte, reduciendo la velocidad del flujo que favorece estos dos procesos [16].

En la campaña 2 no se presentaron lluvias, se puede observar un comportamiento más uniforme, una alta turbidez en el punto de muestreo 1, por causa del vertimiento de los baños a la hora del almuerzo, una reducción en el punto 2, debida a la sedimentación de sólidos durante el recorrido por la red sanitaria, la cual presentaba represamiento por los residuos sólidos que ingresaron. Un pequeño aumento en el punto de muestreo 3 debido al ingreso de un vertimiento proveniente del bloque 3 y

finalmente otro aumento al salir del humedal, muy similar al obtenido en la campaña 1.

Esta similitud evidencia la colmatación de sólidos dentro del humedal, debido a la ausencia del pretratamiento, el cual es el encargado de remover la mayoría de sólidos presentes en el agua residual. Los valores encontrados en el punto 4 son representativos de la concentración de fondo en el humedal, la cual no podrá disminuir hasta que se lleve a cabo el respectivo mantenimiento y la implementación del pretratamiento.

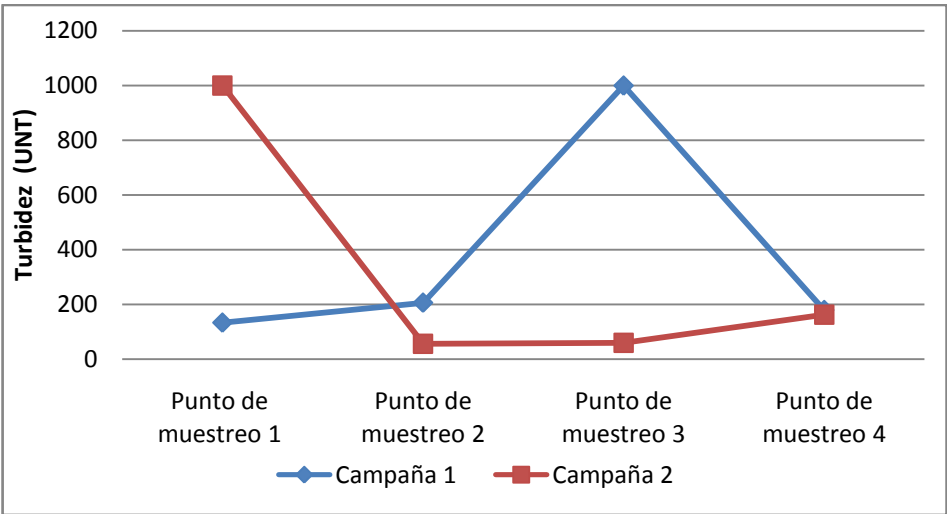


Ilustración 11. Variación de la turbidez en función de los puntos de muestreo.
Fuente: elaboración propia.

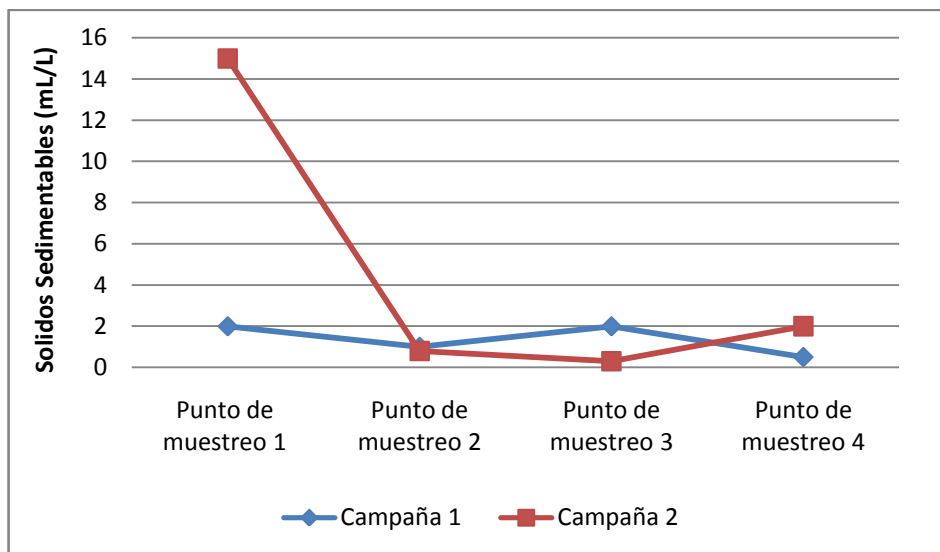


Ilustración 12. Variación de los sólidos sedimentables de los puntos de muestreo.

Fuente: elaboración propia.

4.5.4 Parámetros analizados en laboratorio

A partir de las guías de laboratorio que se plasmaron para los métodos normalizados verificados y no verificados que se llevaron a cabo, se realizó la caracterización del agua residual doméstica con base en los parámetros DBO_5 , DQO, NTK y PT.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)**

La ilustración 13 presenta el comportamiento de la DBO_5 . Se observa una alta variación en todos los puntos de muestreo, sin embargo, se presenta en las dos campañas una tendencia marcada, la cual corresponde a la esperada al identificar la red sanitaria. La campaña 2 presenta mayores concentraciones en todo el trayecto, esto se debe al horario del muestreo, obteniendo una mayor carga en la hora del almuerzo.

La tendencia para las dos campañas muestra una alta DBO_5 en el punto 1, ocasionada por la carga orgánica que proviene del bloque 2. Luego se observa una clara disminución, debida a la dilución causada al ingresar un alto volumen de agua lluvia, de nuevo un aumento significativo al ingresar por segunda vez una carga orgánica del bloque 3. Finalmente se observa el efecto del sistema de tratamiento que disminuye el valor de la

concentración de la DBO_5 debido al metabolismo de los macro y microorganismo heterótrofos aerobios y anaerobios, los cuales utilizan los compuestos orgánicos presentes en el agua residual para producir biomasa. La ilustración también evidencia el incumplimiento de la normativa. La concentración de la salida del sistema de tratamiento en las dos campañas supera el valor máximo permisible (5mg/L), a pesar de que ingresa una concentración muy diluida.

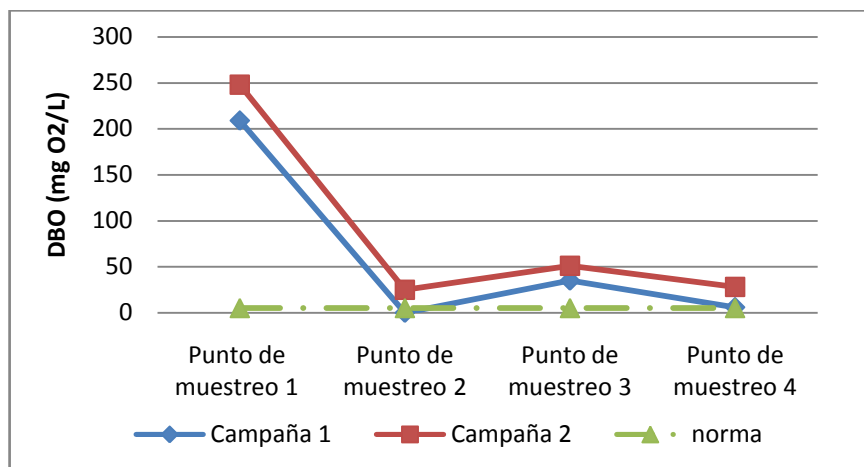


Ilustración 13. Variación de la DBO_5 en función de los puntos del muestreo.
Fuente: elaboración propia.

La Ilustración 14 presenta la relación entre el OD y DBO_5 . Se puede evidenciar que coincide el comportamiento inversamente proporcional que debe presentarse teóricamente entre estos dos parámetros. En presencia de OD, los microorganismos aerobios degradan la materia orgánica, y a medida que el OD disminuye, la capacidad de degradación también lo hace, presentándose valores altos de DBO . Se observa un valor atípico en el punto 2 de la campaña 1, este valor atípico puede deberse a errores en la medición.

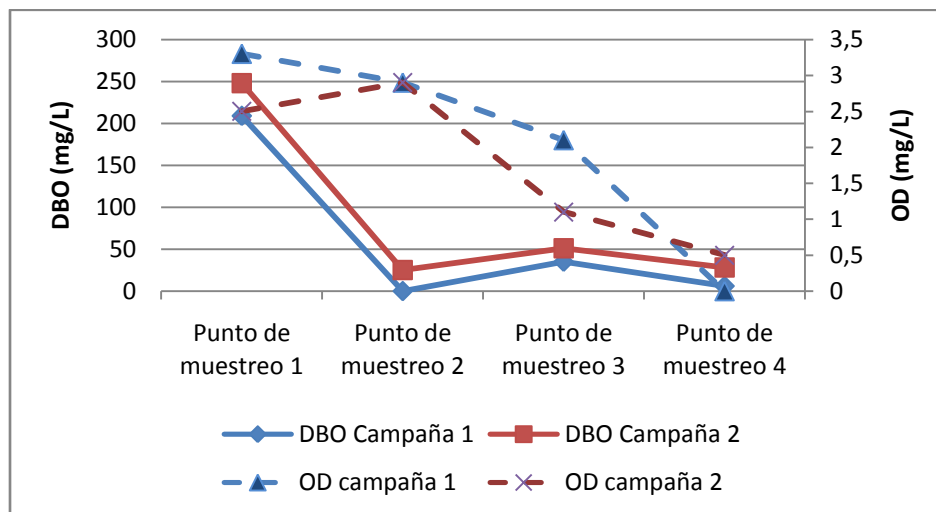


Ilustración 14. Relación entre la DBO y el OD.

Fuente: elaboración propia.

• Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Por falta del adaptador para viales de DQO para el fotómetro HI 83099 determinado en las listas de chequeo (Anexo 1), el método de DQO no cumplió con los criterios de aceptabilidad en la verificación, a pesar de utilizar un prototipo de adaptador. Sin embargo, se analizó el parámetro de DQO por ese método para determinar una tendencia, a pesar de que la exactitud no es confiable.

En la ilustración 15, se presenta similitud en la tendencia del comportamiento de este parámetro para las dos campañas; en el primer trayecto disminuye la concentración por la dilución con agua lluvia, en el siguiente trayecto aumenta el valor por la entrada de agua residual proveniente del bloque 3, y en el último trayecto, vuelve a disminuir su valor debido a la remoción que se realiza en el sistema de tratamiento.

Los valores de salida de este para las dos campañas no cumplen con el valor máximo permisible de la normativa para vertimientos que es un valor de 30 mg/L. La relación de la DBO₅ y la DQO, es evidencia de que solo se están eliminando los compuestos orgánicos, el sistema no realiza la reducción de todos los compuestos tanto orgánicos como inorgánicos.

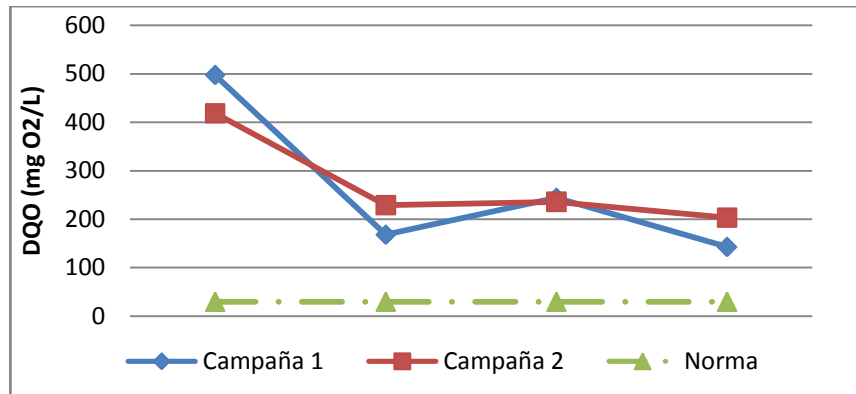


Ilustración 15. Variación de la DQO en función de los puntos del muestreo. Fuente: elaboración propia.

La ilustración 16 muestra una clara relación entre la DBO₅ y la DQO, lo que asegura una mayor confiabilidad en los datos, se puede observar como la DQO supera siempre en concentración a la DBO₅.

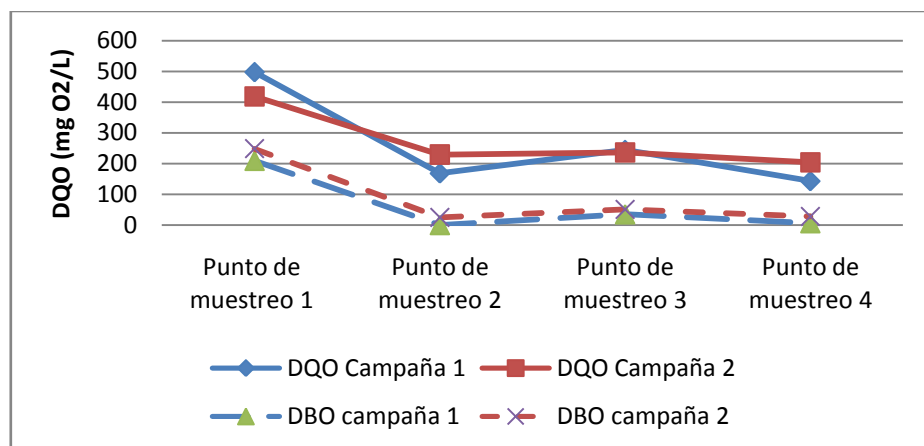


Ilustración 16. Relación de la DBO y la DQO

Fuente: Elaboración propia

- **Nitrógeno Total Kjendhal (NTK)**

Como se muestra en la ilustración 17, los valores de NTK en el punto 1 de muestreo de las dos campañas son demasiado elevados, en comparación con los puntos 2,3 y 4 de muestreo. Esto es consecuencia de que en el punto 1 se toma el agua directamente de la descarga, a diferencia de los otros puntos que es la dilución que se genera por la entrada de agua lluvia al sistema. La tendencia de los resultados obtenidos es coherente con el

comportamiento que se asumía por la identificación de la red sanitaria, en el punto 2 el valor es bajo por la dilución con agua lluvia, en el punto 3 el valor aumenta por la entrada de agua residual del bloque 3, y en el punto 4, disminuye por la remoción que se genera en el humedal.

La norma exige valores para nitrógeno total (NT) de 1,5 mg/L, como se conoce que el NTK equivale aproximadamente al 80% del NT, si los valores de NTK superan el valor de la norma, el nitrógeno total también está incumpliendo. Los valores de NTK a la salida del humedal para las dos campañas superan el valor de la normativa de 1.5 mg/L.

La capacidad de remoción de compuestos en los humedales artificial se debe a la relación entre el tiempo de retención hidráulica, la acción filtrante del soporte y la actividad biológica del sistema. Dentro del humedal ocurren los procesos de amonificación, nitrificación y denitrificación, los cuales se dan a un tiempo de retención hidráulico específico, formándose en primer lugar amonio (NH_3), nitritos (NO_2) y nitratos (NO_3) y finalmente eliminándolo del sistema en forma de N_2 . Es necesario realizar una evaluación del tiempo de retención hidráulica del sistema, dado que esto puede estar afectando el proceso de formación de Nitrógeno gaseoso, lo que no permitiría la eliminación de este, antes de la salida del humedal.

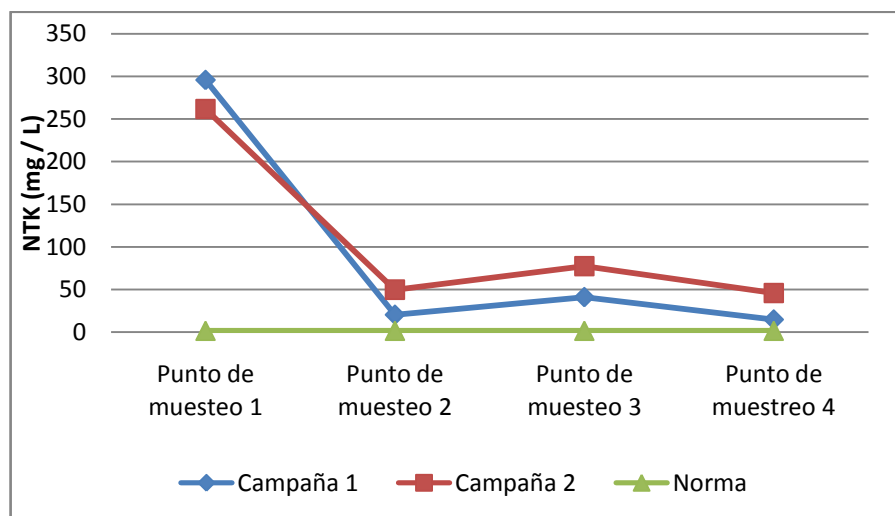


Ilustración 17. Variación del NTK en función de los puntos del muestreo. Fuente: elaboración propia.

- **Fósforo Total (PT)**

La Ilustración 18 muestra el comportamiento de la concentración de fósforo en los puntos de muestreo de las dos campañas. El fósforo en el agua residual es aportado principalmente por productos de limpieza como los detergentes, los cuales utilizan compuestos fosforados como principios activos.

Se puede evidenciar el mismo comportamiento que en la mayoría de los parámetros, una alta concentración ocasionada por el vertimiento en el punto de muestreo 1, disminución en el punto de muestreo 2 causada por la dilución con agua lluvia, un nuevo aumento por el vertimiento generado en el bloque 3, que tiene una mayor concentración en la campaña 2, ya que esta se llevó a cabo a la hora del almuerzo, momento en el que se utiliza en mayor medida el bloque, puesto que allí se encuentra la cocina. Finalmente se esperaría una reducción del punto 3 al punto 4 al circular el agua por el humedal artificial, pero esto solo se presenta en la campaña 2 en una muy baja proporción, en la campaña 1 se presenta un aumento de la concentración, lo que representa incumplimiento normativo ya que superan la concentración máxima permisible (0,1 mg P/L).

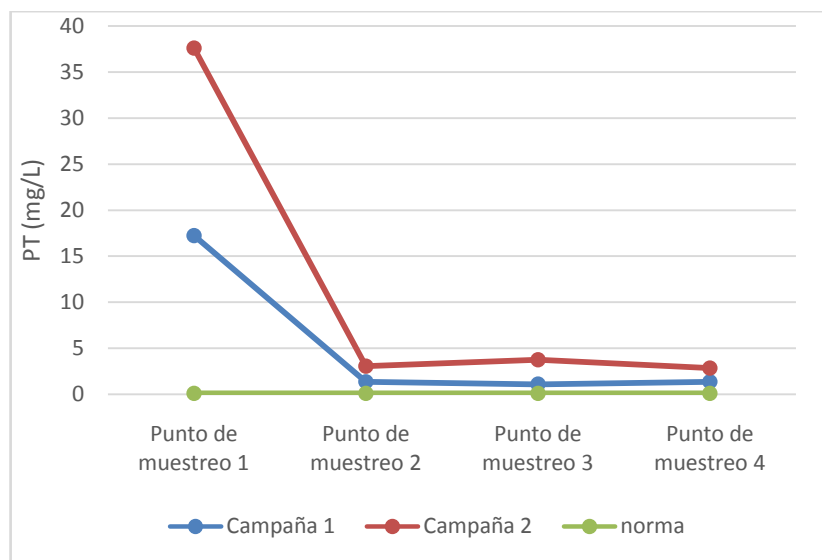


Ilustración 18. Variación del PT en función de los puntos del muestreo.
Fuente: elaboración propia.

La remoción de fósforo en la mayoría de los sistemas de humedales artificiales no es muy eficaz debido a las pocas oportunidades de contacto entre el agua residual y el sustrato.[20]

El mayor mecanismo de remoción (95%) está en la sedimentación y acumulación de fósforo en el suelo orgánico de los humedales [20], el humedal artificial de estudio cuenta con un soporte plástico no convencional el cual es inorgánico, por lo que esta remoción se presenta en muy baja proporción.

Adicional a esta característica es sabido que ciertas reacciones que ocurren para la remoción de fósforo son reversibles y puede presentarse una disolución de fósforo dependiendo de cambios de pH, la alcalinidad y el potencial redox. Si el fósforo absorbido no ha sido difundido hacia el interior de los absorbentes como sería de esperar por el uso del soporte plástico, su disolución puede ser más fácil, lo que es una justificación al aumento de la concentración a la salida del humedal. Debe tenerse en cuenta que el fósforo, al igual que los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que son removidos, permanecen en el sistema ligados al sedimento y por ello se acumulan con el tiempo.[20]

El fósforo que es asimilado por las plantas y los microorganismos o fijado en el soporte es muy poco, teniendo en cuenta la concentración en el agua residual.

La remoción del fósforo en los humedales artificiales es eficiente por un período corto, hasta que el medio se satura. A medida de que pasa el tiempo los procesos son más limitados y se dan solamente por la asimilación por parte de las plantas y los microorganismos[39]

Según todo lo anterior se puede concluir que el humedal artificial no constituye un método efectivo para la eliminación de este parámetro.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se corrobora el diagnóstico de la red sanitaria en el cual se afirma que existe una dilución de los vertimientos, esto representa un incumplimiento al decreto 3956 del 2009 que en su artículo 15 especifica:

“Prohibición de diluir el vertimiento. Se prohíbe la utilización de agua del recurso, del acueducto público o privado, del almacenamiento de aguas lluvias, de enfriamiento, del sistema de aire acondicionado, de

condensación y/o de síntesis química, con el propósito de diluir el vertimiento de aguas residuales”

Se recomienda realizar el levantamiento topográfico y la obra civil necesaria para eliminar las conexiones erradas lo antes posible, para no incurrir en sanciones por parte de la autoridad ambiental, además de realizar un nuevo monitoreo para obtener el diagnóstico actualizado.

4.6 DOCUMENTACIÓN DE LA DIVERSIDAD DEL MATERIAL VEGETAL PRESENTE EN EL HUMEDAL ARTIFICIAL

El humedal artificial fue construido implementando 4 especies de material vegetal, los cuales son cartucho, Botoncillo, Rumex Conglomeratus y Gualola. Se colocaron las plantas en 4 canales de los 8 construidos, 9 plantas por m², para un total de 180 plantas por canal. Al cabo de un tiempo se realizó una resiembra de las especies Rumex y Botoncillo en los mismos 4 canales, por ser las especies que se habían adaptado mejor al medio soporte y prevalecían en el sistema. Además, se sembró una especie adicional para realizar un ensayo, llamada Achira.

En la actualidad, solo se encuentran 3 especies de plantas de las 4 que fueron implementadas en un principio. En mayor cantidad se observó dentro del humedal el Botoncillo (Ilustración 19) dado que esta planta es catalogada como exclusiva de humedal, seguido por el Cartucho (Ilustración 20), y en menor cantidad se encuentra el Rumex C. (Ilustración 21). Estas especies se encuentran extendidas por los 4 canales que funcionan actualmente del humedal (Ilustración 22). Los dos primeros canales de izquierda a derecha se presenta botoncillo en casi la totalidad de su área, los dos siguientes canales presentan pasto kikuyo, y unas especies de cartucho y cardo santo y los 4 últimos canales nunca han estado en funcionamiento.



Ilustración 19 Presencia de Botoncillo en el humedal artificial.
Fuente: elaboración propia.



Ilustración 20 Presencia de Cartucho en el humedal artificial.
Fuente: elaboración propia.



Ilustración 21 Presencia de Rumex en el humedal artificial.
Fuente: elaboración propia.



Ilustración 22 Humedal artificial.
Fuente: elaboración propia.

No se encontraron rastros de la Gualola, dado que aunque es una planta característica de humedal, su gran competitividad no deja que se adapte a todos los sistemas.

La Achira (Ilustración 23) fue implementada en el humedal artificial para ensayo, y se obtuvieron buenos resultados por su adaptabilidad y crecimiento, aunque solo se encuentra 1 planta de su especie. Además, se encontró otra especie de planta llamada Cardo (Ilustración 24), considerada como maleza ruderal, y se da su presencia porque una de sus características principales es que crece en áreas recién quemadas, en este caso se generó porque la parte derecha del humedal es quemada para controlar la maleza. La principal maleza que se genera en el humedal es el pasto kikuyo.



Ilustración 23 Presencia de Achira en el humedal artificial.

Fuente: elaboración propia.



Ilustración 24 Presencia de Cardo santo en el humedal artificial.

Fuente: elaboración propia.

Para documentar la información encontrada acerca del material vegetal presente en el humedal con sus principales características, se desarrollaron las fichas técnicas de la diversidad del material vegetal.

4.7 EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.

- **Eficiencia**

La tabla 25 muestra las eficiencias esperadas por parámetro en humedales artificiales.

Tabla 25: eficiencias esperadas según la literatura para humedales artificiales.

Parámetro	Eficiencia esperada
NT	65%-70%
PT	60%-80%
DBO	70%-80%
DQO	80%-90%

Fuente: Rivas H.A. Lechos de plantas acuáticas (LPA) para el tratamiento de aguas residuales, 1997.

A partir de los resultados obtenidos se realizó el cálculo de eficiencia del humedal artificial en cada campaña, la cual se muestra en las tablas 26 y 27. Las tablas también especifican la eficiencia necesaria para cumplir la exigencia normativa.

- Campaña 1:

Tabla 26: Eficiencia del humedal artificial para la reducción de parámetros. Campaña 1.

PARÁMETRO	ENTRADA	SALIDA	EFICIENCIA	RESOLUCION 5731 DE 2008 (mg/L)	EFICIENCIA NECESARIA PARA EL CUMPLIMIENTO NORMATIVO	CUMPLIMIENTO DE LA NORMA
TURBIDEZ (UNT)	>1000	179	>82%	No se menciona en la normativa	N/A	N/A
SS mL/L	2	0,5	75%	No se menciona en la normativa	N/A	N/A
DBO₅ (mg/L)	35	6	82,86%	5	85,71%	No cumple
DQO (mg/L)	244,25	143	41,45%	30	87,71%	No cumple
NTK (mg/L)	40,88	14,56	64,38%	1,5*	96,33%	No cumple
PT (mg/L)	1,07	1,33	-24,39%	0,1	90,65%	No cumple

Fuente: elaboración propia.

*A pesar de que en la norma no se establecen los valores para la concentración máxima permisible de NTK, si se proporciona un valor para Nitrógeno Total (NT) en el cual está incluido el NTK, por lo tanto al encontrarse el NTK fuera del límite el NT también lo estará.

La eficiencia en la primera campaña se encuentra dentro de los rangos establecidos en la tabla 25 solamente para la DBO₅, para NTK se encuentra muy cerca del rango inferior, pero en el caso de la DQO y el PT se encuentra muy por debajo. Se observa un aumento del fósforo total el cual es consecuencia de la saturación del sistema. Ninguno de los parámetros alcanza una eficiencia de depuración tal que pueda alcanzar la concentración exigida en la normativa, a pesar de que entren al sistema concentraciones bastante diluidas.

- Campaña 2:

Tabla 27. Eficiencia del humedal artificial para la reducción de parámetros. Campaña 2.

PARÁMETRO	ENTRADA	SALIDA	EFICIENCIA	RESOLUCION 5731 DE 2008 (mg/L)	EFICIENCIA NECESARIA PARA EL CUMPLIMIENTO NORMATIVO	CUMPLIMIENTO DE LA NORMA
TURBIDEZ (UNT)	59	162	-174 %	No se menciona en la normativa	N/A	N/A
SS mL/L	0,3	2	-566,67%	No se menciona en la normativa	N/A	N/A
DBO (mg/L)	51	28	45,1%	5	90,19%	No cump le
DQO (mg/L)	236	203,5	13,77%	30	87,28%	No cump le
NTK (mg/L)	77,78	45,94	40,94%	1,5	90,07%	No cump le
PT (mg/L)	3,72	2,82	24,19%	0,1	97,31%	No cump le

Fuente: elaboración propia.

*A pesar de que en la norma no se establecen los valores para la concentración máxima permisible de NTK, si se proporciona un valor para Nitrógeno Total (NT) en el cual está incluido el NTK, por lo tanto al encontrarse el NTK fuera del límite el NT también lo estará

La eficiencia en la campaña 2, en la cual no se presentó lluvia abundante, presenta eficiencias bajas, todas las eficiencias se encuentran por debajo del rango típico de eficiencia. Este comportamiento puede ser resultado de procesos de evaporación y evapotranspiración que se presentan en el sistema, concentrando los componentes en el agua, situación que se compensa cuando entra agua lluvia al sistema.

Es necesario resaltar que como se evidenció en la identificación de la red sanitaria, los vertimientos no pasan por un sistema de pretratamiento adecuado, ni mucho menos por un tratamiento primario. Existen unos lavaderos que se adaptaron como desarenadores, pero su diseño no corresponde al de estos. Como se puede observar en la ilustración 25, el agua que ingresa por la tubería (1) en el primer desarenador, se encuentra muy cerca de la tubería que lo conecta con el segundo desarenador por la tubería (2). Por lo tanto no se tiene el tiempo de retención adecuado.



Ilustración 25 Desarenadores del sistema de tratamiento

Todo lo anterior se ve reflejado en eficiencias bajas, que no alcanzan siquiera los rangos mínimos de eficiencia reportados en la literatura. Componentes como grasas y aceites son factores que disminuyen la eficiencia en sistemas de humedales artificiales.

Normalmente los humedales artificiales no requieren un mantenimiento frecuente, si se cuenta con un pretratamiento adecuado del agua residual antes de entrar al

sistema. La ilustración 26 da una idea de la calidad del agua que entra al sistema de tratamiento, en estas condiciones el sistema se satura con una velocidad mucho mayor, por esta razón la frecuencia de mantenimiento también lo requerirá. Teniendo en cuenta lo anterior y contando con información respecto al nulo mantenimiento del humedal, es de esperarse eficiencias de este tipo.



Ilustración 26 Agua residual a la entrada del sistema de tratamiento de agua residual

Fuente: Elaboración propia

- **Dimensionamiento**

Para llevar a cabo el dimensionamiento del humedal artificial, fue necesario identificar la norma aplicable, para así determinar la concentración requerida a la salida del sistema de tratamiento.

Para estimar el valor permisible para el vertimiento después de pasar por el sistema de tratamiento, se toma como referencia la resolución 3956 de 2009.

La cual indica que:

ARTICULO 10: vertimientos permitidos a corrientes principales. Se permitirá el vertimiento de aguas residuales a corrientes principales bajo las siguientes condiciones:

“Aguas residuales domesticas: Usuarios que viertan aguas residuales domesticas con permiso de vertimientos vigente y que cumplan en su vertimiento con los valores de referencia establecidos en los objetivos de calidad de los cuerpos de agua en el Distrito

Capital para cada tramo en particular definido por la autoridad ambiental competente de acuerdo a lo establecido en la resolución 5731 de 2008 o la que modifique o sustituya y presenten características físicas y químicas iguales o inferiores a los valores de referencia establecidos como objetivos de calidad para cada corriente “

Para determinar la corriente se toma como referencia la resolución 5731 de 2008 la cual indica los tramos para definir la restricción de los contaminantes, en la tabla 27 se exponen los límites de cada tramo. El predio de la Universidad de Usme se encuentra en el tramo 1.

Tabla 28: Límites de los tramos de la cuenca del Río Tunjuelo

Tramo	Desde	Hasta
1	Entrada perímetro urbano	Desembocadura Quebrada Yomasa
2	Desembocadura Q. Yomasa	Avenida Boyacá
3	Avenida Boyacá	Autopista Sur
4	Autopista Sur	Desembocadura Río Tunjuelo

Fuente: Resolución 5731 de 2008

Partiendo de esta identificación, se toman los valores máximos permisibles teniendo en cuenta la tabla 29.

Tabla 29. Valores máximos admisibles de la concentración por parámetro para el tramo 1

Parámetro	Unidades	Concentración
OD	mg/L	8
DB05	mg/L	5
DQO	mg/L	30
N TOTAL	mg/L	1,5
PTOTAL	mg/L	0,1
SST	mg/L	10
A Y G	mg/L	10
Coniformes Fecales	NMP/1000 mL	1,E+02
pH	Unidad	6.5-8,5
SAAM	mg/L	0,5

Fuente: Resolución 5731 de 2008

A partir de lo anterior, se procedió a calcular el área superficial del humedal necesaria para depurar la carga contaminante que se genera actualmente en la sede Usme.

La red sanitaria tiene varias conexiones erradas, es por ello que se decidió llevar a cabo el dimensionamiento para la situación real, así como también para una situación ideal en la que se separaran las aguas residuales de las aguas lluvia.

➤ **Situación real:**

Según el muestreo realizado en el horario de máxima descarga, se encuentran a la entrada del humedal artificial los valores presentados en la tabla 30.

Tabla 30. Valores de caudal y DBO₅ obtenidos en el muestreo

	Campaña 1	Campaña 2
Caudal (m³/día)	51,84	3,63
DBO₅ (mg/L)	35	51

Fuente: elaboración propia.

Se puede ver la diferencia de concentración y de caudal en las dos campañas, lo que evidencia la problemática causada por las conexiones erradas.

Se realizó el dimensionamiento teniendo en cuenta las dos situaciones reales.

Se utilizaron los valores más altos de caudal y de concentración de DBO₅ para así obtener un solo dato de área superficial.

Se determinó la temperatura mínima del sector, la cual se encuentra alrededor de 12°C[40].

Se determinó la constante de velocidad de reacción a 20°C la cual según bibliografía se estima en 1.35 día⁻¹ para humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. [41]

La porosidad específica para el medio soporte plástico(tecnología Humedar- I) con el que cuenta el humedal artificiales 0,95 [42]

A partir de todo lo anterior y teniendo en cuenta la metodología mencionada se obtuvo:

$$Kr = 1.35 \text{ dia}^{-1} (1,06^{12-20}) = 0,85 \text{ dia}^{-1} \quad t = \frac{-\ln\left(\frac{5 \text{ mg/l}}{51 \text{ mg/l}}\right)}{0,85 \text{ dia}^{-1}} = 2.54 \text{ días.}$$

$$As = \frac{51.84 \text{ m}^3/\text{dia} * 2.54 \text{ días}}{0,95 * 0,6 \text{ m}} = 231.1 \text{ m}^2$$

El área necesaria para tratar la carga actual que llega al humedal artificial, sin realizar ninguna modificación en la red sanitaria y en el pretratamiento es de 231,1 m².

Tomando la relación longitud/ancho recomendada en la bibliografía[13], entre 2:1 y 4:1 se procede a calcular el ancho del humedal artificial, en este caso se tomara la relación media del rango recomendado 3:1, obteniendo:

$$W = \left[\frac{231,1 \text{ m}^2}{3} \right]^{1/2} = 8,77 \text{ m}$$

La longitud seria:

$$l = \frac{231,1 \text{ m}^2}{8,77 \text{ m}} = 26,33 \text{ m}$$

El área actual del humedal es de 82 m² de los cuales se encuentran en uso tan solo 41 m², lo que no permite la depuración necesaria para el cumplimiento de la legislación. Para depurar la carga actual sin realizar ninguna modificación será necesario utilizar totalmente el área construida del humedal y adicionar 149 m², lo que se hace inviable teniendo en cuenta el espacio destinado para este fin.

➤ Situación ideal:

Se propone una situación ideal, en la que se rediseñe la red sanitaria, eliminando las conexiones erradas, lo que permitiría el tratamiento de toda el agua residual, sin realizar diluciones y disminuyendo el caudal que entra al humedal.

Para esta situación se tomó como referencia el punto 1 de medición de la campaña 2, el cual es representativo para la carga orgánica en hora de máxima descarga antes de presentarse la dilución. El caudal y la concentración de este punto se encuentran especificados en la tabla 31.

Tabla 31 valores de caudal y DBO₅ del punto 1 en la segunda campaña de muestreo

Caudal (m ³ /día)	DBO (mg/L)
13,824	248

Fuente: elaboración propia.

Partiendo de esta información se obtuvo:

$$t = \frac{-\ln\left(\frac{5 \text{ mg/l}}{248 \text{ mg/l}}\right)}{0,85 \text{ día}^{-1}} = 4,6 \text{ días} \quad As = \frac{13,824 * 4,6 \text{ días}}{0,95 * 0,6} = 111,78 \text{ m}^2$$

Tomando la relación longitud/ancho recomendada en la bibliografía[13], entre 2:1 y 4:1 se procede a calcular el ancho del humedal artificial, en este caso se tomara la relación media del rango recomendado 3:1, obteniendo:

$$W = \left[\frac{111,78 \text{ m}^2}{3} \right]^{1/2} = 6,10 \text{ m}$$

La longitud seria:

$$l = \frac{111,78 \text{ m}^2}{6,10 \text{ m}} = 18,31 \text{ m}$$

Para una situación ideal en la que se regule el flujo y se rediseñe la red sanitaria, se obtendría una disminución del requerimiento de área superficial (de 231, 1 m² a 111,78 m²), además de cumplir totalmente con la legislación y disminuir el impacto negativo causado al cuerpo de agua receptor.

El área actual del humedal es de 82 m² de los cuales se encuentran en uso tan solo 41 m², lo que no permite la depuración necesaria para el cumplimiento de la legislación. Para depurar la carga actual realizando las obras necesarias para eliminar las conexiones erradas e incluir todos los vertimientos domésticos del

colegio será necesario utilizar totalmente el área construida del humedal y adicionar 29 m². Esta situación es viable, ya que el espacio destinado para este fin contiene esta área adicional.

Sin embargo un diseño adecuado debe realizarse con un caudal y concentración de diseño que contemple un periodo de tiempo, y una población futura.

El análisis de la población futura fue:

- En 1995, la Universidad contaba con 650 personas entre estudiantes, profesores y personal administrativo.
- En el 2001 la Universidad contaba con 814 personas teniendo en cuenta profesores personal administrativo personal de la cafetería y de servicios generales.
- En el 2007, la Universidad contaba con 200 personas entre estudiantes de la escuela, estudiantes de práctica de la facultad de veterinaria y zootecnia, personal administrativo

Actualmente la sede cuenta con: 19 docentes, 4 administrativos, 2 de personal de servicios generales, 4 de mantenimiento, 55 población flotante, 379 estudiantes en el colegio, 30 estudiantes de veterinaria y 25 cultivadores para un total de 518 personas.

Como se puede evidenciar no existe una tendencia en el crecimiento de la población debido a la influencia de aspectos externos, es por ello que para el cálculo de la población futura se usará como base el plan de desarrollo de la UAN con una proyección de 1200 habitantes.

A pesar de que la sede cuenta con algunos animales, la carga orgánica producida por estos, no se convirtió en caudal equivalente, ya que los corrales se encuentran en suelo destapado lo que permite su infiltración al terreno, impidiendo su mezcla con las aguas que son conducidas al humedal.

Si se corrigen las conexiones erradas y teniendo en cuenta la dotación y un factor de retorno de 0,8[34] se tiene:

$$1200 \text{ hab} * 100 \frac{l}{\text{hab} * \text{dia}} * 0,8 = 96000 \frac{l}{\text{dia}}$$

La concentración de DBO₅ es:

$$\frac{50 \text{ g/hab.día} * 1200 \text{ hab}}{96000 \text{ L/día}} = 0,625 \text{ g/L}$$

Teniendo en cuenta que en la trayectoria normal del agua residual y en el pretratamiento se reduce aproximadamente un 47 % de la concentración, se toma el 63% de esta para realizar el diseño, obteniendo:

$$t = \frac{-\ln\left(\frac{5 \text{ mg/l}}{393,75 \text{ mg/l}}\right)}{0,85 \text{ día}^{-1}} = 5,16 \text{ días} \quad A_s = \frac{96 * 5,16 \text{ días}}{0,95 * 0,6} = 868,20 \text{ m}^2$$

El área necesaria para depurar el agua residual producida por 1200 personas en la UAN es de 868,20 m².

Teniendo en cuenta que esta metodología suele sobredimensionar el humedal artificial. Se recomienda realizar una nueva caracterización cuando se hayan realizado las obras civiles necesarias para unificar el sistema, para así obtener un dato de DBO₅ que se acerque más a la realidad.

Es importante resaltar que tanto las caracterizaciones realizadas en el presente proyecto de pasantía como las realizadas por el laboratorio ANALQUIM en el 2007, han presentado situaciones climatológicas húmedas, lo que no ha permitido tener datos representativos de la carga contaminante del agua residual doméstica. Se recomienda realizar una nueva caracterización en tiempo seco.

CONCLUSIONES

- El laboratorio presenta capacidad incompleta para realizar el análisis de los parámetros DBO₅ según los métodos incubación 5 días manométrica e incubación 5 días electrométrica, DQO por el método colorimétrico de dicromato a reflujo cerrado, NTK por el método semi micro Kjendahltrimetrico y PT por el método de digestión ácido fosfo vanadio molibdato. Esto debido a que no cuenta con uno o más equipos, reactivos o

materiales necesarios para llevarlos a cabo, que no requieren de una alta inversión para su adquisición y esta no supera un mes después de solicitarlos.

- El método semi micro Kjendahl titrimetrico para la determinación de NTK y el método de digestión ácido fosfo vanadio molibdato para la determinación de PT cumplen con los criterios de aceptabilidad establecidos, por lo tanto fueron verificados. Se puede corroborar su confiabilidad. Al seguir la misma metodología con muestras reales se podrán obtener datos confiables.
- El método colorimétrico de dicromato a reflujo cerrado para la determinación de DQO, no cumple con los criterios de aceptabilidad establecidos. No fue verificado Esto se presenta por la ausencia del adaptador de viales para DQO del fotómetro HI 83099. Es necesario realizar nuevamente el proceso de verificación después de adquirir el adaptador. Los datos obtenidos antes de que el método sea verificado no son confiables.
- Los métodos para la determinación de DBO_5 por incubación 5 días electrométricos e incubación 5 días manométrico, no fueron verificados ya que no cumplen con los criterios de aceptabilidad establecidos. Es necesario realizar una nueva verificación ya que se sospecha que los reactivos con los que fue realizado el patrón estaban contaminados. No se puede determinar la confiabilidad de los datos hasta realizar una nueva verificación. Sin embargo se hace la salvedad de que los reactivos del patrón no son utilizados en el método para analizar muestras reales, por lo que los valores obtenidos pueden ser veraces.
- Se elaboraron las guías de laboratorio de los métodos incubacion 5 dias manométrica e incubacion 5 dias electrométrica para la determinación de DBO_5 , del método colorimétrico de dicromato a reflujo cerrado para la determinación de DQO, del método semi micro Kjendahl titrimetrico para la determinación de NTK y del método de digestión ácido fosfo vanadio molibdato para la determinación de PT, pero solo se asegura la repetitividad y reproducibilidad de los métodos normalizados verificados.
- La información con la que cuenta la UAN respecto a la red sanitaria es incompleta. Es necesario contar con los planos de la red sanitaria para

realizar los ajustes y adecuaciones pertinentes, lo que se puede llevar a cabo mediante un levantamiento topográfico.

- En la identificación de la red sanitaria se evidenció: ausencia de mantenimiento en los puntos de inspección, diseños de los mismos no óptimos para su propósito y exceso de residuos sólidos en estos por ausencia de cestos de basura en las instalaciones y alrededores del colegio.
- La red del bloque 1 se encuentra desconectada de la red que llega al sistema de tratamiento, esta es vertida directamente a la vegetación generando un incumplimiento del decreto 3939 de 2010 y de la resolución 3956 de 2009.
- El agua residual proveniente del bloque 2 presenta una dilución por la entrada de diferentes flujos, ocasionando aumento del caudal y disminución de la carga contaminante que entra al sistema de tratamiento. Situación confirmada en el monitoreo y caracterización del agua residual, lo que representa un incumplimiento del decreto 3939 de 2010 y de la resolución 3956 de 2009.
- El monitoreo realizado por el laboratorio ANALQUIM S.A y el llevado a cabo en el presente documento, se encontraron con condiciones climatológicas húmedas. Por lo que no se cuenta con datos representativos de condiciones climatológicas secas.
- Según los análisis de los parámetros DBO_5 , DQO, NTK y PT se determinó que el horario de máxima descarga se encuentra entre las 12:30 pm y 1:30 pm horario en el cual se toma el almuerzo en el Colegio.
- Los resultados de las dos campañas de monitoreo no permiten establecer un patrón de flujo del sistema de tratamiento.
- Los valores de concentración de los parámetros DBO_5 , DQO, NTK y PT obtenidos a la salida del sistema de tratamiento (punto 4), no cumplen con lo establecido en el decreto 3939 de 2010 y de la resolución 3956 de 2009.

- El deficiente pretratamiento del agua residual antes de entrar al humedal artificial ocasiona rápida saturación del sistema, disminuyendo la eficiencia de depuración de este.
- Las eficiencias de depuración del humedal artificial encontradas en las dos campañas de muestreo, son muy variables, lo que se relaciona con las condiciones climatológicas. Se presentan mayores eficiencias por causa de la entrada de agua lluvia al sistema y menores eficiencias en días menos lluviosos.
- El área actual del humedal artificial (82 m²) es deficiente para la depuración de las aguas residuales domésticas de la sede Usme de la UAN, lo que representa un incumplimiento del decreto 3939 de 2010 y de la resolución 3956 de 2009.
- El área necesaria para tratar la carga actual que llega al humedal artificial, sin realizar ninguna modificación en la red sanitaria ni en el pretratamiento es de 231, 1 m², área que supera la zona establecida para este propósito.
- Para una situación ideal en la que se regule el flujo y se rediseñe la red sanitaria, se obtendría una disminución del requerimiento de área superficial ya que se demandaría un área de 111,78 m². Situación viable, ya que el espacio destinado para este fin contiene esta área adicional.
- Las plantas que tuvieron mejor adaptabilidad al medio soporte y al sistema en general, fueron en mayor proporción el Botoncillo siendo una especie exclusiva de humedal, seguido por el Cartucho y el Rumex en menor proporción. La Gualola por su alta competitividad no se adaptó al sistema. Una de las nuevas plantas encontradas (la Achira) se debe a una prueba experimental que dio buenos resultados por su adaptabilidad, y las otras dos son plantas denominadas como maleza.

REFERENCIAS

- [1] Universidad Antonio Nariño, «Universidad Antonio Nariño,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.uan.edu.co/>. [Último acceso: 15 08 2014].
- [2] Facultad de Ingeniería Ambiental Universidad Antonio Nariño Sede Sur, «Documento Manejo de Vertimiento Sede Usme-UAN,» Bogotá, 2007.
- [3] ANALQUIM LTDA, «Informe de Caracterización de Agua Residual Domestica UAN Vía a USME,» Bogotá, 2007.
- [4] Ministerio del Medio Ambiente, «Gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales,» 2002.
- [5] PNUMA, «Las aguas residuales municipales como fuentes terrestres de contaminación de la zona marino-costera de la región de América Latina y el Caribe,» 2002.
- [6] R. N. y. A. Instituto de Agricultura, «Calidad del Agua,» 2006. [En línea]. Available: http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/3_Calidad_del_agua.pdf.
- [7] J. V. Chang Gómez, «Calidad de Agua,» Guayaquil- Ecuador, 2009.
- [8] L. Arriola, «Validación de métodos analíticos, fisicoquímicos y microbiológicos,» Guatemala, 2012.
- [9] Instituto de Salud Pública, «Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición : " Aspectos generales sobre la validación de métodos",» Santiago, 2010.
- [10] M. Pérez, «Servicios y sistemas integrales de capacitación y calidad S.A de C.V,» 22 04 2014. [En línea].
- [11] O. Y. Chica y N. F. Galvis, «Validación métodos analíticos (DQO, Hierro, COT, H₂O₂) en aguas,» Medellín, 2007.
- [12] A. A. y W. , «Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21,» 21 ed., Washington D.C, 2005.
- [13] Crites, R.W., Tchonamoglous G., Small and Decentralized Wastewater Management Systems, New York, NY., 1998.
- [14] Xunta de Galicia, «Aguas de Galicia,» 2010. [En línea].
- [15] J. Vymazal, «Process Based Models For subsurface Flow Constructed wetlands,» de *Water and Nutrient Management in Natural and constructed Wetlands*, Czech Republic, Springer, 2010, pp. 21-22.
- [16] O. Delgadillo, A. Camacho, L. F. Pérez y M. Andrade, «Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales,» Cochabamba, Bolivia, 2010.
- [17] W. A. Llagas y E. Guadalupe, «Diseño de humedales artificiales para el

- tratamiento de aguas residuales en la UNMSM,» *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMM*, 2006.
- [18] J. Mena, J. Villaseñor Camacho , . L. Rodriguez Mayor y J. Núñez Martín, «Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos,» Alquimia Soluciones Ambientales S.L., 2008.
- [19] V. Alireza, R. V. Kalyan y G. V.S., «A new approach in wetland systems for domestic wastewater treatment using Phragmites sp.,» ELSEVIER, Pune, 2009.
- [20] J. A. Lara, «Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales,» Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 1999.
- [21] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, « Título F Sistemas de Aseo Urbano,» de *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico - RAS*, 2012.
- [22] Ministerio de desarrollo económico, «Reglamento basico del sector de agua potable y saneamiento basico RAS 2000,» de *Seccion II, Titulo E*, Bogotá, 2000.
- [23] M. Diaz, «Vitalis. Diccionario Digital en Internet,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.vitalis.net/recursos/glosario-ambiental/>.
- [24] A. Méndez, «La guia,» 2010. [En línea]. Available: <http://quimica.laguia2000.com/general/destilacion>.
- [25] V. Fiorani, «Diversidad biológica,» [En línea]. Available: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/DiversBiol.htm>.
- [26] J. M. Escallón Valderrama, Determinación del estado de redes de alcantarillado teniendo en cuenta inspecciones con circuito cerrado de televisión (CCTV), Bogotá: Universidad de los Andes, 2005.
- [27] L. v. IBI, «Línea verde IB,» [En línea]. Available: <http://www.lineaverdeibi.com/lv/glosario.asp?letra=f>.
- [28] Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía, «Protocolo para toma de muestras de aguas residuales,» 2010.
- [29] A. L. Bustamante Arismendy, «Eficacia de normativa de vertimientos en el sector cárnico,» 2012.
- [30] C. J. Collazos, «Tratamiento de aguas residuales,» 2008.
- [31] Corporación Ambiental Empresarial- CAEM, «Régimen legal de vertimientos y olores ofensivos,» 2014.
- [32] Instrumentación científica técnica, S.L, «Manual de operación para sistema DBO. Equipos velp ára determinación manométrica de la DBO,» 2005.
- [33] R. Crites y G. Tchobanoglous, Small decentralized wastewater management siystems: "Water resources and environmental engineering, 1998.
- [34] Ministerio de desarrollo económico, «Tratamiento de aguas residuales,» de

- Reglamento basico del sector de agua potable y saneamiento basico RAS 2000*, Bogotá, 2000, pp. Seccion II, titulo E.
- [35] Colegio de la Universidad Antonio Nariño, «Caracterización de la Comunidad educativa,» Bogotá, 2014.
- [36] ANALQUIM LTDA, «Informe de Caracterizacion de agua Residual Domestica Universidad Antonio Nariño, Via Usme,» Bogotá, 2007.
- [37] Facultad de Ingenieria Ambiental Universidad Antonio Nariño, «Documento de Vertimientos Sede Usme - Universidad Antonio Nariño,» Bogotá, 2007.
- [38] Universidad Antonio Nariño, «Propuesta de Desarrollo Social, Educativo,Tecnologico Y cientifico ppara el sur de Bogotá, en los Predios de Usme de la Universidad Annonio Nariño,» Bogotá, 2005.
- [39] M. Karpiscak , L. Whiteake , . J. Artiola y K. Foster , Nutrient and heavy metal uptake and storage in constructed wetland systems in Arizona wetland systems for water pollution control, Water Sci. Technol, 2000.
- [40] Alcaldia de Usme , «Alaldia de Usme,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.usme.gov.co/>. [Último acceso: 19 08 2014].
- [41] . G. Tchobanoglous y F. L. Burton, Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse, McGraw-Hill , 1991.
- [42] Geeko Energy SAS, *Brochure Tecnologia Humedar-I*, Bogotá, 2012.
- [43] W. Lozano-Rivas, Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales., Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, 2012.
- [44] A. Barrenechea Martel, «Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua,» 2001.
- [45] Universidad Nacional de Colombia, Tratamiento de Aguas Residuales, Bogotá, 2008.
- [46] M. G. Hill, «Sistemas de lagunas de estabilización: Como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas,» Bogotá, 2000.
- [47] Lenntech, «Water Treatment Solutions Lenntech,» [En línea]. Available: <http://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm>. [Último acceso: 20 08 2014].
- [48] Environmental Protection Agency, EPA, «Environmental Protection Agency,» [En línea]. Available: <http://www.epa.gov/acidrain/spanish/measure/ph.html>. [Último acceso: 20 08 2014].
- [49] L. Echarri, Contaminación del agua, 2007.
- [50] M. M. Contreras, «Turbiedad del agua».
- [51] E. Peña, «Calidad de Agua. Oxigeno Disuelto (OD).,» Guayaquil, 2007.
- [52] B. Lermann, M. C. Gilli y M. Zerbato, «Técnica analítica para Oxígeno Disuelto,» [En línea]. Available: http://www.fiq.unl.edu.ar/gir/archivos_pdf/GIR-TecnicasAnaliticas-OxigenoDisuelto.pdf. [Último acceso: 2014].

- [53] G. Goyenola, «Guía para la utilización de las Valijas Viajeras- Oxígeno Disuelto,» RED MAPSA, 2007.
- [54] Alianza por el agua, «Manual de depuración de aguas residuales urbanas,» 2007.
- [55] O. E. Olivos Lara, «Tratamiento de aguas,» Lima, 2010.
- [56] Facultad de Ingeniería Ambiental Universidad Antonio Nariño Sede Sur, «Documento Manejo de Vertimiento Sede Usme-UAN,» Bogotá, 2007.
- [57] D. Paredes y P. Kuschik, «Tipo de humedales y mecanismos de remoción,» de *Seminario humedales artificiales para el tratamiento de aguas*, Pereira, 2001.
- [58] H. A. Rivas, «Lechos de plantas acuáticas (LPA) para el tratamiento de aguas residuales,» *Hidráulica de México.*, pp. Vol. XII N° 3, II Época, 1997.