

**“ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DEL
SECTOR NORTE, DEL CASCO URBANO Y MONTECILLO, DEL MUNICIPIO
DE GUATAVITA”**

HENRY ALFREDO CASTRO MORENO

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE EDUCACIÓN A DISTANCIA - FAEDIS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., JULIO DE 2014**

**“ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DEL
SECTOR NORTE, DEL CASCO URBANO Y MONTECILLO, DEL MUNICIPIO
DE GUATAVITA”**

HENRY ALFREDO CASTRO MORENO

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

Director:

Ingeniero HENRY LIBARDO SALINAS R.

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE EDUCACIÓN A DISTANCIA - FAEDIS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., JULIO DE 2014**

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, D.C., 23 de julio de 2014

A mis padres, Alfredo y Luz Marina.

A mi esposa María Isabel.

A mis hijos, Andrés Felipe, Henry Alejandro y Laura Zaray.

A mis Hermanas, Luz Marlen, Tania Esmeralda y Laura Yineth Milena.

Y en especial a Dios por darme la vida y permitirme terminar esta fase de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis agradecimientos a:

HENRY LIBARDO SALINAS R., Ingeniero Civil, profesor de la Facultad de Educación a Distancia – FAEDIS Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada y Director del presente trabajo de grado.

CESAR AUGUSTO PÁEZ SÁNCHEZ, Ingeniero Civil, profesor de la Facultad de Educación a Distancia – FAEDIS Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada y asesor del presente trabajo de grado.

CAROL EUGENIA AREVALO DAZA, Ingeniera Civil, Magister en Ingeniería Civil - Estructuras y Sísmica, profesora de la Facultad de Educación a Distancia – FAEDIS Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada y Directora del Programa de Ingeniería Civil a Distancia.

Las directivas de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada.

La Alcaldía Municipal de Guatavita Cundinamarca.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
0. INTRODUCCIÓN	17
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.1 ANTECEDENTES	18
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	22
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	23
1.4 JUSTIFICACIÓN	24
2. OBJETIVO GENERAL	26
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
3. MARCO TEÓRICO	27
3.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	32
3.1.1 Tratamiento biológico.....	33
3.1.2 Proceso aerobio.....	34
3.1.3 Proceso anaerobio.....	35
3.1.4 Proceso anóxico	37
3.2 TRATAMIENTO ACUÁTICO.....	38
4. METODOLOGÍA PARA LA INVESTIGACIÓN	40
4.1 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	40
4.2 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	40
4.3 METODOLOGÍA USADA EN LA INVESTIGACIÓN.....	40
4.3.1 Recolección de información.....	40
4.3.2 Análisis de datos.....	41
4.3.3 Evaluación de resultados.....	41
4.4 CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA.....	41
4.4.1 Ubicación geográfica y extensión territorial	41
4.4.2 Límites del municipio	42
4.4.3 División política.....	42
4.4.4 Clima.....	42
4.4.5 Temperatura	43
4.4.6 Hidrología	43

4.4.7	Geología	44
4.4.8	Población	45
4.4.9	Servicios Públicos Domiciliarios	45
4.5	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE MONTECILLO NORTE.....	47
4.5.1	Población proyectada	50
4.5.2	Contribución de Agua Residual	52
4.5.3	Estimación de Cargas Unitarias.....	57
4.6	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR EXISTENTE	58
4.6.1	Eficiencias de la PTAR	64
4.6.2	Características perceptivas de la PTAR	65
4.6.3	Costos de operación	65
4.6.4	Tarifa cobrada al usuario	68
4.6.5	Optimización PTAR	68
4.7	HUMEDAL ARTIFICIAL	72
4.7.1	Análisis de humedal de flujo subsuperficial	73
4.8	TANQUE IMHOFF	78
4.8.1	Análisis de un filtro Imhoff.....	79
5.	COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES	86
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	88
7.	PROPUESTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA ZONA NORTE URBANA Y MONTECILLO	90
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
9.	BIBLIOGRAFÍA	93

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Vista Arquitectónica Guatavita 1967 y 2012	18
Figura 2. Canal de aguas lluvias.....	19
Figura 3. Diagrama de funcionamiento del alcantarillado de Guatavita	19
Figura 4. Pozo inspección alcantarillado.....	20
Figura 5. Paso elevado colector PVC sobre la quebrada Embala	20
Figura 6. Punto de vertimiento Montecillo Norte año 2012	21
Figura 7. Área de drenaje y vertimiento Montecillo Norte adaptado de (IGAC, INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, 2002)	21
Figura 8. Estructuras de separación de aguas sector Montecillo Norte año 2013	22
Figura 9. Árbol del problema.....	23
Figura 10. Punto de vertimiento quebrada Montecillo.....	24
Figura 11. Vista del Embalse de Tominé	28
Figura 12. Plano Alternativa 1 Alcantarillado	31
Figura 13. Proceso convencional de lodos activados	35
Figura 14. Tanque Imhoff de doble cámara	37
Figura 15. Humedal artificial de flujo superficial.....	38
Figura 16. Humedal artificial de flujo subsuperficial	39
Figura 17. Localización municipio de Guatavita.....	42
Figura 18. Distribución temporal de la precipitación, estación Guatavita	43
Figura 19. Distribución temporal de la temperatura, estación Guatavita.....	43
Figura 20. Falla geológica de Guatavita	44
Figura 21. Vista aérea del sector Urbano y Montecillo Norte, adaptada de fotografía del IGAC	48
Figura 22. Vista PTAR Guatavita	58
Figura 23. Diagrama de Funcionamiento de la PTAR Guatavita	59
Figura 24. Zanja de oxidación PTAR Guatavita.....	60
Figura 25. Esquema de la PTAR actual de Guatavita.....	61
Figura 26. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Guatavita.....	62
Figura 27. Plano obras proyectadas PTAR Guatavita	71
Figura 28. Tanque Imhoff de cámara sencilla	78
Figura 29. Fondo del tanque Imhoff	80

LISTA DE CUADROS

pág.

Cuadro 1. División de la cuenca del Río Bogotá.....	27
Cuadro 2. Usos del agua para la cuenca del Río Bogotá	28
Cuadro 3. Cuenca del Embalse de Tominé	28
Cuadro 4. Valores de los parámetros de calidad Clase III de la cuenca del Río Bogotá	29
Cuadro 5. Proyectos de saneamiento básico en Guatavita, incluidos en el POMCA del Río Bogotá	30
Cuadro 6. Alternativas tratamiento de aguas residuales.....	31
Cuadro 7. Objetivos de tratamiento de aguas residuales	32
Cuadro 8. Principales procesos de tratamiento biológico	33
Cuadro 9. Ventajas y desventajas del proceso aerobio	34
Cuadro 10. Ventajas y desventajas del proceso anaerobio	36
Cuadro 11. Veredas de Guatavita según base catastral 2006.....	42
Cuadro 12. Población Guatavita Censo DANE 2005	45
Cuadro 13. Módulos de hogares Guatavita	45
Cuadro 14. Proyecciones de población de Guatavita, adaptado censo DANE 2005	45
Cuadro 15. Prestadores Acueducto en Guatavita.....	46
Cuadro 16. Prestadores Alcantarillado en Guatavita	46
Cuadro 17. Prestadores Aseo en Guatavita	47
Cuadro 18. Usuarios conectados al colector sanitario de Montecillo norte.....	49
Cuadro 19. Proyección al año 2035, de inmuebles a conectar al servicio de alcantarillado, para la zona norte de Guatavita, Urbana y Montecillo	51
Cuadro 20. Usuarios institución PIO XII de Guatavita	51
Cuadro 21. Asignación del nivel de complejidad.....	52
Cuadro 22. Dotación neta según el Nivel de Complejidad del Sistema	53
Cuadro 23. Coeficiente de retorno de aguas servidas domésticas	53
Cuadro 24. Contribución de agua residual industrial	54
Cuadro 25. Contribución de agua residual comercial	54
Cuadro 26. Contribución de agua residual institucional.....	54
Cuadro 27. Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales.....	56
Cuadro 28. Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial	56
Cuadro 29. Población y caudales Montecillo Norte.....	57
Cuadro 30. Aportes per cápita para aguas residuales domésticas	57
Cuadro 31. Cargas unitarias y volumen de agua residual de Montecillo Norte.....	57
Cuadro 32. Características de diseño PTAR Guatavita	59
Cuadro 33. Tipo de tratamiento y componente PTAR Guatavita	60
Cuadro 34. Características de operación de la PTAR en los años 2010 y 2011 ...	64
Cuadro 35. Eficiencias PTAR Guatavita 2012	64
Cuadro 36. Características perceptivas operación PTAR	65

Cuadro 37. Cargas orgánicas del efluente PTAR Guatavita 2012.....	66
Cuadro 38. Valor por tasas retributivas Guatavita 2013	66
Cuadro 39. Costo medio de operación \$m3 PTAR Guatavita.....	67
Cuadro 40. Comparativo de tarifas por metro cubico de agua tratada en la PTAR Guatavita	68
Cuadro 41. Soluciones para optimización PTAR Guatavita, adaptado de Diseños de detalle para la construcción de obras de saneamiento en los municipios de la cuenca del Río Bogotá.....	70
Cuadro 42. Presupuesto Optimización PTAR Guatavita.....	71
Cuadro 43. Características típicas del medio, para humedales de flujo subsuperficial	73
Cuadro 44. Criterios de diseño para humedales de flujo subsuperficial	73
Cuadro 45. Parámetros de diseño de humedal artificial flujo subsuperficial para Montecillo Norte.....	74
Cuadro 46. Ventajas y desventajas de los Humedales Artificiales.....	77
Cuadro 47. Parámetros de análisis para tanque Imhoff Montecillo Norte	79
Cuadro 48. Factor de capacidad relativa digester tanque Imhoff.....	81
Cuadro 49. Tiempo de digestión de lodos tanque Imhoff.....	82
Cuadro 50. Labores de operación y mantenimiento de tanques Imhoff	84
Cuadro 51. Ventajas y desventajas de los tanques Imhoff	85
Cuadro 52. Comparación de alternativas de tratamiento de agua residual zona norte Urbana y Montecillo	86

GLOSARIO

Afluyente: agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento. (RAS, 2000)

Aguas lluvias: aguas provenientes de la precipitación pluvial. (RAS, 2000)

Aguas residuales municipales: agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos. (RAS, 2000)

Aireación: proceso de transferencia de masa, generalmente referido a la transferencia de oxígeno al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido). (RAS, 2000)

Alcantarillado: conjunto de obras para la recolección, conducción y disposición final de las aguas residuales o de las aguas lluvias. (RAS, 2000)

Alcantarillado de aguas combinadas: sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte, tanto de las aguas residuales como de las aguas lluvias. (RAS, 2000)

Alcantarillado de aguas lluvias: sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de aguas lluvias. (RAS, 2000)

Alcantarillado de aguas residuales: sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de las aguas residuales domésticas y/o industriales. (RAS, 2000)

Alcantarillado separado: sistema constituido por un alcantarillado de aguas residuales y otro de aguas lluvias que recolectan en forma independiente en un mismo sector. (RAS, 2000)

Caudal máximo horario: caudal a la hora de máxima descarga. (RAS, 2000)

Caudal medio: caudal medio anual. (RAS, 2000)

Clarificador: tanque de sedimentación rectangular o circular usado para remover sólidos sedimentables del agua residual. (RAS, 2000)

Coliformes: bacterias gram negativas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 o 37°C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a la temperatura de 44 o 44.5°C se denominan coliformes fecales. Se utilizan como indicadores de contaminación biológica. (RAS, 2000)

Conexión domiciliar: tubería que transporta las aguas residuales y/o las aguas lluvias desde la caja domiciliar hasta un colector secundario. Generalmente son de 150 mm de diámetro para vivienda unifamiliar. (RAS, 2000)

Conexiones erradas: contribución adicional de caudal debido al aporte de aguas pluviales en la red de aguas sanitarias y viceversa. (RAS, 2000)

Consumo: volumen de agua potable recibido por el usuario en un periodo determinado. (RAS, 2000)

Cuerpo receptor: cualquier masa de agua natural o de suelo que recibe la descarga del afluente final. (RAS, 2000)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable. (RAS, 2000)

Demanda Química de Oxígeno (DQO): medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas. (RAS, 2000)

Densidad de población: número de personas que habitan dentro de un área bruta o neta determinada. (RAS, 2000)

Desarenadores: cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena). (RAS, 2000)

Deshidratación de lodos: proceso de remoción del agua de lodos hasta formar una pasta. (RAS, 2000)

Diámetro: diámetro interno real de conductos circulares. (RAS, 2000)

Disposición final: disposición del efluente de una planta de tratamiento o de los lodos tratados. (RAS, 2000)

Eficiencia de tratamiento: relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje. (RAS, 2000)

Efluente final: líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales. (RAS, 2000)

Emisario: canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado y las lleva a una planta de tratamiento o de una planta de tratamiento y las lleva hasta el punto de disposición final. (RAS, 2000)

Emisario final: colectores cerrados que llevan parte o la totalidad de las aguas lluvias, sanitarias o combinadas de una localidad hasta el sitio de vertimiento o a las plantas de tratamiento de aguas residuales. En caso de aguas lluvias pueden ser colectores a cielo abierto. (RAS, 2000)

Humedal: los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. (UNIVERSIDAD DE PAMPLONA)

Humedal artificial: los humedales artificiales son aquellos construidos por el ser humano manipulando los componentes que generan la diversidad de interacciones de los humedales naturales. (UNIVERSIDAD DE PAMPLONA)

Lechos de secado: dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de lodos para que puedan ser manejados como material sólido. (RAS, 2000)

Oxígeno disuelto: concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación.
Normalmente se expresa en mg/L. (RAS, 2000)

pH: logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro. (RAS, 2000)

Plan maestro de alcantarillado: plan de ordenamiento del sistema de alcantarillado de una localidad para un horizonte de planeamiento dado. (RAS, 2000)

Población servida: número de habitantes que son servidos por un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. (RAS, 2000)

Población flotante: número de habitantes que frecuenta en determinadas épocas el área comprendida por el proyecto, que es significativa para el dimensionamiento de un proyecto de recolección y evacuación de aguas residuales. (RAS, 2000)

Planta de tratamiento (de agua residual): conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales. (RAS, 2000)

Pretratamiento: procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario. (RAS, 2000)

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.). (RAS, 2000)

Reja gruesa: por lo general, de barras paralelas de separación uniforme (4 a 10 cm), utilizado para remover sólidos flotantes de gran tamaño, aguas arriba de bombas de gran capacidad. (RAS, 2000)

Rejilla media: artefacto de barras paralelas de separación uniforme (2 a 4 cm), utilizado para remover sólidos flotantes y en suspensión. Son las más empleadas en el tratamiento preliminar. (RAS, 2000)

Sedimentación: proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putrecible. (RAS, 2000)

Sistemas de agitación mecánica: sistemas para mezclar el contenido de digestores por medio de turbinas. (RAS, 2000)

Sólidos activos: parte de los sólidos volátiles en suspensión que representan los microorganismos. (RAS, 2000)

Sólidos no sedimentables: materia sólida que no sedimenta en un período de 1 hora, generalmente. (RAS, 2000)

Sólidos sedimentables: materia sólida que sedimenta en un periodo de 1 hora. (RAS, 2000)

Tanque de aireación: cámara usada para inyectar aire dentro del agua. (RAS, 2000)

Sumidero: estructura diseñada y construida para cumplir con el propósito de captar las aguas de escorrentía que corren por las cunetas de las calzadas de las vías para entregarlas a las estructuras de conexión o pozos de inspección de los alcantarillados combinados o de lluvias. (RAS, 2000)

Tanque Imhoff: tanque compuesto de tres cámaras en el cual se realizan los procesos de sedimentación y digestión. (RAS, 2000)

Tiempo de retención hidráulica: tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil. (RAS, 2000)

Tratamiento primario: tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO. (RAS, 2000)

Tratamiento secundario: es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos. (RAS, 2000)

Tubo o tubería: conducto prefabricado, o construido en sitio, de concreto, concreto reforzado, plástico, poliuretano de alta densidad, asbesto-cemento, hierro fundido, gres vitrificado, PVC, plástico con refuerzo de fibra de vidrio, u otro material cuya tecnología y proceso de fabricación cumplan con las normas técnicas correspondientes. Por lo general su sección es circular. (RAS, 2000)

Vertederos: son dispositivos que permiten determinar el caudal. Poseen una ecuación general que depende de la gravedad, de su geometría, de su espesor de pared. La variable independiente será siempre la altura de la lámina de agua sobre el nivel de referencia. De esta forma cualquier vertedero puede calibrarse mediante una curva de calibración del mismo con base en diferentes alturas de la lámina de agua de los diferentes caudales. (RAS, 2000)

Vertimiento: el vertimiento es la disposición controlada o no de un residuo líquido doméstico, industrial, urbano agropecuario, minero, etc.

Volumétrico: el aforo volumétrico consiste en recoger en un tiempo específico una cantidad de material que se está aforando o recoger un volumen específico midiendo el tiempo utilizado en la recolección de este. Es útil para el aforo de vertimientos puntuales de pequeño tamaño. (RAS, 2000)

RESUMEN

El crecimiento poblacional lleva consigo el riesgo de aumento de contaminación en las fuentes hídricas, y reducir esta afectación, obliga a usar medidas para controlar el vertimiento de agua residual sin previo tratamiento. Estas medidas están directamente relacionadas, con los criterios establecidos para obtener reducciones de cargas unitarias, enmarcadas dentro de los objetivos propuestos para una zona específica y que son consecuentes con la disponibilidad de recursos. Una de las medidas tomadas, son la construcción sistemas de tratamiento de tipo biológico, que son efectivas, si se escoge el tratamiento, operación y mantenimiento adecuado, para proteger la salud y ofrecer bienestar a una comunidad.

El municipio de Guatavita tiene implementado un sistema de tratamiento de agua residual, consistente en una PTAR tipo Lodos Activados, que cubre un 89% del tratamiento del agua sanitaria colectada por el alcantarillado municipal, el 11 % del agua residual es vertida sin tratar a las quebradas Montecillo y Embala.

En el presente trabajo se plantea la comparación de tres tipos de sistema, un filtro Imhoff, la PTAR existente y un Humedal artificial, para escoger una(s) opción(es) que coadyuve, en el tratamiento del agua residual vertida a la quebrada Montecillo. La comparación se hizo, estableciendo la población afectada, los caudales y cargas contaminantes esperadas, las áreas requeridas para implementación, un presupuesto estimado de construcción y mantenimiento, además el reconocimiento de las ventajas y desventajas de cada sistema, para finalmente proponer una solución y generar conclusiones.

Palabras claves

Aguas residuales municipales, cargas contaminantes, proceso biológico, humedal artificial, filtro Imhoff, PTAR.

0. INTRODUCCIÓN

En el estudio de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, municipales e industriales, se requiere aplicar una metodología que identifique cada problema específico, que lo caracterice, que defina los criterios y que establezca las operaciones y proceso de tratamiento óptimo, para lograr los requerimientos definidos y concretar el diseño correspondiente (ROMERO ROJAS, 2013).

El estudio de alternativas de manejo de aguas residuales del sector norte, del casco Urbano y Montecillo, del municipio de Guatavita, propone una opción para tratar el agua residual vertida a la quebrada Montecillo por un conjunto de viviendas ubicadas en un sector suburbano, donde predomina el uso residencial e institucional. Compara tres opciones de tratamiento un filtro Imhoff, un Humedal Artificial y la PTAR actual que es un sistema de lodos activados, y los evalúa con los objetivos de calidad, esperados para la cuenca del río Bogotá, a lograr al llegar el año 2020, concertados en el documento CAR, Acuerdo 0043 del 17 de octubre de 2006.

La metodología usada se soporta en los criterios definidos por el documento RAS 2000, y se apoya en la información existente de estudios y diseños de saneamiento básico, desarrollados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, el Municipio de Guatavita y la teoría obtenida de fuentes escritas y medios electrónicos.

El resultado obtenido en este trabajo pretende servir como apoyo al municipio de Guatavita, para posteriores estudios de pre diseño de obras de tratamiento de agua residual doméstica y la posible eliminación del vertimiento actual de la zona norte Urbana y Montecillo, conectándolo a la PTAR Guatavita.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

El Municipio de Guatavita Cundinamarca, fue trasladado al sitio actual hacia el año de 1967, motivado por la construcción del Embalse del Tominé cuya función principal es la de controlar el caudal del Río Bogotá. El diseño y construcción del pueblo nuevo, se desarrolló por la firma Llorente y Ponce de León Ltda. Guatavita la nueva, se orientó a cumplir con una negociación entre la Empresa de Energía de Bogotá y los propietarios de los predios inundados por el embalse de Tominé. Se observa en su diseño arquitectónico (figura 1), que se dividió el municipio en dos zonas, una la zona pública compuesta por las Plazas Principales, Iglesia, edificio de Alcaldía, Hoteles, Restaurantes y el Hospital; otra conformada por la zona privada familiar que conserva una simetría de conjunto, casas tipo Neo Colonial, con fachadas de color Blanco y carpinterías en color Café y Verde.

Figura 1. Vista Arquitectónica Guatavita 1967 y 2012



Fuente: (PINILLA CAMELO, 2012)

El casco urbano en su zona residencial, se encuentra dividido por dos canales trapezoidales que recogen aguas lluvias de canales menores y dirigen la escorrentía proveniente de vías vehiculares y peatonales. De oriente a occidente por un canal recubierto en ladrillo (figura 2), y de sur a norte por un canal recubierto en piedra. Estos dos canales descargan en quebradas afluentes del embalse de Tominé.

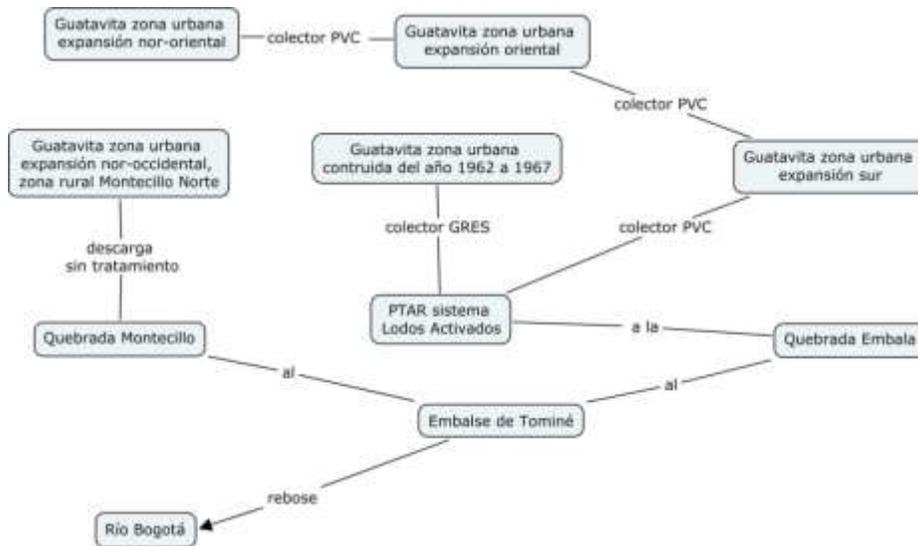
Figura 2. Canal de aguas lluvias



Fuente: elaboración propia

El alcantarillado municipal, fue diseñado para tipo sanitario y cubrir la zona urbana construida entre el año 1962 y el año 1967. Actualmente el sistema (figura 3), opera como un sistema combinado ya que a este, se han ido conectando las áreas de expansión urbana incorporadas por el Esquema de Ordenamiento Territorial, además de un sector del área rural conocido como Montecillo; las conexiones no han respetado el diseño inicial introduciendo al sistema aguas lluvias provenientes de tejados y vías nuevas. El nivel de complejidad del sistema es Bajo, cuenta con 611 suscriptores.

Figura 3. Diagrama de funcionamiento del alcantarillado de Guatavita



Fuente: elaboración propia

El alcantarillado está conectado a una PTAR de sistema convencional de Lodos Activados, por medio de un colector construido en arcilla vitrificada (gres) que data del año 1967 y va de 6” a 14” de diámetro (figura 4), recoge y conduce agua residual de la zona central.

Figura 4. Pozo inspección alcantarillado



Fuente: Emserguatavita S.A. E.S.P.

Existe un segundo colector en material PVC tipo Novafort de 10” a 14” de diámetro, que recoge las aguas de la zona nor-oriental, oriental y parte sur del municipio, que llega por un paso elevado (figura 5), sobre la quebrada Embala a la PTAR.

Figura 5. Paso elevado colector PVC sobre la quebrada Embala



Fuente: elaboración propia

Por ultimo hay un tercer colector, en material PVC Novafort en 8” de diámetro, que recoge agua sanitaria de la zona nor-occidental del casco urbano y parte del sector rural de Montecillo norte, y vierte sin tratamiento alguno, a un arroyo denominado Montecillo (figura 6).

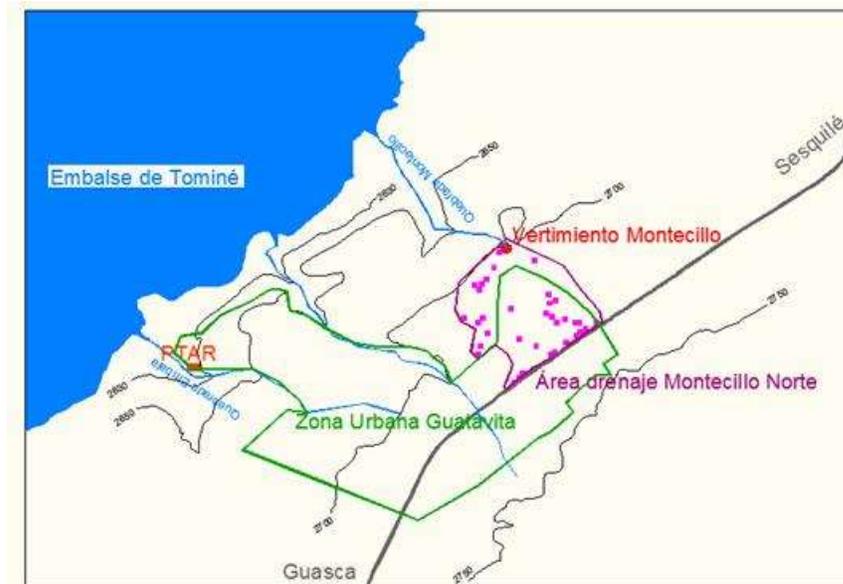
Figura 6. Punto de vertimiento Montecillo Norte año 2012



Fuente: elaboración propia

Este punto de vertimiento es la problemática central del presente estudio, recibe los desechos líquidos domésticos de viviendas y un Colegio Departamental. Tiene la particularidad de coleccionar en zona urbana y rural (figura 7). Esta figura ha sido adaptada de la Carta General, hoja 228 I –B – 2, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, los puntos y líneas en color fucsia muestran el área de drenaje y las viviendas afectadas, las líneas en verde delimitan la zona urbana, en rojo se aprecian los puntos de vertimiento y en azul las fuentes hídricas receptoras, quebrada Montecillo, quebrada Embala y Embalse de Tominé.

Figura 7. Área de drenaje y vertimiento Montecillo Norte adaptado de (IGAC, INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, 2002)



Fuente: elaboración propia

En el año de 2011 mediante convenio entre la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR y el Municipio de Guatavita, se elaboran los diseños para la construcción de un colector de aguas lluvias para separar aguas de este sector. La construcción del colector de agua lluvia (figura 8), se realizó al finalizar el año 2013.

Figura 8. Estructuras de separación de aguas sector Montecillo Norte año 2013



Fuente: elaboración propia

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

“Se carece de sistema de tratamiento de agua residual en la zona de Montecillo Norte y se deben proponer alternativas que den solución eficiente, que sean compatibles con el medio ambiente y sobre todo que se acomode a las posibilidades de pago de sus habitantes”.

De acuerdo con esta situación, el interrogante principal del proyecto propuesto se define como:

¿Puede eliminarse este vertimiento mediante una conexión a la PTAR existente, puede construirse un humedal artificial o un Filtro de tipo IMHOFF propuesto en el PMAA para este sector?

Definidos el problema y el cuestionamiento principal que dan origen al presente trabajo, se presenta a continuación el árbol del problema (figura 9), basado en las posibles causas y consecuencias del mismo, detectadas inicialmente.

Figura 9. Árbol del problema



Fuente: Elaboración propia

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El sector Centro Poblado de Montecillo zona norte, que será para este trabajo de grado la zona de estudio, posee viviendas con una población dedicada a diferentes actividades socioeconómicas, entre ellas la más importante agropecuaria, además existe una Institución Educativa de Básica Primaria y Secundaria, del orden Oficial Departamental. Los inmuebles de la zona tienen conexión a una línea de alcantarillado de 8" de diámetro, tipo Novafort y vierten el agua residual sin ningún tipo de tratamiento, a la quebrada Montecillo (figura 10), que es afluente del Embalse de Tominé.

Figura 10. Punto de vertimiento quebrada Montecillo



Fuente: Elaboración propia

1.4 JUSTIFICACIÓN

Cualquier población, por pequeña que esta sea, debería contar como mínimo con los servicios de acueducto y alcantarillado, si se espera de ella un desarrollo social y económico y, ante todo, la reducción de morbilidad y mortalidad, en especial, de la población infantil (LÓPEZ CUALLA, 2002).

La motivación de este trabajo nace en un proyecto de cargue de información ante la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, de datos de Saneamiento Básico para el Municipio de Guatavita y el Prestador de Servicios Públicos Domiciliarios local, encontrando la necesidad del sector norte, urbano y de Montecillo, de tener un sistema de tratamiento de agua residual que se enmarque

dentro de los objetivos de mejoramiento de las condiciones de salubridad de los pobladores, baje las afectaciones al entorno y medio ambiente, que ofrezca sostenimiento y conservación del sistema empleado para el tratamiento, aumente la cobertura de servicios públicos, desarrolle el sector, reduzca los costos de operación y amplíe la posibilidad de recaudo de la Empresa de Servicios Públicos. Este estudio de evaluación y propuesta de alternativa(s), pretende sugerir la(s) mejor(es) opción(es) resultante(s), entre, la de conexión al sistema de tratamiento existente PTAR, del punto de vertimiento del sector Montecillo Norte, o las opciones de construcción de un Humedal Artificial, y/o la propuesta del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado Municipal, de construcción de un filtro tipo IMHOFF.

2. OBJETIVO GENERAL

Proponer un sistema de tratamiento, para la operación de recolección y disposición actual de agua sanitaria, de la zona norte, Urbana y de Montecillo, del municipio de Guatavita, que a futuro permita, concretar estudios de pre diseño.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Examinar el estado de recolección y disposición de agua residual en el casco urbano y sector de Montecillo, de la zona norte de Guatavita, relacionando las características básicas, para identificar la problemática de vertimiento sin tratamiento.

Analizar tres opciones de tratamiento de agua residual, entre ellas la PTAR existente, un Humedal artificial y un filtro tipo IMHOFF; este último propuesto como alternativa, dentro del documento diagnóstico, Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado Municipal de Guatavita.

Comparar las opciones, determinando sus ventajas y desventajas, mostrar los resultados, y finalmente exponer las conclusiones, proponiendo, un proceso de tratamiento, que favorezca, los intereses ambientales y socioeconómicos para el sector.

3. MARCO TEÓRICO

La descarga de agua residual doméstica sin tratamiento, es una de las problemáticas que enfrentan las cuencas hidrográficas. El Río Bogotá principal cuenca en Cundinamarca, ha llegado a límites extremos de contaminación, evidenciando una falta de compromiso durante décadas, por parte de los usuarios, los agentes reguladores y administradores que han permitido y evadido responsabilidad en los procesos de actividades urbanísticas, comerciales e industriales con procesos inadecuados, o en situaciones, carentes de sistemas de limpieza y descontaminación del agua. Tratar las aguas residuales previo vertimiento a los cuerpos de agua, es una obligación con el medio ambiente y forma parte de los objetivos de saneamiento básico, orientados a combatir las tasas de morbilidad y mortalidad de cualquier comunidad.

Las corporaciones autónomas regionales y corporaciones para el desarrollo sostenible, creadas o reorganizadas a través de la Ley 99 de 1993, están encargadas de la administración del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, incluida el agua. Ejecutan políticas, planes, programas y proyectos específicos para manejar, proteger, regular y controlar la disponibilidad, calidad y uso del recurso hídrico, y velan por el cumplimiento de la normativa vigente en la materia (COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, 2010). En la jurisdicción de la cuenca del Río Bogotá le corresponde a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR el cumplimiento de esta administración, para lo cual la corporación, estableció mediante el acuerdo 0043 de octubre 17 de 2006, los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr al llegar el año 2020, tomando como base el estudio "Propuesta de Metodología para la determinación de los objetivos de calidad de la cuenca del río Bogotá" CAR. 2006. Este estudio dividió la cuenca (cuadro 1), en cinco tramos y la clasificó (cuadro 2), así:

Cuadro 1. División de la cuenca del Río Bogotá

CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ	
Tramos	
1	Cuenca Alta-Superior al sector comprendido entre Villapinzón y Tibitoc.
2	Cuenca Alta-Inferior entre Tibitoc y la estación hidrometeorológica la Virgen.
3	Cuenca Media entre la estación hidrometeorológica la Virgen y las compuertas Alicachín, en inmediaciones del embalse del Muña.
4	Cuenca Baja - superior desde El Embalse del Muña hasta la descarga del río Apulo.
5	Cuenca Baja Inferior desde la descarga del río Apulo hasta la desembocadura del río Bogotá en el Magdalena.

Fuente: (Acuerdo 0043, 2006)

Cuadro 2. Usos del agua para la cuenca del Río Bogotá

CLASIFICACIÓN DE USOS DEL AGUA PARA LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ	
Clase	Usos
I	Para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional, preservación de flora y fauna, uso agrícola y uso pecuario.
II	Para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional, uso agrícola con restricciones y uso pecuario.
III	Corresponde a los valores asignados a la calidad de los Embalses, Lagunas, humedales y demás cuerpos lénticos de aguas ubicados dentro de la cuenca del río Bogotá.
IV	Corresponde a valores de los usos agrícola con restricciones y pecuario

Fuente: (Acuerdo 0043, 2006)

Dentro de esta división, el municipio de Guatavita se ubica, en la cuenca alta-superior, Embalse del Tominé (cuadro 3), comprendida por el río Siecha y sus afluentes desde su cabecera hasta su desembocadura en el río Bogotá y se le asignó la siguiente codificación:

Cuadro 3. Cuenca del Embalse de Tominé

CUENCA DEL EMBALSE DE TOMINÉ CÓDIGO: 2120-17	
	Clase
Subcuenca del río Aves: El río Aves y sus afluentes	II
Subcuenca del río Siecha: El río Siecha y sus afluentes	II
Cuerpos de agua en la cuenca proveniente de la reserva de Guatavita	I
El embalse de Tominé y su descarga al río Bogotá	III

Fuente: (Acuerdo 0043, 2006)

Figura 11. Vista del Embalse de Tominé



Fuente. Elaboración propia

El embalse de Tominé (figura 11), actúa como cuerpo receptor de los vertimientos líquidos provenientes del alcantarillado municipal de Guatavita, para lo cual los valores de los parámetros de calidad a aplicar se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Valores de los parámetros de calidad Clase III de la cuenca del Río Bogotá

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	VALOR MÁS RESTRICTIVO (MÁXIMO QUE SE PUEDE OBTENER)
PARÁMETROS ORGÁNICOS		
DBO	mg/l	20
OD	mg/l	>4
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	5000
PARÁMETROS NUTRIENTES		
NITRÓGENO AMONIACAL	mg/l	0.3
NITRATOS	mg/l	1
NITRITOS	mg/l	0.5
FOSFORO TOTAL	mg/l	0.1
SOLIDOS		
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/l	20
PARÁMETROS DE INTERÉS SANITARIO		
AMONIACO	CL 96/50	1
ARSÉNICO	CL 96/50	0.05
BARIO	CL 96/50	1
BERILIO	CL 96/50	0.1
CADMIO	CL 96/50	0.01
CIANURO LIBRE	CL 96/50	0.2
CINC	CL 96/50	2
CLORUROS	mg/l	250
COBALTO	mg/l	0.05
COBRE	CL 96/50	0.2
COLOR	Unidades escala Platino - Cobalto	75
COMPUESTOS FENÓLICOS	mg/l	0.002
CROMO (CR+6)	mg/l	0.05
DIFENIL POLICLORADOS	Concentración de agente activo	No detectable
MERCURIO	mg/l	0.0002
PH	Unidades	5.0 – 9.0
PLATA	mg/l	0.05
PLOMO	mg/l	0.05
SELENIO	mg/l	0.01
SULFATOS	mg/l	400
TENSOACTIVOS	mg/l	0.5
VANADIO	mg/l	0.1

CL ⁹⁶₅₀: Denomínase a la concentración de una sustancia, elemento o compuesto, solo o en combinación, que produce la muerte al cincuenta por ciento (50%) de los organismos sometidos a bioensayos en un período de noventa y seis (96) horas.

Fuente: (Acuerdo 0043, 2006)

Para cumplir los objetivos de calidad del agua de la Cuenca Alta del Río Bogotá, establecidos en el acuerdo CAR 0043 de 2006, así como el decreto 3930 de 2010, usos del agua y residuos líquidos, el documento Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá POMCA, área aferente al Embalse del Tominé, municipio de Guatavita, tiene integrado en los programas estratégicos de saneamiento básico, construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico (cuadro 5), y considera, la elevación futura de los niveles de calidad de vida de la población del área de drenaje y plantea la necesidad de adoptar mecanismos y programas que permitan alcanzar dicha calidad bajo la concepción del desarrollo social, económico y ambiental municipal (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA CAR, 2006).

Cuadro 5. Proyectos de saneamiento básico en Guatavita, incluidos en el POMCA del Río Bogotá

PROGRAMA ESTRATEGICO DE SANEAMIENTO BASICO
Construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales veredales. Baterías sanitarias y pozos sépticos.
Construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
Sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales.
Planes Maestros de Alcantarillado.
Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos.
Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
Implementación de sistemas de tratamiento de los mataderos municipales.
Manejo y control de residuos sólidos y líquidos derivados de los sistemas de producción agropecuarios.

Fuente: (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA CAR, 2006)

A nivel municipal, el esquema de Ordenamiento Territorial de Guatavita EOT, en el Artículo 181, del Capítulo V, incluye áreas de aprovisionamiento de servicios públicos, disposición final de residuos y otras áreas especiales, que permiten al Plan de Desarrollo Municipal en ejecución 2012-2015, ejecutar lo previsto en su Artículo 2, Programa acceso óptimo a los servicios públicos, Subprograma alcantarillado y manejo de agua residual por la salubridad, implementar programas de mejoramiento de los vertimientos domésticos (ALCALDÍA GUATAVITA, 2012).

Estos programas se alimentan de presupuestos individuales de los entes territoriales o a través de convenios interadministrativos Municipio, CAR, Departamento. También el municipio de Guatavita, pertenece al Plan Departamental de Aguas del Departamento de Cundinamarca PDA, quien es Gestor de Proyectos de Saneamiento Básico ante el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, accediendo a los recursos de Sistema General de Participaciones SGP, en el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Estas posibilidades de asignación de recursos permiten el desarrollo de diversos proyectos.

El Municipio cuenta con un Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado PMAA que fue formulado en el año de 2009. En cuanto al tratamiento de Agua Residual, el documento plantea la optimización de la PTAR existente y la construcción de dos (02) PTAR nuevas (cuadro 6, figura 12), para dar solución a los sectores de la zona rural de Montecillo. La (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2009) plantea,

Alternativas de Tratamiento Elegidas para Guatavita

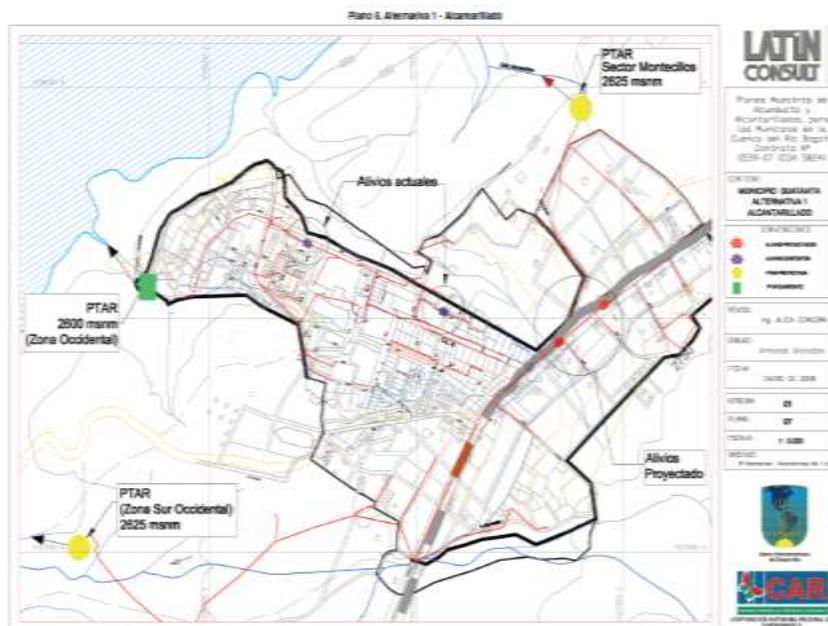
La evaluación de la planta de tratamiento de Guatavita arrojó como resultado que está en condiciones de prestar servicio a esta población hasta el año 2035; sin embargo, es necesaria la ampliación de los lechos de secado y la construcción de un nuevo sedimentador para el año 2015, junto con la renovación futura de los aireadores, llegando a necesitar 4 aireadores de 30 HP cada uno. (págs. 7-35)

Cuadro 6. Alternativas tratamiento de aguas residuales

ALTERNATIVAS	TIPO DE PLANTA
Optimización	Optimización Zanjonés
Construcción PTAR Montecillos	IMHOFF + Filtro percolador + Decantador secundario

Fuente: (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2009, págs. 7-35)

Figura 12. Plano Alternativa 1 Alcantarillado



Fuente (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2009, págs. 6-23)

3.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El objetivo básico del tratamiento de aguas, es proteger la salud y promover el bienestar de los miembros de la sociedad. El retorno de las aguas residuales a nuestros ríos o lagos nos convierte en usuarios directos o indirectos de las mismas, y a medida que crece la población, aumenta la necesidad de proveer sistemas de tratamiento o renovación que permitan eliminar los riesgos para la salud y minimizar los daños al ambiente (ROMERO ROJAS, 2013).

En la formulación de proyectos de sistemas de tratamiento de aguas, en el planeamiento y diseño se pueden considerar distintos objetivos (cuadro 7), dependiendo de la disponibilidad de recursos económicos, técnicos, además de los criterios establecidos para descarga de efluentes o eficiencias mínimas y, eventualmente motivación ecológica (ROMERO ROJAS, 2013).

Los principales objetivos a considerar en un tratamiento gradual son:

Cuadro 7. Objetivos de tratamiento de aguas residuales

Inicialmente	Seguido	Finalmente
<ul style="list-style-type: none">- Remoción de DBO.- Remoción de sólidos suspendidos.- Remoción de patógenos.	<ul style="list-style-type: none">- Remoción de nitrógeno y fosforo.	<ul style="list-style-type: none">- Remoción de sustancias orgánicas refractarias como los detergentes, fenoles y pesticidas.- Remoción de trazas de metales pesados.- Remoción de sustancias inorgánicas disueltas.

Fuente: (ROMERO ROJAS, 2013)

Lo complejo del diseño del sistema de tratamiento, depende del objetivo de remoción propuesto y se inicia por un pretratamiento, que tiene como objeto remover del agua residual, aquellos constituyentes que pueden provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos y operaciones. El cribado es una operación utilizada para la eliminación de sólidos gruesos del agua, la flotación para eliminar grasas y aceites y el desarenado para la eliminación de arena, grava, partículas u otros materiales. Por lo general el tratamiento primario en un sistema convencional, remueve alrededor del 60% de los sólidos suspendidos del agua residual cruda y hasta un 40% de la DBO (ROMERO ROJAS, 2013).

El tratamiento secundario convencional es biológico, se usa principalmente para remoción de DBO soluble y sólidos suspendidos volátiles, se incluyen en estos los procesos biológicos de lodos activados, filtros percoladores, sistemas de lagunas y sedimentación (ROMERO ROJAS, 2013).

El tratamiento terciario y avanzado, supone generalmente, la necesidad de remover nutrientes para prevenir la eutrofización de las fuentes receptoras ambientalmente más sensibles o para mejorar la calidad de un efluente secundario con el fin de adecuar el agua para su reuso (ROMERO ROJAS, 2013).

3.1.1 Tratamiento biológico

La actividad biológica se aprovecha para remover principalmente sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas, del agua residual, mediante su conversión en gases que escapan a la atmósfera y en biomasa extraíble mediante sedimentación. La actividad biológica también se usa para remover nitrógeno y fósforo del agua residual (ROMERO ROJAS, 2013).

Cuadro 8. Principales procesos de tratamiento biológico

Tipo	Crecimiento	Proceso	Uso principal
Aerobios	Suspendido	Lodos activados Convencional Mezcla completa Aireación escalonada Estabilización y contacto Oxígeno puro Tasa alta Aireación prolongada Proceso Krauss Zanjón de oxidación	Remoción de DBO y nitrificación
		Lagunas aireadas	Remoción de DBO y nitrificación
		Digestión aerobia	Remoción de DBO – estabilización
		Lagunas aerobias	Remoción de DBO y nitrificación
		Adherido	Filtros percoladores Tasa baja Tasa alta
	Torres biológicas		Remoción de DBO y nitrificación
	Unidades rotatorias de contacto biológico		Remoción de DBO y nitrificación
	Reactores de lecho fijo		Remoción de DBO y nitrificación
	Anóxicos	Suspendido	Bardenpho
Adherido		Desnitrificación Desnitrificación	Remoción de nitrógeno Remoción de nitrógeno
Anaerobios	Suspendidos	Digestión anaerobia	Remoción de DBO – estabilización
		Anaerobio de contacto	Remoción de DBO
	Híbrido	Lagunas anaerobias	Remoción de DBO – estabilización
		Manto de lodos – flujo Ascensional (PAMLA) o UASB	Remoción de DBO y SS
	Adherido	Filtro anaerobio	Remoción de DBO – estabilización
Lecho expandido		Remoción de DBO – estabilización	

Fuente: (ROMERO ROJAS, 2013)

En general todo proceso biológico, para el desarrollo apropiado de los microorganismos requiere básicamente:

- Nutrientes suficientes.
- Ausencia de compuestos tóxicos.
- Condiciones ambientales apropiadas

Las bacterias demandan principalmente, carbono, nitrógeno, hidrogeno y oxigeno; y en menor cantidad fósforo, azufre, potasio, calcio, hierro y magnesio y como suplemento nutricional cantidades mínimas de zinc y molibdeno.

Las aguas residuales industriales contienen compuestos difíciles de remover microbiológicamente, por lo cual se les debe aplicar procesos físico-químicos, antes de ser ingresadas en los procesos biológicos.

3.1.2 Proceso aerobio

Es un proceso de respiración de oxígeno en el cual el oxígeno libre es el único aceptador final de electrones; el oxígeno es reducido y el carbono es oxidado, al igual que la materia orgánica o inorgánica. Usualmente, las bacterias son los organismos más importantes en el tratamiento aerobio de las aguas residuales, porque son excelentes oxidadores de la materia orgánica y crecen bien en aguas residuales, siendo capaces de formar una capa floculenta gelatinosa de muy buenas características para la remoción de la materia orgánica. Tanto en los procesos de lodos activados como en filtros percoladores son comunes las siguientes bacterias: *Zooglea ramigera*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium* y *Alcaligenes* (ROMERO ROJAS, 2013).

En los procesos aerobios, es primordial mantener una concentración adecuada de oxígeno disuelto, generalmente mayor de 1 mg/L. el pH favorable para este proceso está entre 6,5 a 8,5, valores superiores o inferiores deterioran la eficiencia del tratamiento (ROMERO ROJAS, 2013). En el cuadro 9 se presentan las principales ventajas y desventajas del proceso:

Cuadro 9. Ventajas y desventajas del proceso aerobio

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Ausencia de olores. - Mineralización de todos los compuestos biodegradables. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tasa alta de síntesis celular y, por consiguiente, alta producción de lodos. - Requiere mucha energía eléctrica para oxigenación y mezcla. - Gran proporción de células en los lodos hace, en algunos casos, necesaria su digestión, antes de secarlos y disponerlos.

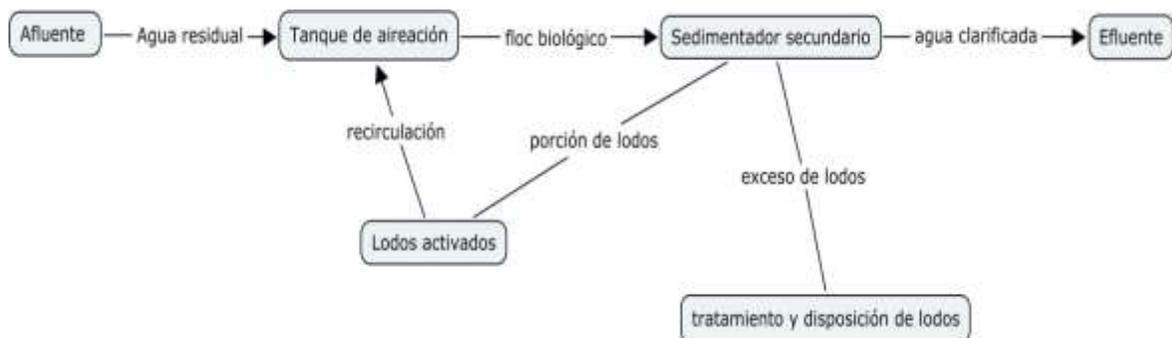
Fuente: (ROMERO ROJAS, 2013)

Uno de los procesos del tipo aerobio, es el de lodos activados, en el que el agua residual entra en contacto con floc biológico previamente formado en un tanque de aireación. El lodo activado consiste en una masa floculenta de microorganismos, materia orgánica muerta y materiales inorgánicos; tiene la propiedad de poseer una superficie altamente activa para la absorción de materiales coloidales y

suspendidos, a la cual debe su nombre de activado. El resultado final es una porción de materia orgánica, susceptible de descomposición biológica, convertida en compuestos inorgánicos y el resto, transformada en lodo activo adicional (ROMERO ROJAS, 2013).

El sistema convencional de Lodos Activados (figura 13), consiste básicamente en un tanque de aireación, sedimentador y recirculación de lodos activados. Los lodos recirculados y el agua residual proveniente del sedimentador primario, si lo hay, entran en el tanque de aireación, donde son aireados y mezclados a medida que la mezcla líquida (lodos + agua residual) fluye a lo largo del tanque. Los microorganismos estabilizan aeróbicamente la materia orgánica en el tanque de aireación y fluyen al sedimentador secundario donde el floc biológico es separado del agua residual, dejando un efluente claro de bajo contenido orgánico. Una porción de los lodos es recirculada al tanque de aireación como simiente y, el exceso, enviado al sistema de tratamiento y disposición de lodos (ROMERO ROJAS, 2013).

Figura 13. Proceso convencional de lodos activados



Fuente: elaboración propia

3.1.3 Proceso anaerobio

Es la descomposición de compuestos orgánicos, en ausencia de oxígeno libre, para obtener la energía requerida para el crecimiento y mantenimiento de los organismos anaerobios. El proceso microbiano es muy complejo y está integrado por múltiples reacciones y en serie, interdependientes entre sí. En su forma más elemental, se puede considerar el proceso anaerobio de descomposición de la materia orgánica integrado por dos etapas: fermentación de ácidos y fermentación de metano, que ocurren simultáneamente. La estabilización o remoción biológica anaerobia de DBO ocurre en la formación de metano, porque éste es poco soluble en el agua y se evapora con el gas que sale del reactor. En el proceso anaerobio es primordial el control de pH ya que las bacterias del metano operan solamente en el intervalo de 6,5 a 7,5; la sobreproducción de ácidos disminuye el pH,

deteniendo el proceso en estados intermedios, inhibiendo la actividad de las bacterias del metano, desarrollando compuestos indeseables y olorosos (ROMERO ROJAS, 2013). El cuadro 10 muestra las principales ventajas y desventajas del proceso:

Cuadro 10. Ventajas y desventajas del proceso anaerobio

Ventajas	Desventajas
<p>Tasa baja de síntesis celular y, por consiguiente, poca producción de lodos.</p> <p>El lodo producido es razonablemente estable y puede secarse y disponerse por métodos convencionales.</p> <p>No requiere oxígeno. Por tanto, usa poca energía eléctrica y es especialmente adaptable a aguas residuales de alta concentración orgánica.</p> <p>Produce metano, el cual puede ser útil como energético.</p> <p>Tiene elementos nutricionales bajos.</p>	<p>Para obtener grados altos de tratamiento requiere temperaturas altas.</p> <p>El medio es corrosivo.</p> <p>Tiene riesgos por salud por $H_2 S$.</p> <p>Exige un intervalo de operación de pH bastante rígido.</p> <p>Requiere concentraciones altas de alcalinidad.</p> <p>Es sensible a la contaminación con oxígeno.</p> <p>Puede presentar olores desagradables por $H_2 S$, ácidos grasos y amidas.</p>

Fuente: (ROMERO ROJAS, 2013)

El tanque Imhoff (figura 14), es uno de los procesos de tipo anaerobio. Es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos. Ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por ese motivo también se les llama tanques de doble cámara. Tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas; sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y remoción de arena (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005).

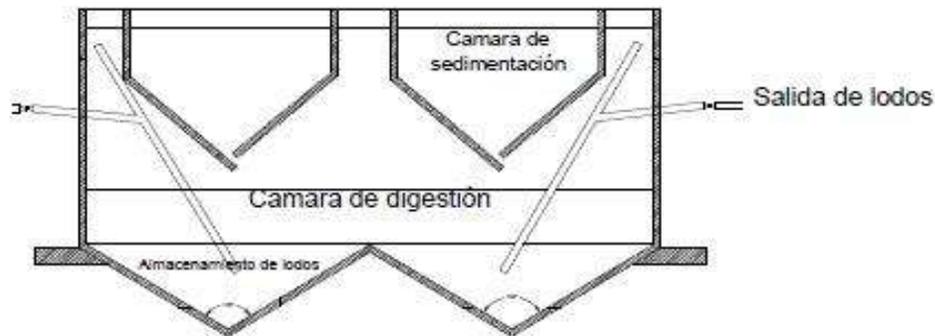
El tanque Imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimentos:

- Cámara de sedimentación.
- Cámara de digestión de lodos.
- Área de ventilación y acumulación de natas.

Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, interfieran en el proceso de la sedimentación. Los gases y partículas ascendentes, que

inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación.

Figura 14. Tanque Imhoff de doble cámara



Fuente: (blogspot.com, 2011)

3.1.4 Proceso anóxico

También conocido como desnitrificación anaerobia, pero como las vías principales de conversión bioquímica no son anaerobias sino una modificación de las vías aerobias, se denomina proceso anóxico. La fermentación anóxica o proceso de respiración de nitrato está definida como el conjunto de reacciones de reducción de nitrato o nitrito, en las cuales se utilizan como aceptadores de electrones, en ausencia de oxígeno libre. Esta condición diferencia el proceso anóxico con la respiración aerobia. Las bacterias desnitrificantes más frecuentes en este proceso son *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Methanomonas*, *Paracoccus*, *Spirillum* y *Thiobacillus* (ROMERO ROJAS, 2013).

Un ejemplo lo constituye el zanjón de oxidación usado para remover nitrógeno, mediante la producción de zonas aerobias y anóxicas dentro del canal, controlando la tasa de transferencia de oxígeno, para que el oxígeno disuelto, del licor mezclado se agote en una porción del canal de aireación. La fuente de carbono para la desnitrificación, en la zona anóxica, se provee, en estos casos, alimentando el residuo crudo al canal, aguas arriba del inicio de la zona anóxica (ROMERO ROJAS, 2013).

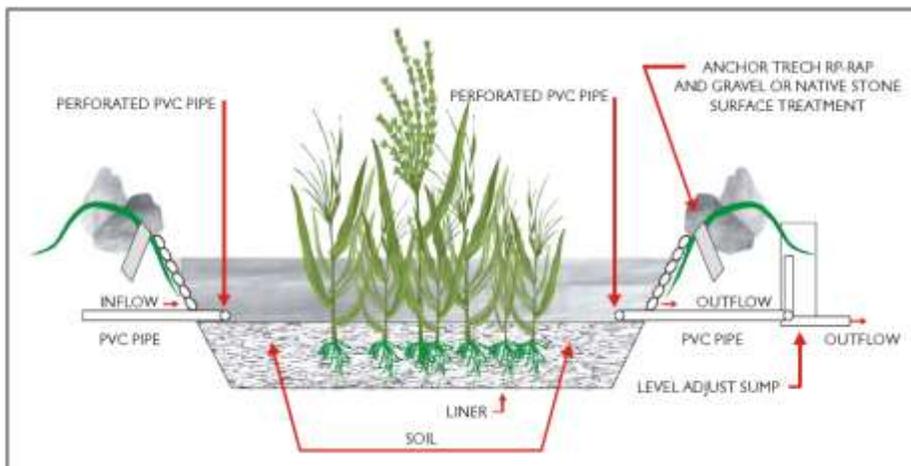
3.2 TRATAMIENTO ACUÁTICO

Es un sistema de tratamiento en el cual se aplican aguas residuales sobre terrenos húmedos naturales o artificiales con el propósito de remover sus contaminantes, usando como medio, plantas acuáticas (plantas tolerantes al agua como la espadaña, la enea, los juncos, la vellorita o primavera y el Jacinto de agua). La vegetación acuática puede recuperar la calidad del agua y puede estabilizar riberas de ríos y lagos, mejorando la estética ambiental. El uso de plantas acuáticas debe planearse con cuidado ya que su excesivo crecimiento puede aumentar los costos en cuanto a limpieza. Las plantas acuáticas sirven de soporte bacterial y medio de sedimentación. El tratamiento ocurre a una tasa relativamente lenta (ROMERO ROJAS, 2013).

Un tipo de tratamiento acuático lo constituyen los humedales artificiales, que son aquellos construidos por el ser humano manipulando los componentes que generan la diversidad de interacciones de los humedales naturales. Consisten en el diseño correcto de un canal que contiene agua, substrato, medio de soporte y por lo general plantas emergentes, otros componentes importantes de los humedales, como las comunidades de microbios y los invertebrados acuáticos, se desarrollan naturalmente. (UNIVERSIDAD DE PAMPLONA).

Existen dos tipos de humedales diseñados para el tratamiento de aguas residuales, humedales de flujo superficial (SF), por el cual el agua circula sobre la superficie del substrato.

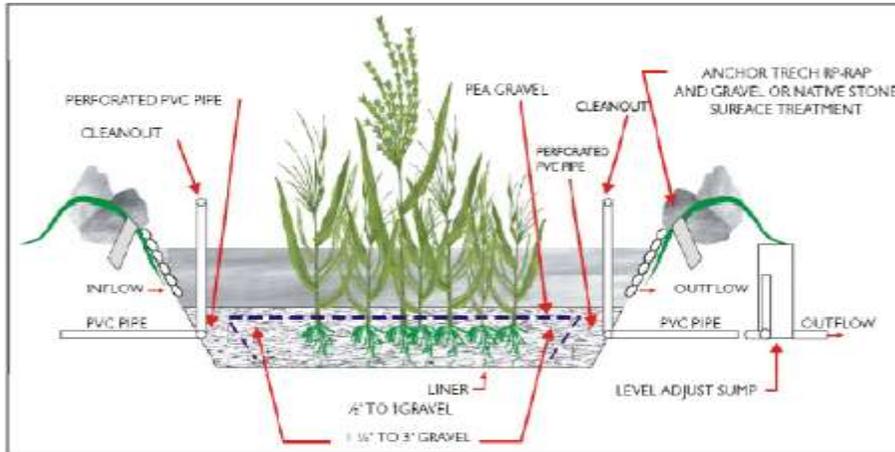
Figura 15. Humedal artificial de flujo superficial



Fuente: (OTÁLORA RODRIGUEZ, 2011)

Y los humedales de flujo subsuperficial (SFS), en el que el agua circula a nivel de la superficie del lecho o por debajo del sustrato.

Figura 16. Humedal artificial de flujo subsuperficial



Fuente: (OTÁLORA RODRIGUEZ, 2011)

4. METODOLOGÍA PARA LA INVESTIGACIÓN

4.1 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio de alternativas de manejo de aguas residuales del sector norte, del casco Urbano y Montecillo del municipio de Guatavita, pretende, comparar tres opciones de tratamiento, que estén enmarcadas en los objetivos de calidad esperados para las fuentes hídricas del sector, concertados en el documento CAR, Acuerdo 0043 del 17 de octubre de 2006, objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr al llegar el año 2020, proponiendo la mejor opción conceptual resultante, que sirva como medio de consideración, a un pre diseño, del sistema de tratamiento de agua residual, para la zona Norte.

4.2 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Se toma el concepto de alternativa para el tratamiento de agua residual, planteado en el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de Guatavita del año 2009 (construcción de un filtro tipo Imhoff, para la zona Norte Urbana y Montecillo), se pone esta opción en comparación, con el sistema de tratamiento PTAR existente y un Humedal artificial de iniciativa de este estudio. Esta comparación de sistemas, establece un periodo de proyecto entre el año 2015 y el año 2035, un análisis de la población afectada, el aporte de caudal, el área que se debe disponer para las implementaciones, un estimativo de calidad esperada en reducción de DBO y SST, además de un presupuesto estimado, del valor de construcción y operación (según experiencias consignadas en la teoría usada dentro de la investigación), las ventajas y desventajas de los sistemas, conclusiones generadas y finalmente dejar propuesta de la opción, de mejor condición de eficiencia, económica concordante con el medio ambiente y social.

4.3 METODOLOGÍA USADA EN LA INVESTIGACIÓN

4.3.1 Recolección de información

Se inició la investigación con visita realizada al municipio de Guatavita a las oficinas de la Alcaldía, Planeación Municipal, Desarrollo Social, Empresa de Servicios públicos Domiciliarios, para obtener información preliminar, de la cual se extrajeron, algunos datos del EOT vigente, Plan de Desarrollo Municipal, Archivo Municipal, y de los proyectos Diseños de Detalle para la Construcción de Obras de Saneamiento en los Municipios de la Cuenca del Río Bogotá, Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de Guatavita. Se realizó visita a la zona de estudio para realizar reconocimiento, registros fotográficos y recolección de información de aspecto social y ambiental. Se obtuvo información de experiencias de varias autoridades, en medios escritos y electrónicos.

4.3.2 Análisis de datos

Conocida la información preliminar, el análisis de datos se inicia con la configuración de los antecedentes y la decisión de continuar los objetivos iniciales adoptados para la zona, confirmando que a la fecha solamente se ha planteado, en el plan maestro de acueducto y alcantarillado un concepto que sugiere la construcción para la zona norte Urbana y Montecillo, de un sistema de tratamiento de agua residual que consiste en un filtro Imhoff. Se continua el análisis, con una caracterización general del municipio, luego una descripción muy general de la zona de estudio, y los objetivos de calidad del agua esperados a 2020, para la cuenca del Río Bogotá, plasmados en el Acuerdo 43 de 2006, emanado por la CAR. Posterior se describen aspectos de la estructura de tratamiento existente y su optimización proyectada en estudios técnicos realizados por la CAR, luego se exponen las consideraciones teóricas de algunos autores, sobre un Humedal artificial y un filtro Imhoff. Finalmente se compararon los sistemas.

4.3.3 Evaluación de resultados

La teoría, existente, permitió, conocer la población a servir, una opción aproximada de las áreas necesarias, los aportes de agua residual y cargas más representativas, que para este estudio, se tomaron como esenciales los parámetros de reducción DBO y SST. La eficiencia esta soportada en experiencias de los distintos autores. Se estableció un presupuesto para predios, para inversión inicial y para operación del sistema. Se incluyeron las recomendaciones dadas por los distintos autores sobre cada sistema.

4.4 CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA

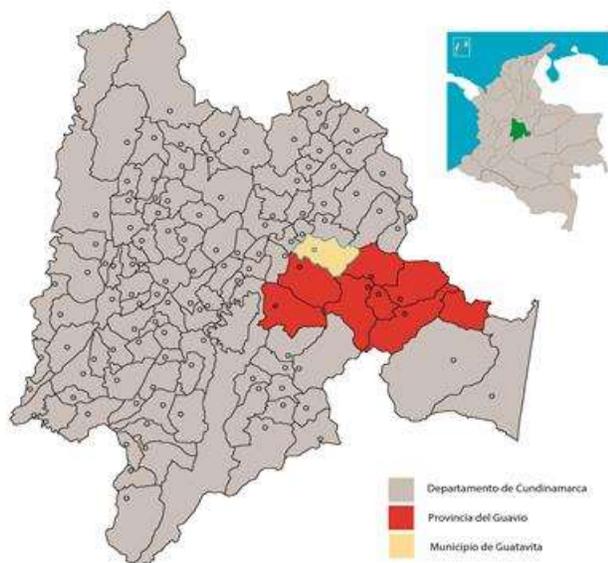
4.4.1 Ubicación geográfica y extensión territorial

El municipio de Guatavita pertenece al Departamento de Cundinamarca, provincia de Guavio (figura 17), está localizado sobre el circuito vial departamental, Bogotá, la Calera, Guasca y Guatavita, distando de la Capital por 75 Km. También se accede por la autopista norte vía a Tunja, desviando al municipio de Sesquilé y luego se llega a Guatavita, por esta vía se recorren 70 Km. El municipio se encuentra sobre el valle del río Siecha inundado para construir la actual represa del Tominé. Tiene una extensión territorial total de 247,3 Km^2 , en donde 240,46 Km^2 corresponden al área rural y 6,84 Km^2 al área urbana. El municipio se encuentra localizado a los 73° 44' 21" de longitud oeste y los 4° 50' 23" de latitud norte, con una altitud promedio de 2.680 m.s.n.m. (ALCALDÍA DE GUATAVITA, 2014).

4.4.2 Límites del municipio

Por el norte con el municipio de Sesquilé, por el Sur con los municipios de Guasca y Junín, al Occidente con los municipios de Tocancipá y Gachancipá y por el oriente con los Municipios de Machetá y Gachetá.

Figura 17. Localización municipio de Guatavita



(GOBERNACIÓN DE CUNDINAMARCA, 2010)

4.4.3 División política

La extensión territorial está dividida en 12 veredas (cuadro 11), y en el casco urbano, según definición e identificación catastral:

Cuadro 11. Veredas de Guatavita según base catastral 2006

Vereda			
01	CARBONERA	07	CHALECHE
02	SANTA MARIA EL CHOQUE	08	HATILLO
03	TOMINÉ	09	CORALES
04	POTRERO LARGO	10	GUANDITA
05	MONQUENTIVA	11	POTRERITOS
06	MONTECILLO	12	AMOLADERO

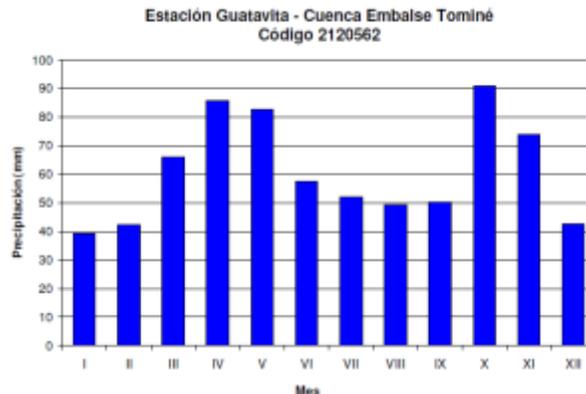
Fuente: elaboración propia

4.4.4 Clima.

Presenta un período de mayor precipitación en el primer semestre del año (figura 18), entre los meses de Marzo a Junio, siendo mayo el mes más lluvioso, con un valor cercano a los 86 mm, y entre Octubre y Noviembre en el segundo semestre,

con registros de 91 y 74 mm respectivamente. El valor total anual promedio es de 732 mm, con valores máximos que superan los 1.150 mm y mínimos con registros por debajo de los 530 mm (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011).

Figura 18. Distribución temporal de la precipitación, estación Guatavita

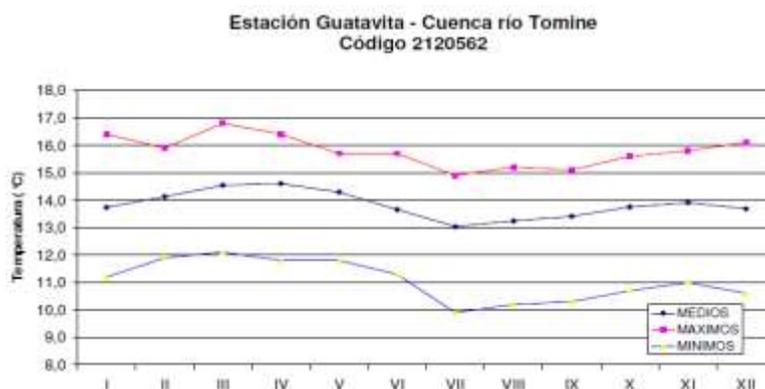


Fuente: (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)

4.4.5 Temperatura.

Para el municipio de Guatavita se tiene un rango de temperatura entre 9°C–15°C (figura 19), con un promedio de 12°C.

Figura 19. Distribución temporal de la temperatura, estación Guatavita



Fuente: (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)

4.4.6 Hidrología

En jurisdicción del municipio de Guatavita se encuentra la mayor parte del Embalse del Tominé, cuya capacidad de almacenamiento de agua es 690 Mm³, su uso es turístico y de regulación del río Bogotá. Las principales Cuencas

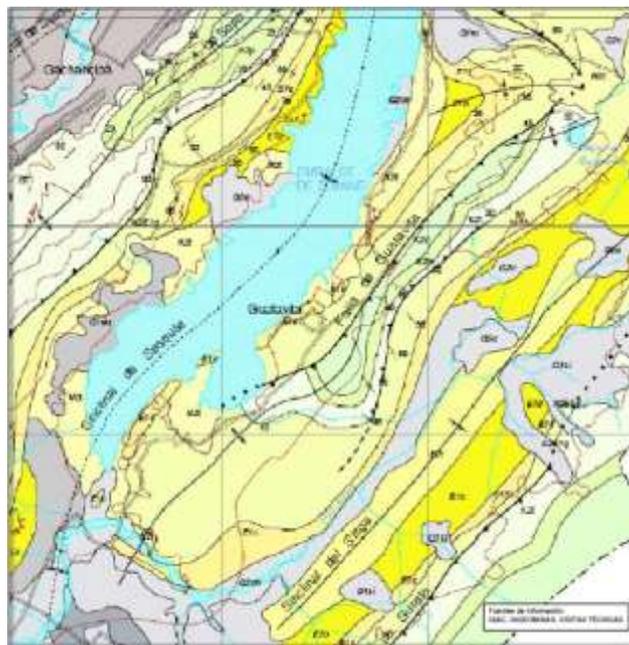
Hidrográficas son las del embalse del Tominé, los ríos Aves, Pan de Azúcar, Amoladero y Lagunero, las quebradas Corales, Hatillo, San Francisco o el Chuscal.

4.4.7 Geología

El municipio pertenece a la subcuenca del Embalse de Tominé, ésta se ubica en el sector meridional de la provincia Fisiográfica de la Cordillera Oriental, donde afloran rocas sedimentarias de edad Cretácica, Paleógena - Neógena y Cuaternaria, las cuales fueron afectadas por fallas y pliegues producto de la tectónica compresiva que originó el levantamiento de la cordillera. (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011).

La falla de Guatavita, está localizada al oriente de la Sabana, entre el embalse del Sisga y el Municipio de Guatavita. Es una falla de cabalgamiento convergencia al occidente y dirección general N450E. El segmento norte, es responsable de la generación del anticlinal de San José, donde cabalga la Formación Plaeners de este anticlinal sobre la Formación Guaduas del sinclinal de Sesquilé y el segmento sur, genera el anticlinal de Guatavita y cabalga la Formación Arenisca Dura sobre la Formación Guaduas del sinclinal de Sisga; estos dos segmentos se separan por un tramo de la falla con dirección N500W que se comporta como una rampa lateral (INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS, 2005).

Figura 20. Falla geológica de Guatavita



Fuente: (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)

4.4.8 Población

De acuerdo con el censo DANE del año 2005, la población, viviendas y hogares se distribuyen como se muestra en los cuadros 12, 13 y 14.

Cuadro 12. Población Guatavita Censo DANE 2005

Viviendas, Hogares y Personas				
Área	Viviendas Censo	Hogares General	Personas 2005	Proyección Población 2010
Cabecera	543	470	1736	1866
Resto	1217	982	3979	4923
Total	1760	1452	5715	6789

Fuente: (COLOMBIA. DANE, 2005)

Cuadro 13. Módulos de hogares Guatavita

Módulo de Hogares		
Promedio de Personas por Hogar		
Total	Cabecera	Resto
3,9	3,7	4,1

Fuente: (COLOMBIA. DANE, 2005)

Cuadro 14. Proyecciones de población de Guatavita, adaptado censo DANE 2005

Año	Población Urbana	Población Rural	Año	Población Urbana	Población Rural	Año	Población Urbana	Población Rural
2005	1771	4914	2016	1983	4941	2027	2133	4984
2006	1797	4915	2017	1990	4946	2028	2149	4987
2007	1815	4917	2018	2009	4949	2029	2165	4991
2008	1838	4919	2019	2010	4953	2030	2181	4994
2009	1853	4921	2020	2025	4957	2031	2198	4997
2010	1866	4923	2021	2040	4961	2032	2214	5000
2011	1893	4927	2022	2055	4966	2033	2230	5003
2012	1907	4928	2023	2071	4968	2034	2247	5007
2013	1926	4931	2024	2086	4973	2035	2264	5009
2014	1940	4934	2025	2101	4976			
2015	1960	4938	2026	2117	4980			

Fuente: elaboración propia

4.4.9 Servicios Públicos Domiciliarios

Mediante el Acuerdo Municipal 012 de 1991, se crea la Junta Municipal de Servicios Públicos del Municipio de Guatavita, que se encarga de la administración de los servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo, desde el día 17 de Noviembre de 1991 y hasta el día 30 Junio de 2005. Mediante el Acuerdo Municipal 015 de 2005, se crea la Oficina Municipal de Servicios Públicos del Municipio de Guatavita, que se encarga de la Operación de los servicios de

Acueducto, Alcantarillado y Aseo, desde el día 30 de Junio de 2005 y hasta el día 13 de Diciembre de 2010. A partir del día 14 de Diciembre el Municipio entrega la prestación de los Servicios a la Empresa de Servicios Públicos de Guatavita EMSERGUATAVITA S.A. E.S.P., empresa que hasta la fecha continúa como prestador.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR, ha venido siendo operada desde 1999 y hasta octubre de 2012, mediante empresas especializadas, con cargo a recursos de la Corporación Regional de Cundinamarca CAR; a partir de octubre de 2012 y a la fecha actual es operada por la Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios EMSERGUATAVITA S.A. E.S.P.

Los cuadros 15, 16 y 17 muestran los operadores de los servicios públicos domiciliarios de Guatavita.

Cuadro 15. Prestadores Acueducto en Guatavita

Nombre de la Empresa	Zona Atendida	Suscriptores
Empresa de Servicios Públicos de Guatavita EMSERGUATAVITA S.A. E.S.P.	urbano y rural	800
Asociación de usuarios del acueducto rural si ánimo de lucro de la vereda Monquentiva del municipio de Guatavita	rural	32
Asociación de acueducto y servicios públicos Montecillo	rural	63
Acueducto vereda Carbonera Alta	rural	100
Junta de usuarios Carbonera Baja	rural	93
Asociación de servicios públicos de Chaleche	rural	56
Asociación de usuarios del acueducto rural de los Cocuos vereda Chaleche del municipio de Guatavita	rural	50
Acueducto Santa María Choche	rural	111
Asociación de usuarios del acueducto rural vereda Guandita hatillo del municipio de Guatavita	rural	101
Acueducto Potrero Largo 2	rural	26
Acueducto Potrero Largo 1	rural	29
Asociación de usuarios del acueducto vereda Tominé de Indios del municipio de Guatavita	rural	24
Asociación de usuarios del acueducto de Tominé de Blancos del municipio de Guatavita	rural	88
Asociación de usuarios del acueducto de la vereda de corales	rural	80
Guandita sector tras del alto	rural	16

Fuente: elaboración propia

Cuadro 16. Prestadores Alcantarillado en Guatavita

Nombre de la Empresa	Zona Atendida	Suscriptores
Empresa de Servicios Públicos de Guatavita EMSERGUATAVITA S.A. E.S.P.	urbano y rural recolección de aguas y tratamiento	611

Fuente: elaboración propia

Cuadro 17. Prestadores Aseo en Guatavita

Prestador	Dirección	Zona Atendida	Suscriptores	Actividad Prestada
Empresa de Servicios Públicos de Guatavita EMSEGUATAVITA S.A. E.S.P.	k 7 a 4 08 Guatavita 8577069	urbano y rural	752	barrido y limpieza de áreas públicas, recolección y transporte
Nuevo Mondoñedo S.A. E.S.P.	km 9 vía Mosquera 3012414107		municipio de Guatavita	disposición final de residuos sólidos ordinarios
Reciclaje Excedentes e Incineraciones Industriales REII S.A E.S.P.	cl 59 sur 65 33 Bogotá 7101490	urbano	Hospital municipal San Antonio, cementerio parroquial	disposición final de residuos peligrosos

Fuente: elaboración propia

4.5 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE MONTECILLO NORTE

Su topografía es pendiente media, sobre rocas blandas, formadas por lutitas gris oscuras a negras, carbonosas, de textura clástica consolidada, de consistencia blanda, en estratificación laminar (shales) a delgada, con delgadas intercalaciones de limolitas, arcillolitas silíceas, y areniscas de grano fino a medio de débil a moderadamente meteorizadas, con sectores altamente meteorizadas poco fracturadas, pertenecientes a la Formación Chipaque. Estas rocas son susceptibles de la alteración de las características originales mayormente debidas al intemperismo. Los procesos de erosión son menos intensos pero las características generales de resistencia varían de acuerdo con las condiciones particulares de cada entorno y su intemperismo, como también con la participación mayor o menor de los diversos componentes de arcilla limo arena etc. Desde el punto de vista de estabilidad, no se prevén problemas en este aspecto y por el contrario las condiciones son favorables en el sector de este tipo de material (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011).

La zona en estudio (figura 21), comparte área urbana y parte rural de la vereda de Montecillo, que está configurada como suelo suburbano, es decir se mezclan los usos del suelo y las formas de vida del campo y la ciudad. Se ubica a la parte occidental de la vía carrera primera, que se convierte en vía departamental y conduce al municipio de Sesquilé, entre calles octava y once del municipio. Actualmente existen 53 predios conectados a una red de alcantarillado construida en material PVC, tipo Novafort, cuyo diámetro nominal es de 8", inicia en la carrera primera a los 2730 msnm, recorre 500 metros recoge agua residual doméstica y vierte sin ningún tipo de tratamiento, en un arroyo denominado Montecillo a los 2700 msnm.

Figura 21. Vista aérea del sector Urbano y Montecillo Norte, adaptada de fotografía del IGAC



Fuente: (INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, 2010)

La zona de Montecillo Norte, fue intervenida a finales del año 2013 con la construcción de un colector de aguas lluvias, definido en el Proyecto Diseños de Detalle para la Construcción de Obras de Saneamiento en los municipios de la Cuenca del Río Bogotá, mediante convenio 857-2012 celebrado entre la CAR y el municipio de Guatavita, desarrollando 500 ml de red pluvial, paralela al colector sanitario del presente estudio, donde se construyeron 13 cámaras de inspección y se adecuaron 50 acometidas sanitarias y de acueducto (ALCALDÍA GUATAVITA, 2014).

Cuadro 18. Usuarios conectados al colector sanitario de Montecillo norte

No	Código E.S.P.	Usuario	Estrato	Código Catastral	Dirección	Área predio en Ha	Área construida en Ha
1	1042700	LUNA CORTES JAIME	2	01-00-0005-0011-000	K 1 9 31 LO 2	0.09	0.01
2	1042800	LUNA CANDIL JAIME HUMBERTO	2	01-00-0005-0006-000	K 1 9 05 LT	0.03	0.01
3	1042900	LUNA CARMENZA	3	01-00-0005-0008-000	LT	0.01	0.01
4	1043000	CORTES LUNA ANA LUCIA	2	01-00-0005-0007-000	K 1 9 31	0.40	0.01
5	1043100	BERNAL PABLO ANTONIO	1	01-00-0009-0001-000	T 1 1 07	0.17	0.01
6	1043200	CORTES LUNA ANA LUCIA	2	01-00-0005-0010-000	C 9 2 22	0.89	0.01
7	1043300	CRUZ DE GUERRERO CRISTINA	1	00-00-0006-0062-000	LT 1	0.03	0.00
8	1043400	CANDIL BAUTISTA RAFAEL	4	00-00-0006-0470-000	LA LOMITA	0.29	0.01
9	1043500	DIAZ AYALA MATIAS	3	00-00-0006-0256-000	MONTECILLO	0.01	0.01
10	1043700	CANDIL CORTES RAFAEL	2	00-00-0006-0208-000	EL RECUERDO	0.03	0.01
11	1043800	RESTREPO HENAO LUIS ALFONSO	3			0.00	0.00
12	1043900	CANDIL BAUTISTA RAFAEL	4	00-00-0006-0470-000	LA LOMITA	0.29	0.01
13	1044000	ANDRADE PABLO	3	00-00-0006-0227-000	EL CARDON	0.12	0.00
14	1044100	ANDRADE AIDE	3	00-00-0006-0412-000	VILLA DANIKA	0.31	0.00
15	1044200	CANDIL BAUTISTA RAFAEL	3	00-00-0006-0208-000	EL RECUERDO	0.03	0.01
16	1044220	CANDIL BAUTISTA RAFAEL	3	00-00-0006-0208-000	EL RECUERDO	0.03	0.01
17	1044250	PEÑUELA BAUTISTA LUZ MARINA	2	00-00-0006-0324-000	LA ESQUINA	0.06	0.00
18	1044300	CRUZ FELICIANO JORGE ENRIQUE	4	00-00-0006-0323-000	LA ESPERANZA	0.04	0.02
19	1044350	CANDIL BAUTISTA CARLOS ARTURO	3	00-00-0006-0208-000	EL RECUERDO	0.03	0.01
20	1044400	CANDIL BAUTISTA GRACIELA	1	00-00-0006-0478-000	VILLA ANDREA	0.04	0.01
21	1044410	CANDIL BAUTISTA RAFAEL	3	00-00-0006-0208-000	EL RECUERDO	0.03	0.01
22	1044500	BONILLA PEÑA RAFAEL ANTONIO	3	00-00-0006-0205-000	MONTECILLO 2	0.66	0.01
23	1046100	BAUTISTA PEÑUELA BARBARA	2	00-00-0006-0324-000	LA ESQUINA	0.06	0.00
24	1046200	BAUTISTA LUNA Ma. AMALIA	1	00-00-0006-0468-000	EL ESPINO	0.16	0.01
25	1046250	CARBONEL DANIEL	3			0.00	0.00
26	1046300	RODRIGUEZ MUÑOZ CESAR HERNAN	3	00-00-0006-0574-000	EL MIRADOR	0.06	0.00
27	1046400	GONZALEZ LEOPOLDO	3	00-00-0006-0230-000	EL PORVENIR	0.42	0.01
28	1046500	BAUTISTA SANCHEZ GUILLERMO	2	00-00-0006-0476-000	EL CARRIZAL	0.15	0.01
29	1046600	PEÑUELA GONZALEZ ADOLFO	1	00-00-0006-0009-000	LAS BRISAS	0.09	0.01
30	1046700	PEÑUELA B. LUIS ROBERTO	3	00-00-0006-0326-001		0.00	0.01
31	1046800	BAUTISTA LUNA PEDRO JULIO	1	00-00-0006-0233-000	EL RINCON	0.00	0.00
32	1046900	GONZALEZ LEOPOLDO	3	00-00-0006-0199-000	BUENAVISTA	0.75	0.01
33	1053600	FETIVA M. DANIEL	3	01-00-0005-0004-000	K 1 9 115	0.42	0.01
34	1053700	VELANDIA NESTOR	2	00-00-0006-0198-000	LA FLORESTA	0.20	0.03
35	1053800	VELANDIA HERNANDO	3	00-00-0006-0198-000	LA FLORESTA	0.20	0.03
36	1054000	GONZALEZ DIAZ ESTEFANIA	1	00-00-0006-0304-000	LO 1	0.72	0.01
37	1054200	CASTILLO ROSALBA.	2	01-00-0003-0001-000	C 11 2 76	0.36	0.01
38	1054210	RODRIGUEZ O. LUIS ENRIQUE	3	00-00-0006-0197-000	LO 1A	0.20	0.01
39	1054250	DARIO ANTONIO MILA	3	01-00-0003-0002-000	K 2 11 07	0.48	0.01
40	1054300	MILA DARIO ANTONIO	2	01-00-0003-0002-000	K 2 11 07	0.48	0.01
41	1054400	VELANDIA M. MANUEL GILBERTO	3	01-00-0002-0008-000	K 2 11 30	0.02	0.02
42	1054500	MUÑOZ P. LUIS HERNANDO	3	01-00-0002-0003-000	K 2 11 34 IN 1	0.02	0.01
43	1054600	LOZANO C. JORGE ENRIQUE	2	01-00-0002-0007-000	K 2 11 42	0.02	0.01
44	1054700	VELANDIA MARTIN VICTOR EMILIO	3	01-00-0002-0009-000	K 2 11 34 IN 2	0.02	0.02
45	1054750	COLEGIO PIO XII	1	01-00-0005-0001-000	C 11 2 13	0.77	0.20
46	1054800	MUNICIPIO DE GUATAVITA	1	01-00-0005-0002-000	K 1 10 77	0.36	0.01
47	1054900	FELIX ALVARO	2	01-00-0002-0004-000	C 11 1 08	0.12	0.01
48	1055000	VELANDIA VELANDIA JOHN FREDDY	2	01-00-0002-0001-000	K 1 11 21	0.03	0.01
49	1055100	GONZALEZ VELANDIA MERCEDES	2	01-00-0002-0005-000	K 1 11 31	0.02	0.01
50	1055200	GARZON PEÑUELA EDUARDO	3	01-00-0002-0006-000	K 1 11 41 39	0.02	0.01
51	1055400	PRIETO BERNARDO	1	01-00-0002-0002-000	K 1 11 55	0.32	0.01
52	1055500	CASTIBLANCO JOSE GAMALIEL	1	01-00-0002-0002-001	K 1 11 81	0.00	0.01
53	1055700	GARZON GARZON JUAN EVANGE	2	00-00-0006-0194-000	LA PRIMICIA	0.41	0.01
Totales						10.51	0.64

Fuente: elaboración propia

4.5.1 Población proyectada

Se estableció para la zona en estudio, que existen 53 predios conectados a la línea de alcantarillado (cuadro 18), de los cuales 29 predios están ubicados en zona rural (Montecillo norte), 24 corresponden al área urbana (zona norte); de estos predios urbanos, 23 son de uso residencial y un predio es de uso institucional. Para la proyección se usaron los datos del censo DANE 2005, consignados en los cuadros, 12 módulos de hogares y 13 proyecciones de población.

Por ser la zona un caso particular (entre lo urbano y lo rural), no existen datos de censos discriminados, ni proyecciones, como se requiere para este proyecto, y no es posible aplicar los métodos de estimación de población sugeridos por el RAS 2000. Por lo tanto se optó por aplicar dos métodos experimentales, para obtener la población estimada al año 2035, año escogido como horizonte del proyecto y luego hallar un valor medio.

Primer método. Se multiplico el número de predios residenciales conectados al alcantarillado de la zona en estudio, por el promedio de personas por hogar (cuadro 13).

$$\text{Usuarios Montecillo norte} = 29 \text{ predios} * 3.9 \text{ promedio personas} = 113 \text{ habitantes}$$

$$\text{Usuarios sector urbano} = 23 \text{ predios} * 3.9 \text{ promedio personas} = 90 \text{ habitantes}$$

Seguido se estableció un porcentaje sobre el total de la población al año 2014 (cuadro 14) del área rural, como del área urbana. Obteniendo el siguiente resultado:

$$\% \text{ Población Montecillo norte año 2014} = \frac{113 \text{ personas} * 100\%}{4934 \text{ personas rurales}} = 2,29\%$$

$$\% \text{ Población urbana norte año 2014} = \frac{90 \text{ personas} * 100\%}{1940 \text{ personas urbanas}} = 4,64\%$$

Posterior se establece con los porcentajes obtenidos, el cálculo de población al horizonte del proyecto, que es el año 2035.

$$\text{Población Montecillo año 2035} = \frac{5009 \text{ personas rurales} * 2,29\%}{100\%} = 115 \text{ personas}$$

$$\text{Población urbana norte año 2035} = \frac{2264 \text{ personas urbanas} * 4,64\%}{100\%} = 105 \text{ personas}$$

De acuerdo al cálculo realizado, se puede esperar que el sector al año 2035, tuviera un total de 220 personas residenciales habitando.

Segundo método. Consultada la empresa de servicios públicos domiciliarios, manifestaron que el crecimiento esperado por año, de los inmuebles a conectar para la zona urbana y suburbana es de un 5%. Utilizando este dato, se calculó ese crecimiento al año horizonte 2035, obteniendo el siguiente resultado (cuadro 19):

Cuadro 19. Proyección al año 2035, de inmuebles a conectar al servicio de alcantarillado, para la zona norte de Guatavita, Urbana y Montecillo

Año	Predios	Crecimiento promedio	Año	Predios	Crecimiento promedio
2014	52	0.05	2025	63	0.05
2015	55	0.05	2026	63	0.05
2016	55	0.05	2027	64	0.05
2017	56	0.05	2028	65	0.05
2018	57	0.05	2029	66	0.05
2019	58	0.05	2030	67	0.05
2020	59	0.05	2031	67	0.05
2021	59	0.05	2032	68	0.05
2022	60	0.05	2033	69	0.05
2023	61	0.05	2034	70	0.05
2024	62	0.05	2035	71	0.05

Fuente: elaboración propia

Obtenido un dato de 71 inmuebles residenciales proyectados al horizonte, se hizo el siguiente cálculo para establecer el número de habitantes

$$\begin{aligned} \text{Usuarios zona norte Urbana y Montecillo} &= 71 \text{ predios} * 3.9 \text{ promedio personas} \\ &= 277 \text{ habitantes} \end{aligned}$$

Finalmente, realizando un promedio entre los métodos de proyección de población obtenidos experimentalmente por el presente estudio, se obtuvo el siguiente dato:

$$\text{Población} = \frac{\text{primer método} + \text{segundo método}}{2} = \frac{220 + 277}{2} = 249 \text{ habitantes residenciales}$$

Además se tiene un total de 505 usuarios de la Institución Pio XII (cuadro 20), cuyo dato fue suministrado por la Alcaldía de Guatavita.

Cuadro 20. Usuarios institución PIO XII de Guatavita

Institución Pío XII	
Usuarios	Total
Directivos	2
Administrativos	2
Docentes	24
Alumnos Primaria	146
Alumnos Secundaria	238
Alumnos Media	93
Total	505

Fuente: (ALCALDÍA GUATAVITA , 2014)

4.5.2 Contribución de Agua Residual

El volumen de aguas residuales aportadas a un sistema de recolección y evacuación está integrado por las aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales. Su estimación debe basarse, en lo posible, en información histórica de consumos, mediciones periódicas y evaluaciones regulares (RAS, 2000).

Se iniciaron los cálculos obteniendo el caudal medio diario,

$$Q_{MD} = Q_D + Q_I + Q_C + Q_{IN}$$

Q_{MD} = Caudal medio diario

Q_D = Caudal aguas domésticas

Q_I = Caudal industrial

Q_C = Caudal comercial

Q_{IN} = Caudal institucional

El aporte domestico para sistemas de complejidad bajo se determinó bajo la siguiente expresión:

$$Q_D = \frac{C * P * R}{86400}$$

C = Dotación neta

P = Población servida

R = coeficiente de retorno

La dotación neta C , corresponde a la cantidad de agua que el consumidor efectivamente recibe para satisfacer sus necesidades. La dotación neta depende del nivel de complejidad del sistema, del clima de la localidad y del tamaño de la población (RAS, 2000).

El nivel de complejidad correspondiente a Guatavita en la zona urbana es bajo, y se adopta del cuadro 21.

Cuadro 21. Asignación del nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (1) (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios(2)
Bajo < 2500 Baja	Bajo < 2500 Baja	Bajo < 2500 Baja
Medio 2501 a 12500 Baja	Medio 2501 a 12500 Baja	Medio 2501 a 12500 Baja
Medio Alto 12501 a 60000 Media	Medio Alto 12501 a 60000 Media	Medio Alto 12501 a 60000 Media
Alto > 60000 Alta	Alto > 60000 Alta	Alto > 60000 Alta

Notas: (1) Proyectado al periodo de diseño, incluida la población flotante.

(2) Incluye la capacidad económica de población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP.

Fuente: (RAS, 2000)

La dotación neta se puede obtener del cuadro 22, Sin embargo en los diseños de detalle para la construcción de obras de saneamiento en los municipios de la cuenca del Río Bogotá, se utilizó una dotación neta de 115 L/ hab - día, siguiendo la resolución 2320 de 2009 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011).

Cuadro 22. Dotación neta según el Nivel de Complejidad del Sistema

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

Fuente: (RAS, 2000)

La población servida P, puede ser estimada a partir del producto del número de viviendas planificadas en el área de drenaje y el número medio de habitantes por vivienda. Debe revisarse que la densidad bruta del proyecto no exceda la disponibilidad del servicio de alcantarillado receptor existente, si éste es utilizado para el proyecto (RAS, 2000).

$$P = \text{viviendas} * \text{número medio de habitantes}$$

$$P = 71 * 3,9 = 277 \text{ habitantes al año 2035}$$

El coeficiente de retorno R, es la fracción del agua de uso doméstico servida (dotación neta), entregada como agua negra al sistema de recolección y evacuación de aguas residuales (RAS, 2000). Se estimó de acuerdo con el cuadro 23.

Cuadro 23. Coeficiente de retorno de aguas servidas domésticas

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de retorno
Bajo y medio	0,7 - 0,8
Medio alto y alto *	0,8 - 0,85

Puede ser definido por la empresa prestadora del servicio

Fuente: (RAS, 2000)

Resultado,

$$Q_D = \frac{C * P * R}{86400} = \frac{115 \text{ L/hab} * \text{día} * 277 \text{ hab} * 0.8}{86400} = 0,295 \text{ L/s}$$

El Q_I , *Caudal industrial*, varía de acuerdo con el tipo y tamaño de la industria. Sin embargo, para industrias pequeñas localizadas en zonas residenciales o comerciales (RAS, 2000) , se utilizaron los valores mostrados en el cuadro 24.

Cuadro 24. Contribución de agua residual industrial

Nivel de complejidad del sistema	Contribución industrial (L/s-ha ind)
Bajo	0,4
Medio	0,6
Medio alto	0,8
Alto	1,0 – 1,5

Fuente: (RAS, 2000)

Guatavita se ubica en nivel de complejidad bajo, por lo tanto del cuadro 24, contribución de agua residual industrial, se adoptó un valor de cero (0,4).

El Q_C , *Caudal comercial*, para zonas netamente comerciales, debe estar justificado con un estudio detallado, basado en consumos diarios por persona, densidades de población en el área comercial y coeficientes de retorno mayores que los de consumo doméstico. Para zonas mixtas comerciales y residenciales pueden ponderarse los caudales medios con base en la concentración comercial relativa a la residencial (RAS, 2000), se utilizaron los valores mostrados en el cuadro 25.

Cuadro 25. Contribución de agua residual comercial

Nivel de complejidad del sistema	Contribución comercial (L/s-ha com)
cualquier	0,4 – 0,5

Fuente: (RAS, 2000)

El Q_{IN} , *Caudal institucional*, varía de acuerdo con el consumo de agua de las diferentes instituciones, del tipo y tamaño de las mismas, dentro de las cuales pueden mencionarse escuelas, colegios y universidades, hospitales, hoteles, cárceles, etc. (RAS, 2000). Para la Institución PIO XII, se estimó el aporte de acuerdo con el cuadro 26.

Cuadro 26. Contribución de agua residual institucional

Nivel de complejidad del sistema	Contribución comercial (L/s-ha inst)
cualquier	0,4 – 0,5

Fuente: (RAS, 2000)

De acuerdo con el cuadro 18, se tiene para la institución Pío XII, un área de 0.77 Ha entonces,

$$Q_{IN} = \text{área en ha} * 0,5 \frac{L}{s} * Ha = 0,77 \text{ ha} * 0,5 \frac{L}{s} * ha = 0,385 \frac{L}{s}$$

Luego se calculó el Q_{MD} , Caudal medio diario,

$$Q_{MD} = Q_D + Q_I + Q_C + Q_{IN}$$

$$Q_{MD} = 0,295 \text{ L/s} + 0,4 + 0,4 + 0,385 \text{ L/s} = 1,48 \text{ L/s}$$

Luego se obtuvo el Q_{MH} , caudal máximo horario, que es la base para establecer el caudal de diseño de una red de colectores de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. El caudal máximo horario del día máximo se estimó a partir del caudal final medio diario, mediante el uso del factor de mayoración, F, utilizando la relación aproximada de Flores, en la cual se estima F, en función del número de habitantes (RAS, 2000).

$$F = \frac{3,5}{P^{0.1}} = \frac{3,5}{782^{0.1}} = 1,80$$

El número de habitantes se obtiene de la población servida, obtenida anteriormente para el aporte doméstico (277 habitantes), más el número de usuarios de la Institución Educativa PIO XII,

$$P = 277 \text{ habitantes} + 505 \text{ usuarios institucionales} = 782 \text{ personas}$$

Entonces,

$$Q_{MH} = F * Q_{MD}$$

$$Q_{MH} = 1,80 * 1,48 \text{ L/s} = 2,664 \text{ L/s}$$

Enseguida se calculó el caudal de diseño total Q_{DT} ,

$$Q_{DT} = Q_{MH} + Q_{INF} + Q_{CE}$$

Donde,

Q_{MH} = Caudal máximo horario

Q_{INF} = Caudal de infiltración

Q_{CE} = Caudal conexiones erradas

El Q_{INF} , Caudal de infiltración, se da por nivel freático, a través de fisuras en los colectores, en juntas ejecutadas deficientemente, en la unión de colectores con pozos de inspección y demás estructuras, y en éstos cuando no son completamente impermeables. Su estimación debe hacerse en lo posible a partir de aforos en el sistema, en horas cuando el consumo de agua es mínimo, y de consideraciones sobre la naturaleza y permeabilidad del suelo, la topografía de la zona y su drenaje, la cantidad y distribución temporal de la precipitación, la variación del nivel freático con respecto a las cotas clave de los colectores, las dimensiones, estado y tipo de colectores, los tipos, número y calidad constructiva de uniones y juntas, el número de pozos de inspección y demás estructuras, y su calidad constructiva (RAS, 2000). Ante la ausencia de medidas directas se estableció el valor mediante los valores del cuadro 27.

Cuadro 27. Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales

Nivel de complejidad del sistema	Infiltración alta (L/s.ha)	Infiltración media (L/s.ha)	Infiltración baja (L/s.ha)
Bajo y medio	0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2
Medio alto y alto *	0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2

*Puede ser definido por la empresa prestadora del servicio

Fuente: (RAS, 2000)

Se tomó para la zona en estudio, el valor de hectáreas construidas hallados en el cuadro 18, usuarios conectados al colector sanitario de Montecillo norte, que equivale a 0,64 ha.

$$Q_{INF} = 0,64 \text{ ha} * 0,05 \text{ L/s} * \text{ha} = 0,032 \text{ L/s}$$

En el Q_{CE} , *Caudal conexiones erradas*, se consideran los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado sanitario, provenientes de malas conexiones de bajantes de techos y patios. Estos aportes son función de la efectividad de las medidas de control sobre la calidad de las conexiones domiciliarias y de la disponibilidad de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias. En caso de no existir en el área del proyecto un sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias, para el nivel bajo de complejidad del sistema, el aporte de conexiones erradas puede estimarse en 5 L/hab - día (RAS, 2000).

En este caso, como existe el sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias, los valores máximos de los aportes por conexiones erradas, adoptados se tomaron del cuadro 28.

Cuadro 28. Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial

Nivel de complejidad del sistema	Aporte (L / s - ha)
Bajo y medio	0,2
Medio alto y alto	0,1

Fuente: (RAS, 2000)

$$Q_{CE} = \text{Caudal conexiones erradas}$$

$$Q_{CE} = 0,64 \text{ ha} * 0,2 \text{ L/s} * \text{ha} = 0,128 \text{ L/s}$$

Finalmente el resultado del caudal de diseño total obtenido fue,

$$Q_{DT} = Q_{MH} + Q_{INF} + Q_{CE}$$

$$Q_{DT} = 2,664 \text{ L/s} + 0,032 \text{ L/s} + 0,128 \text{ L/s} = 2,82 \text{ L/s}$$

Este caudal (2,82 L/s), corresponde a las contribuciones acumuladas esperadas al año de horizonte, 2035, que llegarán, al tramo y hasta el punto de vertimiento en la quebrada Montecillo.

4.5.3 Estimación de Cargas Unitarias

Para estimar las cargas unitarias, se elaboró el cuadro 29, que resume los datos obtenidos en el cálculo del caudal esperado para la zona.

Cuadro 29. Población y caudales Montecillo Norte

Viviendas	Instituciones educativas	Población	Caudal recolección en L/s					
			Aporte domestico	Caudal medio diario	Caudal máximo horario	Caudal de infiltración	Caudal conexiones erradas	Caudal de diseño
71	1	782	0,295	1,48	2,664	0,032	0,128	2,82

Fuente: elaboración propia

Usando los datos del cuadro 29 y 30, se elaboró el cuadro 31, que contiene los datos del aporte esperado para el sector.

Cuadro 30. 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	12,0
Coliformes totales, #/hab/día	2x10 ⁸ – 2x10 ¹¹	2x10 ¹¹
Salmonella Sp., #/hab/día		1x10 ¹¹
Nematodos intes., #/hab/día		4x10 ¹¹

Fuente: (RAS, 2000)

$$\text{aporte carga unitaria} = \text{valor} \frac{g}{hab} / d * \frac{0,001 g}{1 kg} * hab/d = Kg/hab/d$$

Para DBO,

$$\text{aporte carga unitaria DBO} = \frac{50 \frac{g}{hab}}{d} * \frac{0,001 g}{1 kg} * \frac{782 hab}{d} = 39,1 Kg/hab/d$$

Cuadro 31. Cargas unitarias y volumen de agua residual de Montecillo Norte

Población	Caudal diseño en L/s	Volumen m ³ /d	Carga unitaria en Kg/hab/d			
			DBO ₅	SST	NH ₃ N	NKT
782	2,82	243,65	39,1	39,1	6,57	9,38

Fuente: elaboración propia

4.6 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR EXISTENTE

La Planta de tratamiento de Aguas residuales PTAR (figura22), fue financiada y construida, mediante convenio 140 de 1992 celebrado entre la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR y el Municipio de Guatavita, entró en operación en el año de 1999, tiene una capacidad de 12 lps (cuadro 32), su tipo de tratamiento es de Lodos Activados, tiene una cobertura del 89% del total de usuarios de Alcantarillado, el 11% restante de los usuarios, utilizan unas redes que vierten directamente y sin ningún tipo de tratamiento a las fuentes hídricas del sector de Montecillo. Mediante resolución 2264 del 21 de septiembre de 2012, emanada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, la PTAR fue transferida al Municipio con motivo de cumplimiento de la ley 142 de 1994, ya que la prestación de este servicio, compete a las empresas prestadoras de servicios públicos o cualquiera de las organizaciones o entidades previstas en dicha Ley, o residualmente a los municipios y no a las Corporaciones Autónomas Regionales (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011). El Municipio al no ostentar la condición de prestador directo de los servicios públicos domiciliarios, en octubre de 2012, da la operación de la PTAR, a la Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios EMSERGUATAVITA S.A. E.S.P.

Figura 22. Vista PTAR Guatavita



Fuente: elaboración propia

El sistema de tratamiento es una Zanja de oxidación, que es una modificación del sistema biológico de tratamiento con lodos activados que utiliza un tiempo de retención de sólidos para la remoción de compuestos orgánicos biodegradables. Las zanjas de oxidación funcionan normalmente como sistemas de mezcla completa, pero pueden ser modificados para simular las condiciones de flujo pistón, a medida que las condiciones se aproximan al flujo pistón se debe utilizar

la difusión de aire para proporcionar mezclado suficiente, pero en ese caso el sistema ya no opera como zanja de oxidación. Utiliza aireadores montados en forma vertical u horizontal que proporcionan la circulación del agua, la transferencia de oxígeno y la aireación en las zanjas. (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011).

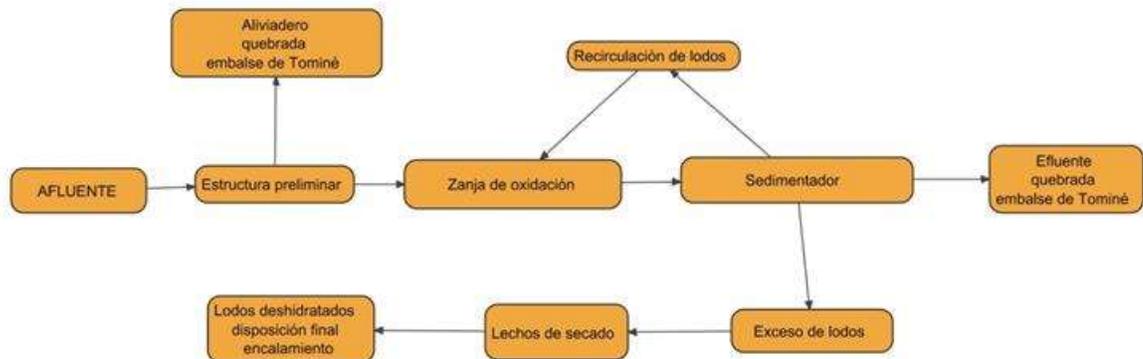
Cuadro 32. Características de diseño PTAR Guatavita

Características de Diseño	
Horizonte de diseño	2019
Población de diseño	5946 habitantes
Caudal de diseño	12 litros por segundo
Fuente receptora	Embalse Tominé
Carga orgánica de diseño	148 Kg DBO_5 /día
Año de optimización	2006

Fuente (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)

El funcionamiento resumido de la PTAR de Guatavita se muestra en la figura 23.

Figura 23. Diagrama de Funcionamiento de la PTAR Guatavita



Fuente: presente estudio

La PTAR, consistente en una zanja de oxidación (figura 24) y deshidratación de lodos mediante lechos de secado, considera un tratamiento preliminar con un vertedero lateral de alivio de aguas lluvias, rejillas de cribado medio y grueso, dos desarenadores en paralelo y vertedero proporcional del tipo sutro. Posteriormente las aguas ingresan a la zanja de oxidación que posee un volumen útil de 480 m³, desde ahí pasan mediante un vertedero lateral, al clarificador laminar. Finalmente las aguas son dispuestas en una cámara de contacto y vertidas en la descarga existente.

Figura 24. Zanja de oxidación PTAR Guatavita



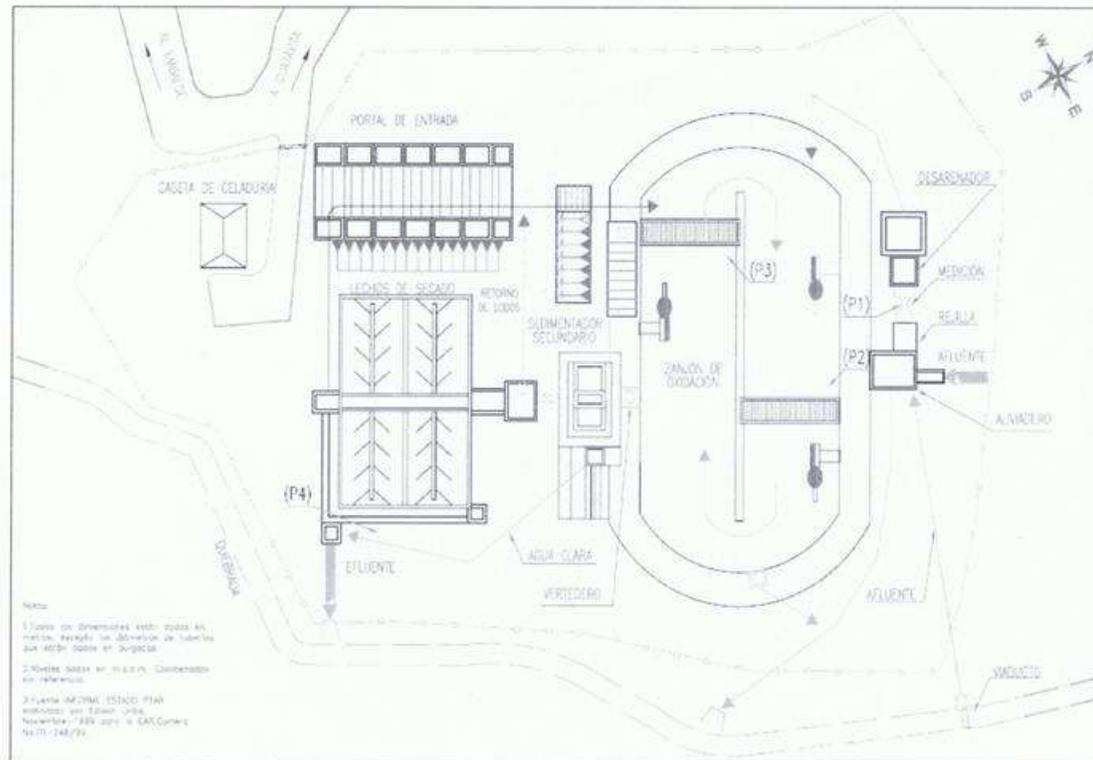
Fuente: elaboración propia

Cuadro 33. Tipo de tratamiento y componente PTAR Guatavita

Tipo de tratamiento y componente	
Tratamiento preliminar	Cámara de llegada y aliviadero
	Rejillas de cribado
	Bandeja de secado
	Unidades desarenadoras
	Vertederos sutros y triangular
Tratamiento secundario	Zanjas de oxidación
	Aireadores
	Sedimentador secundario
	Bomba lixiviados, bomba de recirculación de lodos
Estructura de entrega	Estructura salida agua tratada
Lechos de secado	Unidades de lecho de secado
	Techos lechos de secado
Tablero de eléctricos	Tablero de control eléctricos
Caseta de operación	Oficina
	Bodega
	Área de operación
	Baños

Fuente (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)

Figura 25. Esquema de la PTAR actual de Guatavita



Fuente: (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)

Figura 26. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Guatavita



Ingreso del agua residual y aliviadero



Rejilla de cribado



Desarenadores en paralelo



Zanjón de oxidación



Sedimentador y clarificador



Recirculación de lodos

Continuación figura 24. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Guatavita



Válvula para recirculación de lodos



Lechos de secado



Lodos deshidratados



Bomba de lixiviados



Efluente PTAR



Vertimiento quebrada Embala al Embalse

Fuente: elaboración propia

4.6.1 Eficiencias de la PTAR

El estudio, Diseños de detalle para la construcción de obras de saneamiento en los municipios de la cuenca del río Bogotá, paquete 1. Contrato 0735-09, COA6579. Informe final municipio de Guatavita ED-C256-IF-GUA-1, definió que, “La operación de esta planta es adecuada pero no permitirá cumplir con el contenido de nutrientes exigidos en el efluente a futuro (Acuerdo CAR N° 43/2006, Norma de calidad esperada para cuerpos lenticos). Para subsanar esto se proyecta un mejoramiento del sistema de tratamiento de las aguas residuales mediante la incorporación de nuevas unidades y reforzamiento de los sistemas de aireación manteniendo el tratamiento de lodos activados en una zanja de oxidación. La descarga de la PTAR se conserva”. (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011).

Las características de operación, y las cargas unitarias promedio mes, removidas para los años 2010 y 2011 se muestran en el cuadro 34.

Cuadro 34. Características de operación de la PTAR en los años 2010 y 2011

Año	2010	2011
Caudal de operación en L/s	7,03	6,36
Carga orgánica removida $Ton/DBO_5/mes$	6,11	5,72
Carga orgánica removida $Ton/SST/mes$	20,11	33,10

Fuente: (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)

Para el año 2012, la PTAR era operada por la empresa CONHYDRA E.S.P. S.A., quien realizó, muestras mensuales hasta el mes de octubre, y se obtuvieron eficiencias promedio para DBO sobre 86% y para SST del 94%, estos datos están consignados en el cuadro 35.

Cuadro 35. Eficiencias PTAR Guatavita 2012

EFICIENCIAS PTAR GUATAVITA			
MES	AÑO 2012		CAUDAL TRATADO (lps)
	% DE REMOCIÓN DBO 2012	% DE REMOCIÓN SST 2012	
ENERO	93.97	99.73	6.98
FEBRERO	95.00	97.35	6.55
MARZO	97.04	99.25	6.63
ABRIL	65.06	78.61	6.56
MAYO	88.45	91.54	6.19
JUNIO	82.04	97.85	6.44
JULIO	83.60	91.34	6.52
AGOSTO	77.73	94.04	8.66
SEPTIEMBRE	95.03	98.65	6.57
PROMEDIO	86.44	94.26	6.79

Fuente: (E.S.P., 2012)

Desde octubre de 2012, ha venido operando Emserguatavita S.A. E.S.P., quien solamente realizó un muestreo durante el año 2013, por lo que es insuficiente y no confiable para establecer la eficiencia en el tratamiento.

4.6.2 Características perceptivas de la PTAR

El operador de la PTAR, mediante inspección visual del color, del licor de mezcla (agua residual en tratamiento + lodos activados), percata la presencia o no de sobrenadantes como macrófitas, residuos sólidos, espumas y otros, así como la generación de olores ofensivos y establece si el tratamiento está acorde con lo esperado. El cuadro 36, expuesto a continuación muestra las características perceptivas.

Cuadro 36. Características perceptivas operación PTAR

Zanjas de oxidación			
Valoración	Color	Características	Medidas de acción
1	Café lechoso	Buen funcionamiento del tratamiento Concentraciones óptimas de oxígeno disuelto Espumas con apariencia de leche cortada (floc-lodos activados) Buen mezclado del agua en tratamiento	Observación y mantenimiento Medición diaria sólidos sedimentados
2	Negro	Mal funcionamiento del sistema de aireación Presencia de materia orgánica en descomposición (lodos viejos) Bajas concentraciones de oxígeno disuelto	Aumentar aireación Hacer purga y aumentar tiempos de recirculación de lodos
3	Gris	Mal funcionamiento zanja oxidación Presencia de tensoactivos (jabones, detergentes) Bajas concentraciones de oxígeno disuelto Presencia de olores fuertes	Disminuir aireación (evitando formación de espumas) Hacer purga, no recircular lodos Disminuir tiempos de retención, evacuando tensoactivos

Fuente: (E.S.P., 2012)

4.6.3 Costos de operación

El costo de operación medio de operación de alcantarillado para el tratamiento, CMO_{al} , se determina en función de los insumos directos de químicos para tratamiento, costos de energía utilizada para fines estrictamente operativos, costos operativos del tratamiento de aguas residuales e impuestos y tasas clasificados como costos operativos diferentes de las tasas ambientales (COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO, CRA, 2004).

El costo medio de operación particular para el servicio de alcantarillado, tratamiento de agua residual, se obtuvo mediante la fórmula establecida por la CRA, en la resolución CRA 287 de 2004, artículo 12. Para el caso específico de Guatavita, no se tienen costos de energía utilizada en redes de recolección,

puesto que el sistema opera por gravedad. El valor del costo por tasas retributivas, se estableció tomando como base los datos promedio de los muestreos realizados en el año 2012 (cuadro 37), ya que para 2013 como ya se dijo, los datos son insuficientes. El tarifa que cobra la CAR para DBO y SST, fue suministrado por la Empresa de Servicios Públicos de Guatavita y el valor de la tasa retributiva (cuadro 38), fue calculado por este estudio, pero sin ser un valor oficial, solamente es referencia, ya que la factura por este concepto no ha sido generada por la CAR.

Cuadro 37. Cargas orgánicas del efluente PTAR Guatavita 2012

Efluente PTAR Guatavita 2012						
Mes	Caudal	Temperatura del agua	DBO mg/L	SST mg/L	DBO Kg/mes	SST Kg/mes
Marzo	7.05	18	17	15	310.65	274.10
Abril	4.99	20	85.6	40	1107.16	517.36
Mayo	5.79	17	34.7	22	520.77	330.17
Junio	6.62	18	32	11.8	549.09	202.48
Julio	6.10	18	31	23.3	490.15	368.40
Agosto	6.62	20	49	14.3	840.79	245.37
Septiembre	6.30	18	24.4	20	398.44	326.59
Octubre	5.98	16	43	18	666.51	279.00
Promedio	6.18	18	40	21	610.44	317.94

Fuente: (EMSERGUATAVITA, 2014)

Cuadro 38. Valor por tasas retributivas Guatavita 2013

Valor Tasas Retributiva Guatavita 2013		
Concepto	DBO	SST
Kg/mes promedio (E.S.P. 2012)	610.44	317.94
Kg/año	7325.33	3815.22
Tarifa en pesos x Kg (CAR 2013)	116.26	49.72
Total	851,642.90	189,692.96
Total Tasa Retributiva	1,041,335.85	

Fuente: elaboración propia

El costo medio de operación particular se definió así:

Se elaboró una tabla base (cuadro 39), con los costos de tratamiento,

Cuadro 39. Costo medio de operación $\$/m^3$ PTAR Guatavita

Parámetros base de cálculo del costo medio de operación PTAR Municipio de Guatavita			
Datos generales	Unidad	Cantidad	
Población estimada (DANE 2005)	persona	6857	
Suscriptores servicio de acueducto (E.S.P 2013)	suscriptor	801	
Suscriptores servicio de alcantarillado (E.S.P 2013)	suscriptor	611	
Suscriptores servicio de alcantarillado con tratamiento (E.S.P 2013)	suscriptor	529	
	Unidad	Cantidad	Valor
Costo de personal			
Costo de personal profesional manejo operativo (E.S.P 2013)	un	1	\$ 19,200,000
Costo de personal operativo (E.S.P 2013)	un	3	\$ 28,800,000
Costo de personal apoyo (E.S.P 2013)	un	1	\$ 1,800,000
Total Costo de personal			\$ 49,800,000
Costos de operación y mantenimiento			
Costos de operación y mantenimiento y herramienta menor (E.S.P 2013)	global	1	\$ 2,500,000
Costo de análisis de laboratorio (CAR 2012)	un	12	\$ 7,597,360
Total Costos de operación y mantenimiento			\$ 10,097,360
Costo de energía eléctrica de operación anual (E.S.P 2013)			
	Kw/hora	93183	\$ 34,968,314
Total costos anuales de tratamiento			\$ 94,865,674
Agua facturada (m3/año)	m3		214129
IANC	50%		0.5
P*	30%		0.3
K	0.57		0.57
Impuestos y tasas operativas para el servicio de alcantarillado			
Carga DBO	Kg/año	7325.33	\$ 851,642.90
Carga SST	Kg/año	3815.22	\$ 189,692.96
Total costos anuales de impuestos y tasas operativas para el servicio de alcantarillado			\$ 1,041,335.85
TOTAL COSTO ANUAL PTAR GUATAVITA			\$ 95,907,009.85
CMO calculado tarifa (\$/m3)			\$ 402.06

Fuente: elaboración propia

Se obtuvo un CMO de 402,06 pesos mediante el uso de la siguiente fórmula,

$$CMO_{al}^p = \frac{(CE_{al} + CTR_{al} + ITO_{al})}{AV_{al} + \left(\frac{AV_{al}}{1 - IANC} * 0,57 * (IANC - p^*)\right)}$$

(COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO, CRA, 2004)

Donde,

AV_{al} = Sumatoria de vertimientos facturados por el prestador, asociados al consumo de acueducto y fuentes alternas, correspondiente al año base.

p^* = Nivel máximo aceptable de pérdidas, definido por la CRA.

CE_{al} =Costo de la energía utilizada en las redes de recolección y evacuación para el servicio de alcantarillado, del año base.

CTR_{al} =Costos de tratamiento de aguas residuales, correspondiente al año base.

ITO_{al} = Impuestos y tasas operativas para el servicio de alcantarillado.

$IANC$ = Índice de Agua no Contabilizada del operador.

0.57 = Factor de ajuste por excedente de pérdidas comerciales del operador.

4.6.4 Tarifa cobrada al usuario

Se consultó a la empresa de servicios públicos de Guatavita, EMSERGUATAVITA S.A E.S.P., por el valor aplicado por tarifa del servicio de alcantarillado encontrando que se cobra un valor de 118,35 pesos al usuario, por metro cubico de agua tratada. Al comparar con el valor obtenido utilizando la metodología de la resolución CRA 287 de 2004 para el costo medio de operación, se evidencia que se tiene un déficit por ingresos (cuadro 40), que está afectando la continuidad, calidad y estabilidad de la prestación del servicio de tratamiento de agua residual.

Cuadro 40. Comparativo de tarifas por metro cubico de agua tratada en la PTAR Guatavita

Valor tarifa \$/m3 obtenido utilizando metodología CRA 287/2004	Valor en pesos cobrado por la E.S.P. EMSERGUATAVITA	Diferencia en pesos	Porcentaje sobre tarifa del municipio
402,06	118,35	283,71	70,56 %

Fuente: elaboración propia

4.6.5 Optimización PTAR

El consorcio Diseños de detalle para la construcción de obras de saneamiento en los municipios de la cuenca del Río Bogotá, determinó que la solución para el tratamiento de las aguas residuales del municipio de Guatavita, es el mejoramiento la planta actual, planificando las ampliaciones en el tiempo, manteniendo la tecnología y complementando con unidades para la remoción de nutrientes y fósforo, con el objeto de cumplir cabalmente con la normatividad vigente.

4.6.5.1 Tratamiento seleccionado

El tratamiento de las aguas residuales seleccionado es un sistema de Aireación Extendida, consistente en un cultivo suspendido tipo Lodos Activados, más una zona Anóxica para la remoción de nutrientes. Ambas zonas se contemplan al interior de una Zanja de Oxidación existente. Luego el licor mezcla o lodo activado pasa de la zanja de oxidación al clarificador secundario proyectado, donde el agua clarificada rebasará por un vertedero perimetral hacia un conducto único que transporta el agua tratada a la desinfección. La desinfección se realizará mediante cloración en un tanque de hormigón proyectado. Esta operación permite disminuir la contaminación bacteriológica del efluente tratado.

Se contempla el deshidratado de lodos procedentes del tratamiento, mediante equipamiento mecánico quedando fuera de servicio los lechos de secado de lodos existente y su posterior traslado a rellenos autorizados, que el Operador de la PTAR, deberá tener en cuenta como parte del manejo de los lodos.

El sistema de Lodos Activados que se plantea, corresponde a una modalidad de baja carga que cumple muy bien con todos los requisitos de eficiencia de la normatividad vigente, logrando eficiencias en DBO y SST por encima del 95% y en nitrógeno se logra una transformación a nitratos superior al 80%, y eventualmente se alcanza a desnitrificar. Además, la recirculación de la biomasa dentro del proceso, permite regular los objetivos de nitrificación, y asegurar o garantizar las eficiencias.

El lodo que se produzca durante la fase de tratamiento en la planta de aireación extendida se encontrará estabilizado mediante digestión aeróbica del mismo, la cual se produce en el mismo tanque de aireación, ya que las edades del lodo se han considerado que sean superiores a 15 días. Por lo tanto, no se requiera otro tipo de unidades especiales para este proceso, y la línea de lodos se reducirá a una etapa de deshidratación mecánica (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011).

4.6.5.2 Obras objeto del diseño

Se ha proyectado mejorar la PTAR existente, considerando un aporte per cápita de 50 gr/hab/d. El período para el cubrimiento de los diseños es entre el año 2010 y el año 2035, considerado este año como horizonte del Proyecto.

Las mejoras consideran dejar la PTAR operativa, con las siguientes unidades:

1 Reactor Biológico de 480 m³, incluye estanque anóxico.

1 Clarificador de 10 m de diámetro.

El sistema de aireación considera 3 Aireadores superficiales tipo Brush de 7,5 HP.

Tratamiento de lodos en base a 1 Filtro Banda de 0,5 m.

Mejorar las unidades de medición de caudal.

Construcción de la cámara de contacto para desinfección de las aguas tratadas.

Construcción del sistema de lechos de secado para la deshidratación de lodos decantados.

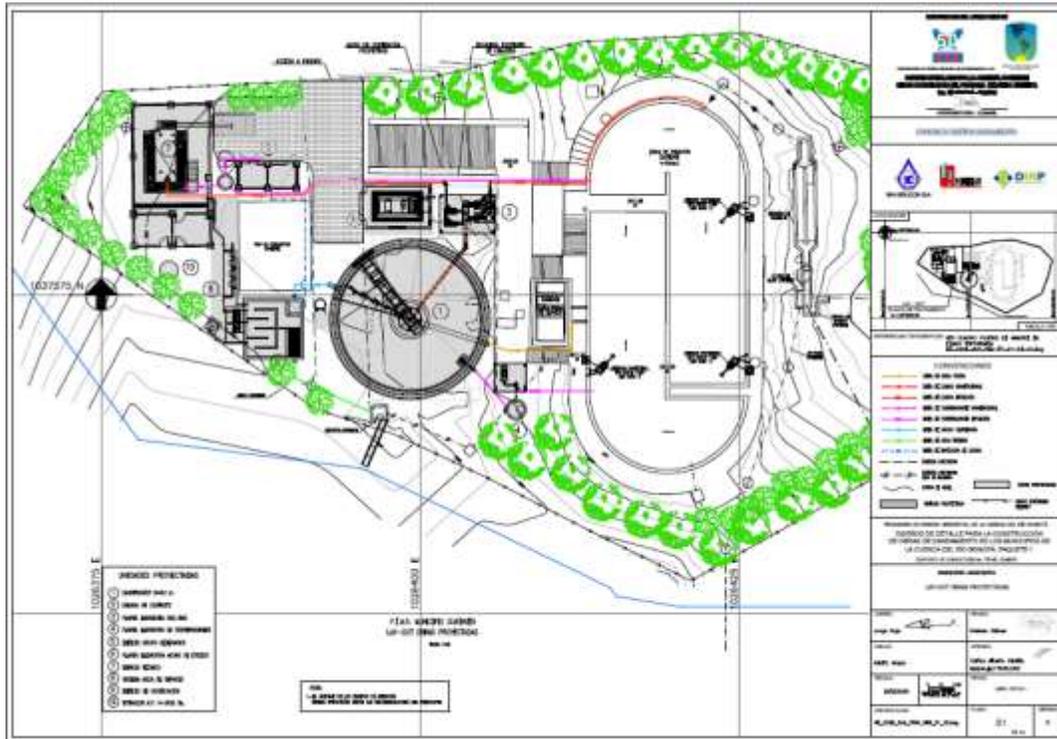
Cuadro 41. Soluciones para optimización PTAR Guatavita, adaptado de Diseños de detalle para la construcción de obras de saneamiento en los municipios de la cuenca del Río Bogotá

Nivel	Solución adoptada
Pretratamiento	Mantener el pretratamiento existente, cámara de rejillas (cribado grueso y medio), vertedero de alivio de aguas lluvias. Instalación de un sensor de nivel, para la medición continua de caudal.
Tratamiento Secundario	Utilización de la actual zanja de oxidación de 480 m ³ . Reemplazo de los equipos existentes, del sistema de aireación por tres aireadores de eje horizontal tipo Tritón de 7,5 HP, reemplazo del clarificador rectangular por un clarificador secundario. Este será de 12 m de diámetro y 3,0 m de altura interior libre al borde (SWD), semienterrado en hormigón armado y construcción de estación elevadora de aguas de exceso y sobrenadante mediante el uso de cámaras de inspección de hormigón prefabricadas y/o hormigón armado in situ
Desinfección	Desinfección de las aguas efluentes del tratamiento secundario con cloro líquido en forma de hipoclorito de sodio, para llevar a niveles predefinidos la concentración de microorganismos patógenos (Coliformes totales \leq 5.000 NMP/100 ml) según la normatividad. Mediante el diseño de una cámara de contacto con 6 canales múltiples tipo baffles chicana, con un volumen de 14,9 m ³ , obteniéndose los siguientes tiempos de contacto de diseño: <ul style="list-style-type: none"> • 31 minutos para el caudal medio (8.0 l/s) del año 2035 • 16 minutos para el caudal máximo horario (10.0 l/s) del año 2035
Tratamiento de Lodos	Construcción de obras de conducción, elevación, deshidratado y disposición en contenedor de los lodos generados en el proceso. Se incluye el equipo de dosificación de polímero y un sistema de presurización de agua potable, para la dilución del polímero.
Obra de descarga	Construcción de obras de conducción y la disposición final del vertimiento hasta la cámara de descarga existente a la quebrada tributaria del embalse de Tominé
Estación Elevadora de Agua de Servicio	Diseño de una estación elevadora de agua de servicio, a la salida de la cámara de contacto de cloración, con dos bombas centrifugas superficiales con un tanque hidroneumático, la que tomará el agua desinfectada desde el final de la cámara de contacto y la impulsará a la red de agua de servicio exterior (grifos lavado unidades y riego).
Estación Elevadora de Aguas de Exceso	Las aguas de lavado del sistema de deshidratación y excesos del proceso, se conducirán por gravedad hasta una estación elevadora de aguas de exceso, desde donde se impulsaran las aguas hasta la zanja de oxidación, reingresándolas así al tratamiento.
Edificaciones	Diseño de edificio técnico de deshidratación. Contempla salas independientes tanto para el equipamiento de deshidratación como para el de dosificación, en la sala 1 filtro de banda, sala 2 equipos y sistemas para dosificación de polímero y sala 3 tableros de control del sistema. Edificio de Dosificación, contempla dos salas una donde se alojarán las bombas de dosificación de cloro y en la otra los tanques de hipoclorito.
Urbanización	Se incluye, proyecto de vías internas de circulación, andenes peatonales y red de agua de Servicio

Fuente: elaboración propia

En la figura 27, se puede observar las obras proyectadas, dentro de la optimización de la PTAR diseñada para operar desde el año 2015 al 2035, y el cuadro 42, expone el presupuesto hasta ahora estimado.

Figura 27. Plano obras proyectadas PTAR Guatavita



Fuente: (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)

Cuadro 42. Presupuesto Optimización PTAR Guatavita

Presupuesto Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipio de Guatavita		
No	Descripción	Valor Total
1	Preliminares	\$ 21,795,000
2	Demoliciones	\$ 1,049,000
3	Excavaciones	\$ 6,057,500
4	Entibados	\$ 8,820,000
5	Rellenos	\$ 20,909,500
6	Vías	\$ 31,403,000
7	Suministro e instalación tubería	\$ 8,953,600
8	Concreto y acero de refuerzo	\$ 109,474,300
9	Concreto y acero de refuerzo Estructuras	\$ 54,668,600
10	Equipo y elementos varios	\$ 1,166,286,090
11	Estructuras y varios	\$ 27,600,000
12	Suministro y montaje eléctrico	\$ 85,433,482
13	Manejo ambiental	\$ 47,385,300
TOTAL COSTOS		\$ 1,589,835,372
AIU (35%)		\$ 556,442,380
TOTAL PRESUPUESTO OBRA		\$ 2,146,277,752
INTERVENTORÍA ESTIMADA		\$ 214,627,775
TOTAL PRESUPUESTO PROYECTADO		\$ 2,360,905,527

Fuente: (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)

4.7 HUMEDAL ARTIFICIAL

Estos sistemas han sido reconocidos como excelentes sistemas de depuración de aguas residuales, en especial en lo relacionado con DBO₅, SST y nitrógeno, para los cuales se obtienen rendimientos superiores al 80%, también son eficientes para remoción de metales, trazas orgánicas, y patógenos (UNIVERSIDAD DE PAMPLONA).

Los humedales artificiales se utilizan en el tratamiento de aguas residuales municipales, para tratamiento secundario y avanzado, también son usados en tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios, tanques sépticos y para desarrollar hábitats para crecimientos de valor ambiental (ROMERO ROJAS, 2013).

Como se vio en el marco teórico, los humedales se clasifican de acuerdo con el tipo de flujo. Pueden ser sistemas a flujo superficial SF, es decir con espejo de agua, y sistemas de flujo Subsuperficial SFS.

El humedal con espejo de agua SF, es un pantano en el que la vegetación emergente está inundada hasta una profundidad de 10 a 45 cm. Para mantener una reacción adecuada se recomienda cargas de máximo 112 Kg DBO/hab/d. este tipo de humedal permite remociones de DBO entre el 60 al 80% y de SST del 50 al 90%.

Si se quiere tener un adecuado mantenimiento, promover crecimiento activo y evitar proliferación de mosquitos, se recomienda cosechar periódicamente la vegetación emergente; pero para la cosecha se requiere sacar el humedal de servicio, antes y después de recolección, por varias semanas (ROMERO ROJAS, 2013).

El uso de los humedales de flujo subsuperficial SFS tiene varias ventajas, relacionadas especialmente con el lecho de grava que permite mayores tasas de reacción y por lo tanto puede tener un área menor. Además como el nivel del agua está por debajo de la superficie del medio granular no está expuesto, con lo que se evitan posibles problemas de mosquitos y olores que pueden llegar a presentarse en sistemas de flujo superficial en algunos lugares. Tampoco se presentan inconvenientes con el acceso de público, así como se evitan problemas en climas fríos, ya que esta capa presta una mayor protección térmica (UNIVERSIDAD DE PAMPLONA).

El medio es comúnmente grava gruesa y arena de espesor de 0,45 a 1 m, con pendiente de 0 a 0,5 %. Tiene la desventaja de un costo mayor y riesgo de taponamiento sino se realiza tratamiento primario. La vegetación es la misma que para flujo superficial, pero con la diferencia que no se requiere cosechar las plantas (ROMERO ROJAS, 2013).

Teniendo en cuenta que la zona de estudio está en clima frío, se necesita evitar problemas de olores, proliferación de mosquitos, no cosechar la vegetación y un requerimiento de área menor, se analizó un humedal de flujo subsuperficial.

4.7.1 Análisis de humedal de flujo subsuperficial

Como referencia se han utilizado las experiencias obtenidas por (ROMERO ROJAS, 2013), además de los lineamientos estipulados por él (RAS, 2000), se inicia por referenciar las características del medio a utilizar en el humedal (cuadro 43).

Cuadro 43. Características típicas del medio, para humedales de flujo subsuperficial

Medio	Tamaño efectivo en mm	Porosidad	Conductividad hidráulica en m/d
Arena media	1	0,30	500
Arena gruesa	2	0,32	1.000
Arena y grava	8	0,35	5.000
Grava media	32	0,40	10.000
Grava gruesa	128	0,45	100.000

Fuente: (ROMERO ROJAS, 2013)

Las características más importantes de diseño para humedales de flujo subsuperficial, se presentan en el cuadro 44.

Cuadro 44. Criterios de diseño para humedales de flujo subsuperficial

Criterio	Valor
Tiempo de retención, d	3 - 4 (DBO) 6 - 10(N); 4 - 15
Carga hidráulica superficial, $\frac{m^3}{ha} \cdot d$	470 - 1.870
Carga orgánica, $Kg \frac{DBO}{ha} \cdot d$	<112
Carga SST, $Kg/ha \cdot d$	390
Profundidad del agua, m	0,3 – 0,6
Profundidad del medio, m	0,45 – 0,75
Control de mosquitos	No requiere
Programa de cosecha	No requiere
Calidad esperada del efluente $DBO - SST - NT - PT, mg/L$	< 20 - 20 - 10 - 5

Fuente: (ROMERO ROJAS, 2013)

4.7.1.1 Localización

El (RAS, 2000) define que los humedales deben localizarse aguas abajo de un tanque séptico. Para esto, debe hacerse una evaluación de las características del suelo, localización de cuerpos de agua, topografía, localización geográfica, líneas de propiedad y vegetación existente para localizar adecuadamente el humedal.

(pág. E 35), estas condiciones están fuera del alcance de este estudio, por lo tanto no se desarrollaron.

4.7.1.2 Dimensiones del humedal

Para determinar las dimensiones del humedal, se utilizaron las fórmulas de (ROMERO ROJAS, 2013) en la (pág. 900), además se amplió y transformo el cuadro 31, para obtener los parámetros de diseño (cuadro 45), utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Carga unitaria en Kg} * 1\text{mg}/(0,000001 \text{ Kg})}{\text{caudal en L/d}} = \text{mg/L}$$

Cuadro 45. Parámetros de diseño de humedal artificial flujo subsuperficial para Montecillo Norte

Población	Caudal diseño en L/s	Volumen m^3/d	Carga unitaria en Kg/hab/d				Concentración en mg/L			
			DBO ₅	SST	NH ₃ N	NKT	DBO ₅	SST	NH ₃ N	NKT
782	2,82	243,65	39,1	39,1	6,57	9,38	160,48	160,48	26,96	38,50

Fuente: elaboración propia

Del cuadro 45, aunque no es claro el rango, entre 4- 15, en días de retención, y no específica en la teoría de (ROMERO ROJAS, 2013), a que parámetro corresponde, se estableció un tiempo de retención de 10 días, para una remoción adecuada de DBO y nitrógeno, y se calculó el volumen del humedal.

$$\text{Volumen} = \text{caudal en } m^3/d * \text{tiempo de retención en días} = m^3$$

$$V = 243,65 m^3/d * 10 d = 2436,5 m^3$$

Se calculó el área superficial del humedal, para una profundidad de medio de 0,45 m y 0,75 m de profundidad de agua,

$$\text{Profundidad de medio, } \frac{0,45+0,75}{2} = 0,60 m$$

$$\text{Área} = \frac{\text{volumen}}{\text{profundidad del medio}} = \frac{2436,5 m^3}{0,60 m} = 4060,83 m^2 * \frac{1 ha}{10000 m^2} = 0,41 ha$$

Luego, se calculó el área de sección transversal, utilizando los valores del cuadro 44, grava media, conductividad 10000 m/d, porosidad de 0,40 y una pendiente del 1 %.

El valor de la pendiente de fondo se toma de las recomendaciones del (RAS, 2000) , donde se considera, no usar la pendiente de fondo para ganar cabeza, pues se corre el riesgo de dejar la entrada seca cuando haya condiciones de bajo caudal, por lo tanto se estima en 1%.

$$Q = KA_t * \frac{\Delta h}{\Delta l}, \text{ entonces } A_t = \frac{Q}{K * (\frac{\Delta h}{\Delta l})}$$

Donde,

$$Q = \text{caudal en } \frac{m^3}{d}$$

$K = \text{conductividad eléctrica del lecho completamente desarrollado en } \frac{m}{s}$.
 para el diseño se tomó un 10% del valor para K , del cuadro 44, esto sugerido por (ROMERO ROJAS, 2013)

$A_t = \text{área de la sección transversal del lecho en } m^2$

$\frac{\Delta h}{\Delta l} = \text{pendiente del lecho}$

Entonces,

$$A_t = \frac{Q}{K * (\frac{\Delta h}{\Delta l})} = \frac{243,65 \text{ m}^3/d}{(10000 \text{ m/d} * 0,1) * (0,01)} = 24,36 \text{ m}^2$$

Se calculó el ancho del humedal,

$$\text{ancho} = \frac{\text{área transversal}}{\text{profundidad}} = \frac{24,36 \text{ m}^2}{0,60 \text{ m}} = 40,61 \text{ m}$$

Finalmente, se obtuvo la longitud del humedal,

$$\text{Longitud} = \frac{\text{área superficial}}{\text{ancho}} = \frac{4060,83 \text{ m}^2}{40,61 \text{ m}} = 100 \text{ m}$$

4.7.1.3 Calidad esperada

La carga orgánica DBO del humedal, se obtuvo utilizando los valores sugeridos en el cuadro 30, al cálculo, correspondió a 39.1 Kg/hab/día, que es menor a lo sugerido por (ROMERO ROJAS, 2013), de 112 Kg DBO/hab/d. Y La carga hidráulica como se aprecia en el cuadro 31, es de 243,65 m^3/d .

Luego se hizo un chequeo a la calidad esperada para DBO, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$C_e = C_o * e^{-kt}$$

Donde,

C_e = concentración del efluente mg/L
 C_o = concentración del afluente mg/L
 K = constante de remoción, d^{-1}
 t = tiempo de retención, d

Para el cálculo de K , (ROMERO ROJAS, 2013) a efecto de remover DBO en humedales subsuperficial, propone la ecuación:

$$K_{20} = K_0 (37,31 e^{4,172})$$

Donde,

K_0 = constante óptima de remoción, para medio con zona de raíces completamente desarrolladas
 $K_0 = 1,839 d^{-1}$ para aguas residuales municipales
 $K_0 = 1,839 d^{-1}$ para aguas residuales industriales con DBO alta
 K_{20} = constante a $20^{\circ}C$, d^{-1}
 e = porosidad total del medio, fracción decimal

Resultado,

$$K_{20} = (1,839 *) (37,31 * (0,40)^{4,172}) = 1,5 d^{-1}$$

$$C_e DBO = 160,48 \frac{mg}{L} * 0,40^{-1,5*10} < 1 \frac{mg}{L}$$

Finalmente se hizo chequeo de la calidad esperada para Nitrógeno, utilizando una constante de remoción de $0,107 d^{-1}$ a $20^{\circ}C$, suponiendo reactor de flujo en pistón.

$$N_e = N_o e^{-kt}$$

Donde,

N_e = concentración de nitrógeno amoniacal del efluente, mg/L
 N_o = concentración de nitrógeno amoniacal del afluente, mg/L
 e = porosidad total del medio, fracción decimal

Para el uso de esta ecuación, se supone que el nitrógeno amoniacal del afluente es el nitrógeno total Kjeldhal (NKT), teniendo en cuenta que todo nitrógeno orgánico se convertirá en nitrógeno amoniacal (ROMERO ROJAS, 2013).

Resultado,

$$N_e NKT = 38,5 \frac{mg}{L} * 0,40^{-0,107*10} = 14,44 \frac{mg}{L}$$

4.7.1.4 Operación y mantenimiento

Él (RAS, 2000), recomienda que la superficie del humedal se cubra con vegetación. La elección de la vegetación depende del tipo de residuos, de la radiación solar, la temperatura, la estética, la vida silvestre deseada, las especies nativas y la profundidad del humedal. Se deben usar dos celdas en serie. Las celdas deben ser impermeabilizadas para evitar la infiltración. Es esencial que las raíces tengan siempre acceso a agua en el nivel de los rizomas en todas las condiciones de operación. Para medios muy permeables con alta conductividad hidráulica (tales como la grava), se recomienda que el nivel de agua se mantenga alrededor de 2 a 5 cm por debajo de la superficie del lecho. (pág. E 36).

A continuación se presentan en el cuadro 46, las ventajas y desventajas que presentan los humedales artificiales:

Cuadro 46. Ventajas y desventajas de los Humedales Artificiales

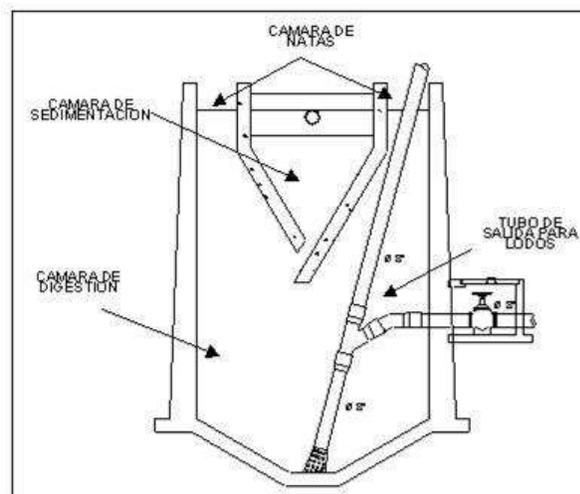
Ventajas	Desventajas
<p>Son menos costosos que otras opciones de tratamiento. Solo en el caso de tener el terreno disponible y asequible, para construirlos.</p> <p>Los gastos de operación y mantenimiento son bajos (energía y suministros).</p> <p>La operación y mantenimiento no requiere un trabajo permanente en la instalación.</p> <p>Los humedales soportan bien las variaciones de caudal.</p> <p>Facilitan el reciclaje y la reutilización del agua.</p> <p>Proporcionan un hábitat para muchos organismos.</p> <p>Pueden construirse en armonía con el paisaje.</p> <p>Proporcionan muchos beneficios adicionales a la mejora de la calidad del agua.</p>	<p>Generalmente requieren grandes extensiones de terreno, comparados con tratamientos convencionales.</p> <p>El rendimiento del sistema puede ser menos constante que el de un proceso convencional, debido a las condiciones ambientales.</p> <p>Los componentes biológicos son sensibles a sustancias como el amoniaco y los pesticidas que llegan a ser tóxicos. Se requiere una mínima cantidad de agua para que sobrevivan, pero no soportan estar completamente secos.</p> <p>El uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas es de desarrollo reciente y no existe un consenso sobre el diseño óptimo del sistema y no se cuenta con suficiente información sobre el rendimiento a largo plazo.</p>

Fuente: (Lara, 1999)

4.8 TANQUE IMHOFF

Es un sistema de tratamiento anaerobio de dos pisos. Consta de un compartimiento inferior para digestión de los sólidos sedimentados y de una cámara superior de sedimentación. Los sólidos sedimentados pasan a través de la abertura del compartimiento superior hacia la zona de digestión. La espuma se acumula en la zona de sedimentación y en las zonas de ventilación adyacentes a las cámaras de sedimentación. El gas producido en el proceso de digestión, en la cámara de lodos, escapa a través de la zona de ventilación (ROMERO ROJAS, 2013).

Figura 28. Tanque Imhoff de cámara sencilla



Fuente: (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005)

Los lodos acumulados en el digestor se extraen periódicamente y se conducen a lechos de secado, en donde el contenido de humedad se reduce por infiltración, después de lo cual se retiran y dispone de ellos enterrándolos o pueden ser utilizados para mejoramiento de los suelos. Los tanques Imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas; sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y remoción de arena (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005).

El tanque Imhoff es alternativa que resulta adecuada en caso no se cuente con grandes áreas de terreno para poder construir un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, como es el caso de las lagunas de estabilización, pero debe ser instalado en un sector alejado de la población, debido a que produce malos olores (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005).

La remoción de sólidos suspendidos puede ser de 45 a 70%, y la reducción de DBO de 25 a 50%. Sin embargo, la remoción es variable, dependiendo de las características del residuo y de las condiciones de diseño y operación. Debido a esta baja remoción de la DBO y coliformes, es necesario enviar el efluente hacia un tratamiento secundario, para complementar la remoción de microorganismos (ROMERO ROJAS, 2013).

4.8.1 Análisis de un filtro Imhoff

Como referencia se han utilizado, las experiencias obtenidas por la (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005), en el documento, guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, las experiencias de (ROMERO ROJAS, 2013), además de los lineamientos estipulados por él (RAS, 2000). Se inicia por referenciar en el cuadro 47, los datos base de análisis.

Cuadro 47. Parámetros de análisis para tanque Imhoff Montecillo Norte

Población	Dotación L/hab/d	Caudal retorno %	Caudal diseño en L/s	Volumen m^3/d	Carga unitaria en	Concentración en mg/L
					Kg/hab/d SST	SST
782	115	80	2,82	243,65	39,1	160,48

Fuente: elaboración propia

4.8.1.1 Localización

De acuerdo con él (RAS, 2000), para la instalación del tanque Imhoff, deben conservarse las siguientes distancias mínimas:

1,50 m distantes de construcciones, límites de terrenos, sumideros y campos de infiltración.

3,0 m distantes de árboles y cualquier punto de redes públicas de abastecimiento de agua.

15,0 m distantes de pozos subterráneos y cuerpos de agua de cualquier naturaleza.

4.8.1.2 Dimensiones del sedimentador

$$\text{Caudal de diseño, } \frac{m^3}{\text{hora}} = 243,65 \frac{m^3}{d} * \frac{d}{24 \text{ horas}} = 10,15 \frac{m^3}{\text{hora}}$$

4.8.1.2.1 Área del sedimentador (A_s , en m^2)

$$A_s = \frac{Q_p}{C_s} = \frac{10,15 \text{ m}^3/\text{hora}}{1 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{hora}} = 10,15 \text{ m}^2$$

Donde,

Q_p = Caudal de diseño m^3/hora

C_s = Carga superficial, igual a $1 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{hora}}$

(ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005)

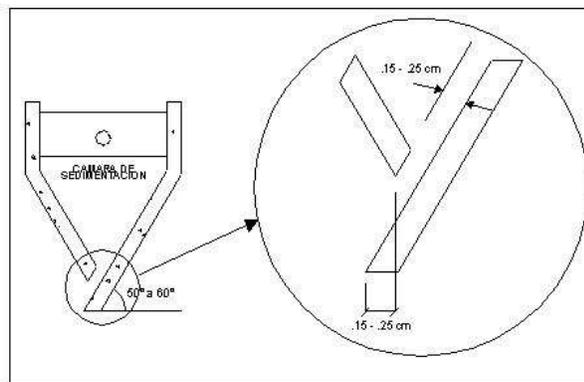
4.8.1.2.2 Volumen del sedimentador (V_s , en m^3)

$$V_s = Q_p * R = 10,15 \text{ m}^3/\text{hora} * 2 \text{ horas} = 20,3 \text{ m}^3$$

R = Periodo de retención hidráulica, entre 1,5 a 2,5 horas (recomendable 2 horas) (OPS, 2005).

El fondo del tanque será de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados respecto a la horizontal tendrá de 50° a 60° .

Figura 29. Fondo del tanque Imhoff



Fuente: (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005)

En la arista central se debe dejar una abertura para paso de los sólidos removidos hacia el digestor, esta abertura será de 0,15 a 0,20 m.

Uno de los lados deberá prolongarse, de 15 a 20 cm, de modo que impida el paso de gases y sólidos desprendidos del digestor hacia el sedimentador, situación que reducirá la capacidad de remoción de sólidos en suspensión de esta unidad de tratamiento.

4.8.1.2.3 Longitud mínima del vertedero de salida (L_V , en m)

$$L_V = \frac{Q_{max}}{Ch_v} = \frac{243,65 \frac{m^3}{d}}{250 \frac{m^3}{m} * d} = 0,97 \text{ m}$$

Donde,

Q_{max} = Caudal máximo diario de diseño, en m^3/d

Ch_v = Carga hidráulica sobre el vertedero, de 125 a 500 $\frac{m^3}{m} * d$, (recomendable 250 $\frac{m^3}{m} * d$) (OPS, 2005).

4.8.1.3 Diseño del digestor

4.8.1.3.1 Volumen de almacenamiento y digestión (V_d , en m^3)

Para el compartimiento de almacenamiento y digestión de lodos (cámara inferior) se tuvo en cuenta los datos consignados en el cuadro 48.

Cuadro 48. Factor de capacidad relativa digestor tanque Imhoff

Temperatura °C	Factor de capacidad relativa (frc)
5	2,0
10	1,4
15	1,0
20	0,7
>25	0,5

Fuente: (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005)

$$V_d = \frac{70 * P * frc}{1000} = \frac{70 * 782 * 0,7}{1000} = 34,7 \text{ m}^3$$

frc = factor de capacidad relativa

P = población

(ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005)

El fondo de la cámara de digestión tendrá la forma de un tronco de pirámide invertida (tolva de lodos), para facilitar el retiro de los lodos digeridos.

Las paredes laterales de esta tolva tendrán una inclinación de 15° a 30° con respecto a la horizontal.

La altura máxima de los lodos deberá estar 0,50 m por debajo del fondo del sedimentador.

4.8.1.3.2 Tiempo requerido para digestión de lodos

El tiempo requerido para la digestión de lodos varía con la temperatura. Se tomó una temperatura promedio de 20 °C, obteniendo un tiempo de digestión de 40 días, utilizando los datos del cuadro 49.

Cuadro 49. Tiempo de digestión de lodos tanque Imhoff

Temperatura °C	Tiempo de digestión en días
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005)

4.8.1.3.3 Frecuencia del retiro de lodos

Los lodos digeridos deberán retirarse periódicamente, y de acuerdo con la frecuencia de retiros de lodos hallada en el cuadro 49, que es 40 días. Considerando que existirá una mezcla de lodos frescos y lodos digeridos; estos últimos ubicados al fondo del digestor. Para la primera extracción se deberá esperar el doble de tiempo de digestión, 80 días (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005).

4.8.1.3.4 Extracción de lodos

El diámetro mínimo de la tubería para la remoción de lodos será de 200 mm y deberá estar ubicado 15 cm por encima del fondo del tanque. Para la remoción se requerirá de una carga hidráulica mínima de 1,80 m (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005).

4.8.1.3.5 Área de ventilación y cámara de natas

Para el diseño de la superficie libre entre las paredes del digestor y el sedimentador (zona de espuma o natas), la (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005) sugiere; se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

El espaciamiento libre será de 1,0 m como mínimo.

La superficie libre total será por lo menos 30% de la superficie total del tanque.

El borde libre será como mínimo de 0,30 cm.

4.8.1.4 Lechos de secados de lodos

Los lechos de secado son dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de los lodos, para el que el resto pueda manejarse como material sólido, con un contenido de humedad inferior al 70 % (RAS, 2000). Los lechos de secado de lodos son generalmente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados (lodos digeridos), lo cual resulta lo ideal para pequeñas comunidades (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005).

4.8.1.4.1 Carga de sólidos que ingresa al sedimentador (C en Kg de SS hab/d)

Tomando los datos del cuadro 47, se estableció una carga de solidos suspendidos de 39,1 Kg/hab/d.

4.8.1.4.2 Masa de sólidos que conforman los lodos (M_{sd} en Kg de SS/d)

Según la (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005), la masa de solidos se puede obtener utilizando la siguiente formula:

$$M_{sd} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

$$M_{sd} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * 39,1) + (0,5 * 0,3 * 39,1) = 12,71 \text{ Kg de SS/d}$$

4.8.1.4.3 Volumen diario de lodos digeridos (V_{ld} , en L/d)

$$V_{ld} = \frac{M_{sd}}{\rho_{\text{lodo}} * (\% \text{ de sólidos} / 100)} = \frac{12,71 \text{ Kg/d}}{1,04 \frac{\text{Kg}}{\text{L}} * (0.1)} = 122,21 \text{ L/d}$$

Donde,

ρ = densidad de los lodos, igual a 1,04Kg/L

% de sólidos: % de sólidos contenidos en el lodo, varía entre 8 a 12%, sugerido 10% (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005)

4.8.1.4.4 Volumen de lodos a extraerse del tanque (V_{el} , en m^3)

$$V_{el} = \frac{V_{ld} * T_d}{1000} = \frac{122,21 \text{ L/d} * 40 \text{ d}}{1000} = 4,89 \text{ m}^3$$

Donde,

T_d = Tiempo de digestión, en días (ver cuadro 49)

4.8.1.4.5 Área del lecho de secado (A_{ls} , en m^2)

$$A_{ls} \frac{V_{el}}{H_a} = \frac{4,89 m^3}{0,30 m} = 16,30 m^2$$

Donde,

H_a = Profundidad de aplicación, entre 0,20 a 0,40m, recomendado 0,30 m

El ancho de los lechos de secado es generalmente de 3 a 6 m, pero para instalaciones grandes puede sobrepasar los 10 m (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005).

4.8.1.5 Operación y mantenimiento.

Él (RAS, 2000) recomienda que; como no existen partes mecánicas en un tanque Imhoff, debe prestarse atención a lo siguiente:

Cuadro 50. Labores de operación y mantenimiento de tanques Imhoff

Labores de operación de los tanques Imhoff
<ul style="list-style-type: none">- Eliminar diariamente las grasas, natas y sólidos flotantes, del compartimiento de sedimentación.- Raspar semanalmente los lados y fondos inclinados del compartimiento de sedimentación, con un cepillo de goma, para quitar los sólidos que se hayan adherido y que pueden descomponerse.- Limpiar semanalmente la ranura del compartimiento de sedimentación. Puede emplearse un rastrillo de cadena.- Cambiar el sentido del flujo por lo menos una vez al mes, cuando así esté previsto en el diseño del tanque.- Controlar la nata en la cámara de natas, rompiéndola por medio de chorros de mangueras a presión, manteniéndola húmeda con aguas negras del compartimiento de sedimentación y quitándola cuando su espesor llegue a unos 60 a 90 cm.- La descarga de lodos debe hacerse antes que su nivel llegue a estar cerca de 45 cm de distancia de la ranura del compartimiento de sedimentación. Es mejor descargar pequeñas cantidades con frecuencia, que grandes cantidades en mucho tiempo. Los lodos deben descargarse a una velocidad moderada y regular para que no se forme un canal a través de los lodos, que deje descargar lodos parcialmente digeridos y parte del líquido que haya sobre los lodos digeridos. La descarga no debe ser total sino que debe dejarse la cantidad necesaria para el inoculo. Cuando menos una vez al mes, debe determinarse el nivel a que lleguen los lodos en su compartimiento. Lo mejor y más recomendable es emplear para ello una bomba.- Después de cada descarga de lodos, las líneas de descarga deben escurrirse y llenarse con agua o con aguas negras, para impedir que los lodos se endurezcan y obturen la tubería.- Prevención de la formación de "espumas". Debe hacerse todo lo posible para impedir la formación de espumas, debido a que a veces es muy difícil corregir esta situación una vez que se ha presentado. La formación de espumas va asociada generalmente con una condición de acidez en los lodos y puede prevenirse en tales casos, o corregirse mediante un tratamiento con cal, para contrarrestar la acidez de los lodos. Cuando se formen espumas es recomendable solicitar la colaboración de un ingeniero sanitario experimentado. Sin embargo, hay unas cuantas medidas sencillas que, en ciertas circunstancias, remedian o mejoran esta situación.

Fuente: (RAS, 2000)

Los tanques Imhoff presentan ventajas y desventajas respecto a los sistemas tradicionales (tanques sépticos), usados comúnmente en áreas rurales, en el cuadro 51 se mencionan algunas de ellas:

Cuadro 51. Ventajas y desventajas de los tanques Imhoff

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Contribuye a la digestión de lodo, mejor que en un tanque séptico, produciendo un líquido residual de mejores características. - No descargan lodo en el líquido efluente, salvo en casos excepcionales. - El lodo se seca y se evacúa con más facilidad que el procedente de los tanques sépticos, esto se debe a que contiene de 90 a 95% de humedad. - Las aguas servidas que se introducen en los tanques Imhoff, no necesitan tratamiento preliminar, salvo el paso por una criba gruesa y la separación de las arenillas. - El tiempo de retención de estas unidades es menor en comparación con las lagunas. - Tiene un bajo costo de construcción y operación. - Para su construcción se necesita poco terreno en comparación con las lagunas de estabilización. - Son adecuados para ciudades pequeñas y para comunidades donde no se necesite una atención constante y cuidadosa, y el efluente satisfaga ciertos requisitos para evitar la contaminación de las corrientes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Son estructuras profundas (>6m). - Es difícil su construcción en arena fluida o en roca y deben tomarse precauciones cuando el nivel freático sea alto, para evitar que el tanque pueda flotar o ser desplazado cuando esté vacío. - El efluente que sale del tanque es de mala calidad orgánica y microbiológica. - En ocasiones puede causar malos olores, aun cuando su funcionamiento sea correcto.

Fuente: (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005)

5. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES

El periodo de diseño, para las tres alternativas comprende, desde el año 2015 al año 2035. El nivel de complejidad de los sistemas tanque Imhoff y Humedal artificial es bajo, el nivel para la PTAR está considerado como medio. En los tres sistemas es primordial, el uso de pre tratamiento, consistente en medición de caudal, retiro de materiales flotantes o pesados (plástico, papel, arenas y demás sólidos no orgánicos), por medio de cribado y desarenado. Posterior al tratamiento se requiere, en los casos del filtro Imhoff un sistema adicional de tratamiento de lodos, que consiste en la implementación de lechos de secado y posterior disposición de los mismos y para la PTAR, un sistema de desinfección. Los costos incorporados para predios, fueron obtenidos por consulta en la región y se estableció un promedio para metro cuadrado en la zona norte Urbana y Montecillo. Para las obras y mantenimiento se tomaron datos de documentos de la CAR y otros autores. En el cuadro 50, se presenta la comparación de los sistemas:

Cuadro 52. Comparación de alternativas de tratamiento de agua residual zona norte Urbana y Montecillo

Concepto	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Tipo de sistema	Tanque Imhoff	Humedal artificial de flujo subsuperficial	PTAR existente Guatavita
Población de diseño	782 (presente estudio)	782 (presente estudio)	2717 (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)
Condición del predio	Se requiere Compra	Se requiere Compra	No requiere compra, uso del terreno existente
Área requerida	200 m ² (presente estudio)	4500 m ² (presente estudio)	2400 m ² (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)
Costo predio \$ (6.250 m ²)	1.250.000 (presente estudio)	28.125.000 (presente estudio)	No requiere
Caudal de diseño	2,82 L/s (presente estudio)	2,82 L/s (presente estudio)	19 L/s (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)
Eficiencia esperada	Según, (ROMERO ROJAS, 2013) la remoción de SST puede ser de 45 a 70%, y la reducción de DBO de 25 a 50%. Según la, (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005) la remoción de SST puede ser de 40 a 50%, y la reducción de DBO de 25 a 35%.	Según (CINARA, 2002) la remoción de SST puede ser de 88,4%, y la reducción de DBO de 81%. Según (ROMERO ROJAS, 2013) la remoción de DBO puede ser del 60 al 80% y de SST del 50 al 90 %.	Se han obtenido promedios de 86,5 % de remoción en DBO y 94,3 en SST (E.S.P., 2012). Se espera que después de la optimización de la PTAR (año 2015), la remoción promedio para cumplir con el acuerdo CAR 043 de 2006, sea mayor de 92% para DBO y 95% para SST (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)

Continuación cuadro 52. Comparación de alternativas de tratamiento de agua residual zona norte Urbana y Montecillo

Concepto	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Tipo de sistema	Tanque Imhoff	Humedal artificial de flujo subsuperficial	PTAR existente Guatavita
Calidad esperada, afluente 160,48 mg/L tanto para DBO como SST	Se utilizó un promedio de las eficiencias dadas por (ROMERO ROJAS, 2013) y (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005). SST remoción 60% resultado 64,2 mg/L DBO remoción 43% resultado 91,5 mg/L	Se utilizó un promedio de las eficiencias dadas por (ROMERO ROJAS, 2013) y (CINARA, 2002) SST remoción 70% resultado 48.15 mg/L DBO remoción 80,5% resultado 31,3 mg/L	DBO remoción 86.4% resultado 21,8 mg/L SST remoción 94,3% resultado 9,1 mg/L
Recomendación	Es necesario enviar el efluente hacia un tratamiento avanzado, para complementar la remoción de microorganismos (ROMERO ROJAS, 2013).	Se diseñan con el objeto específico de proporcionar tratamiento secundario o avanzado (Lara, 1999)	La PTAR, según el estudio del Plan Maestro, tiene capacidad de 12 L/s. Debe ser ampliada para recibir 7 L/s adicionales con el objeto de operar con cargas y caudales del municipio para un horizonte de 26 años (Año 2035). (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)
Estudios técnicos	No existen para la zona y no hay sistemas cercanos operando	No existen para la zona y no hay sistemas cercanos operando	Tiene estudio técnico para optimización de los sistemas de recolección tratamiento y disposición de aguas residuales. Está en operación y funciona bien (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)
Costo inversión inicial \$	27.084.000 (es.scribd.com)	131.225.856 (CINARA, 2002)	2.360.905.527 (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011)
Costo de operación y mantenimiento \$/año	Incluye operación unidad adicional 2.377.671 (CINARA, 2002)	Incluye operación unidad adicional 1.114.350 (CINARA, 2002)	95.907.010 (presente estudio)
Unidades adicionales \$	Lecho de secado de lodos 3.751.341 (ROMERO ROJAS, 2013)	Cribado y desarenado 2.867.594 (ROMERO ROJAS, 2013)	Desinfección 20.221.947 (ROMERO ROJAS, 2013)

Fuente: elaboración propia

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Establecidas las características de los tres sistemas y comparadas en el capítulo anterior, se advertiría lo siguiente:

Que son concordantes y pueden complementarse bien, los sistemas de tratamiento tanque Imhoff, que es un tratamiento de tipo primario y el Humedal artificial de flujo subsuperficial, tratamiento secundario; requiriendo al combinar las dos opciones, unidades adicionales, de pretratamiento como son, el cribado y desarenado, y unidades pos tratamiento, que serían lechos de secado y disposición de lodos. Esta combinación de sistemas se intuye, ya que, según la (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2005), (ROMERO ROJAS, 2013), entre otros, para el caso del tanque Imhoff, combina el proceso de sedimentación del agua, con la digestión de lodos ya sedimentados en la misma unidad, es simple de operar, no requiere personal especializado, se debe remover a diario la espuma y extraer periódicamente los lodos hacia los lechos de secado (cada 40 días), pero el efluente que sale del tanque, es de mala calidad orgánica y microbiológica, y en ocasiones puede causar malos olores, aun cuando su funcionamiento sea correcto. Esto tendría solución, que es, mejorar la reducción de carga contaminante, al continuar el tratamiento con un humedal artificial, porque según (Lara, 1999), para los humedales artificiales, las remociones de SST y DBO, son muy eficaces llegando casi siempre a un nivel inferior de la referencia de 20 mg/L, que precisamente es la calidad esperada para cumplir los objetivos de calidad propuestos en el Acuerdo 043 de 2006, para la cuenca del Río Bogotá.

Como se vio en el cuadro 52 de las comparaciones, su costo tanto de construcción como de operación en los casos del tanque Imhoff y el Humedal artificial, son bajos comparados con la PTAR actual. Pero también encuentran la desventaja que requieren un estudio detallado que aún no existe, compra de predio para la implementación, además quien asuma su administración y operación, bien sea la misma comunidad o la empresa de servicios públicos local, necesita personal, no necesariamente calificado, pero sí, muy eficaz para evitar la proliferación de insectos, redores, malos olores y en el caso del humedal artificial la posible obstrucción parcial del sustrato. El costo para operación y tratamiento conjunto está cercano a 4.466 pesos por usuario/año.

La PTAR existente, cuenta con la ventaja de tener un predio apto para el proceso de optimización, posee los sistemas de pretratamiento cribado y desarenado, y postratamiento lechos de secado, es operada por la empresa de servicios públicos local, que tiene establecido un estudio de costos, que al incorporar a los usuarios del sector norte, Urbano y de Montecillo ayudaría a bajar el costo general por operación. El municipio, en el caso de los procesos de tratamiento de aguas residuales, ya tiene articulados los proyectos de mejora en saneamiento básico, fijados en el POMCA del Río Bogotá y existe el estudio técnico y diseño para la

optimización de la PTAR, lo que garantiza el cumplimiento, de metas de reducción de cargas contaminantes propuestas para la cuenca del Río Bogotá, hasta el horizonte fijado en el año 2035. En dicho diseño se tiene incluida población urbana, suburbana y población flotante, y contempla ampliar el caudal de operación en 7 L/s (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, 2011). El costo para operación y tratamiento está cercano a 36.070 pesos por usuario/año, que como se dijo antes baja si se incluyen los usuario del sector norte Urbano y Montecillo.

7. PROPUESTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA ZONA NORTE URBANA Y MONTECILLO

Analizados los tres sistemas y viendo que de tres opciones iniciales es posible unir el Filtro Imhoff y el Humedal Artificial para que trabajen conjuntamente, las opciones se reducen a dos. De estas dos opciones la más económica es la combinación del filtro Imhoff y el humedal artificial, pero es incierta la calidad esperada del efluente que se generara, además de la estabilidad de administración y operación del sistema, que si no lo asume la comunidad, tendría que tomarla, la empresa de servicios públicos domiciliarios local, aumentando los costos para funcionar.

Este estudio considera que se debe optar, por recomendar la conexión de las aguas residuales vertidas actualmente en la quebrada de Montecillo y conectarlas a la PTAR actual, que está en condiciones de operar con el caudal y cargas contaminantes actuales, además de las generadas por la zona en estudio. Posee estudios y diseños definitivos para optimización del sistema de tratamiento PTAR tipo lodos activados, que aumentara su capacidad de 12 L/s a 19 L/s, funcionara con los procesos de pretratamiento, tratamiento secundario, desinfección, tratamiento y disposición de lodos, garantizando un efluente que cumpla con los objetivos propuestos por el Acuerdo CAR 043 de 2006.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Tomados los datos del plan maestro de acueducto y alcantarillado de Guatavita elaborado en el año 2009, y los diseños de detalle para la construcción de obras de saneamiento en los municipios de la cuenca del río Bogotá, municipio de Guatavita, elaborado en el año 2011, se evidenció, que el punto de vertimiento del sector norte Urbano y Montecillo, descarga en la quebrada Montecillo, sin tratamiento alguno y está ubicado sobre la cota 2700 msnm.
- El plan maestro de acueducto y alcantarillado de Guatavita elaborado en el año 2009, propone la construcción de dos PTAR, para los sectores de Montecillo, pero no contempla la posibilidad de conectar estos sectores a la PTAR existente, que se encuentra sobre la cota 2610 msnm.
- Se pudo establecer que en los diseños de detalle para la construcción de obras de saneamiento en los municipios de la cuenca del río Bogotá, municipio de Guatavita, elaborado en el año 2011, se incluye la población de las zonas urbanas, suburbanas y población flotante de dentro del diseño de optimización de la PTAR, pero no se menciona la conexión del sector norte Urbano y Montecillo.
- El presente estudio, se enmarco en los objetivos de calidad del agua, que se adoptaron mediante el Acuerdo CAR 043 de 2006, concertados para la cuenca del Río Bogotá, a la cual pertenece el embalse del Tominé, fuente a la cual vierte el alcantarillado municipal de Guatavita.
- Se logró la caracterización de la zona norte Urbana y Montecillo, encontrando una población con actividades de tipo residencial e institucional, con carencia en la actualidad de actividades comerciales e industriales.
- El análisis de población se basó en datos de proyecciones estimadas por el DANE 2005, pero ante la carencia de datos específicos para la zona mixta urbana y suburbana norte, se adoptó un método experimental y no el recomendado por el RAS 2000, usando porcentajes de las proyecciones de población, y de usuarios estimados por la empresa de servicios públicos domiciliarios local.
- Los datos obtenidos para caudales y cargas unitarias, fueron evaluados con las formulas y cuadros de datos dados por el documento RAS 2000, estimando un caudal de 2,82 L/s y una carga de 39,1 Kg/hab/d para DBO y SST.
- La comparación de las opciones de tratamiento de agua residual, para el sector norte Urbano y Montecillo, se realizaron con el objetivo de presentar una propuesta que sirva de soporte para un futuro pre diseño.

- Se comprobó mediante el análisis de un filtro Imhoff, que este sistema requiere un área muy pequeña, 22 veces menor que para un humedal artificial y 12 veces menor que la PTAR actual de Guatavita. A su vez, los costos de construcción y operación son mucho menores que las otras dos opciones.
- La eficiencia de remoción de cargas es muy efectiva para la PTAR actual, 86,4% para DBO y 92,3% para SST, con la posibilidad de mejorar la reducción, con la optimización proyectada.
- El filtro Imhoff llega a un 50% en DBO y 70% en SST, el Humedal 80% en DBO y 90% en SST. Este estudio concluye, que para llegar a una eficiencia y calidad propuesta para la cuenca del Río Bogotá, tendrían que implantarse y funcionar en un mismo proyecto, además de adicionarse estructuras adicionales de pretratamiento (cribado y desarenado) y pos tratamiento (lechos de secado de lodos), si se quiere lograr reducciones y lograr las metas tanto en carga orgánica, como en nutrientes y patógenos.
- La PTAR aunque requiere equipos mecánicos, mayor costo para implementación, operación y mantenimiento, ofrece la garantía de un efluente de mejor calidad, estabilidad de funcionamiento y sobre todo menor afectación al embalse del Tominé.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ALCALDÍA DE GUATAVITA. (12 de Mayo de 2014). *www.guatavita-cundinamarca.gov.co*. Recuperado el 13 de Mayo de 2014, de http://www.guatavita-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml
- ALCALDÍA GUATAVITA . (2014). *Base de datos Oficina Desarrollo Social*. Guatavita.
- ALCALDÍA GUATAVITA. (8 de Junio de 2012). Acuerdo Municipal 08-2012. *Por medio del cual se adopta el Plan de Desarrollo Municipal para el periodo 2012-2015*. Guatavita, Cundinamarca, Colombia.
- ALCALDÍA GUATAVITA. (2014). Archivo Contratación, Planeación Municipal. Guatavita, Cundinamarca, Colombia.
- blogspot.com. (Diciembre de 2011). *agua-medioambiente.blogspot.com*. Recuperado el 9 de Mayo de 2014, de <http://agua-medioambiente.blogspot.com/2011/12/tanque-imhoff.html>
- CINARA, U. D. (2002). *cinara.univalle.edu.co*. Recuperado el 16 de Enero de 2014, de <http://cinara.univalle.edu.co/archivos/pdf/41.pdf>
- COLOMBIA. DANE. (2005). *Boletín General Censo 2005, Perfil Guatavita Cundinamarca*. Bogotá D.C.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá, D.C.
- COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO, CRA. (24 de Mayo de 2004). *www.cra.gov.co*. Recuperado el 27 de Enero de 2014, de <http://www.cra.gov.co/index.shtml>
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA. (2009). *Documento Planes Maestros de Acueducto y Alcantarillado para Municipios de la Cuenca del Río Bogotá, Informe Final, Municipio de Guatavita*. Guatavita, Cundinamarca.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA. (2011). *Diseños de detalle para la construcción de obras de saneamiento en los municipios de la cuenca del rio Bogotá, paquete 1. Contrato 0735-09, COA6579. Informe final municipio de Guatavita ED-C256-IF-GUA-1*. Guatavita, Cundinamarca.

- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA. (2011). *Manual de Operación PTAR de Guatavita*.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA CAR. (17 de Octubre de 2006). Acuerdo 0043. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA CAR. (2006). *POMCA, Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá*. Bogotá, Colombia.
- E.S.P., C. S. (2012). *Eficiencias PTAR*. Bogotá D.C.
- EMSERGUATAVITA, S. E. (Febrero de 2014). Guatavita, Cundinamarca, Colombia.
- es.scribd.com. (s.f.). Recuperado el 10 de Mayo de 2014, de <http://es.scribd.com/doc/50313689/disenio-de-la-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales>
- GOBERNACIÓN DE CUNDINAMARCA. (2010). Mapas de Cundinamarca. Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia.
- IGAC, INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. (2002). Carta General, Hoja 228 I - B - 2. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS. (Marzo de 2005). Geología de la Sabana de Bogotá. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. (30 de Diciembre de 2010). Aerofotografía, Vuelo 22803003012010/827. Guatavita, Cundinamarca, Colombia.
- Lara, J. (1999). Máster en ingeniería y gestión ambiental. *Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales [tesis de maestría]* . Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- LÓPEZ CUALLA, R. A. (2002). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados, séptima reimpresión*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. (2005). OPS. *Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización*. Lima, Perú.

OTÁLORA RODRIGUEZ, A. P. (2011). *Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño Gandúl*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química.

PINILLA CAMELO, N. F. (2012). Registro fotográfico de Guatavita . Guatavita, Cundinamarca, Colombia.

REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. (2000). RAS. BOGOTÁ D. C.

ROMERO ROJAS, J. A. (2013). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principio de Diseño*. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA. (s.f.). HUMEDAR I: Alternativa innovadora de bajo costo para depurar aguas residuales en países en vía de desarrollo. *Revista ambiental agua, aire y suelo*, 84-91.