

Información Importante

La Universidad de La Sabana informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad de La Sabana.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le de crédito al documento y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, La Universidad de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA
UNIVERSIDAD DE LA SABANA
Chía - Cundinamarca

**MODELO DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DENTRO DEL
ÁREA DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO EN EL MUNICIPIO DE
CAJICÁ – CUNDINAMARCA.**

DIANA ALEJANDRA SASTRE TORRES
Ing. Ambiental

UNIVERSIDAD DE LA SABANA
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS
ÉNFASIS EN PROCESOS QUÍMICOS
2016

**MODELO DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DENTRO DEL
ÁREA DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO EN EL MUNICIPIO DE
CAJICÁ – CUNDINAMARCA.**

DIANA ALEJANDRA SASTRE TORRES
Ing. Ambiental

Director
PHD. CARLOS ALBERTO JIMENEZ JUNCA

Codirector
MSc. LUZ HELENA MANCERA MÉNDEZ

UNIVERSIDAD DE LA SABANA
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS
ÉNFASIS EN PROCESOS QUÍMICOS
2016

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
1. FORMULACION DEL PROBLEMA Y ANTECEDENTES	9
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GENERAL	16
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. DISEÑO METODOLÓGICO	17
3.1 Diagnóstico de la situación actual del manejo del agua residual	17
3.1.1 Datos de usuarios	17
3.1.2 Caracterización de vertimientos	17
3.1.3. Cálculo del aporte de los usuarios a la tasa retributiva	18
3.2.Jerarquización de los usuarios por impacto al sistema de alcantarillado	20
3.3. Identificación de reglamentación para el vertimiento y los objetivos de tratamiento de las aguas residuales	23
3.4.Identificación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales	24
3.5.Diseño de un modelo de selección de alternativas de tratamiento de aguas residuales, basado en la metodología AHP	24
3.5.1.priorización de usuarios generadores de vertimientos	24
3.5.2.modelo para la toma de decisiones – preferencia sobre los sistemas de tratamiento de aguas residuales	24
3.6.Modelo de gestión para el tratamiento de aguas residuales PARA EL cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable referente a vertimientos	26
4. RESULTADOS	27
4.1.Diagnostico de la situación actual del manejo del agua residual en cajica	27
4.1.1. Datos de usuarios	27
4.1.2.Caracterización de los vertimientos generados por los diferentes usuarios, al sistema de alcantarillado	27
4.1.3. Identificación de los sistemas de tratamiento existentes empleados por los usuarios.	39

4.2. Jerarquización de los usuarios que generan vertimientos de mayor impacto al sistema de alcantarillado.	43
4.2.1. Alteraciones o impactos generados por los usuarios que vierten al sistema de alcantarillado	43
4.2.2. Jerarquización de los usuarios acorde a su impacto al sistema de alcantarillado, de tratamiento y sistemas hídricos por vertimiento	45
4.3. Reglamentación para el vertimiento al sistema de alcantarillado y definición de objetivos de tratamiento	47
4.4. Identificación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales, para cada sector productivo o usuarios más impactantes.	55
4.5. Modelo de selección de alternativas de tratamiento de aguas residuales, basado en la metodología AHP.	55
4.5.1. Priorización de usuarios generadores de vertimientos	55
4.5.2. Modelo para la toma de decisiones	57
4.6. Modelo de gestión para el tratamiento de aguas residuales para el cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable referente a vertimientos	62
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS	72
ANEXO 1. JERARQUIZACIÓN DE LOS USUARIOS ACORDE A SU IMPACTO AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO, DE TRATAMIENTO Y SISTEMAS HÍDRICOS POR VERTIMIENTO	82
ANEXO 2. ACTORES – MANEJO DE VERTIMIENTOS	88
ANEXO 3. OPERACIONES FÍSICAS Y PROCESOS BIOLÓGICOS – QUÍMICOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL	93
ANEXO 4. CALCULO TAMAÑO DE LA MUESTRA	108
ANEXO 5. METODOLOGIA AHP - MATRICE	110
ANEXO 6. RESPUESTA CAR: ARTICULO 41 DEL DECRETO 3930 DE 2010	128

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Contaminantes del agua residual	9
Tabla 2. Monto de la tasa retributiva cancelado por la Empresa de Servicios públicos de Cajicá a la Autoridad Ambiental	12
Tabla 3. Niveles de tratamiento de las aguas residuales	18
Tabla 4. Criterios de evaluación de las alteraciones a los sistema de alcantarillado, de tratamiento y sistemas hídricos por vertimientos	21
Tabla 5. Criterios de evaluación para evaluación de impactos	22
Tabla 6. Rango de valores de la evaluación ambiental	23
Tabla 7. Escala de preferencia estándar	25
Tabla 8. No de usuarios por tipo y caudal vertido al sistema de alcantarillado en Cajicá	27
Tabla 9. Subdivisión de usuarios industriales por actividad económica establecida en la Resolución 631 de 2015	28
Tabla 10. Subdivisión de usuarios comerciales por actividad económica	29
Tabla 11. Caracterización del agua residual de empresas que elaboran productos lácteos	30
Tabla 12. Caracterización del agua residual de industrias de fabricación de alimentos para mascotas	31
Tabla 13. Caracterización del agua residual vertida por diferentes empresas al sistema de alcantarillado	32
Tabla 14. Caracterización del agua residual vertida por Estaciones de Servicio	34
Tabla 15. Caracterización del agua residual vertida por establecimientos de preparación y consumo de alimentos	34
Tabla 16. Caracterización del agua residual doméstica con concentración fuerte	36
Tabla 17. Caracterización del agua residual vertida por salones de belleza.	36
Tabla 18. Caracterización del agua residual de veterinarias	37
Tabla 19. Parámetros fisicoquímicos del agua vertida por Centros de Atención a la Salud	37
Tabla 20. Parámetros fisicoquímicos del agua vertida por usuarios residenciales	38
Tabla 21. Parámetros fisicoquímicos del agua vertida por usuarios residenciales de concentración media	39

Tabla 22. Usuarios industriales con sistemas de tratamiento de aguas residuales	39
Tabla 23. Usuarios comerciales con sistemas de tratamiento de aguas residuales	40
Tabla 24. Aporte al monto de la tasa retributiva de los usuarios industriales	42
Tabla 25. Aporte al monto de la tasa retributiva de los usuarios comerciales	43
Tabla 26. Usuarios que aportan en mayor medida al monto calculado por tasa retributiva.	44
Tabla 27. Usuarios que generan mayor alteración a la calidad del agua residual transportada y tratada	44
Tabla 28. Jerarquización de usuarios por las alteraciones a los sistema de alcantarillado, de tratamiento y sistemas hídricos debido a sus vertimientos	46
Tabla 29. Evaluación del cumplimiento de la Resolución 631 de 2015 de los vertimientos de los usuario que vierten al sistema de alcantarillado	49
Tabla 30. Objetivos de tratamiento del agua residual y opciones de tratamiento	51
Tabla 31. Población objetivo para definir la estructura esquemática del enfoque de jerarquía analítica	55
Tabla 32. Criterios y sub-criterios de la estructura esquemática del enfoque de jerarquía analítica para la selección de sistemas de tratamiento sostenibles	56
Tabla 33. Modelo de gestión para el tratamiento de aguas residuales	63
Tabla 34. Indicador clave 1.	67
Tabla 35. Indicador clave 2.	68
Tabla 36. Indicador clave 3.	68
Tabla 37. Indicador clave 4.	69
Tabla 38. Indicador clave 5.	69

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación esquemática de los procesos para el tratamiento de aguas residuales	11
Figura 2. Agua residual de restaurantes ubicados en Cajicá.	35
Figura 3. Relevancia (peso) de los criterios al momento de seleccionar una alternativa de tratamiento por tipo de usuario	58
Figura 4. Preferencia de alternativas de tratamiento por criterio para los establecimiento de preparación y consumo de alimentos (restaurante a, b, c y d).	59
Figura 5. Preferencia de alternativas de tratamiento por criterio para empresas que elabora productos lácteos (empresas a y b).	60
Figura 6. Preferencia de alternativas de tratamiento por criterio para fabricantes y comercializadores de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza.	61
Figura 7. Preferencia de alternativas de tratamiento por criterio para industrias de alimentos preparados para animales	61

RESUMEN

El manejo del agua residual por el riesgo que representa para el medio ambiente y la salud de los habitantes es un tema relevante en Colombia, especialmente para todos los municipios que conforman la cuenca del Río Bogotá incluyendo al Municipio de Cajicá, en donde se presenta contaminación hídrica, rezago de infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales, falta de control sobre el agua vertida, incremento en el monto a pagar por tasa retributiva a cargo de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado y falta de reconocimiento del usuario del sistema de alcantarillado como actor en la gestión del agua residual municipal.

Frente a esta situación se propuso un modelo de gestión del agua residual dentro del área de prestación del servicio de alcantarillado basado en sistemas de tratamiento descentralizados por usuario para tratar el agua residual lo más cerca de su origen y hacer responsables del tratamiento de los vertimientos a los usuarios del sistema de alcantarillado, como directos contaminadores del recurso hídrico, permitiendo direccionar la gestión de la calidad del agua residual acorde al proceso productivo que la genera o su estado según parámetros fisicoquímicos, base para favorecer la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales centralizadas existentes y la recuperación de la calidad del agua del Río Bogotá y Río Frío.

Modelo propuesto para el municipio de Cajicá pero que puede también ser aplicado por otros municipios, localidades o regiones para la gestión del agua residual, el cual se basa en la integración de metodologías y conceptos asociados a la caracterización de vertimientos, cálculo del aporte del monto a pagar por tasa retributiva, evaluación de impactos empleando 8 criterios de evaluación como herramienta para identificar a los usuarios que mayor impacto generan a los sistema de alcantarillado, de tratamiento y sistemas hídricos por vertimientos, uso de los límites máximos permisibles de los parámetros de calidad del agua vertida establecidos por la normatividad ambiental (Resolución 631 de 2015) para establecer los objetivos de tratamiento y el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) con la participación de usuarios y de especialistas en el tratamiento de aguas residuales para la selección de sistemas de tratamiento sostenibles.

1.FORMULACION DEL PROBLEMA Y ANTECEDENTES

El continuo crecimiento de la población, la industrialización y las inadecuadas prácticas de gestión ambiental han llevado a que en la actualidad exista crisis en el recurso hídrico, desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo (Senante et al., 2012), llegando a presentarse en Colombia los cuerpos hídricos como receptores de todo tipo de vertimientos de aguas residuales, lo que genera riesgo a la salud de los habitantes y del medio ambiente, disminución de la productividad e incremento de los costos de tratamiento del recurso hídrico (Bernal et al., 2003).

El Municipio de Cajicá – Cundinamarca no es ajeno a esta situación y registra en la actualidad vertimientos al Río Bogotá asociados a descargas directas del sistema de alcantarillado municipal, rezago de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales y falta de control sobre el agua residual vertida por los usuarios del sistema de alcantarillado; identificándose en este caso como una de las causas de contaminación hídrica del municipio la descarga de las aguas residuales municipales sin el manejo adecuado; especialmente por ser aguas residuales que contienen una gran variedad de sustancias contaminantes, toda vez que son una mezcla de las aguas provenientes de residencias, instituciones, establecimientos comerciales e industriales (Noyola, 2013). Los contaminantes relevantes del agua son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Contaminantes del agua residual

CONTAMINANTES	RAZÓN DE IMPORTANCIA
Sólidos en suspensión	Dan lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierten al entorno acuático. Parámetro que afecta directamente el monto a pagar por tasa retributiva.
Materia orgánica biodegradable.	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas. Se mide principalmente en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y de la DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno, puede llevar al agotamiento de oxígeno y desarrollo de condiciones sépticas. Los valores de DBO afectan directamente el monto a pagar por tasa retributiva.
Grasas y aceites	Su acumulación en drenajes y cuerpos de agua reducen la transferencia de oxígeno a los cuerpos de agua, flotación de lodos, contaminación visual. Su presencia puede provocar problemas tanto en la red de alcantarillado como en las plantas de tratamiento.
Patógenos	Bacterias, virus, protozoos y helmintos, causantes de enfermedad o alteración negativa en la salud.
Nutrientes	Incluyen nitrógeno, fósforo y carbono. Cuando se vierten al entorno acuático, pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada (eutrofización en cuerpos de agua).

Contaminantes prioritarios	Son compuestos orgánicos o inorgánicos reconocidos por su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad conocida o sospechada. Se distinguen los siguientes: Cadmio, Cromo, Plomo, Mercurio, Plata, Benceno, algunos pesticidas, herbicidas e insecticidas.
Materia orgánica refractaria	Es materia orgánica que tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento, Incluye agentes tensoactivos, fenoles y los pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Níquel, Manganeso, Plomo, Cromo, Cadmio, Cinc, Cobre, Hierro y Mercurio. Su cantidad excesiva y toxicidad interfiere con gran número de los usos del agua. Su presencia puede afectar el funcionamiento de plantas de tratamiento biológico de aguas residuales.
Sólidos Inorgánicos disueltos	Incluye el calcio, sodio y sulfatos.

Fuente: Adaptada de Metcalf & Eddy, 1995 y Noyola, 2013.

Una vez generadas las aguas residuales son transportadas por redes de alcantarillado directamente a un cauce (Río Bogotá o sus afluentes) o pasan primero por sistemas de tratamiento que son empleados para remover material contaminante, con objeto de alcanzar una calidad de agua requerida acorde con la normativa de descarga; identificándose para el caso de Cajicá la existencia de dos plantas de tratamiento municipales que lograban tratar cerca del 40% del agua residual total generada para el 2015, vertiendo el porcentaje restante directamente al Río Bogotá.

Los sistemas de tratamiento en general integran operaciones físicas y procesos químicos y biológicos seleccionados en función de las características del agua residual y de su calidad requerida; instalándose como plantas centralizadas “al final del tubo” como se presenta con las dos plantas municipales en Cajicá; o distribuidas como plantas menores ubicadas cerca de los puntos de generación y reutilización (Noyola, 2013), como es representado solo por algunos usuarios del sistema de alcantarillado que cuentan con sus propios sistemas de tratamiento.

No obstante, en Cajicá los usuarios que cuentan con sistemas de tratamiento de agua residual usualmente no presentan evidencias claras para definir si las alternativas de tratamiento que manejan son las adecuadas para el agua residual que generan, o si la operación y mantenimiento se desarrolla adecuadamente para asegurar un tratamiento pertinente; encontrando en este caso una oportunidad de apoyo y asesoría para los usuarios frente a los sistemas de tratamiento más adecuados para sus vertimientos; especialmente al existir en el mercado del tratamiento de aguas residuales una oferta tecnológica amplia amparada bajo el marco de distintas marcas comerciales, siendo frecuente las tecnologías de un mismo tipo pero que presentan ligeras variantes muchas veces solo desde una estrategia de mercadeo, y que logran confundir y complicar a los tomadores de decisiones a la hora de seleccionar alternativas de tratamiento.

Es en este momento que se hace relevante reconocer que las tecnologías existentes se pueden clasificar en algún tipo de proceso de tratamiento limitado (Noyola, 2013), como se presenta en la Figura 1, y que puede facilitar un poco más la selección de la alternativa viable de tratamiento del agua residual.

Sin embargo, independiente de la alternativa seleccionada para el tratamiento de aguas residuales, el vertimiento del agua residual y la utilización del recurso hídrico como receptor de vertimientos puntuales directos o indirectos y sus consecuencias nocivas conlleva a la aplicación de la tasa retributiva, definida como un instrumento económico cobrado por la autoridad ambiental para incentivar cambios en el comportamiento de los agentes contaminadores (MINAMBIENTE, 2017). Para el caso del Municipio de Cajicá el valor del monto que ha venido pagando la Empresa de Servicios Públicos de Cajicá S.A E.S.P (EPC) a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca por concepto de tasa retributiva, presenta en general un comportamiento de crecimiento anual, como se presenta en la Tabla 2, y refleja el manejo inadecuado del agua residual dentro del área de prestación del servicio de alcantarillado.

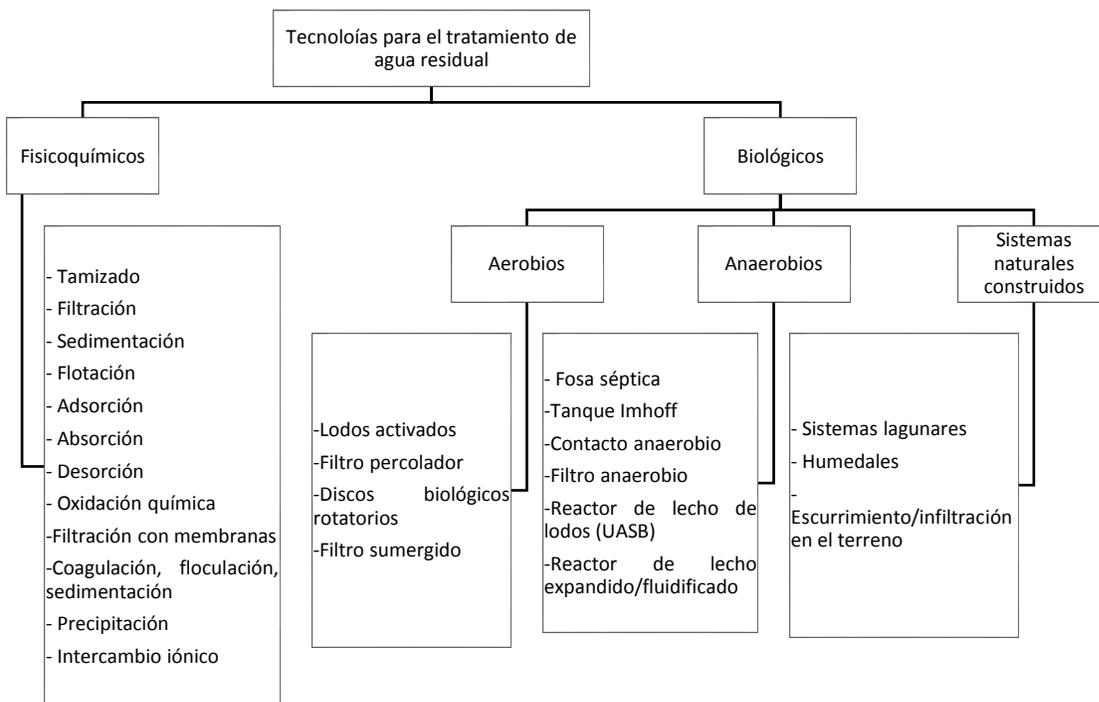


Figura 1. Clasificación esquemática de los procesos para el tratamiento de aguas residuales (Noyola, 2013).

Tabla 2. Monto de la tasa retributiva cancelado por la Empresa de Servicios públicos de Cajicá a la Autoridad Ambiental

Año	Valor (miles de pesos \$)
2011	108.867
2012	130.543
2013	185.615
2014	130.953

Fuente. EPC, 2105.

Es relevante reconocer que son aportantes al monto a pagar por tasa retributiva las aguas residuales vertidas al sistema de alcantarillado público por los diferentes usuarios, dentro de los cuales se distinguen los siguientes:

- Usuario comercial: Desarrolla actividades comerciales de almacenamiento o expendio de bienes, así como gestión de negocios o ventas de servicios y actividades similares, tales como almacenes, oficinas, consultorios y demás lugares de negocio.
- Usuario residencial: Se relaciona con la vivienda de las personas.
- Usuario oficial: Corresponde a entidades de carácter oficial como planteles educativos, hospitales, clínicas, centros de salud, ancianatos y orfanatos de carácter oficial.
- Usuario especial: Se refiere a las entidades sin ánimo de lucro que reciben donaciones de entidades oficiales de cualquier orden, o que éstas últimas hayan participado en su constitución, también se incluyen las instituciones de beneficencia, las culturales y las de servicios sociales.
- Usuario industrial: Aquel que desarrolla actividades industriales que corresponden a procesos de transformación.

Usuarios aportantes de contaminantes al agua residual que requieren ser tenidos en cuenta al igual que la empresa prestadora del servicio de alcantarillado, como actores en la gestión del agua residual dentro del marco del desarrollo sostenible municipal y como elemento clave para definir acciones en el plan de salvamento del río Bogotá y su descontaminación definitiva acorde al fallo del Consejo de Estado, el cual fue emitido el 28 de marzo del 2014 (Gómez, 2014).

Sin embargo, el desconocimiento y/o falta de herramientas de gestión para favorecer la participación de los usuarios del sistema de alcantarillado y su relación con la empresa prestadora del servicio de alcantarillado en el manejo del agua residual, ha generado problemas en la gestión del agua residual dentro del área de prestación del servicio de alcantarillado con consecuencias negativas en el recurso hídrico municipal. Especialmente bajo un escenario de inexistencia de permisos de vertimientos otorgados por la Autoridad Ambiental a los usuarios del sistema de alcantarillado

(Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR], 2017), presentándose esto como un limitante frente a la vigilancia de sus vertimientos y al control sobre su aporte en los montos a pagar por tasa retributiva, en la alteración en el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales existentes y sus costos de operación y mantenimiento.

En este sentido, para proyectar de forma ordenada el manejo de los vertimientos a nivel municipal y en particular en Cajicá, se requiere direccionar acciones para fortalecer el manejo del agua residual desde el punto de generación; logrando un enfoque de manejo por medio de tratamientos descentralizados por usuario, los cuales ofrecen menores costos de inversión, bajos costos de operación, mantenimiento y bajos consumos de energía al tratar las aguas residuales (Galbán, 2012); como también es un enfoque que apoya el cumplimiento de las obligaciones de los usuarios en el marco del Decreto 3930 de 2010. Especialmente si se encuentran mezclados dentro del municipio los diferentes usuarios industriales, comerciales, especiales e institucionales, quienes generan aguas residuales con unas características determinadas según su actividad, y que por tanto requieren una alternativa de tratamiento específica y pertinente.

Este enfoque de manejo del agua residual por medio de tratamientos descentralizados se presenta como el "*nuevo paradigma del agua*", el cual apoya el potencial de reúso y además difiere del manejo que se viene realizando en Colombia frente al agua, donde la gestión y administración de los sistemas de tratamiento de aguas residuales se direccionan hacia la operación de sistemas centralizados (Maca, 2014), donde es usual encontrar ciudades que siguen creciendo y muchos sistemas de gestión de aguas residuales centralizados están sobrecargados (Gikas & Tchobanoglous, 2009). Situación que ha permitido reconocer el tratamiento centralizado como una propuesta sin solución integrada, con la usual dilución de corrientes de aguas residuales que contienen agentes patógenos y sustancias tóxicas, como metales pesados y contaminantes orgánicos que hacen el tratamiento más complejo y requiere un mayor nivel de recursos como energía, dinero, espacio y experiencia, al tiempo que representan presión sobre el medio ambiente (Balkema et al., 2002).

No obstante, las razones de éxito o fracaso de la gestión o manejo del agua residual de forma descentralizada, dependen de la idoneidad de la tecnología de tratamiento implementada. Usualmente la falta de actividades de investigación y desarrollo conduce a la selección de la tecnología inapropiada en función de las condiciones locales climáticas y físicas, capacidades de los recursos financieros y humanos, y la aceptación social o cultural. La elección de la "tecnología más

apropiada " no es una tarea fácil, pero podría reducir el riesgo de problemas y fracasos futuros (Massoud, 2009).

Existen múltiples sistemas de tratamiento de aguas residuales a los que se les puede denominar como alternativas, que deben ser reconocidas sin perder de vista las características propias del sitio de estudio y de los principios del desarrollo local (Díaz et al. 2012). Es así como se presenta la relevancia de conocer y consecuentemente aplicar tecnologías de tratamiento de aguas residuales (alternativas) acordes a las condiciones sociales, económicas (Torres, 2012) y ambientales de la región o municipio.

Se cuenta con diferentes técnicas y metodologías disponibles para evaluar y tomar decisiones frente a una diversidad de sistemas de tratamiento de aguas residuales, siendo las de mayor interés aquellas que permiten la integración de diversos criterios o multi-criterio (Fane, 2005).

Un método de toma de decisiones multi-criterios bien conocido es el proceso de jerarquía analítica - AHP (Saaty, 1972). Este método ha sido aplicado con éxito a problemas diversos de ingeniería; especialmente para la toma de decisiones en problemas ambientales (Huang et al., 2011) como la elección de la opción deseable entre diferentes alternativas de tratamiento de aguas residuales (Coskun et al., 2016), considerando criterios socio-culturales, ambientales y económicos (Ellis y Tang, 1991) y reconociendo las prioridades y preferencias de los tomadores de decisiones frente a los criterios, por medio de la determinación de sus pesos (Bandyopadhyay y Chattopadhyay, 2007). El método AHP organiza el problema de elección de alternativas en una jerarquía como un árbol genealógico (Taylor, 2009) en meta, criterios, subcriterios y alternativas de decisión.

Aunque no existe un sistema de tratamiento de aguas residuales que pueda ser recomendado como el mejor para todas las situaciones, si se obtiene la más alta relación costo/beneficio cuando se selecciona con criterio un sistema que se adapta a las condiciones locales y a los objetivos que se desean alcanzar en cada caso (Torres, 2012), lo que justifica la importancia de implementar métodos de toma de decisiones multi-criterio como el AHP y permitir a los tomadores de decisiones tener argumentos de selección de alternativas de tratamiento de aguas residuales sin sesgos comerciales, evaluando y seleccionando alternativas empleando indicadores de sostenibilidad que representan dimensiones de interés (dimensión económica, ambiental, socio-cultural y/o funcionales) (Balkema et al., 2002).

Seleccionar los sistemas de tratamiento de aguas residuales generadas por los diferentes usuarios del sistema de alcantarillado es un aspecto importante en la gestión del agua residual municipal; sin embargo, también se requiere de otras acciones y medidas que conforman un modelo de gestión, siendo éste el marco o método (Greeno et al., 1985) que abarca un conjunto de elementos o actividades coordinadas mutuamente, relacionadas y que interactúan para dirigir, controlar y lograr un objetivo plenamente identificado (NTC-ISO 9000), incluyendo la planeación, ejecución, control, evaluación y seguimiento, etc.

Preguntas de investigación: ¿Cómo debe ser el modelo de gestión para el tratamiento de aguas residuales en el Municipio de Cajicá basado en sistemas de tratamiento descentralizados, que permitan cumplir con la normatividad ambiental aplicable para el vertimiento en sistemas de alcantarillado?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de gestión para el tratamiento de aguas residuales en el Municipio de Cajicá, basado en sistemas de tratamiento descentralizados, que permitan cumplir con la normatividad ambiental.

2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico de la situación actual del manejo de agua residual en el municipio de Cajicá de acuerdo a los diferentes generadores y sistemas de tratamiento existentes.
- Definir los sectores productores de agua residual de mayor impacto al sistema de alcantarillado.
- Identificar alternativas de tratamiento de agua residual sostenibles para los sectores o usuarios de mayor impacto al sistema de alcantarillado, empleando el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP).

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DEL AGUA RESIDUAL

El diagnóstico de la situación actual del manejo del agua residual en el municipio de Cajicá se direccionó a conocer información de los diferentes usuarios que vierten al sistema de alcantarillado, las características del agua residual vertida y la identificación de los sistemas de tratamiento existentes. La información esta subdividida en tres ítems:

3.1.1 Datos de usuarios

Se identificaron y cuantificaron los usuarios generadores de vertimientos al sistema de alcantarillado; como también se cuantificó el caudal vertido por los usuarios a dicho sistema, a partir de la información recopilada en la Secretaría de Salud del Municipio de Cajicá y en la Empresa de Servicios Públicos de Cajicá S.A E.S.P para el año 2015.

3.1.2 Caracterización de vertimientos

Se identificaron las características del agua vertida al sistema de alcantarillado por los diferentes grupos de usuarios, para lo cual se desarrollaron las siguientes actividades:

3.1.2.1. Subdivisión de usuarios

Se sub-dividieron los usuarios del sistema de alcantarillado conforme a su actividad productiva, según clasificación presentada por el capítulo VI artículos 9 al 14, capítulo VII artículo 15 y capítulo VIII artículo 16 de la Resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

3.1.2.2. Identificación de parámetros que caracterizan los vertimientos, según tipo de usuario

Según Resolución 631 de 2015 se identificaron los parámetros que caracterizan el agua residual generada por las diferentes subdivisiones de usuarios. El listado completo de los parámetros físico-químicos empleados para la caracterización del agua vertida se presenta en la Tabla 3.

3.1.2.3. Caracterización del agua residual vertida por los usuarios

Se caracterizó el agua residual vertida al sistema de alcantarillado por los usuarios, considerando como fuente de información los resultados de las caracterizaciones de los vertimientos radicados por los usuarios en la Empresa de Servicios Públicos de Cajicá S.A E.S.P. del año 2013 al 2015, teniendo presente los parámetros físicoquímicos establecidos en la Resolución 631 de 2015 (Tabla 3)

Adicionalmente se consultó literatura debido a que dos de los limitantes identificados al iniciar el presente proyecto fueron: la falta de confiabilidad de la información suministrada por los usuarios y la falta de información.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos en vertimientos de aguas residuales

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Generales	pH, temperatura, conductividad, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Solidos Suspendidos Totales (SST), Solidos sedimentables (SSED), grasas y aceites(G&A), compuestos semivolátiles fenólicos, fenoles totales, Sustancias activas al azul de Metileno (SAAM).
Hidrocarburos	Hidrocarburos Totales (HTP), Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, BTEX (Benceno, tolueno, etilbenceno y xileno), compuestos orgánicos halogenados (AOX)
Compuestos del Fósforo	Ortofosfatos, fosforo total
Compuestos del Nitrógeno	Nitratos, Nitritos, Nitrógeno Amoniacal, Nitrógeno total
Iones	Cianuro Total, Cloruros, Sulfatos, Sulfuros
Metales y Metaloides	Aluminio, Cadmio, Cinc, Cobre, Cromo, Hierro, Mercurio, Níquel, Plata, Plomo
Otros parámetros para análisis y reporte	Acidez total, Alcalinidad total, Dureza Cálctica, Dureza Total, Color Real.

Fuente: Resolución 631 de 2015

3.1.2.4. Identificación de los sistemas de tratamiento existentes empleados por los usuarios

Se identificaron los usuarios que cuentan con sistema de tratamiento de aguas residuales y la tecnología empleada, a partir de información suministrada por la Empresa de Servicios Públicos de Cajicá S.A E.S.P.

3.1.3. Cálculo del aporte de los usuarios a la tasa retributiva

Considerando como base el Decreto 2667 de 2012 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible *“Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales”*, se calculó el monto que pagarían por concepto de tasa retributiva los usuarios con caracterización de sus vertimientos, con el valor de los parámetros de DBO₅ (mg O₂/L), SST (mg SST/L) y Caudal vertido (L/s).¹ Cálculo realizado como fuente de

¹ Nota 1: Debido a la falta de continuidad de las caracterizaciones anuales de los vertimientos de los diferentes usuarios, para el cálculo del monto a pagar por concepto de tasa retributiva se emplearon los datos disponibles, fueran estos del año 2013, 2014 o 2015.

información para reconocer el aporte de los usuarios a la calidad del agua residual y al monto a pagar por tasa retributiva a nivel municipal.

La ecuación aplicada de cálculo del monto a pagar por concepto de tasa retributiva fue la siguiente:

$$MP = \sum_{i=1}^n Tmi * Fri * Ci * 12 \quad (1)$$

Dónde:

MP = Total Monto a Pagar por año

Tmi = Tarifa mínima del parámetro i (\$/Kg)

La tarifa mínima de los parámetros DBO₅ y SST está definida en el Acuerdo No 009 del 2015 del Consejo Directivo de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. El valor de la tarifa mínima para el periodo de facturación 2014 en jurisdicción de la Corporación fue²:

Tarifa mínima para DBO₅= 118.52\$/Kg

Tarifa mínima para SST= 50.68\$/Kg

Fri = Factor regional del parámetro i aplicado al usuario³

El Factor regional de los parámetros DBO₅ y SST para el Tramo 4 de la cuenca del Río Bogotá al cual pertenece el Municipio de Cajicá está definido en el Acuerdo 009 de 2015 *“Por medio del cual se fija el factor regional para las cuencas y tramos de cuenca de segundo orden que hacen parte de la jurisdicción de la Corporación, para el periodo de facturación 2014 de la tasa retributiva”* y corresponde a los siguientes valores:

FR DBO₅ = 1

FR SST= 2.19

Ci = Carga contaminante del parámetro i vertido durante el periodo de cobro (kg/mes).

La ecuación para el cálculo de la Carga contaminante diaria (Cc) de DBO₅ y SST, según Decreto 2667 de 2012 es:

$$Cc = Q * C * 0.0036 * t \quad (2)$$

Dónde:

Cc= Carga Contaminante, en kilogramos por día (kg/día)

Q= Caudal promedio de aguas residuales, en litros por segundo (L/s)

² Nota 2: El factor regional y la tarifa mínima correspondieron a los valores del año 2014, en la medida que es la información más actualizada disponible en el momento para adelantar los cálculos.

³ Nota 3: Factor multiplicador que se aplica a la tarifa mínima y representa los costos sociales y ambientales de los efectos causados por los vertimientos puntuales al recurso hídrico.

C= Concentración del elemento, sustancia o compuesto contaminante en miligramo por litro (mg/L), sustancias analizadas: SST y DBO₅.

0.0036 = Factor de conversión de unidades (de mg/s a kg/h)

t= Tiempo de vertimiento del usuario, en horas por día (h)

Una vez calculada la Carga Contaminante diaria, se calcula y expresa en (kg/mes)

n = Total de parámetros sujetos a cobro, que corresponden a DBO₅ y SST.

3.2.JERARQUIZACIÓN DE LOS USUARIOS POR IMPACTO AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

Se evaluó cada grupo de usuarios a partir de un conjunto de criterios de evaluación, con el objetivo de jerarquizarlos acorde al impacto generado al sistema de alcantarillado por sus vertimientos y por tanto con el potencial para afectar un sistema natural o un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Se definió primero un conjunto de criterios de evaluación que corresponden a un listado de posibles o probables alteraciones al sistema de alcantarillado, planta de tratamiento de aguas residuales o sistema hídrico, producto del vertimiento de agua residual (ver Tabla 4) y posteriormente se empleó el método EPM o arboleda desarrollado por las Empresas Públicas de Medellín (E.P.M.), para calificar o valorar los criterios de evaluación por usuario o grupo de usuarios.

Conforme al método EPM, los criterios de calificación son los siguientes:

Clase (C): Define el sentido del cambio, alteración ambiental o alteración sobre el sistema de alcantarillado. Puede ser positiva o negativa dependiendo si se mejora o degrada el sistema actual o futuro.

Presencia (P): Califica la probabilidad de presentarse los impactos o alteraciones, expresándose como probabilidad de ocurrencia.

Duración (D): Evalúa el periodo de existencia activa del impacto o alteración y sus consecuencias, se expresa en función del tiempo que permanece el impacto.

Evolución (E): Evalúa la velocidad de desarrollo del impacto o alteración, desde que aparece hasta que se hace presente plenamente con todas sus consecuencias, se expresa en unidades relacionadas con la velocidad con la que se presenta el impacto.

Magnitud (M): Califica la dimensión o tamaño del cambio ambiental o alteración producida. Siendo relevante el caudal vertido y el número de usuarios.

Tabla 4. Criterios de evaluación de las alteraciones a los sistema de alcantarillado, de tratamiento y sistemas hídricos por vertimientos

CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Colapso de la red de alcantarillado y desbordamiento del agua residual	Situación que genera daños a la propiedad y salud de las personas, siendo causa de subestimar la cantidad y variabilidad del caudal vertido por el usuario.
Generación de gases malolientes	Malos olores en el sistema de alcantarillado y sistemas de tratamiento de agua residual que afectan a la comunidad aledaña, producto de la reducción de la velocidad del flujo, flujo a sección llena en el sistema, ingreso de gases presentes en el agua residual vertida y por la liberación de gases producidos por las transformaciones bacterianas.
Alteración de la calidad de agua residual transportada y tratada	Variación o alteración de la composición general del agua residual en función de las aguas residuales vertidas por los usuarios.
Reducción de la velocidad del agua conducida y de la eficiencia de la red de alcantarillado	Reducción debido a la generación de obstrucciones parciales en el sistema, por la presencia de residuos sólidos, grasas, aceites, materia orgánica en cantidades elevadas o variables en el agua vertida, con la consecuente formación de depósitos de sólidos, y que en conjunto alteran la capacidad de conducción de la red de alcantarillado.
Deterioro de la red de alcantarillado por procesos de corrosión	Corrosión del sistema de alcantarillado y del sistema de tratamiento, especialmente bajo la generación de condiciones anaerobias en el sistema y presencia de aguas residuales con cargas orgánicas altas, que conlleva a la generación de ácido sulfúrico, que deteriora el sistema en mayor o menor medida según el material de construcción. Deteriorando la red de alcantarillado y reduciendo su eficiencia por alteración de su funcionamiento normal.
Incremento de actividades de limpieza del sistema de alcantarillado	Limpieza del sistema de alcantarillado realizado por parte de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado.
Aporte al monto a pagar por tasa retributiva	Aporte al valor (\$) de la tasa retributiva cobrada a la empresa prestadora del servicio de alcantarillado por la Autoridad Ambiental, por aporte al agua residual en DBO ₅ y SST.
Alteración al sistema de tratamiento y al cuerpo de agua receptor final	Dependiendo del tipo de usuario, razón social, insumos empleados, se hace vertimiento de sustancias que pueden generar consecuencias negativas sobre el medio receptor final, a nivel ambiental y sanitario.

Fuente: Autor

En la Tabla 5 se presenta la escala y significado de cada una de los criterios de evaluación de impactos.

A partir de la valoración de cada uno de los criterios por usuario o grupo de usuarios se calculó su calificación ambiental (Ca), de acuerdo con el método EPM se emplea la siguiente ecuación:

$$Ca = C(P(aEM + bD)) \quad (3)$$

Dónde:

Ca=Calificación ambiental (valor absoluto >0 y ≤10)

C=Clase, expresado por el signo + ó – de acuerdo al tipo de impacto

P=Presencia (0.0 – 1.0)

E=Evolución, (0.0 – 1.0)

M=Magnitud (0.0 – 1.0)

D=Duración (0.0 – 1.0)

Constantes de ponderación (a = 7.0) y (b = 3)

Tabla 5. Criterios de evaluación para evaluación de impactos

Calificación	Escala
Clase de Impacto	
Positiva	+
Negativa	-
Presencia	
Cierto	1.0
Muy probable	0.7 – 0,99
Probable	0.4 – 0,69
Poco probable	0.2 – 0,39
Muy poco probable	0.01 – 0.19
Duración	
Muy Larga	1
Larga	0.7 – 0.99
Media	0.4 – 0.69
Corta	0.2 – 0.39
Muy Corta	0.01 – 0.19
Evolución	
Muy Rápido	1.0
Rápido	0.7 – 0.99
Medio	0.4 – 0.69
Lento	0.2 – 0.39
Muy Lento	0.01 – 0.19
Magnitud	
Muy alta	1.0
Alta	0.7 – 0.99
Media	0.4 – 0.69
Baja	0.2 – 0.39
Muy baja	0.01 – 0.19

Fuente: Arboleda A., 2008

La Calificación ambiental (Ca) de cada impacto o criterio fue clasificada según rango de valores en alta, media o baja empleando la Tabla 6 la columna "Valor por criterio". Igualmente la suma de la Calificación ambiental de todos los criterios evaluados por usuario, permitió obtener su clasificación

según rango de valores presentados en la Tabla 6 la columna “Valor por usuario”. Clasificación que permite comparar de forma clara y más sencilla la Calificación ambiental obtenida entre los diferentes criterios y usuarios, empleando código de colores.

Tabla 6. Rango de valores de la evaluación ambiental

Criterio	Rango	Valor por criterio	Valor por usuario
Ca	Alta	$6.0 \leq Ca \leq 10$	$60 \leq Ca \leq 100$
	Media	$4.0 \leq Ca < 6.0$	$40 \leq Ca < 60$
	Baja	$0.01 \leq Ca < 4.0$	$1 \leq Ca < 40$

Fuente: Autor.

A continuación se presenta la estructura empleada para evaluar cada usuario o grupo de usuario empleando los criterios y el método EPM:

Tipo de usuario	Clasificación Industria	Características del usuario y del agua residual	Criterios de evaluación	Clase (C)	Presencia (P)	Duración (D)	Evolución (E)	Magnitud (M)	Calificación ambiental (Ca)	Jerarquización

La columna de “características del usuario y del agua residual” está conformada por la siguiente información: Cantidad de usuarios, caudal promedio del vertimiento y caracterización típica del agua residual (variabilidad, DBO₅, SST, aporte a la tasa retributiva, grasas y aceites, sustancias de interés ambiental y sanitario).

3.3. IDENTIFICACIÓN DE REGLAMENTACIÓN PARA EL VERTIMIENTO Y LOS OBJETIVOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Se identificó la legislación o reglamentación colombiana asociada a la gestión del agua residual, para obtener los siguientes aspectos relevantes:

- Actores y funciones en la gestión de las aguas residuales
- Evaluación del cumplimiento de la Resolución 631 de 2015 de los vertimientos realizados por los usuario al sistema de alcantarillado Municipal, a partir de la comparación entre los valores de los parámetros fisicoquímicos de los vertimientos según caracterización o literatura consultada, establecidos para cada usuario o grupo de usuarios y los límites máximos permisibles establecidos por la resolución.
- Identificación de los objetivos de tratamiento del agua residual vertida por los usuarios o grupos de usuarios, para dar cumplimiento a la Resolución 631 de 2015.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Se realizó una base informativa respecto a las tecnologías y sistemas de tratamiento disponibles a nivel nacional, tanto de operaciones físicas como de procesos biológicos y químicos. Los procesos fueron caracterizados a partir de la descripción de eficiencias de remoción de contaminantes, requerimientos generales, ventajas y desventajas.

3.5. DISEÑO DE UN MODELO DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, BASADO EN LA METODOLOGÍA AHP

3.5.1. PRIORIZACIÓN DE USUARIOS GENERADORES DE VERTIMIENTOS

Para la implementación de la metodología AHP se identificaron inicialmente los usuarios generadores de vertimientos calificados como aquellos que generan mayor impacto al sistema de alcantarillado y aquellos que incumplen cuando vierten según normatividad. Lo que permite desde un punto de vista de gestión, identificar los usuarios sobre los cuales se debe inicialmente direccionar esfuerzos y recursos, para fortalecer el manejo adecuado de los vertimientos generados.

3.5.2. MODELO PARA LA TOMA DE DECISIONES – PREFERENCIA SOBRE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Se generó un modelo basado en el método conocido como Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) convencional, para la toma de decisiones que permitiera proporcionar como respuesta una propuesta de tratamiento de agua residual disponible, sostenible y que permita cumplir con la normatividad ambiental aplicable, para los diferentes tipos de usuarios que generan mayor impacto al verter su agua residual al sistema de alcantarillado.

El modelo que está conformado por diferentes etapas, se expone a continuación:

3.5.2.1. Modelado del problema

Se definió la estructura esquemática del enfoque de jerarquía analítica para la toma de decisiones a partir de la identificación de los niveles, criterios y alternativas.

Nivel 1: Objetivo general o el enfoque del problema

Nivel 2: Criterios de priorización generales

Nivel 3: Criterios de priorización específicos.

Nivel 4: Alternativas tecnológicas de tratamiento de agua residual

3.5.2.2. Construcción y desarrollo de la Matriz de Comparación por Pares (MCP) de subcriterios:

Se construyó una matriz de comparación entre subcriterios para establecer su nivel de importancia empleando la escala de preferencia estándar en un rango de 1 a 5, considerando que entre mayor importancia o preferencia el criterio tiene un mayor peso (ver Tabla 7).

Tabla 7. Escala de preferencia estándar

Juicios verbales de preferencia	Calificación
Igualmente preferido	1
Moderadamente preferido	2
Fuertemente preferido	3
Muy fuertemente preferido	4
Extremadamente preferido	5

Fuente: Autor, modificado de metodología AHP

La base de generación de la matriz es el orden de preferencia de los subcriterios establecido por una muestra de usuarios, solicitado de forma presencial, telefónica o por correo electrónico.

3.5.2.3.Desarrollo de la Matriz Normalizada (MCN) de los subcriterios

Matriz resultado de la división de cada número de una columna de la Matriz de Comparación por pares y la suma total de la columna.

3.5.2.4.Identificación del vector de prioridad para el criterio

Vector producto del cálculo del promedio de cada fila de la Matriz Normalizada.

3.5.2.5.Calculo de la Relación de Consistencia (RC)

Cálculo para determinar la consistencia de las opiniones o juicios utilizados en la Matriz de Comparación por pares, asegurando un RC inferior a 0,10.

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (4)$$

Donde:

IC = Índice de Consistencia

RI = Índice Aleatorio (Ver Anexo 5)

3.5.2.6.Desarrollo de una Matriz de Comparación de alternativas por pares, como también de la Matriz normalizada e identificación del vector de prioridad para las alternativas.

Para obtener las matrices de las alternativas acordes al método AHP se empleó la misma metodología aplicada para obtener las matrices e identificar el vector de prioridad de los subcriterios, presentada en los párrafos anteriores.

Para construir la Matriz de Comparación de Alternativas por pares se realizó contacto con dos (02) especialistas en el área de tratamiento de aguas residuales. Profesionales que evaluaron y seleccionaron para cada tipo de usuario la alternativa de tratamiento de aguas residuales preferida, considerando como base los subcriterios de selección.

3.5.2.7.Desarrollo de una Matriz de Prioridad de Alternativa/Criterio (MP)

Matriz resultado de listar los subcriterios por columna y las alternativas por fila.

3.5.2.8.Desarrollo de un Vector de Prioridad Global

Vector producto de sumar la multiplicación entre el vector de prioridad de los subcriterios por la Matriz de Prioridad (la fila del vector de prioridad por cada fila de la alternativa).

Corresponde al cálculo de los pesos de calificación o pesos finales para la priorización de la alternativa más sostenible. En esta etapa se reconoce cual es la alternativa más preferida y menos preferida de acuerdo al objetivo establecido y los subcriterios considerados.

La Matriz de Prioridad, específicamente el vector de prioridad global de cada tipo de usuario permitió confirmar el tamaño de la muestra de usuarios para solicitar información del orden de preferencia de los subcriterios. A partir de la varianza del vector de prioridad global e identificación del dato con mayor varianza, considerando un nivel de confianza del 95% y un error máximo admisible del 2%, se estableció y confirmó el tamaño de muestra.

La ecuación empleada para determinar el tamaño de muestra fue:

$$n = \frac{\sigma^2 z^2}{e^2} \quad (5)$$

Donde

n = Tamaño de la muestra

σ^2 = Varianza

z = Nivel de confianza (95%)

e = Error máximo admisible (2%)

3.6.MODELO DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD AMBIENTAL APLICABLE REFERENTE A VERTIMIENTOS

El modelo de gestión propuesto se proyectó considerando elementos de la metodología conocida como Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA), considerando un objetivo específico y elementos para su aplicación.

4. RESULTADOS

4.1. DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DEL AGUA RESIDUAL EN CAJICA

4.1.1. Datos de usuarios

Se presenta en la Tabla 8 la cantidad de usuarios a 2015 y el caudal vertido al sistema de alcantarillado municipal.

Tabla 8. No de usuarios por tipo y caudal vertido al sistema de alcantarillado en Cajicá

Tipo de usuario	Usuarios		Caudal vertido	
	#	%	L/seg	%
Residencial	19058	95	84	88
Comercial	828	4	7	7
Industrial	55	0.3	2	2.0
Oficial	58	0.3	2	2.0
Especial	34	0.2	1	1.0
Total	20033	100	95	100

Fuente: EPC, diciembre 2015.

4.1.2. Caracterización de los vertimientos generados por los diferentes usuarios, al sistema de alcantarillado

4.1.2.1. Subdivisión de usuarios del sistema de alcantarillado por actividad económica.

Se sub-dividieron los usuarios industriales conforme a su actividad productiva según clasificación presentada por la Resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, obteniendo la siguiente información:

Tabla 9. Subdivisión de usuarios industriales por actividad económica establecida en la Resolución 631 de 2015

Clasificación	Cantidad usuarios
Elaboración de productos lácteos	9
Elaboración de alimentos preparados para animales	3
Elaboración de productos alimenticios	1
Ganadería de aves de corral: incubación, cría y beneficio	1
Fabricación de aparatos de uso doméstico	1
Fabricación de maquinaria y equipos	1
Fabricación de plásticos en formas primarias, de formas básicas y artículos de plástico	1
Imprentas y litografías	1
Actividad industrial, comercial o de servicios diferente a las contemplada en los capítulos V y VI de la Resolución 631 de 2015.	3
TOTAL	21

Fuente: Adaptada con información de la EPC. 2015.

Con la información disponible solo fue posible clasificar el 36% de las industrias, lo que permite identificar la deficiente información en la base de datos manejada sobre los usuarios que vierten al sistema de alcantarillado.

En la Tabla 10 se presenta la clasificación de los usuarios comerciales según información manejada por el municipio, en la medida que la Resolución 631 de 2016 no clasifica de forma detallada a dichos usuarios

Es de anotar que el número total de usuarios comerciales presentados en la Tabla 8 difiere de los indicados en la Tabla 10, toda vez que la fuente de información de cada tabla es diferente; sin embargo, aportan información relevante para lograr la mayor cercanía a la realidad y su análisis.

Tabla 10. Subdivisión de usuarios comerciales por actividad económica

Usuario	#
Establecimientos de preparación y consumo de alimentos *	254
Establecimientos de comercialización de alimentos **	218
Salas de belleza	84
Establecimientos comerciales	81
Expendio de carnes	68
Expendio de bebidas alcohólicas	65
Establecimientos internet	21
Talleres ***	20
Gimnasios y SPA	16
Veterinarias	14
Ferreterías	7
Actividades de atención a la salud humana – atención médica con y sin internación	6
Floristerías	6
Estaciones de servicios	5
Lavanderías	4
Sastrerías	3
Zapaterías	2
TOTAL	868

Fuente: Secretaría de Salud del municipio, 2015.

* Restaurantes, cafeterías, comidas rápidas, asaderos, pizzería, heladerías, fruterías, salsamentarias, panadería, piqueteaderos, postres, restaurantes escolares.

**Supermercados, minimercados, tiendas.

***Vidrierías, bicicleterías, cerrajerías, talleres carros y motos.

4.1.2.2. Caracterización de agua residual de los usuarios del sistema de alcantarillado

Se presenta a continuación las características del agua vertida al sistema de alcantarillado del municipio de Cajicá por los diferentes usuarios clasificados. Es de aclarar que en diferentes caracterizaciones hay parámetros que no fueron medidos por el usuario, a pesar de ser regulados por la resolución 631 de 2015, presentándose por tanto únicamente la información disponible:

A. Usuario industrial:

A 1. Empresas que elaboran productos lácteos

En el municipio de Cajicá se identificaron 9 empresas; sin embargo solo 6 tienen caracterizaciones del agua residual vertida al sistema de alcantarillado (ver Tabla 11).

Tabla 11. Caracterización del agua residual de empresas que elaboran productos lácteos

Empresa	Productos Lácteos Doña Vaca Ltda.	El Pomar S.A	Prodilácteos Ltda.– San Mateo	Lácteos Arboleda S.A.S	Lácteos Levelma	Helados San Jerónimo S.A (1)	Helados San Jerónimo S.A (2)
pH	6.6 – 7.2	6.7–8.13	6.9 - 7.3	6.1 – 8.8	5.0 - 6.1	4.14–4.9	4.9
T (°C)	15 – 24	19 – 27	20 – 23	17 – 25	18 – 26	19 – 20	19
DBO ₅ (mg/L O ₂)	340–1430	194–354	46 – 177	244–595	2260-4040	584–900	1752
SST (mg/L)	268 – 476	114-134	28 – 104	<8 – 54	740–820	396–788	1172
DQO (mg/L O ₂)	453 - 1765	339	144 -309	756-1067	3760	1428	3403
SSED (mL/L-h)	<0.1 – 3	<0.1-0.7	<0.1- 0.4	<0.1-1.17	3.5	0.1	1.8
Grasas y aceites (mg/L)	55 - 254	29	<10	<10	8.8	1204	1017
SAAM (mg/L)	2.5 – 35	0.2	0.7	<0.21	<0.15	0.5	1.4
Caudal (L/seg)	0.058-0.23	0.2	2-3	1 – 1.5	0.4 – 2.8	NR	NR
Cloruros mg/L Cl-	NR	NR	NR	NR	559	NR	NR
Sulfatos mg/LSO ₄ ⁻²	NR	NR	NR	NR	420	NR	NR

Fuente: Adaptada de E.P.C. 2013 – 2015

NR: No registra información

Los valores de los diferentes parámetros incluyendo los de DBO₅ y SST (valores de interés para el cálculo de la tasa retributiva), presentan diferencias relevantes entre una empresa y otra, inclusive se presentan rangos amplios entre los valores de una misma empresa. Asociando dicha variación al tipo de procesamiento aplicado a las materias primas, como al proceso de tratamiento de aguas residuales existente.

En términos generales, los vertimientos de este tipo de empresas se caracterizan por ser ricos en materiales orgánicos (proteínas y lípidos), presentan alta concentración de sólidos, el contenido de nitrógeno y fósforo es variable según procesamiento aunque más bajos que otras fuentes industriales y se pueden encontrar detergentes (Karadag et al., 2014). Adicionalmente se reconoce que aunque el agua residual no es tóxica (Mansoorian et al., 2014), si tiene un alto potencial para contaminar el medio ambiente si no se trata adecuadamente (Karadag et al, 2014), debido especialmente a la materia biodegradable que contiene.

A.2. *Industria de elaboración de alimentos preparados para animales*

En Cajicá se identificaron tres empresas que elaboran alimentos para animales: QBCO S.A., GANAVI AGROPECUARIA Ltda. y NUTRIPUNTO Ltda.

Ninguna de estas empresas ha adelantado procesos de caracterización de sus vertimientos. Sin embargo de acuerdo a literatura consultada se resalta su alto contenido de aceites y grasas (Jeganathan et al., 2006), como también de materia orgánica y sólidos suspendidos (ver Tabla 12).

Tabla 12. Caracterización del agua residual de industrias de fabricación de alimentos para mascotas

Parámetro	Valor
DQO (mg/L)	74000-154100
SST (mg/L)	Típico: 65000 Límite mínimo: 17300 Límite máximo: 96000
Ph	6.4 – 7.0
Grasas y aceites (mg/L)	38000 – 114000

Fuente: Adaptada de Jeganathan et al., 2006 y Liu et al., 2004.

A.3 *Industria de elaboración de productos alimenticios:*

En el Municipio de Cajicá se ubica únicamente la empresa AGROPIAVE S.A.S (RIALTO) de elaboración de productos alimenticios que realiza vertimientos al sistema de alcantarillado municipal. En la Tabla 13 se presentan algunos parámetros que describen las características fisicoquímicas del agua residual vertida, encontrando rangos de variación amplios en los parámetros de sólidos suspendidos totales, DBO₅, DQO y grasas y aceites.

A.4 *Ganadería de Aves de Corral: Incubación, Cría y Beneficio*

Se identifica la empresa SANTA REYES S.A.S. Su agua residual presenta como datos de mayor valor y variabilidad los correspondientes a DBO₅, DQO, como también de SST (ver Tabla 13). Según literatura consultada, se identifica y ratifica que en la industria donde se estabulan animales, es

característico encontrar gran contenido de materia orgánica (DBO₅), asociado a los excrementos de los animales (Universidad Nacional Abierta y a Distancia).

A.5 *Fabricación de aparatos de uso doméstico*

En el Municipio de Cajicá se encuentra la Empresa GROUPE SEB, que realiza actividades destinadas al ensamble de piezas para conformar aparatos de uso doméstico. Se cuenta con una caracterización de sus aguas residuales correspondiente al año 2012, la cual se presenta en la Tabla 13.

A.6 *Fabricación de plásticos en formas primarias, de formas básicas y artículos de plástico*

La Empresa CARVAJAL EMPAQUES que produce empaques, genera agua residual con las características como se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Caracterización del agua residual vertida por diferentes empresas al sistema de alcantarillado

Parámetro	Empresa Agropiave S.A.S	Santa Reyes	Groupe SEB	Carvajal Empaques	Kamex International
pH	5.8-8.1	6.4 – 7.72	8,2	9.20	7.1 – 8.1
T (°C)	18.8-23	16 – 23	20	21.7	19.6 – 23
Caudal L/s	0.96	0.13–0.24	0.036	2.7	0.02 – 0.1
SST (mg/L)	93-268	16 – 56	88	199	35 – 86
SSED (mL/L-h)	<0.1 – 0.5	NR	0.8	2.6	NR
DBO ₅ (mg/L O ₂)	45-1214	9 – 120	124	160	163 – 378
DQO(mg/L O ₂)	622-2857	88 – 219	271	390	216 – 630
G&A (mg/L)	8-16	<3 – 8	<11	57.4	1.09-25.3
SAAM (mg/L)	0.33	NR	NR	1.1	NR
Fenoles (mg/L)	NR	NR	<0.09	NR	NR
Plomo (mg/L)	NR	NR	<0.15	NR	NR
Níquel (mg/L)	NR	NR	<0.023	NR	NR
Cobre (mg/L)	NR	NR	<0.109	NR	NR
Cadmio (mg/L)	NR	NR	<0.003	NR	NR
Cianuros(mg/L)	NR	NR	0.011	NR	NR

Fuente: Adaptada de E.P.C 2013 - 2015

NR: No registra información.

A.7 *Fabricación de maquinaria y equipos*

En el municipio de Cajicá se ubica la empresa GRUPO INDUSTRIAL IDEAGRO S.A., que es una empresa metalmeccánica destinada a la fabricación y ensamble de productos metalmeccánicos. No se cuenta con caracterización de vertimientos de esta empresa. Sin embargo, según literatura consultada el agua residual generada puede contener elevada DQO, aceites y grasas, fenoles,

tensoactivos, metales pesados, cromo hexavalente, cianuro y sales, ácido sulfúrico, nítrico, clorhídrico, fluorhídrico entre otras especies presentes en menor proporción (Condorchem Envitech).

A.8 Imprentas y litografías

Se encuentra en el municipio la Empresa Publi Graficas L.A.F, que realiza actividades de diseño gráfico y litografía. Hasta la fecha no se tiene registro de caracterización de vertimientos. Conforme a literatura consultada los vertimientos generados pueden contener: ácido crómico, ácido nítrico, ácido sulfúrico, acrílicos, alcohol, barniz, cloruro férrico, esmalte para fotografía, hiposulfito (fijador), líquidos reveladores y fijadores, litoflex, químicos del proceso de color, solución fuente, solventes (thiner – varsol), tintas, soluciones reveladoras cianuradas, carga orgánica, aceites y grasas (Alcaldía Mayor de Bogotá et al., 2010).

A.9 Actividad industrial, comercial o de servicios diferente a las contemplada en los capítulos V y VI de la resolución 631 de 2015.

Dentro de esta clasificación se encuentra el siguiente grupo de empresas:

- Productor de rosas

A esta clasificación hace parte la Compañía Agrícola El Redil. Compañía de la cual no se tiene registro alguno de caracterización de vertimientos, aunque según literatura se le asocia las siguientes características: Vertimientos con plaguicidas, metales pesados, plata, colorantes, aportes de materia orgánica y fertilizantes (ASOCOLFLORES).

- Fabricante y comercializador de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza

Se identifica en el municipio de Cajicá dos empresas asociadas al tema de fabricación y/o comercialización de equipos médicos, quirúrgicos, de aparatos ortésicos y protésicos. Estas dos empresas corresponden a Kamex International y Assut Medical Ltda. Se cuenta con la caracterización de vertimientos de Kamex International, la cual se presenta en la Tabla 13.

B. Usuarios Comerciales

A este grupo hace parte una gran diversidad de usuarios, dentro de los cuales es de resaltar la participación, por el elevado número, de los establecimientos de preparación y consumo de alimentos; sin embargo, a la red de alcantarillado también aportan las estaciones de servicio, establecimientos de comercialización de alimentos, entre otros.

B.1 Estaciones de Servicio

Se presenta en la Tabla 14 los resultados de la caracterización de los vertimientos de Estaciones de Servicio ubicadas en Cajicá:

Tabla 14. Caracterización del agua residual vertida por Estaciones de Servicio

Parámetro	Hermolux y CIA LTDA	Mobil Codi 5 S.A.S	Biomax
pH (unidades)	6.9 – 7.2	6.6	7.7
Temperatura (°C)	16.2 – 18.2	NR	20.1
Caudal (L/s)	0.03 – 0.1	NR	0.1
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	29 -110	284	16
Sólidos sedimentables (mL/L-h)	0.4	NR	<0.1
DBO5 (mg/L O ₂)	45 – 108	2139	<2
DQO(mg/L O ₂)	57-166	2946	13
Grasas y aceites (mg/L)	16 – 20	NR	6
Fenoles(mg/L)	<0.07	NR	<0.07
Tensoactivos(mg/L SAAM)	9.15	NR	NR
Hidrocarburos totales(mg/L)	NR	NR	<10

Fuente: Adaptada E.P.C 2013-2015.

NR: No registra información.

B.2 Establecimientos de preparación y consumo de alimentos

Los usuarios asociados a establecimientos de preparación y consumo de alimentos, corresponden a los usuarios que en mayor número se encuentran respecto a otros comerciantes; sin embargo, no se cuenta con caracterización de sus aguas residuales, presentándose en la Tabla 15 información de literatura consultada.

Tabla 15. Caracterización del agua residual vertida por establecimientos de preparación y consumo de alimentos

Parámetro	Valor
pH	4.4 – 7.5
DBO5 (mg/L O ₂)	816 – 1097
DQO (mg/L O ₂)	837 – 3063
G&A (mg/L)	426
SST (mg/L)	538

Fuente: Adaptada de Zulaikha et al., 2014 y Li-Kun., et al., 2011

Las aguas residuales de restaurantes es producto del uso del agua para limpiar alimentos, utensilios de cocina o la limpieza del piso, presentan alta carga orgánica, sólidos suspendidos y grasa (Zulaikha et al, 2014).

En la Figura 2 se presentan imágenes del agua residual vertida por restaurantes de Cajicá, que demuestran la elevada cantidad de grasas y aceites que contienen.

Los restaurantes representan un desafío especial para el manejo de las aguas residuales, ya que



Figura 2. Agua residual de restaurantes ubicados en Cajicá.

las horas de operación, sustancias de aseo empleadas, el uso de una freidora y el número de comidas servidas, incluso el tipo de comida que se sirve puede afectar a la carga de las aguas residuales (PIPELINE NESC., 2003).

B.3 Establecimientos de comercialización de alimentos

El agua residual vertida en los supermercados se caracterizan en general por la presencia de aceite y grasa y las sustancias orgánicas originadas de los restaurantes y las unidades de procesamiento de alimentos frescos (Wang et al., 2011).

B.4 Expendio y manejo de carnes

Considerando características propias de la industria de productos de carne y pollo, el agua residual generada contiene sangre, residuos de carne y grasas. De tal manera que el agua residual se caracteriza por una alta DBO₅, grasas-aceites y de SST (Guerrero, 1996). Adicionalmente tensoactivos propios de procesos de lavado de las instalaciones y utensilios.

Con el objetivo de contar con datos de caracterización de las aguas residuales, para el presente documento se asocia a las características del agua residual doméstica con una concentración fuerte (ver Tabla 16).

Tabla 16. Caracterización del agua residual doméstica con concentración fuerte

Parámetro	Valor
SST (mg/L)	350
SSED (mL/L)	20
DBO5 (mg/L)	400
DQO (mg/L)	1000
Fosforo (mg/L)	15
Cloruros (mg/L)	100
Sulfato (mg/L)	50
Grasa (mg/L)	150

Fuente: METCALF & EDDY, 1995.

B.5 Salas de belleza:

La calidad del agua vertida por las salas de belleza depende del tipo de productos utilizados (biodegradables o no, con o sin amoníaco) y las prácticas que realizan. Aunque los volúmenes de vertido son intermitentes y pequeños pueden impactar negativamente el ambiente, al presentar valores elevados de grasas y aceites, cadmio, plomo y debido a que los servicios que ofrecen requieren el empleo de una gran cantidad de productos químicos (Cortés et al., 2012), algunos considerados materiales peligrosos, como: tintes para cabello, blanqueadores y productos de tratamiento del cabello para la permanente. Características que llevan a clasificar esta agua residual más como agua industrial que como una típica agua residual doméstica (Bowers, 2002).

En el municipio de Cajicá no se encontró con caracterización de los vertimientos generados por las salas de belleza, sin embargo, se consultó literatura obteniendo la siguiente información:

Tabla 17. Caracterización del agua residual vertida por salones de belleza.

Parámetro	Valor
G&A (mg/L)	1905 – 2775
DQO (mg/L O ₂)	77 – 270
Cadmio (µg/L)	10
Plomo (µg/L)	29

Fuente: Adaptada de Cortés et al. 2012 y Bowers, 2002

B.6 Veterinarias:

Las características del agua residual proveniente de veterinarias varían de acuerdo a los servicios ofrecidos en el establecimiento, también de los insumos y medicamentos empleados (Jaimes, et al., 2009). No se tiene caracterizaciones de vertimientos de las veterinarias presentes en el municipio de Cajicá; sin embargo, se cuenta con información obtenida de literatura consultada (ver Tabla 18).

Tabla 18. Caracterización del agua residual de veterinarias

Parámetro	Valor
DBO (mg/L O ₂)	239 – 760
DQO (mg/L O ₂)	756 – 2160
SST (mg/L)	378 – 568
Grasas y aceites (mg/L)	22 – 292
Fenoles (mg/L)	0.1 – 1.2

Fuente: Jaimes et al., 2009.

B.7 Establecimientos de atención a la salud humana

Actualmente se cuenta con la caracterización de los vertimientos generados por 6 establecimientos de atención a la salud humana, los cuales se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Parámetros fisicoquímicos del agua vertida por Centros de Atención a la Salud

Parámetros	CAFAM	CENTRO MEDICO COLSUBSIDIO	CENTRO MÉDICO SAN LUIS	COOPERATIVA MULTIACTIVA	E.S.E HPJC.	COODONTO LOGOS
pH	7.04-8.56	6.10-8.42	6.5-8.68	6.62-7.10	6.81	6.62-7.10
T (°C)	16.7-20	17.3-20	17-19.3	18.0-21.0	17.9-19	18.0-21.0
Caudal (L/s)	0.015-0,004	0.037-0.091	0.002-0.04	0.058	3.8785	0,058
SST (mg/L)	46-56	32-41	282-588	<5	123.0	<8
SSED(mL/L-h)	0.8	0.5	1.8	<0.1	7.0	<0.1
Fenoles (mg/L)	0.36	0.08	NR	<0.07	<0.2	<0.07
DBO ₅ (mg/LO ₂)	199-454	135-248	1230	<2	185.9	<6
DQO(mg/L O ₂)	562-909	238-337	2237	36	856.4	36 – 48
G&A (mg/L)	13-84	7.0-25	43	7	58.59	7
Mercurio (mg/L)	0.002-0.07	0.002-0.008	0.051	<0.002	0.02	<0.003
Plomo (mg/L)	0.002-0.02	<0.02	NR	NR	0.5	<0.03
Plata (mg/L)	<0.05	<0.05	NR	NR	0.5	
Cadmio (mg/L)	NR	NR	NR	NR	0.1	<0.0015
Cromo (mg/L)	NR	NR	NR	NR	0.5	0.09
Cianuro (mg/L)	NR	NR	NR	NR	1	<0.13
Tensoactivos (mg/L)	7.47	2.65	NR	NR	10	NR

Fuente: Adaptada EPC

NR: No registra información.

B.8 Otros usuarios comerciales:

Usuarios como: lavanderías, talleres, floristerías, gimnasios y SPA, sastrerías, zapaterías, ferreterías, establecimientos de internet y expendio de bebidas alcohólica, no han registrado caracterización de sus aguas residuales en la Empresa de Servicios Públicos de Cajicá S.A E.S.P. Sin embargo, para el presente estudio se asume que generan aguas residuales con características similares a las aguas residuales domésticas, al asumirse que sus aguas residuales provienen especialmente de instalaciones sanitarias y del mantenimiento/limpieza del establecimiento. Adicionalmente su número o cantidad no es representativo, toda vez que corresponde en conjunto únicamente al 25% del total de los usuarios comerciales.

C. Usuarios residenciales:

Los usuarios residenciales conforme al Decreto 3930 del 2010 a diferencia de los usuarios industriales, comerciales, oficiales y especiales, no tienen la obligación de realizar y presentar ante la empresa prestadora de servicios de alcantarillado la caracterización de sus vertimientos. Por esta razón no se cuenta con información de las características del agua residual de este tipo de usuario. En este sentido, considerando literatura consultada se presenta en la Tabla 20 la composición típica del agua residual doméstica.

Tabla 20. Parámetros fisicoquímicos del agua vertida por usuarios residenciales

Parámetro	Valor
SST (mg/L)	100
DBO ₅ (mg/L)	110
DQO (mg/L)	250
Grasa (mg/L)	50

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995.

D. Usuarios especiales y oficiales

Respecto a este tipo de usuarios no se cuenta con caracterización de sus vertimientos. Para el presente trabajo se asume que las características del agua residual que generan tienen las características del agua residual doméstica con concentración media, debido especialmente al elevado número de personas que usualmente maneja estos tipos de usuarios.

Tabla 21. Parámetros fisicoquímicos del agua vertida por usuarios residenciales de concentración media

Parámetro	Valor
SST (mg/L)	220
SSED (mL/L)	10
DBO ₅ (mg/L)	220
DQO (mg/L)	500
Fosforo (mg/L)	8
Cloruros (mg/L)	50
Sulfato (mg/L)	30
Grasa (mg/L)	100

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995.

4.1.3. Identificación de los sistemas de tratamiento existentes empleados por los usuarios.

En el Municipio de Cajicá de las 21 empresas de las cuales fue posible establecer información sobre sus vertimientos, únicamente 7 cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales de las cuales el 86% corresponden a empresas lácteas. En la Tabla 22 se presentan los sistemas de tratamiento de aguas residuales empleados por las empresas:

Tabla 22. Usuarios industriales con sistemas de tratamiento de aguas residuales

Nombre empresa	Sistema de tratamiento
Helados San Jeronimo S.A.S	Trampas de grasa
Santa Reyes S.A.S	NR
Lácteos Levelma	Trampa de grasas, 2 unidades sedimentadoras, y elementos para la floculación y coagulación
Lácteos La Arboleda S.A.S	Trampa de grasas, sedimentados, tratamiento secundario (químico)
Prodilácteos Ltda. - San Mateo	Desarenadores, trampa de grasas, sedimentadores, coagulación y floculación
El Pomar S.A	Sistema biológico de láminas filtrantes
Productos Lácteos Doña Vaca Ltda.	Trampa de grasas

Fuente: Adaptada de la E.P.C., 2015.

NR: No registra información.

Respecto a los usuarios comerciales se cuenta con registro de manejo de sistemas de tratamiento de aguas residuales de únicamente 34 restaurantes y 3 estaciones de servicio y establecimiento de manejo de hidrocarburos, lo que corresponde al 13% de establecimientos encargados de la preparación y consumo de alimentos y al 60% de las estaciones de servicio.

En la Tabla 23 se presenta los sistemas de tratamiento manejados por usuarios comerciales.

Tabla 23. Usuarios comerciales con sistemas de tratamiento de aguas residuales

Nombre establecimiento	Sistema de tratamiento
Estación de servicio HERMOLUX Y CIA Ltda.	Trampa de grasas
Inversiones Santa Lucia Cajicá Ltda.	Trampa de grasas
Estación de servicio BIOMAX	NR
34 restaurantes	Trampa de grasas

Fuente: Adaptada de la E.P.C., 2015.

NR: No registra información.

A partir del proceso de recopilación de información de caracterización del agua residual, es importante reconocer los siguientes aspectos:

- Es necesario e ideal manejar un plan de muestreo por los usuario para ser comunicado a la empresa prestadora del servicio de alcantarillado; como también es necesaria la socialización por parte de dicha empresa de las condiciones para la caracterización del agua residual, incluyendo los parámetros de calidad del agua a analizar establecidos en la resolución 631 de 2015, en la medida que se evidencian caracterizaciones con diversidad de condiciones aplicadas al momento de su realización por los diferentes usuarios.

Contar con un plan de muestreo no puntual o circunstancial es relevante, especialmente si se tiene en cuenta la fluctuación del agua residual de los usuarios industriales y comerciales. Fluctuación asociada a la variabilidad del programa operativo de la industria, a la actividad industrial, la escala o tamaño de la fábrica o establecimiento, tipo de procesamiento, la eficiencia, etc. y que son características que difieren de las aguas residuales municipales residenciales, que siguen un patrón bastante predecible durante cada día (Nemerrow N., 1998)

Tener un plan de muestreo conocido por la empresa prestadora del servicio de alcantarillado permitirá hacer el acompañamiento de la empresa al usuario (cuando se le permita) en los procesos de caracterización de los vertimientos, para fortalecer la confiabilidad de los resultados radicados a la empresa y generar una cultura de responsabilidad en el usuario sobre los vertimientos generados.

- Se requiere que la empresa prestadora del servicio de alcantarillado maneje una base de datos de usuarios que realizan vertimientos al sistema de alcantarillado, que adicional a tener información

direccionada a medir los consumos de agua potable, se cuente con información consolidada direccionada al control y seguimiento de los vertimientos al sistema de alcantarillado. Dicha base de datos debe tener información de los usuarios como: razón social o actividad principal, caudal vertido y resultados de los parámetros fisicoquímicos establecidos por la normatividad ambiental aplicable. Si la empresa prestadora del servicio de alcantarillado no conoce a sus usuarios y por tanto los vertimientos que realizan al sistema de alcantarillado, se debilitan procesos de seguimiento a dichos vertimientos, reconocimiento de aportes al pago por tasa retributiva, como cualquier otro proceso de gestión.

- Se ha encontrado que los usuarios que han aportado mayor información respecto a la caracterización de los vertimientos han sido las industrias. Aunque no se ha recibido respuesta afirmativa de todas las industrias, se cuenta con información a diferencia de los usuarios comerciales, especiales y oficiales, de quienes la información registrada es mínima o nula. Siendo necesario establecer acciones direccionadas a fortalecer el desarrollo de caracterizaciones de vertimientos en este tipo de usuarios, siendo este un campo importante de las universidades para aportar información, para generar un mapa de calidad del agua residual transportada por el sistema de alcantarillado y la propuesta de puntos de medición y control de dicha calidad en el Municipio.

4.1.4. Identificación del aporte a la tasa retributiva por los usuarios del sistema de alcantarillado

Las 11 empresas usuarias con caracterización del agua residual aportan 39 millones de pesos anuales por concepto de tasa retributiva, considerando datos de vertimientos tratados por 5 empresas (Tabla 24). Si ninguna de las 11 empresas adelantara tratamiento de sus aguas residuales el aporte incrementaría a 59 millones. Situación que demuestra la importancia de tratar el agua residual antes de ser vertida al sistema de alcantarillado, especialmente para reducir los valores de los parámetros de calidad considerados por la tasa retributiva, correspondientes a la DBO₅ y SST. Además no solo es importante contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales, sino también con un sistema seleccionado adecuadamente con procesos de manejo, control y mantenimiento.

Otro aspecto relevante es la caracterización adecuada de los vertimientos, incluyendo el valor del caudal de agua residual vertido o manejado, que es un parámetro usualmente no medido y que impide conocer el aporte del usuario al valor de la tasa retributiva.

Tabla 24. Aporte al monto de la tasa retributiva de los usuarios industriales

USUARIO INDUSTRIAL	VALOR ANUAL \$ (miles de pesos)
Santa Reyes	11
Lácteos Levelma	31.025
Lácteos La Arboleda S.A.S	1.428
El Pomar	221
Helados San Jerónimo Cajicá Cabrera Hnos. S.A.S – 1	1.549
Helados San Jerónimo Cajicá Cabrera Hnos. S.A.S – 2	719
Carvajal Empaques	3.096
Agropiave S.A.S (Rialto)	442
Kamex International	132
Prodilácteos Ltda. - Lácteos San Mateo	881
Productos Lácteos Doña Vaca Ltda.	401
Groupe Seb Colombia	27
TOTAL	39.933

Fuente: Autor.

Para el caso de los usuarios comerciales únicamente se logró calcular el aporte a la tasa retributiva de 9 usuarios, que corresponde únicamente al 1,2% del total de comerciantes usuarios del sistema de alcantarillado municipal. Encontrando que su aporte al monto a pagar por tasa retributiva es de 5 millones de pesos anuales (Tabla 25).

El aporte calculado a la tasa retributiva por los usuarios industriales y comerciales únicamente representa el 34% del monto total de la tasa retributiva cancelado por la Empresa de Servicios Públicos de Cajicá S.A E.S.P para el 2014, indicando la importancia de disponer de la caracterización de vertimientos de todos los usuarios industriales, comerciales, oficiales y especiales de forma anual, para analizar su aporte completo en la tasa retributiva, ya que los usuarios por medio de sus vertimientos aportan contaminantes representados en un valor económico cobrado por la Autoridad Ambiental a la empresa prestadora del servicio de alcantarillado, por lo que debe ser de interés para esta empresa realizar seguimiento a sus usuarios y lograr contar con todas las caracterizaciones de los vertimientos de los mismos.

Tabla 25. Aporte al monto de la tasa retributiva de los usuarios comerciales

USUARIO COMERCIAL	VALOR ANUAL (miles de pesos)
Estación de Servicio Biomax Cajicá	5
Cafam de Cajicá	7
Centro Medico Colsubsidio	25
Centro Médico San Luis	220
Cooperativa Multiactiva	1
Estación de Servicio Hermolux y Cia Ltda.	168
Inversiones Santa Lucia Cajicá Ltda.	410
E.S.E Hospital Profesor Jorge Cavelier (HPJC)	4.305
Coodontólogos	1
TOTAL	5.142

Fuente: Autor.

4.2. JERARQUIZACIÓN DE LOS USUARIOS QUE GENERAN VERTIMIENTOS DE MAYOR IMPACTO AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO.

En la presente unidad se expone los dos principales resultados del cálculo de la Calificación ambiental (Ca):

4.2.1. Alteraciones o impactos generados por los usuarios que vierten al sistema de alcantarillado

Los vertimientos de los usuarios generan con mayor frecuencia y valor los siguientes impactos:

- Aporte al monto a pagar (\$) por tasa retributiva cobrada a la empresa prestadora del servicio de alcantarillado, por aporte al agua residual en DBO₅ y SST.
- Alteración de la calidad del agua residual transportada y tratada.
- Generación de olores mal olientes en la red de alcantarillado y sistemas de tratamiento de aguas residuales, que afectan a la comunidad aledaña.
- Incremento de la necesidad de actividades de limpieza del sistema de alcantarillado por parte de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado.

Para cada uno de estos impactos se identificaron los usuarios que aportan en mayor medida para obtener una calificación ambiental (Ca) alta, debido al suministro de elementos, sustancias y residuos al sistema de alcantarillado que afectan su estado.

Los usuarios que aportan en mayor medida al monto calculado por tasa retributiva, son los siguientes (Tabla 26):

Tabla 26. Usuarios que aportan en mayor medida al monto calculado por tasa retributiva.

Usuario	Descripción
Industrial	La industria de elaboración de productos lácteos, alimentos preparados para animales y elaboración de alimentos.
Comercial	Establecimientos de preparación y consumo de alimento, establecimientos de comercialización de alimentos, expendio de carnes, veterinarias, establecimientos de atención a la salud humana y estaciones de servicio.
Residencial	Debido en gran medida al número de usuarios que representa.

Fuente: Autor.

Los usuarios que generan mayor alteración a la calidad del agua residual transportada y tratada, se presentan en la Tabla 27.

Tabla 27. Usuarios que generan mayor alteración a la calidad del agua residual transportada y tratada

Usuario	Descripción
Elaboración de productos lácteos	Conjunto de usuarios que generan agua residual con grasas y aceites y materia orgánica en cantidades elevadas.
Industria de alimentos preparados para animales	Genera agua residual con una alta concentración de aceites y grasas y altos niveles DQO y SST.
Fabricación de aparatos de uso doméstico	Se identifica presencia de sustancias de interés ambiental y sanitario como: Plomo, níquel, cobre, cadmio y cianuro.
Fabricación de maquinaria y equipos	Se identifica presencia de sustancias de interés ambiental y sanitario como: cromo y cianuro. Vertimientos con alta acidez, DQO y SST, metales disueltos y sustancias químicas del proceso.
Imprentas y litografías	Se identifica presencia de sustancias de interés ambiental y sanitario, al emplear diversidad de insumos químicos.
Producción de rosas	Se identifica presencia de sustancias de interés ambiental y sanitario como plaguicidas, fertilizantes y metales pesados.
Establecimientos de preparación y consumo de alimento	Aguas residuales consideradas "high-strength" debido a la presencia de grasas y aceites, componentes orgánicos, SST, y sustancias como desinfectantes en mayor cantidad que en las aguas residuales domésticas.
Salas de belleza	Se identifica presencia de grasas y aceites, como también de sustancias de interés ambiental y sanitario como: cadmio y plomo.
Establecimientos de atención a la salud humana	Se identifica presencia de sustancias de interés ambiental y sanitario como: Plomo y mercurio.

Fuente: Autor.

Usuarios cuyas aguas residuales conducen especialmente a la producción de malos olores en la red de alcantarillado y sistemas de tratamiento de aguas residuales:

- Establecimientos de preparación y consumo de alimentos
- Industria de alimentos de preparados para animales
- Industria de elaboración de productos lácteos

Son usuarios cuyas aguas residuales son ricas en materia orgánica y que producto de transformaciones bacterianas que tienen lugar en las paredes de las alcantarillas y dentro de la masa de agua residual, generan los gases malolientes (Orellana, 2005).

Usuarios que conllevan al incremento de la necesidad de actividades de limpieza del sistema de alcantarillado por parte de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado:

- Industria de elaboración de productos lácteos
- Establecimientos de preparación y consumo de alimentos

4.2.2. Jerarquización de los usuarios acorde a su impacto al sistema de alcantarillado, de tratamiento y sistemas hídricos por vertimiento

A partir de la evaluación de cada usuario según metodología E.P.M. se genera los resultados de la calificación ambiental (Ca), que permite jerarquizar a los usuarios acorde a su impacto, como se presenta en la Tabla 28 y en el Anexo 1.

Los usuarios que generan mayores alteraciones a los sistema de alcantarillado, de tratamiento y sistemas hídricos por vertimientos, son:

- Usuarios industriales que elaboran productos lácteos
- Usuarios industriales de alimentos preparados para animales
- Usuarios comerciales, establecimientos de preparación y consumo de alimentos

Son usuarios que se caracterizan por generar vertimientos con las siguientes características:

- Extrema variabilidad en el caudal y carga contaminante.
- Elevados o altos valores de DBO₅, SST y grasas y aceites, generando a su vez aportes elevados en los cobros por tasa retributiva.
- El agua residual de productos lácteos no es tóxica debido al bajo nivel de químicos peligrosos y altos niveles de compuestos orgánicos biodegradable.
- A los usuarios comerciales que preparan y comercializan alimentos, se les asocia alteración al sistema de alcantarillado, de tratamiento y recursos hídricos como consecuencia de su elevado

número o cantidad, y de forma adicional por su ubicación generalmente de forma concentrada en el espacio.

Tabla 28. Jerarquización de usuarios por las alteraciones a los sistema de alcantarillado, de tratamiento y sistemas hídricos debido a sus vertimientos

Tipo Usuario	Descripción actividad desarrollada	Ca	Jerarquización (Relevancia de la alteración)
Industrial	Elaboración de productos lácteos	-48.09	Media
	Industria de alimentos preparados para animales	-45.29	Media
	Industria elaboración de alimentos	-29.92	Baja
	Ganadería de aves de corral: incubación, cría y beneficio	-29.19	Baja
	Fabricación de aparatos de uso doméstico	-21.95	Baja
	Fabricación de maquinaria y equipos	-32.05	Baja
	Fabricación de plásticos en formas primarias, de formas básicas y artículos de plástico	-8.54	Baja
	Imprentas y litografías	-27.38	Baja
	Producción de rosas	-22.86	Baja
	Fabricante y comercializador de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza	-8.54	Baja
Residencial		-13.72	Baja
Comercial	Establecimientos de preparación y consumo de alimentos	-47.47	Media
	Establecimientos de comercialización de alimentos	-19.72	Baja
	Salas de belleza	-19.25	Baja
	Expendio de carnes	-23.72	Baja
	Veterinarias	-16.35	Baja
	Establecimientos de atención a la salud humana	-29.15	Baja
	Estaciones de servicio	-25.73	Baja
	Lavanderías, sastrerías, zapaterías, ferreterías, establecimientos de internet, expendio de bebidas alcohólicas, establecimientos comerciales, vidrierías, Gimnasios y SPA, Floristerías	-6.77	Baja
Especial		-9.85	Baja
Oficial		-9.85	Baja

Fuente: Autor

Es de resaltar que en el proceso de jerarquización se identificó la importancia de aquellos usuarios que aunque su aporte en materia orgánica no es relevante, y que por tanto no se representa por

medio de la tasa retributiva, sí generan vertimientos con presencia de sustancias de interés ambiental y sanitario al emplear gran cantidad de insumos químicos, que contienen metales pesados como plomo, cadmio, níquel, cromo y mercurio, al igual que cianuro, ácidos y otras sustancias que generan alteración de la calidad del agua residual y que usualmente no son consideradas en los sistemas de tratamiento, generando su alteración, reduciendo su efectividad al interferir con los procesos biológicos normales usados, y/o siendo vertidos directamente en el cuerpo de agua (receptor final) con consecuencias negativas sobre su calidad del agua y biota.

4.3. REGLAMENTACIÓN PARA EL VERTIMIENTO AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y DEFINICIÓN DE OBJETIVOS DE TRATAMIENTO

Considerando como base la legislación o reglamentación colombiana actual asociada al vertimiento de agua residual al sistema de alcantarillado, se obtuvieron los siguientes tres resultados:

4.3.1. Actores y funciones en la gestión de las aguas residuales vertidas al sistema de alcantarillado.

La adecuada gestión de los vertimientos depende de un conjunto de actores a nivel nacional, regional y municipal, representados en el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), la Empresa de Servicios Públicos del municipio y los usuarios del sistema de alcantarillado.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible define los parámetros y límites máximos permisibles de vertimiento y lineamientos asociados al cobro de la tasa retributiva. La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) está encargada de verificar el cumplimiento de la normatividad de vertimientos y aplicar el cobro por tasa retributiva.

La empresa prestadora de servicios públicos tiene la obligación de cumplir y hacer cumplir a sus suscriptores y/o usuarios la norma de vertimientos en cuyos predios o inmuebles se presta el servicio comercial, industrial, oficial y especial; como también realizar el pago del monto cobrado por concepto de la tasa retributiva y cobrar la prestación del servicio de alcantarillado a sus suscriptores y/o usuarios, incluyendo el costo medio de tasas ambientales.

En este aspecto, la empresa prestadora del servicio de alcantarillado tiene como herramienta de gestión para exigir el cumplimiento de la norma de vertimientos a sus usuarios, el informar a la

autoridad ambiental competente (para este caso la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR) del estado de cumplimiento de dicha norma por parte de cada uno de sus suscriptores, para iniciar si es el caso el proceso sancionatorio por incumplimiento. No obstante, corresponde a procesos usualmente largos, que resultan poco efectivos al momento de mejorar continuamente la gestión del agua residual municipal.

Adicionalmente existe otro actor en la gestión de vertimientos que suele olvidarse y corresponde a los usuarios del sistema de alcantarillado, quienes tienen la obligación de cumplir con la norma de vertimientos, lo cual debe demostrarse por medio de la presentación de la caracterización de sus vertimientos a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca y a la empresa prestadora de servicios públicos (Anexo 2).

4.3.2. Grado de cumplimiento de la Resolución 631 de 2015 por los vertimientos realizados al sistema de alcantarillado Municipal.

La comparación entre los valores de los parámetros fisicoquímicos de los vertimientos según caracterización o consulta de literatura de cada usuario o grupo de usuarios, y los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 631 de 2015 (Capítulos, VI, VII y VIII - Artículo 16), generaron como resultado su grado de cumplimiento, como se observa en la Tabla 29.

Tabla 29. Evaluación del cumplimiento de la Resolución 631 de 2015 de los vertimientos de los usuario al sistema de alcantarillado

INDUSTRIA	pH	DQO	DBO ₅	SST	SSED	G & A	Fenoles Totales	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CN ⁻	Metales	HTP	Observación
Elaboración de productos lácteos								inf 1 empresa	inf 1 empresa				6 empresas caracterizadas de 9 registradas
Elaboración de alimentos preparados para animales													Información obtenida de bibliografía
Elaboración de productos alimenticios													1 empresa caracterizada y 1 registrada
Actividades de atención a la salud humana							inf 5 empresas			inf 2 empresas	inf 2 - 4 empresas		6 empresas caracterizadas 6 registradas
Estaciones de servicio-venta y distribución de hidrocarburos					inf 2 empresas							inf 1 empresas	3 empresas caracterizadas 3 registradas
Ganadería de aves de corral (incubación y cría)													1 empresa caracterizada y 1 registrada
Fabricación de aparatos de uso doméstico													1 empresa caracterizada y 1 registrada
Fabricación de artículos de plástico													1 empresa caracterizada y 1 registrada
Fabricante y comercializador de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza													1 empresa caracterizada y 2 registrada
Establecimientos de preparación y consumo de alimentos													Información obtenida de bibliografía
Salones de belleza													Información obtenida de bibliografía
Veterinaria													Información obtenida de bibliografía
Establecimiento de comercialización de alimentos/ expendio y manejo de carnes													Asumiendo características similares a las del agua residual doméstica con una concentración fuerte definida por bibliografía
Usuario oficial y especial													Asumiendo características similares a las del agua residual doméstica con una concentración media definida por bibliografía

Descripción	Código de colores
% de usuarios que cumplen la Resolución 631 de 2015	
No cumple > 80% usuarios	
Cumple 20 - 80% usuarios	
Cumple >80% usuarios	
Sin información o la Resolución no requiere su análisis y reporte	
Parámetros con valores dentro de los rangos de cumplimiento establecidos en la Resolución según información bibliográfica	
Parámetros con valores fuera de los rangos de cumplimiento establecidos en la Resolución según información bibliográfica	

Fuente: Autor

4.3.3. Objetivos de tratamiento del agua residual vertida por los usuarios o grupos de usuarios, para dar cumplimiento a la Resolución 631 de 2015.

De acuerdo al grado de cumplimiento de la Resolución 631 de 2015 para los diferentes parámetros de calidad del vertimiento y usuarios o tipos de usuario (Tabla 29), se identificaron los objetivos de tratamiento (Tabla 30). Igualmente, se identificaron objetivos de gestión para cada usuario considerando como base los parámetros fisicoquímicos que el usuario debe caracterizar y analizar para su control o reporte según Capítulos VI, VII y VIII; Artículo 9 a 16 de la Resolución 631 de 2015.

Tabla 30. Objetivos de tratamiento y de gestión del agua residual

Usuario	Objetivos de tratamiento (Parámetros con información)	Objetivos de gestión (Parámetros sin información)
Elaboración de productos lácteos	Reducir DQO, DBO ₅ , SST, grasas y aceites y cloruros (Cl ⁻).	Análisis y control de Sulfatos (SO ₄ ²⁻). Análisis y reporte de sustancias activas al azul de metileno (SAAM), ortofosfatos, fósforo total, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, acidez total, alcalinidad total, dureza total, color real, dureza cálcica.
Elaboración de productos alimenticios	Reducir DQO y DBO ₅ .	Análisis y control de cianuro total, cloruros, sulfatos, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, plomo. Análisis y reporte de SAAM, Compuestos semivolátiles fenólicos, ortofosfatos, fósforo total, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, acidez total, alcalinidad total, dureza total, color real.
*Elaboración de alimentos preparados para animales	Reducir DQO, grasas y aceites y SST.	Análisis y control de DBO ₅ , SSED, cianuro total, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, plomo. Análisis y reporte de SAAM, ortofosfatos, fósforo total, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, acidez total, alcalinidad total, dureza total, color real.
Ganadería de aves de corral (incubación y cría)		Análisis y control de SSED, cloruros, sulfatos, Análisis y reporte de SAAM, fósforo total, nitrógeno total, acidez total, alcalinidad total, dureza total, color real, dureza calcica.
Fabricación de aparatos de uso doméstico	Reducir DQO, DBO ₅ , SST.	Análisis y control sulfuros, cinc, cromo, plata, aluminio, arsenico, estaño, hidrocarburos totales (HTP). Análisis y reporte de SAAM, fósforo total, nitrógeno total, acidez total, alcalinidad total, dureza total, color real, dureza calcica, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), BTEX, Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX).
Fabricación de plásticos y artículos de plástico	Reducir SST, grasas y aceites, controlar rango de pH.	Análisis y control de SSED, fenoles totales, cianuro total, sulfuros, fluoruros, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, plata, aluminio, arsenico, estaño, hierro, hidrocarburos totales (HTP). Análisis y reporte de SAAM, acidez total, alcalinidad total, dureza total, color real, dureza calcica, HAP, BTEX.
Fabricante y comercializador de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza	Reducir DQO, DBO ₅ , grasas y aceites, y SST.	Análisis y control de SSED, fenoles totales, cianuro total, cloruros, sulfatos, fluoruros, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, plata, arsenico, estaño, hierro, antimonio, bario, cobalto, selenio, vanadio, hidrocarburos totales (HTP). Análisis y reporte de SAAM, compuestos semivolátiles fenólicos, formaldehído, aluminio, berilio, boro, litio, manganeso, molibdeno, titanio, ortofosfatos, fósforo total, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, acidez

		total, alcalinidad total, dureza total, color real, dureza calcica, HAP, BTEX, AOX.
Fabricación de maquinaria y equipo		<p>Análisis y control de pH, DQO, DBO₅, SST, SSED, Grasas y aceites, fenoles totales, cianuro total, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, estaño.</p> <p>Análisis y reporte de SAAM, Fósforo total, nitrógeno total, acidez total, alcalinidad total, dureza total, color real, dureza calcica.</p>
Imprenta y litografía		<p>Análisis y control de pH, DQO, DBO₅, SST, SSED, Gracias y Aceites, cianuro total, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, plomo, plata, aluminio, hierro, hidrocarburos totales (HTP).</p> <p>Análisis y reporte de SAAM, acidez total, alcalinidad total, dureza total, color real, dureza calcica, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), BTEX, Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX).</p>
Producción de rosas		<p>Análisis y control de pH, DQO, DBO₅, grasas y aceites, SST, SSED, fenoles totales, cianuro total, cloruros, sulfatos, sulfuros, fluoruros, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, plata, arsenico, estaño, hierro, antimonio, bario, cobalto, selenio, vanadio, hidrocarburos totales (HTP).</p> <p>Análisis y reporte de SAAM, compuestos semivolátiles fenólicos, formaldehído, aluminio, berilio, boro, litio, manganeso, molibdeno, titanio, ortofosfatos, fósforo total, nitratos, nitritos, nitrogeno amoniacal, nitrogeno total, acidez total, alcalinidad total, dureza total, color real, dureza calcica, HAP, BTEX, AOX.</p>
Estaciones de servicio - venta y distribución de hidrocarburos	Reducir DQO, DBO ₅ , SST.	<p>Análisis y control de SAAM, cloruros, sulfatos</p> <p>Análisis y reporte de SAAM, fosforo total, acidez total, alcalinidad total, dureza total, color teal, dureza calcica, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno).</p>
Actividades de atención a la salud humana - atención medica con y sin internación	Reducir DQO, DBO ₅ , SST, grasas y aceites, fenoles totales, cianuro, cadmio, mercurio y Plomo.	<p>Análisis y control de cromo por total de usuarios.</p> <p>Análisis y reporte de SAAM, plata, ortofosfatos, fósforo total, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, acidez total, alcalinidad total, dureza total, color real, dureza cálcica.</p>
*Salones de belleza	Reducir DBO ₅ , grasas y aceites,	<p>Análisis y control de pH, DQO, SST, SSED, fenoles totales, cianuro total, cloruros, sulfatos, sulfuros, fluoruros, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, plata, arsenico, estaño, hierro, antimonio, bario, cobalto, selenio, vanadio, HTP.</p> <p>Análisis y reporte de SAAM, compuestos semivolátiles fenólicos, formaldehído, aluminio, berilio, boro, litio, manganeso, molibdeno, titanio, ortofosfatos, fósforo total, nitratos, nitritos, nitrogeno total, nitrogeno amoniacal, acidez total, alcalinidad total, dureza total, color real, dureza calcica, HAP, BTEX, AOX.</p>
*Veterinaria	Reducir DQO, DBO ₅ , SST, grasas y aceites y fenoles totales	<p>Análisis y control de pH, SSED, cianuro total, cloruros, sulfatos, sulfuros, fluoruros, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, plata, arsenico, estaño, hierro, antimonio, bario, cobalto, selenio, vanadio, HTP.</p> <p>Análisis y reporte de SAAM, compuestos semivolátiles fenólicos, formaldehído, aluminio, berilio, boro, litio, manganeso, molibdeno, titanio, ortofosfatos, fósforo total,</p>

		nitratos, nitritos, nitrogeno total, nitrogeno amoniacal, acidez total, alcalinidad total, dureza total, color real, dureza calcica, HAP, BTEX, AOX.
*Establecimientos de preparación y consumo de alimentos	Reducir DQO, SST, grasas y aceites. Controlar rango de pH.	Análisis y control de pH, SSED, DBO ₅ , cianuro total, cloruros, sulfatos, sulfuros, fluoruros, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, plata, arsenico, estaño, hierro, antimonio, bario, cobalto, selenio, vanadio, HTP.
* Establecimiento de comercialización de alimentos/ expendio y manejo de carnes	Reducir DQO, DBO ₅ , SST, SSED y grasas y aceites.	Análisis y reporte de SAAM, compuestos semivolátiles fenólicos, formaldehído, aluminio, berilio, boro, litio, manganeso, molibdeno, titanio, ortofosfatos, fósforo total, nitratos, nitritos, nitrogeno total, nitrogeno amoniacal, acidez total, alcalinidad total, dureza total, color real, dureza calcica, HAP, BTEX, AOX.
*Usuario oficial y especial	Reducir DQO, DBO ₅ , SST, SSED y grasas y aceites.	

Fuente: Autor.

*Usuarios para los cuales se asume el peor escenario del estado del vertimiento, al considerar información bibliográfica disponible donde diferentes valores para los parametros están fuera de los rangos de cumplimiento establecidos por la normatividad.

Nota: El usuario puede solicitar ante la Autoridad Ambiental competente la exclusión de algún(os) parámetro(s), para lo cual debe presentar información específica solicitada en el artículo 17 de la Resolución 631 de 2015.

De acuerdo a los resultados obtenidos se identifica como relevante los siguientes aspectos:

- La falta de información no permite realizar una evaluación completa del cumplimiento legal, ya que las caracterizaciones tienden a evaluar especialmente parámetros como pH, DQO, DBO₅ y SST, descuidando todo un conjunto de parámetros que también deben ser medidos conforme a la actividad económica desarrollada por el usuario (Resolución 631 de 2015)
- De acuerdo a la información disponible se reconoce como objetivo de tratamiento la necesidad general de reducir para los diferentes usuarios que realizan vertimientos al sistema de alcantarillado, los niveles o valores de principalmente materia orgánica representada como DBO₅, DQO y grasas y aceites, como también de Sólidos suspendidos y en algunos casos particulares la presencia de metales pesados y fenoles.
- Existe vertimiento al sistema de alcantarillado de metales como: Cadmio, Mercurio, Plomo, Cromo, Cobre y Níquel proveniente de aguas residuales de usuarios asociados a la prestación de servicios de atención a la salud humana, la fabricación de aparatos de uso doméstico y probablemente por los salones de belleza. Por tanto, corresponde a usuarios que en el peor escenario generan vertimientos con metales pesados y sobre los cuales se debe presentar especial atención, toda vez que la cantidad excesiva y toxicidad interfiere con gran número de los usos del agua y su presencia

puede afectar el funcionamiento de plantas de tratamiento biológico de aguas residuales municipales existentes.

- De acuerdo a la información disponible el tipo de usuario que mayor cantidad de parámetros incumple es el fabricante y comercializador de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza (4 parámetros incumplidos), seguido por el fabricante de aparatos de uso doméstico y el fabricante de plásticos y artículos de plástico (3 parámetros incumplidos).

- Usuarios como establecimientos de preparación y consumo de alimentos, salones de belleza, veterinaria, establecimiento de comercialización de alimentos, expendio y manejo de carnes y los usuarios oficiales y especiales, no cuentan con caracterización de sus vertimientos, siendo la fuente de información únicamente literatura consultada asumiendo el peor escenario del estado del vertimiento. Al comparar esta información consultada con la normatividad en materia de vertimiento al sistema de alcantarillado (Resolución 631 de 2015 Capítulo VII y VIII, artículos 15 y 16), se encuentra que la mayoría de parámetros fisicoquímicos consultados presentan valores fuera del rango de cumplimiento establecidos por la Resolución. Situación que indica la necesidad de establecer importancia especial sobre estos usuarios, para obtener la caracterización de sus vertimientos, lo cual es base para adelantar nuevamente una evaluación al cumplimiento legal con información específica y propia de los usuarios y definir según resultados las acciones necesarias para prevenir, reducir o controlar su impacto al sistema de alcantarillado municipal, sistemas de tratamiento y al cuerpo hídrico (receptor final).

Adicionalmente, es de anotar la falta de claridad encontrada en la Resolución 631 de 2015 frente a los límites máximos permisibles del agua residual vertida al sistema de alcantarillado por diferentes usuarios comerciales, especiales y oficiales, lo cual puede entorpecer el cumplimiento del Decreto 3930 de 2010 en su artículo 38, por medio del cual se presenta como obligación de los suscriptores y/o usuarios en cuyos predios o inmuebles se requiera de la prestación del servicio comercial, industrial, oficial y especial, cumplir la norma de vertimiento vigente y presentar al prestador del servicio la caracterización de sus vertimientos.

En este sentido, para los establecimientos de preparación de alimentos, de comercialización de alimentos, expendio y manejo de carnes y usuarios de tipo especial y oficial, se considera en el presente proyecto como límites máximos permisibles los establecidos en los Capítulos VII y VIII, artículos 15 y 16 de la Resolución 631 de 2015.

- Debido a la deficiencia de información respecto a las características de los vertimientos de los usuarios al momento de realizar el presente documento; los resultados asociados al grado de cumplimiento de la normatividad, especialmente de los usuarios sin caracterización alguna de sus

vertimientos, como también los objetivos de tratamiento expuestos en las tablas 29 y 30 respectivamente, se deberán confirmar a partir de caracterizaciones completas de los vertimientos que consideren todos los parámetros indicados en la Resolución 631 de 2015.

4.4. IDENTIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PARA CADA SECTOR PRODUCTIVO O USUARIOS MÁS IMPACTANTES.

Para la selección de alternativas de tratamiento de aguas residuales se dispone de un listado y descripción general de operaciones físicas que constituyen la base de la mayoría de los diagramas de flujo de procesos para el tratamiento de agua residual. Como también un listado de procesos biológicos y químicos, caracterizados por medio de diferentes criterios para la toma de decisiones por parte de los usuarios, y que corresponden a: eficiencias de remoción de contaminantes, requerimientos generales, ventajas y desventajas (Anexo 3).

4.5. MODELO DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, BASADO EN LA METODOLOGÍA AHP.

4.5.1. Priorización de usuarios generadores de vertimientos

Los usuarios que generan mayor impacto al sistema de alcantarillado, de tratamiento y sistemas hídricos por vertimiento en el municipio de Cajicá, conforme a los resultados obtenidos del cálculo de la Calificación Ambiental (Tabla 28) y de la evaluación del cumplimiento de la Resolución 631 de 2015 (Tabla 29), son los siguientes:

Tabla 31. Población objetivo para definir la estructura esquemática del enfoque de jerarquía analítica

Tipo de Usuario	Descripción de actividad desarrollada
Industrial	Elaboración de productos lácteos
	Industria de alimentos preparados para animales
	Fabricante y comercializador de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza
Comercial	Establecimientos de preparación y consumo de alimentos

Fuente: Autor

De esta forma se acota la población objetivo, lo que permite desde un punto de vista de gestión identificar los usuarios sobre los cuales se debe direccionar esfuerzos y recursos, para fortalecer el manejo adecuado de los vertimientos generados.

4.5.2. Modelo para la toma de decisiones – preferencia sobre los sistemas de tratamiento de aguas residuales

4.5.2.1. Modelado del problema

Nivel 1 - Objetivo general: Seleccionar el sistema de tratamiento de aguas residuales más sostenible.

Nivel 2 - Criterios y Sub-criterios de priorización:

Tabla 32. Criterios y sub-criterios de la estructura esquemática del enfoque de jerarquía analítica para la selección de sistemas de tratamiento sostenibles

Criterio	Sub-criterio
Capacidad técnica/administrativa	Rendimiento o eficacia (I ₁)
	Complejidad (I ₂)
	Requisitos de terreno (I ₃)
Efectividad económica	Inversión total de capital (I ₄)
	O y M costo (I ₅)
Sostenibilidad ambiental	Generación de olores y ruido (I ₆) ⁴

Nivel 3: Son las alternativas tecnológicas:

Tratamiento fisicoquímico: Precipitación química, Adsorción, Coagulación-floculación-sedimentación, Intercambio iónico, Filtración con membranas, Flotación, Oxidación química.

⁴ Rendimiento o eficacia: El rendimiento mide la calidad del efluente y su coherencia o capacidad de cumplir con los requisitos de descarga de efluentes, según normatividad (Karimi et al., 2011). Las alternativas son evaluadas de acuerdo a la calidad de los efluentes, por el porcentaje de eliminación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos totales (SST).

Complejidad: Evalúa el grado de complejidad que presenta el funcionamiento y mantenimiento del proceso, si se requiere personal con niveles de preparación elevada (Metcalf y Eddy, 1995).

Requisitos de terreno: Necesidades de espacio para dar cabida no sólo a las instalaciones actualmente sino también a posibles ampliaciones en el futuro, si se cuenta o no con la disponibilidad de dicho espacio (Metcalf y Eddy, 1995).

Inversión total de capital (\$): Suma de todos los costos relacionados con la construcción de la planta (asequibilidad inicial) (Coskun. et al., 2016)

Costo de operación y mantenimiento anual (\$): Suma de todos los costos relacionados con la operación de la planta en un año (sostenibilidad a largo plazo). Incluye el coste de tratamiento y disposición de los lodos generados (Coskun et al., 2016)

La generación de olor y ruido: Los olores se han evaluado como la principal preocupación del público con respecto a la implementación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales (Metcalf y Eddy, 1995).

Tratamiento Biológico:

Aerobio: Lodos activados de mezclado completo, filtro percolador, biodiscos, filtro sumergido aerobio

Anaerobio: Fosa séptica, Tanque Imhoff, UASB, Reactor de lecho expandido, Reactor de contacto anaerobio, Filtro Anaerobio de Flujo ascendente,

Sistema natural construido: Humedal Artificial, Sistemas lagunares.

4.5.2.2. Matrices de comparación por pares de criterios y alternativas, vectores de prioridad y matrices de prioridad global por usuario – selección de alternativas de tratamiento de aguas residuales sostenibles.

En la medida que existen múltiples usuarios por tipo de usuario, se les solicitó de forma presencial, vía telefónica o por correo electrónico, sobre el orden de preferencia de los sub-criterios por algunos de ellos considerada.

Se obtuvo y se mantuvo la respuesta de cuatro (4) establecimientos de preparación y consumo de alimentos para de esta forma contar con resultados de un nivel de confianza del 95% y un error máximo admisible del 2%. Para lograr igual grado de confiabilidad de los resultados en las empresas de producción de lácteos se requería respuesta de (3) usuarios; sin embargo, se obtuvo únicamente respuesta de (2) usuarios, alcanzando un nivel de confianza del 90%. En el caso de los dos fabricantes y comercializadores de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza fue posible obtener la información de un usuario y no se logró obtener respuesta de la industria de alimento para animales (Anexo 4).

En el Anexo 5 se encuentra el orden de preferencia establecido por los usuarios sobre los criterios y por los especialistas respecto al tratamiento de aguas residuales, con las matrices de comparación por pares de subcriterios y alternativas correspondientes, el cálculo del vector de prioridad. Como también la Matriz de Prioridad que permitió determinar la alternativa de tratamiento de agua residual preferida para cada uno de los usuarios analizados.

De acuerdo al vector de prioridad para cada criterio y usuario, la importancia o relevancia de los criterios al momento de seleccionar una alternativa de tratamiento por tipo de usuario, es la siguiente:

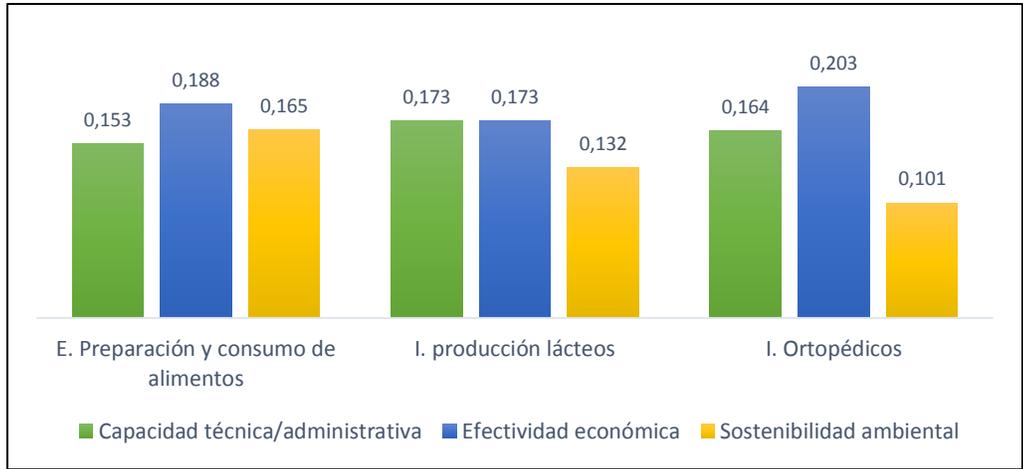


Figura 3. Relevancia (peso) de los criterios al momento de seleccionar una alternativa de tratamiento por tipo de usuario

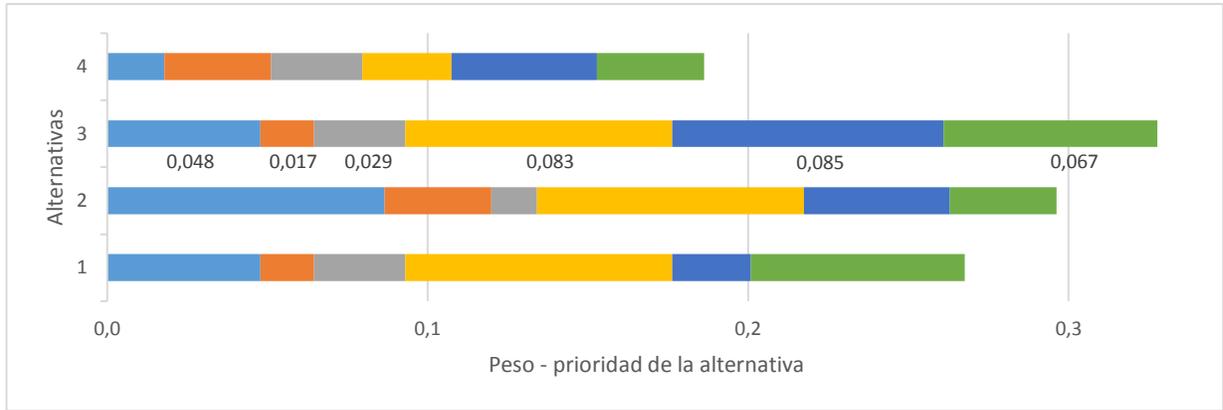
De acuerdo a la Figura 3 los diferentes tipos de usuarios presentan mayor relevancia en conjunto a los criterios de efectividad económica (Inversión total de capital y Costo O y M) al momento de seleccionar una alternativa de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, en todos los casos al analizar la prioridad de cada criterio, la eficiencia presenta el mayor grado de importancia. Para los usuarios de industrias de alimentos preparados para animales no se logró obtener su aporte frente al orden de preferencia de los criterios, por lo que se promedió la respuesta dada por los usuarios de tipo industrial (usuarios de elaboración de productos lácteos y fabricación de ortopédicos) como base de información para el desarrollo de las matrices correspondientes dentro del método AHP.

Como resultado del producto de la matriz de prioridad (alternativas vs subcriterios) y el vector de prioridad de los subcriterios, se obtuvo para cada uno de los usuarios analizados una matriz que expresa el aporte de los subcriterios evaluados respecto a la preferencia de las alternativas de tratamiento. Resultado presentado en las gráficas siguientes:

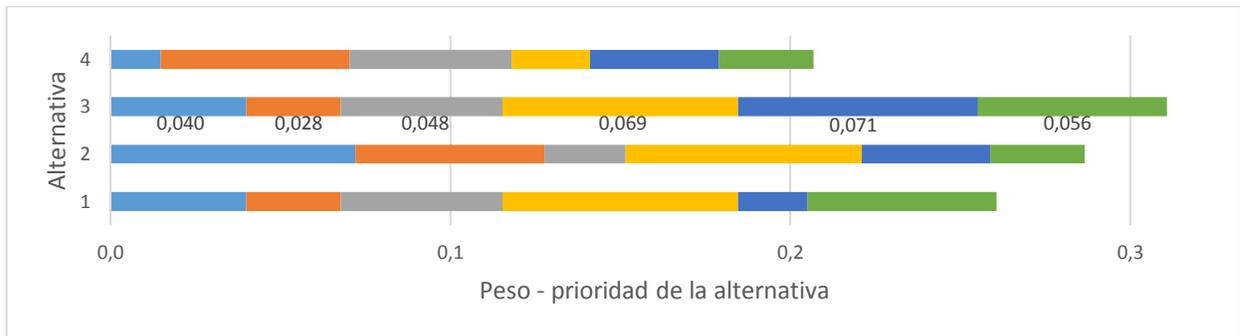
Donde,

- Rendimiento o eficacia (I1)
- Complejidad (I2)
- Requisitos de terreno (I3)
- Inversión total de capital (I4)
- O y M coste (I5)
- Generación de olores y ruido (I6)

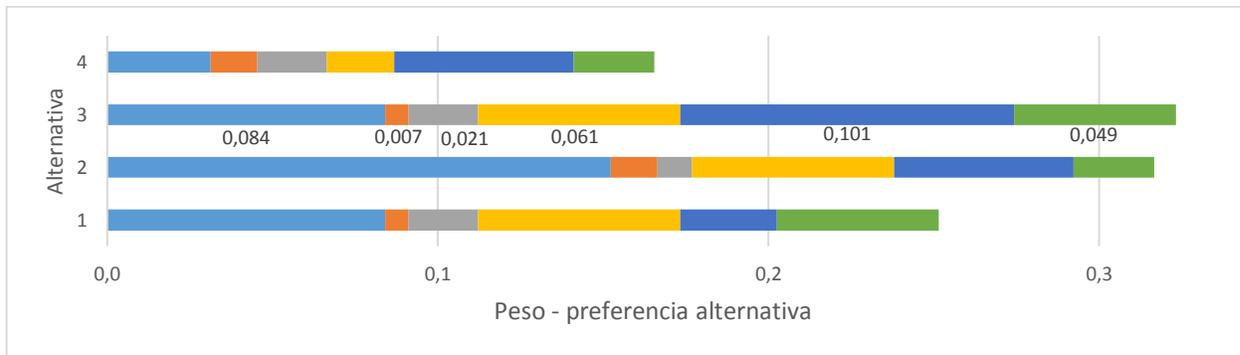
1	Tratamiento fisicoquímico
2	Tratamiento Biológico – Aerobio
3	Tratamiento Biológico – Anaerobio
4	Tratamiento Biológico - Sistema natural construido



(a)



(b)

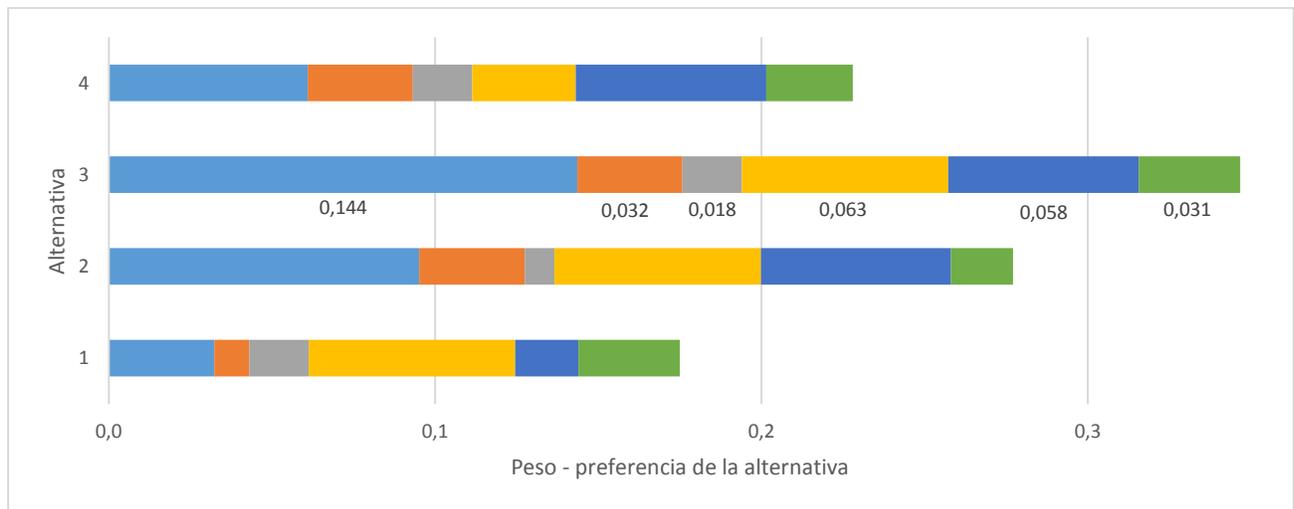


(c) y (d)

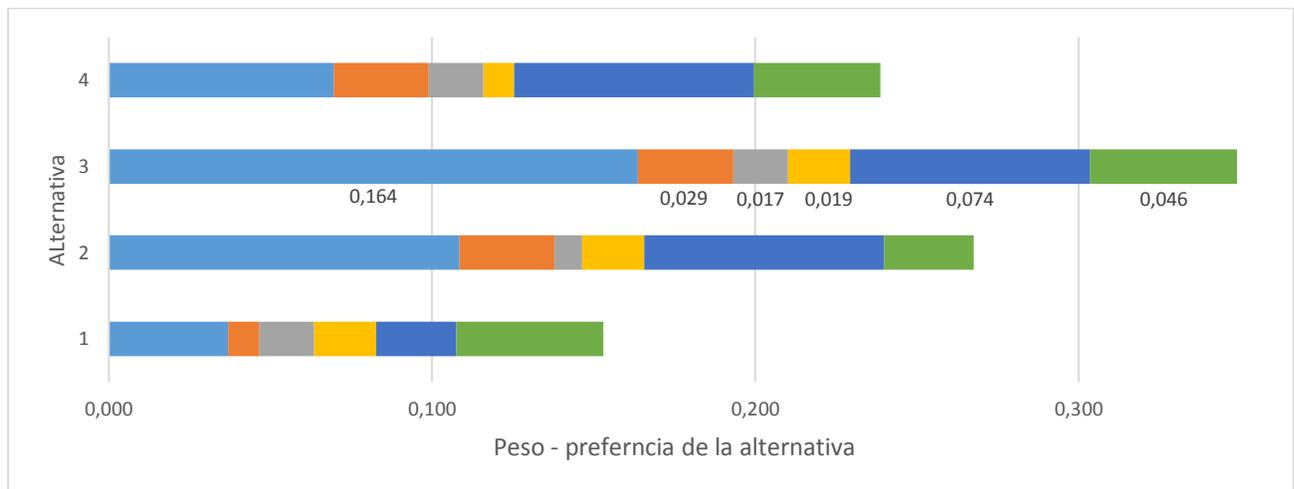
Figura 4. Preferencia de alternativas de tratamiento por criterio para los establecimientos de preparación y consumo de alimentos (restaurante a, b, c y d).

Como se observa en la Figura 4 para los cuatro (4) establecimientos de preparación y consumo de alimentos, la alternativa de tratamiento de mayor preferencia corresponde al tratamiento Biológico-Anaerobio, debido al mayor valor obtenido en el peso de los siguientes subcriterios: el costo de operación y mantenimiento, la inversión total de capital y generación de olores y ruido, sin descuidar la eficacia, para un peso total de preferencia de la alternativa entre 0.31 y 0.33. A esta primera

alternativa le sigue muy de cerca el Tratamiento Biológico – Aerobio, con especial reconocimiento de su aporte a la eficacia, con un peso total de la alternativa entre 0.29 y 0.31.



(a)



(b)

Figura 5. Preferencia de alternativas de tratamiento por criterio para empresas que elaboran productos lácteos (empresas a y b).

Respecto a las empresas que elaboran productos lácteos, la alternativa de mayor preferencia es el tratamiento Biológico-Anaerobio con un peso total de preferencia de 0.34 (Figura 5), siendo el criterio de efectividad el que aporta en mayor medida a la selección de la alternativa.

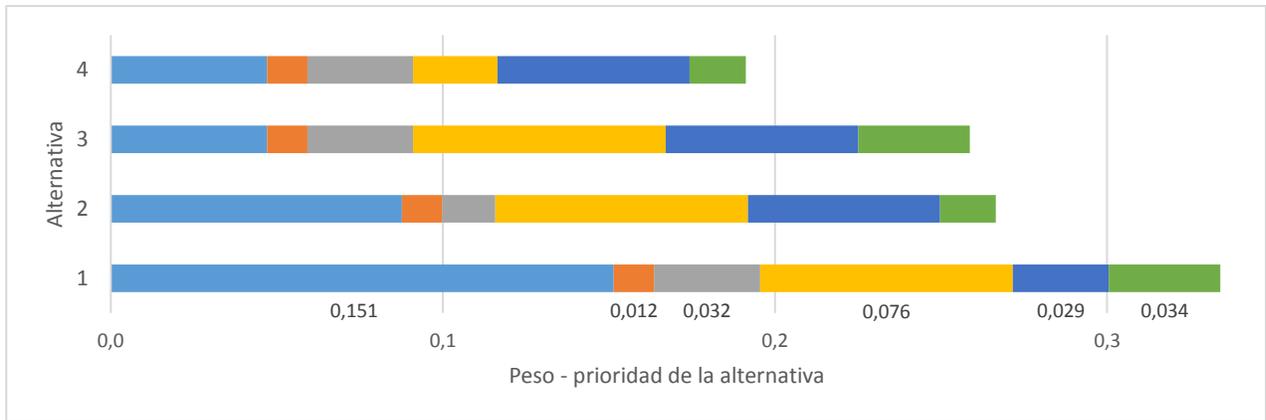


Figura 6. Preferencia de alternativas de tratamiento por criterio para fabricantes y comercializadores de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza.

Para los fabricantes y comercializadores de productos ortopédicos y relacionados a la salud y belleza, la alternativa de mayor preferencia corresponde al tratamiento fisicoquímico de acuerdo a lo indicado en la Figura 6, con un peso de la alternativa de 0.33, donde la eficacia y la inversión total de capital son los dos subcriterios que en mayor medida aportan a su preferencia.

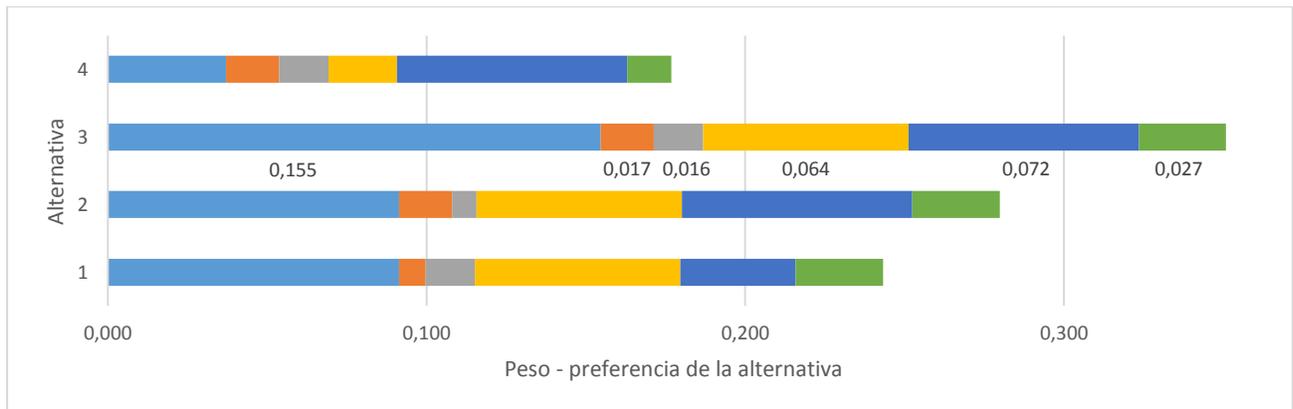


Figura 7. Preferencia de alternativas de tratamiento por criterio para industrias de alimentos preparados para animales

Finalmente para las industrias de alimentos preparados para animales la alternativa preferida corresponde al tratamiento Biológico – Anaerobio con un peso total de preferencia de 0.35 (Figura 7), siendo la eficacia el criterio de mayor valor.

Una vez implementado la metodología AHP se identificaron los siguientes aspectos relevantes:

- Es importante considerar la participación de los usuarios que vierten al sistema de alcantarillado, para priorizar o jerarquizar los criterios de selección de las alternativas, lo que permite particularizar y generar tendencias frente a la situación puntual de un grupo o tipo de usuarios.
- La generación de Matrices de Comparación por Pares como elemento de la metodología AHP para jerarquizar un grupo de criterios o alternativas, como en este caso donde se evaluaron seis (6) subcriterios y cuatro (4) alternativas, es un método complejo y largo cuando se busca la participación individual de usuarios o incluso de profesionales. En este sentido, para obtener una participación activa de los interesados, es importante la conformación de grupos por tipo de usuario, en donde se establezcan espacios de participación definidos, medios o herramientas de socialización de información adecuadas y procesos estructurados de participación.

4.6. MODELO DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD AMBIENTAL APLICABLE REFERENTE A VERTIMIENTOS

El modelo de gestión propuesto se proyectó considerando elementos de la metodología conocida como Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA); por lo que se establece un objetivo, acciones y procesos necesarios para lograrlo; y un conjunto de elementos para su seguimiento y medición, dentro de un proceso de mejora continua (Tabla 33).

Tabla 33. Modelo de gestión para el tratamiento de aguas residuales

PLANIFICACIÓN				
<p>1. Definición del objetivo: <i>“Cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable para el vertimiento en sistemas de alcantarillado por parte de los diferentes usuarios, por medio de la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados y sostenibles”</i></p>				
<p>2. Desarrollo de actividades direccionadas a generar un diagnóstico del manejo del agua residual, jerarquización de los usuarios e identificación de alternativas de tratamiento de agua residual sostenibles:</p>				
Actividades		Entradas	Salidas	Responsables
<p><i>Desarrollo del diagnóstico de la situación actual del manejo del agua residual</i></p>	Identificación y cuantificación de usuarios generadores de vertimientos al sistema de alcantarillado	Base de datos de los usuarios que vierten al sistema de alcantarillado, tan específico como se defina.	Listado de usuarios y su clasificación por tipo de usuario	Empresa prestadora del servicio de alcantarillado
	Subdivisión de usuarios del sistema de alcantarillado por actividad económica, con base en la Resolución 631 del 2015		Usuarios clasificados por actividad económica, considerando Resolución 631 de 2015	
	Identificación de parámetros que caracterizan los vertimientos, según tipo de usuario y Resolución 631 de 2015		Listado de parámetros físico-químicos requeridos para caracterizar el agua vertida, según clasificación de los usuarios.	
	Caracterización del agua residual vertida al sistema de alcantarillado considerando parámetros establecidos por la Resolución 631 de 2015 e información de resultados	Identificación de puntos de vertimiento y parámetros según tipo de usuario	Características físico-químicas del agua de cada usuario	Usuario del sistema de alcantarillado

	Identificación de los sistemas de tratamiento existentes empleados por los usuarios	Informes de visita realizados a usuarios	Listado de sistemas de tratamiento empleados por usuario.	Empresa prestadora del servicio de alcantarillado
	Identificación del aporte de los usuarios a la tasa retributiva.	Datos de caudal, DBO ₅ y SST vertidos por el usuario.	Valor del aporte por usuario al monto a pagar por tasa retributiva.	
<i>Jerarquización de los usuarios por impacto al sistema de alcantarillado.</i>		Criterios de evaluación, información del diagnóstico, Metodología de identificación y evaluación de impactos.	Calificación ambiental (Ca) por usuario o grupo de usuarios, a emplearse como base del direccionamiento de recursos de apoyo, control y seguimiento a los vertimientos.	Empresa prestadora del servicio de alcantarillado
<i>Identificación de reglamentación para el vertimiento y los objetivos de tratamiento de las aguas residuales</i>	<i>Identificación de actores y funciones para la gestión de las aguas residuales</i>	Legislación ambiental aplicable	Listado de actores con funciones para la gestión del agua residual.	Empresa prestadora del servicio de alcantarillado
	<i>Evaluación del cumplimiento de la Resolución 631 de 2015</i>	Caracterización del agua residual vertida por los usuarios vs. Resolución 631 de 2015	Grado de cumplimiento por usuario o grupo de usuarios de la Resolución 631 de 2015. Objetivos de tratamiento de las aguas residuales por usuario o grupo de usuarios.	
<i>Identificación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales</i>		Información respecto a los sistemas de tratamiento existentes y comercializados	Base informativa de tecnologías de tratamiento de agua residuales disponibles a nivel nacional.	Empresa prestadora del servicio de alcantarillado/Usuario

	Priorización de usuarios generadores de vertimientos	Calificación ambiental por usuario o tipo de usuario y grado de cumplimiento de la normatividad	Listado de usuarios que generan mayor impacto al sistema de alcantarillado e incumplimiento a la norma.	Empresa prestadora del servicio de alcantarillado
Selección de alternativa de tratamiento sostenible	Aplicación del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP).	Criterios de priorización y alternativas tecnológicas de tratamiento de aguas residuales	Alternativa más sostenible para el tratamiento de aguas residuales por usuario o grupo de usuarios	Empresa prestadora del servicio de alcantarillado (gestor de espacios de participación)/ Especialistas en el tratamiento de aguas residuales (asesor)/ Usuario (tomador de decisiones)

IMPLEMENTACIÓN

Socialización de información relevante del manejo del agua residual, por el prestador del servicio de alcantarillado:

Es información importante: la Calificación Ambiental (Ca), aportes a la tasa retributiva, grado de cumplimiento de la normatividad, objetivos de tratamiento de las aguas residuales, relevancia de la selección de la alternativa sostenible para el tratamiento del agua residual y sus resultados.

Se proyecta como una herramienta de socialización de la información a los usuarios el desarrollo de talleres convocados y liderados por la empresa prestadora del servicio de alcantarillado. También se puede emplear oficios o visitas a los establecimientos.

Seguimiento de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado al manejo del agua residual generada por los usuarios, especialmente de los usuarios más impactantes, por medio de:

- Seguimiento a la ejecución de la caracterización de los vertimientos generados al sistema de alcantarillado por los usuarios.
- Visitas de campo periódicas al vertimiento realizado por el usuario. Se puede emplear como herramienta de apoyo multiparámetro u otros equipos para la medición de la calidad del agua vertida al alcantarillado.

Actualización del Contrato de Condiciones Uniformes: La empresa prestadora de servicios públicos debe asegurar que cuenta con un Contrato de Condiciones Uniformes en el que se encuentre un capítulo o ítem direccionado a tratar y aclarar aspectos asociados al "Control de vertimientos a la red de alcantarillado municipal" y las causales de incumplimiento a dicho contrato que puedan generar suspensión y corte del servicio, en favor de la empresa para el cumplimiento de su función establecida en el Decreto

3930 de 2010 de “exigir respecto de los vertimientos que se hagan a la red de alcantarillado, el cumplimiento de la norma de vertimiento al alcantarillado público” y la Resolución 631 de 2015, todo ajustado la ley,

Eliminación de vertimientos directos del sistema de alcantarillado al Río Bogota o al recurso hídrico en general, para su tratamiento por medio de sistemas centralizados:

De forma paralela a la implementación de sistemas de tratamiento descentralizados dentro del área de prestación del servicio de alcantarillado por parte de los diferentes usuarios, con apoyo y direccionamiento de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado; esta empresa debe adicionalmente asegurar su cumplimiento al Decreto 3930 de 2010 o la norma que lo modifique, adicione o sustituya, respecto a su responsabilidad como usuario del recurso hídrico de dar cumplimiento a la norma de vertimiento vigente y contar con el respectivo permiso de vertimiento o con el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos – PSMV y toda aquella normatividad relacionada directamente al Río Bogotá, como son los objetivos de calidad y las metas de reducción de contaminantes por parte del municipio.

De esta manera, la empresa que presta el servicio de alcantarillado en Cajicá deberá direccionar el agua residual del sistema de alcantarillado a las dos plantas existentes para su tratamiento de forma centralizada, para eliminar vertimientos directos del sistema de alcantarillado al Río Bogotá.

Con la implementación de sistemas de tratamiento del agua residual por usuario se favorecerá la calidad del agua transportada por el sistema de alcantarillado; sin embargo, debe adelantarse la evaluación de su calidad y cantidad por parte de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado, para determinar la necesidad de optimizar las plantas centralizadas y asegurar el cumplimiento de la normatividad específica asociada al Río Bogotá. Esto permitirá dar uso al espacio e infraestructura existente direccionada al tratamiento del agua residual municipal, pero que requerirá tener al día el permiso de vertimientos con su respectiva evaluación ambiental del vertimiento (Decreto 3930 de 2010).

Se presenta como sugerencia adicionalmente el manejo independiente de las aguas lluvia, de tal manera que se asegure un manejo separado del agua lluvia y del agua residual, para evitar el exceso de caudal que ingresa a los sistemas de tratamiento en temporada de lluvia.

Las actividades, programas y proyectos direccionados y asociados a la gestión del agua residual municipal dentro del área de prestación de servicio de alcantarillado, desde la iniciativa de fortalecimiento del manejo descentralizado del agua residual por usuario, el manejo independiente del agua lluvia, hasta la construcción u optimización de los sistemas de tratamiento centralizados, deben quedar descritos dentro del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado.

Aspectos clave para la implementación:

Disponibilidad de recursos: Recurso humano, financiero, tecnológico y de infraestructura.

Comunicación entre responsables: Comunicación continua y eficaz entre los actores del manejo del agua residual.

Conocimiento, información y documentación: Conocimiento actual y adquirido por el recurso humano captado, registrado, documentado y proyectado dentro del proceso de mejora continua.

VERIFICACIÓN

Indicadores clave de evaluación:

Seguimiento por parte de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado al cumplimiento del objetivo planteado, para identificar avances y dificultades empleando como herramienta los indicadores clave de evaluación.

MEJORA CONTINUA

Según los resultados de los indicadores clave de evaluación, iniciar la implementación de acciones preventivas y correctivas para alcanzar el objetivo planteado.

Los indicadores claves de evaluación planteados dentro del proceso de verificación y las respectivas acciones correctivas y preventivas, son las siguientes:

Tabla 34. Indicador clave 1.

1. Radicación de caracterización de vertimientos por los usuarios
Ecuación
% de usuarios que radican ante la empresa prestadora del servicio de alcantarillado la caracterización de sus vertimientos:
$\frac{\# \text{ usuarios que radican caracterización de vertimientos} * 100}{\# \text{ total de usuarios (comerciales, industriales, especiales y oficiales)}}$
Acciones correctivas y/o preventivas a desarrollar por parte de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado cuando no se logra el 100%:
- Asegurar socialización del Contrato de condiciones uniformes a los usuarios, especialmente del capítulo o ítem direccionado a tratar y aclarar aspectos asociados al "Control de vertimientos a la red de alcantarillado municipal".
- Realizar seguimiento a los usuarios frente al cumplimiento de la obligación de presentar la caracterización de sus vertimientos, por medio de la radicación de oficios o visitas a las instalaciones del usuario.
- Realizar visita al usuario con herramientas de toma de muestras y medición de la calidad del agua para evaluar el vertimiento al alcantarillado, por medio de la medición de parámetros como caudal, pH, DBO ₅ y SST, y conocer aspectos básicos del vertimiento como color, olor y aspecto. Información que además de originar un concepto general del estado del vertimiento; genera información necesaria para calcular y conocer el aporte de este usuario en el valor del monto a pagar por tasa retributiva a la Autoridad Ambiental, y por tanto la prioridad de acción de la empresa prestadora del servicio frente al usuario.
La información recopilada sobre el estado del vertimiento puede soportar acciones iniciadas por la empresa prestadora del servicio como: dar prioridad de solicitud al usuario sobre la caracterización completa de sus vertimientos y soportar informe a la Autoridad Ambiental (CAR) de presunto incumplimiento de la normatividad de vertimiento y/o incumplimiento de la presentación de caracterización de los vertimientos a la empresa prestadora del servicio, anexando en todo caso evidencia del estado del vertimiento encontrado al momento de realizar la visita.
La Jerarquización de los usuarios según su impacto al sistema de alcantarillado, por medio de la Calificación ambiental (Ca), puede emplearse para priorizar el direccionamiento de recursos para el seguimiento a los vertimientos.
Adicionalmente, la identificación de parámetros con valores elevados en el agua transportada por el sistema de alcantarillado, que puedan afectar las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes y ser críticos para asegurar el cumplimiento de la norma de vertimientos por parte del prestador del servicio, como son valores elevados de metales pesados, soportan el direccionamiento de acciones de seguimiento a los sectores asociados con el vertimiento de dichas sustancias contaminantes, para adelantar igualmente acciones de medición, seguimiento, control y vigilancia en la fuente por parte de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado, y demás acciones que pueda emprender para su control.
- Informar incumplimiento de la norma a la Autoridad Ambiental por parte de usuarios infractores, entregando la información disponible advirtiendo sobre tal circunstancia y dejando constancia escrita de la situación.
- Suspender o cortar el servicio por incurrir a las causales de incumplimiento del Contrato de condiciones uniformes según lo establecido en dicho Contrato.

Tabla 35. Indicador clave 2.

2. Comportamiento del aporte por carga contaminante (toneladas/año) en DBO ₅ y SST por el Municipio al Río Bogotá.
Ecuación
<i>Toneladas de DBO₅ o SST año anterior – Toneladas de DBO₅ o SST del año actual</i>
Resultados positivos indican desarrollo de las acciones necesarias por los actores para manejar adecuadamente los vertimientos.
Acciones correctivas y/o preventivas a desarrollar por la empresa prestadora del servicio de alcantarillado cuando el indicador es negativo:
- Identificar usuarios no reconocidos como generadores de vertimientos de interés ambiental y sanitario (revisión y actualización de la base de datos de usuarios)
- Identificar el manejo actual del agua residual por parte de los usuarios: grado de cumplimiento de la normatividad de vertimiento al alcantarillado, funcionamiento de los sistemas de tratamiento del agua residual (clave reconocer si se encuentra en funcionamiento o actividad el sistema, y si el usuario lo permite conocer registros de control, mantenimiento y personal encargado), estado de implementación de acciones direccionadas a la reducción de la cantidad y grado de contaminación del vertimiento (identificación de usuarios infractores a la normatividad y al Contrato de Condiciones Uniformes). Acciones consideradas relevantes para identificar el compromiso continuo del usuario con la gestión ambiental de sus vertimientos. Es importante que estas acciones de seguimiento y vigilancia, como todas aquellas direccionadas a fortalecer el manejo del agua residual dentro del área de prestación del servicio de alcantarillado, estén explícitas en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos de la empresa prestadora del servicio (PSMV), lo cual permite asegurar recursos para su ejecución y especialmente no confundir las actividades propuestas como procesos de consultoría o extralimitar funciones por parte de la empresa prestadora del servicio.
- Socializar el Contrato de condiciones uniformes a los usuarios infractores
- Implementar herramientas de asesoría y talleres direccionados al usuario frente al tratamiento del agua residual y tecnologías limpias, con el objetivo exclusivo de realizar introducción al usuario a conocer su importancia y ventajas para el manejo del agua residual. Es importante que estas herramientas estén explícitas en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos de la empresa prestadora del servicio (PSMV), para evitar extralimitar funciones por parte de dicha empresa.
- Informar incumplimiento de la norma a la Autoridad Ambiental por parte de usuarios infractores, Suspender o cortar el servicio por incurrir a las causales de incumplimiento del Contrato de condiciones uniformes según lo establecido en dicho Contrato al realizar vertimiento sin atender la normatividad ambiental.

Tabla 36. Indicador clave 3.

3. % de usuarios que cumplen con la calidad del agua vertida según Resolución 631 de 2015
Ecuación
$\frac{\# \text{ de usuarios que cumplen con Resolución 631 de 2015} \times 100}{\# \text{ total de usuarios} *}$
*Usuarios industrial, comercial, especial y oficial.
Acciones correctivas y/o preventivas a implementar por la empresa prestadora del servicio de alcantarillado cuando el indicador es menor al 100%:
- Identificar los usuarios que no cumplen con la Resolución 631 de 2015 e identificar los parámetros fuera de rango.

- Informar incumplimiento de la norma a la Autoridad Ambiental por parte de usuarios infractores, entregando la información disponible advirtiendo sobre tal circunstancia y dejando constancia escrita de la situación.
- Implementar y fortalecer el desarrollo de asesoría y talleres direccionados a los usuarios frente al tratamiento del agua residual y tecnologías limpias, con el objetivo exclusivo de realizar introducción al usuario a conocer su importancia y ventajas para el manejo del agua residual. Es importante que el objetivo y forma de ejecución de las asesorías y talleres estén explícitos en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos de la empresa prestadora del servicio (PSMV), para evitar extralimitar funciones por parte de dicha empresa.
- Generar compromisos con tiempos determinados con el usuario frente a la implementación de opciones para el manejo adecuado de vertimientos y realizar seguimientos periódicos en relación a su cumplimiento.
- Suspender o cortar el servicio por incurrir a las causales de incumplimiento del Contrato de condiciones uniformes según lo establecido en dicho Contrato al realizar vertimiento sin atender la normatividad ambiental.

Tabla 37. Indicador clave 4.

4. % de usuarios que cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales
Ecuación
$\frac{\# \text{ usuarios con sistemas de tratamiento de aguas residuales } * 100}{\text{Número total de usuarios } *}$
<p>*Usuario industrial, oficial, especial y comercial.</p> <p>Se espera incremento anual del número de sistemas de tratamiento de aguas residuales implementados por parte de los usuarios; sin embargo el grado de cumplimiento de la Resolución 631 de 2015 justificará la implementación del sistema de tratamiento por el usuario, apoyar su manejo de agua residual con procesos de producción más limpia o la práctica de otras acciones complementarias consideradas por el usuario.</p>

Tabla 38. Indicador clave 5.

5. Comportamiento del valor (\$) del costo medio de tasas ambientales cobrado por factura de prestación del servicio de alcantarillado
Ecuación
$\frac{VCm \text{ por tasas ambientales facturado en el periodo pasado} - VCm \text{ por tasas ambientales facturado en el periodo actual}}{VCm}$
<p>VCm: Valor del costo medio</p> <p>Indicador que se puede aplicar igualmente para analizar el comportamiento del valor de la tasa retributiva cobrada por la CAR a la empresa prestadora del servicio de alcantarillado año por año.</p>

CONCLUSIONES

- En Cajicá el usuario que vierte mayor caudal al sistema de alcantarillado corresponde al usuario residencial (88 % del caudal total vertido), seguido por el usuario comercial e industrial. Sin embargo, el impacto al sistema de alcantarillado y por tanto el potencial para afectar un sistema de tratamiento de aguas residuales por parte de los usuarios residenciales se reduce debido a que su caudal presenta generalmente un patrón predecible durante cada día y cargas contaminantes determinadas con límites estrechos que pueden ser tratados por sistemas de tratamiento municipales de agua, a diferencia de los usuarios comerciales e industriales que generan agua residual con amplios rangos de calidad y cantidad, no manejan información amplia sobre la caracterización de sus vertimientos y si disponen de información está direccionada a evaluar parámetros como pH, DQO, DBO₅ y SST, descuidando todo un conjunto de parámetros como el caudal y sustancias de interés ambiental y sanitario que también deben ser medidas por norma, lo que limita la evaluación del cumplimiento legal de los vertimientos y la gestión del agua residual a nivel municipal.

- Para el municipio de Cajicá los usuarios que mayor impacto generan al sistema de alcantarillado, con la información actual disponible son: La empresa que elabora productos lácteos, genera alimentos preparados para animales, el fabricante y comercializador de productos ortopédicos y complementarios en el área de salud y belleza, y los establecimientos de preparación y consumo de alimentos. Usuarios caracterizados por generar vertimientos con altos valores de DBO₅, SST y grasas y aceites. Sin embargo, adicionalmente se identifican otros usuarios representados por los servicios de atención a la salud humana, los fabricantes de aparatos de uso doméstico y probablemente los salones de belleza, que aunque su aporte en materia orgánica no es relevante, y que por tanto no se representa por medio de la tasa retributiva, sí generan vertimientos con presencia de sustancias de interés ambiental y sanitario, los cuales posiblemente podrían generar alteraciones a los sistemas de tratamiento centralizados existentes o al cuerpo de agua receptor final con consecuencias negativas sobre su calidad del agua y Biota. Sin embargo, debido a la deficiencia de información respecto a las características de los vertimientos de los usuarios al momento de realizar el presente documento, los resultados obtenidos deben ser confirmados empleando caracterizaciones completas de los vertimientos que consideren todos los parámetros indicados en la Resolución 631 de 2015.

- La metodología AHP es un método de decisiones multi-criterio que puede aplicarse en la gestión del agua residual municipal, ya que fortalece las razones de éxito de la implementación de

alternativas de tratamiento, al permitir tener en cuenta al momento de seleccionar una alternativa los siguientes elementos: criterios de sostenibilidad (ambiental, técnica y económica), la participación de especialistas en el tratamiento de aguas residuales y la participación de los usuarios. Sin embargo, es una metodología compleja y larga cuando se busca la participación individual de usuarios o incluso de profesionales, por lo que su participación se debe establecer en espacios con medios o herramientas de socialización de información adecuadas y procesos estructurados de participación liderados por la empresa prestadora del servicio de alcantarillado, que proporcionen a los tomadores de decisiones argumentos de selección de alternativas de tratamiento de aguas residuales reduciendo sesgos comerciales. Siendo responsabilidad de los usuarios la selección de alternativas de tratamiento y las consecuencias que de ello se generen.

- El alcance del modelo de selección de alternativas planteado permite seleccionar alternativas de tratamiento bajo una clasificación general en: sistema biológico (Aerobio, Anaerobio, Sistema natural construido) o fisicoquímico, siendo decisión del usuario el seleccionar la alternativa de tratamiento específica, en donde se hace relevante la disposición de bases informativas de las tecnologías disponibles a nivel nacional, las cuales proporcionan diferentes criterios para la toma de decisiones frente al mejor manejo del agua residual al considerar criterios de selección como: eficiencias de remoción de contaminantes, requerimientos generales, ventajas y desventajas (base de datos como la presentada en el Anexo 3 del documento).

- Para los establecimientos de preparación y consumo de alimentos, las empresas que elaboran productos lácteos y las industrias de alimentos preparados para animales, la alternativa de tratamiento de mayor preferencia es el tratamiento Biológico-Anaerobio y para los fabricantes y comercializadores de productos ortopédicos y relacionados a la salud y belleza el tratamiento fisicoquímico, al considerar en el proceso de selección de alternativas criterios técnico/administrativos (Rendimiento o eficacia, complejidad y requisitos de terreno), de efectividad económica (Inversión total de capital y Costo O y M) y de sostenibilidad ambiental (Generación de olores y ruido).

- La jerarquización de los usuarios según el impacto generado al sistema de alcantarillado y el potencial para alterar sistemas naturales o de tratamiento de aguas residuales, se plantea como herramienta de priorización de los usuarios para el direccionamiento de recursos de apoyo, control y seguimiento a los vertimientos por parte de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado, empleando el método EPM de evaluación de impactos ambientales y los siguientes ocho (8) criterios

de evaluación por usuario: colapso de la red de alcantarillado y desbordamiento del agua residual, generación de gases malolientes, alteración de la calidad de agua residual transportada y tratada, reducción de la velocidad del agua conducida y de la eficiencia de la red de alcantarillado, deterioro de la red de alcantarillado por procesos de corrosión, incremento de actividades de limpieza del sistema de alcantarillado, aporte al monto a pagar por tasa retributiva y alteración al sistema de tratamiento y al cuerpo de agua receptor final.

- El manejo del agua residual municipal dentro del área de prestación del servicio de alcantarillado se debe basar en un modelo de tratamiento descentralizado por usuario, donde cada usuario oficial, especial, industrial y comercial de acuerdo con las características físico-químicas de sus vertimientos cuente con una alternativa de tratamiento de agua residual, bajo el control y vigilancia de sus vertimientos por parte de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado. El tratamiento descentralizado propuesto no excluye los procesos de producción más limpia y permite apoyar a los sistemas de tratamiento de aguas residuales centralizados existentes en el municipio, los cuales se encuentran saturados y reciben vertimientos con sustancias de interés ambiental y sanitario, que los llevan a ser más complejos y/o con mayores costos de operación y mantenimiento.

Sin embargo, las alternativas de tratamiento de aguas residuales por usuario deben ser sostenibles, al considerar en su selección criterios técnico-administrativos, económicos y ambientales, considerando la participación de actores en la gestión del agua residual, como lo son los usuarios, la empresa que presta el servicio de alcantarillado con el aporte de especialistas en el tratamiento de aguas residuales.

- El modelo de gestión planteado se presenta como un instrumento que proporciona una estructura para la planificación, análisis, implementación, evaluación y seguimiento a la gestión del agua residual dentro del área de prestación del servicio de alcantarillado bajo un punto de vista integral, que abarca un conjunto de elementos y actividades coordinadas para lograr un objetivo identificado y definido como: *“Cumplir con la normatividad ambiental aplicable para el vertimiento en sistemas de alcantarillado por parte de los diferentes usuarios, por medio de la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados y sostenibles”*.

Son aspectos clave para el modelo las características de los vertimientos realizados al sistema de alcantarillado por los usuarios existentes (oficiales, especiales, industriales y comerciales); al igual que la consolidación de una relación entre el usuario y la empresa prestadora del servicio de

alcantarillado consignada dentro de un Contrato de Condiciones Uniformes basada en el apoyo en el manejo del agua residual, en el control y vigilancia sobre los vertimientos, como también en la toma de acción por parte de la empresa prestadora del servicio frente al incumplimiento del adecuado vertimiento a la red de alcantarillado municipal. Es también clave en el modelo la identificación de los usuarios que generan mayor impacto al sistema de alcantarillado y aquellos que incumplen la normatividad de vertimientos, ya que corresponden a usuarios sobre los cuales se debe direccionar esfuerzos y recursos para fortalecer el manejo adecuado de los vertimientos municipales.

Por otro lado, es un modelo que tiene como base un conjunto de información específica sobre los diferentes usuarios y sus vertimientos, la cual está generalmente incompleta o en proceso constante de actualización, requiriendo por tanto inicialmente lograr una base de información lo más completa posible y posteriormente retroalimentar o actualizar el modelo para reforzar (o replantear si fuera necesario) las conclusiones obtenidas.

Adicionalmente el modelo propone apoyar el manejo del agua por usuario (industrial, oficial, especial y comercial) para cumplir con la normatividad de vertimiento al sistema de alcantarillado; sin embargo, se debe asegurar el cumplimiento de los compromisos del municipio en la reducción de contaminantes en sus vertimientos, de los objetivos de calidad y de la normatividad específica asociada al Río Bogotá, con la operación de los sistemas de tratamiento centralizados existentes y proyectados a nivel municipal a cargo de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado, sin perder de vista la complementariedad de otra práctica como la producción más limpia implementada por parte de los usuarios.

La importancia de los sistemas descentralizados por usuario se basa en el control de los vertimientos al sistema de alcantarillado desde los usuarios, la reducción de los costos de operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento centralizados y mejora de su eficiencia. Adicionalmente es una propuesta que permite fortalecer los procesos de reutilización del agua por parte de los usuarios, y avanzar hacia la especialización de sistemas de tratamiento según el usuario y las características de sus vertimientos para aprovechar al máximo el agua tratada y sus subproductos.

RECOMENDACIONES

- Frente a la necesidad de exigir mayor responsabilidad al usuario frente al manejo de sus vertimientos, se requiere generar e implementar una herramienta tecnológica de apoyo al usuario, para la selección de alternativas de tratamiento de aguas residuales sostenible, que adicional a identificar la clasificación general del sistema de tratamiento (sistema biológico o fisicoquímico), permita generar trenes de tratamiento con las condiciones y aspectos básicos que debe tener el sistema para su adecuado funcionamiento; que le permita al usuario tener conocimiento necesario para tomar decisiones frente al mejor manejo del agua residual que genera, favoreciendo argumentos de selección de alternativas de tratamiento de aguas residuales reduciendo sesgos comerciales. Adicionalmente se presenta un espacio para que las universidades aporten en el desarrollo de procesos de tratamiento de aguas residuales particulares, según las características del agua residual y el usuario, buscando maximizar la reutilización del agua tratada y sus subproductos.
- Las universidades deben ser partícipes del proceso de manejo del agua residual municipal al presentarse como actor que cuenta con personal experto en el tratamiento del agua residual y que por tanto puede fortalecer el proceso de direccionamiento al usuario con información para su selección de la alternativa de tratamiento y en otras medidas complementarias asociadas a la producción más limpia, que benefician el cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable para el vertimiento en sistemas de alcantarillado.
- Para fortalecer el manejo de vertimientos a nivel municipal se debe implementar un sistema de control de calidad del agua residual transportada en el sistema de alcantarillado, sistema que puede corresponder a tecnología de medición permanente o por medio de medición puntual con la participación de universidades y sus laboratorios, lo que permitirá identificar vertimientos de interés ambiental y sanitario.
- La escasa información de caracterización de los vertimientos generados por usuarios industriales, comerciales, especiales y oficiales, lo cual es clave para tomar decisiones frente a la gestión del agua residual municipal, representa un campo de trabajo relevante para las universidades, ya que por medio de la toma de muestras y caracterización del agua residual en sus laboratorios pueden generar un importante aporte de información.
- Considerando el impacto social que representa traer a luz publica el manejo de los vertimientos de cada uno de los usuarios y hacerlos actores relevantes en la gestión del agua residual municipal, es importante aclarar y especificar los aspectos asociados al "Control de vertimientos a la red de alcantarillado municipal" en el Contrato de Condiciones Uniformes y las causales de incumplimiento

a dicho contrato que puedan generar suspensión y corte del servicio, en favor de la empresa para el cumplimiento de su función establecida en el Decreto 3930 de 2010 de “*exigir respecto de los vertimientos que se hagan a la red de alcantarillado, el cumplimiento de la norma de vertimiento al alcantarillado público*” y la Resolución 631 de 2015, todo ajustado la ley, y de esta forma alcanzar el fortalecimiento y mejora constante del manejo integral del agua residual.

REFERENCIAS

Alcaldía Mayor de Bogotá et al., (2010). Guía para la gestión y manejo Integral de residuos Industria de Impresión y Litografía. Recuperado de: http://190.27.245.106/Residuos/impresion/files/guia_impresion-lit.pdf

Arboleda, J. (2008). Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. Medellín – Colombia. Recuperado de: http://www.kpesic.com/sites/default/files/Manual_EIA_Jorge%20Arboleda.pdf

ASOCOLFLORES. Guía Ambiental para la Floricultura. Recuperado de: http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resolución%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/AGRICOLA%20Y%20PECUARIO/Guia%20ambiental%20para%20el%20subsector%20Floricultor.pdf

Balkema, A. J., et al. (2002). Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. Urban Water. Vol. 4, pp.153-161.

Bandyopadhyay, G.; Chattopadhyay, S. (2007). Single hidden layer artificial neural network models versus multiple linear regression model in forecasting the time series of total ozone. International Journal of Environmental Science & Technology. Vol. 4, pp. 141-149.

Bernal, D.P et al., (2003). Guía de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas por métodos naturales. Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de aguas residuales.

Bowers, F. (2002). Characterizing Beauty Salon Wastewater for the Purpose of Regulating Onsite Disposal Systems. New Jersey. Department of Environmental Protection Division of Water Quality. Recuperado de: <http://www.state.nj.us/dep/dwq/pdf/salonreport.pdf>

Condorchem Envitech. et al. Tratamiento de efluentes en la industria de tratamiento de superficies. Recuperado de: <http://blog.condorchem.com/category/metal-mecanica-maquinaria-y-material-electrico/>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR]. (2017). Dirección de Evaluación, Seguimiento y Control Ambiental. Respuesta 20172104157 al radicado 20171102802.

Cortés M. et al., (2012). Liquid wastes: the case of beauty parlors UNICIENCIA 26, pp. 23-27.

Coskun A. et al., (2016), Hierarchical prioritization of innovative treatment systems for sustainable dairy wastewater management. Journal of Cleaner Production. Vol. 112, pp. 4605–4617.

COSUDE, et al. Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento. Recuperado de: <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t7.html>.

Deloya M. (2001). Biodiscos: una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales cuando no se dispone de grandes extensiones de terreno. Revista Tecnología en Marcha, Vol. 13, pp. 57-59.

Decreto 1076 (2015). Presidente de la República de Colombia. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, D. C. 26 mayo del año 2015. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=62511>

Díaz, E. et al., (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. Quivera. Vol. 14, pp. 78-97.

Ellis, K. V.; Tang, S. L. (1991). Wastewater treatment optimization model for developing world. I: Model development. Journal of Environmental Engineering. Vol. 117 (4), pp. 501 – 518.

Fane, S. (2005). Planning for sustainable urban water: Systems-approaches and distributed strategies. Recuperado de: <https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/20098/2/02whole.pdf>

- Galbán, L. (2012). El tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas como alternativa sostenible para el saneamiento periurbano en Cuba. *Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 30(1), pp. 29-35.
- Gikas, P. & Tchobanoglous, G. (2009). The role of satellite and decentralized strategies in water resources management. *Journal of Environmental Management*, 90, pp. 144–152.
- Gómez, Y. (2014). Las 87 ordenes del Consejo de Estado para salvar el río Bogotá. El fallo del alto tribunal ordena acciones que deben cumplirse entre tres meses y tres años. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/bogota/las-87-ordenes-del-consejo-de-Estado-Para-Salvar-EI-Rio-Bogota/13996316>.
- Guerrero, J. (1996). Tratamiento de aguas Residuales. UNISUR, Santafé de Bogotá, Pág. 223-224.
- Huang et al., (2011) Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment*. Vol. 409, pp. 3578 – 3594.
- Jaimes, I., et al. (2009). Universidad de La Salle. Proyecto de grado. Análisis comparativo de la remoción de fenoles en reactores de flujo a pistón con guadua y plantas macrófitas en el tratamiento de los vertimientos de la clínica veterinaria de la universidad de la Salle.
- Jeganathan, J. et al. (2006). Pre-treatment of high oil and grease pet food industrial wastewaters using immobilized lipase hydrolyzation. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 137, pp. 121 – 128.
- Karadag, D. et al. (2014). A review on anaerobic biofilm reactors for the treatment of dairy industry wastewater. *Process Biochemistry*. Vol. 50, pp. 262 – 271.
- Karimi et al., (2011). Selection of wastewater treatment process based on the analytical hierarchy process and fuzzy analytical hierarchy process methods. *International Journal of Environmental Science & Technology*. Vol. 8, pp. 267 – 280.
- Li-Kun, et al. (2011). Study the Ways to Forecast the Discharge of Restaurant Wastewater in Beijing. *Procedia Environmental Sciences*. Vol. 11, pp. 850 – 857.

Liu, V. et al., (2014). Treatability and kinetics studies of mesophilic aerobic biodegradation of high oil and grease pet food wastewater. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 112, pp. 87 – 94.

Maca, G. (2014). Evaluación económica de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Guadalajara de Buga. Recuperado de: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7150/1/0462002-p.pdf>.

Mansoorian, H. et al. (2014). Evaluation of dairy industry wastewater treatment and simultaneous bioelectricity generation in a catalyst-less and mediator-less membrane microbial fuel cell; *Journal of Saudi Chemical Society*. Vol. 20, pp. 88 – 100.

Massoud, M. et al. (2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, Vol. 90, pp. 652–659.

Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. Mc Graw Hill.

MINAMBIENTE. (2017). Tasa retributiva por vertimientos puntuales. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1434-plantilla-negocios-verdes-y-sostenibles-51>

Nemerow, N. (1998)., *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. Editorial Díaz de Santos S.A.

Noyola, M. (2013). *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Guía de Apoyo para Ciudades Pequeñas y Medianas*. México.

Orellana, J. (2005). *Ingeniería Sanitaria – UTN – FRRO*. Unidad temática No 9. Conducción de líquidos residuales.

Pipeline nesc. *Small Community Wastewater Issues Explained to the Public*. High – strength flows – not your average wastewater. Summer 2003. Vol. 14 No 3. Recuperado de: <http://infohouse.p2ric.org/ref/27/26737.pdf>

Resolución 631 (2015). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia, Bogotá D.C. 17 de Marzo de 2015. Recuperada en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/resoluciones>

Saaty, T., (1972). An Eigenvalue Allocation Model for Prioritization and Planning. Working paper. Energy Management and Policy Center, University of Pennsylvania.

Secretaria Distrital de Ambiente y Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2010). Guía para la gestión y manejo integral de residuos industria Metalmecánica. Recuperado de: http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/224727/guia_metalmecanica.pdf

Senante, M. et al. (2012). El estado actual y evolución del saneamiento y la depuración de aguas residuales en el contexto nacional e internacional.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2014). Régimen Básico. Recuperado de: <http://www.superservicios.gov.co/content/download/4977/47233>

Taylor, B. (2009). Introduction to Management Science: Global Ed., Pearson Education Inc.

Torres, P. (2012). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. *EIA. No 18, pp. 115 – 129.*

Toskano, G. (2005) El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Recuperado de: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/cap3.PDF.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Tratamiento de aguas residuales - características de las aguas residuales procedentes de empresas de alimentos. Recuperado de: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/contLinea/leccin_4_caractersticas_de_las_aguas_residuales_procedentes_de_empresas_de_alimentos.html

Wang, Z. et al, (2011). Characterization of membrane foulants in a full-scale membrane bioreactor for supermarket wastewater treatment. *Process Biochemistry*. Vol. 46, pp. 1001 – 1009.

Zeng, G., et al. (2007). Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. *Journal of Environmental Management*. Vol. 82, pp. 250 – 259.

Zulaikha, W. et al. (2014). Treatment of restaurant wastewater using ultrafiltration and nanofiltration membranes. *Journal of Water Process Engineering*. Vol. 2, pp. 58 – 62.

ANEXO 1. JERARQUIZACIÓN DE LOS USUARIOS ACORDE A SU IMPACTO AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO, DE TRATAMIENTO Y SISTEMAS HÍDRICOS POR VERTIMIENTO

Tabla 39. Evaluación del impacto por usuario – metodología E.P.M.

Usuario		Evaluación del impacto de cada usuario según metodología E.P.M.								
Tipo	Clasificación	Criterios de evaluación	(C)	(P)	(D)	(E)	(M)	Calificación ambiental (Ca)	Jerarquización (Relevancia de la alteración)	
Industrial	Elaboración de productos lácteos	Criterio 1	Negativa	0,4	0,3	1	0,5	-1,76	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,8	0,8	1	-8,00	Alta	
		Criterio 3	Negativa	1	0,8	1	1	-9,40	Alta	
		Criterio 4	Negativa	0,8	0,8	0,4	0,8	-3,71	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,7	0,8	0,4	0,5	-2,66	Baja	
		Criterio 6	Negativa	1	0,8	0,6	0,8	-5,76	Media	
		Criterio 7	Negativa	1	0,8	1	1	-9,40	Alta	
		Criterio 8	Negativa	1	0,6	0,8	1	-7,40	Alta	
	Ca, elaboración de productos lácteos								-48,09	Media
	Industria de alimentos preparados para animales	Criterio 1	Negativa	0,4	0,3	0,6	0,5	-1,20	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,8	0,8	1	-8,00	Alta	
		Criterio 3	Negativa	1	0,8	1	1	-9,40	Alta	
		Criterio 4	Negativa	0,8	0,8	0,4	0,8	-3,71	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,7	0,8	0,4	0,5	-2,66	Baja	
		Criterio 6	Negativa	1	0,8	0,6	0,6	-4,92	Media	
		Criterio 7	Negativa	1	0,8	1	0,8	-8,00	Alta	
		Criterio 8	Negativa	1	0,6	0,8	1	-7,40	Alta	
	Ca, preparado de alimentos para animales								-45,29	Media
	Industria elaboración de alimentos	Criterio 1	Negativa	0,4	0,3	0,5	0,5	-1,06	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,8	0,8	0,7	-6,32	Alta	
		Criterio 3	Negativa	1	0,5	1	0,7	-6,40	Alta	
		Criterio 4	Negativa	0,5	0,5	0,5	0,5	-1,63	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,5	0,8	0,5	0,5	-2,08	Baja	
		Criterio 6	Negativa	0,8	0,8	0,5	0,5	-3,32	Baja	
		Criterio 7	Negativa	1	0,8	1	0,5	-5,90	Media	
		Criterio 8	Negativa	0,8	0,5	0,6	0,6	-3,22	Baja	
	Ca, elaboración de alimentos								-29,92	Baja
	Ganadería de aves de corral: incubación, cría y beneficio	Criterio 1	Negativa	0,4	0,3	0,5	0,4	-0,92	Baja	
Criterio 2		Negativa	1	0,8	0,8	0,7	-6,32	Alta		
Criterio 3		Negativa	1	0,5	1	0,7	-6,40	Alta		
Criterio 4		Negativa	0,5	0,8	0,5	0,5	-2,08	Baja		
Criterio 5		Negativa	0,5	0,8	0,5	0,5	-2,08	Baja		
Criterio 6		Negativa	0,8	0,8	0,5	0,5	-3,32	Baja		
Criterio 7		Negativa	1	0,8	1	0,4	-5,20	Media		
Criterio 8		Negativa	0,8	0,5	0,6	0,5	-2,88	Baja		
Ca, ganadería de aves de corral								-29,19	Baja	

Tipo	Clasificación	Criterios de evaluación	(C)	(P)	(D)	(E)	(M)	Calificación ambiental (Ca)	Jerarquización (Relevancia de la alteración)	
Industrial	Fabricación de aparatos de uso doméstico	Criterio 1	Negativa	0,3	0,1	0,2	0,1	-0,13	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,1	0,3	0,1	-0,51	Baja	
		Criterio 3	Negativa	1	1	1	0,8	-8,60	Alta	
		Criterio 4	Negativa	0,2	0,1	0,2	0,1	-0,09	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,3	0,8	0,2	0,1	-0,76	Baja	
		Criterio 6	Negativa	0,3	0,8	0,2	0,1	-0,76	Baja	
		Criterio 7	Negativa	1	0,8	1	0,1	-3,10	Baja	
		Criterio 8	Negativa	0,8	1	1	1	-8,00	Alta	
		Ca, fabricación de aparatos de uso doméstico								-21,95
	Fabricación de maquinaria y equipos	Criterio 1	Negativa	0,3	0,2	0,2	0,1	-0,22	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,8	0,8	0,5	-5,20	Media	
		Criterio 3	Negativa	1	1	1	0,8	-8,60	Alta	
		Criterio 4	Negativa	0,5	0,8	0,3	0,2	-1,41	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,6	0,8	0,5	0,4	-2,28	Baja	
		Criterio 6	Negativa	0,4	0,8	0,5	0,2	-1,24	Baja	
		Criterio 7	Negativa	1	0,8	1	0,2	-3,80	Baja	
		Criterio 8	Negativa	1	1	0,9	1	-9,30	Alta	
		Ca, fabricación de maquinaria y equipos								-32,05
	Fabricación de plásticos en formas primarias, de formas básicas y artículos de plástico	Criterio 1	Negativa	0,2	0,1	0,2	0,1	-0,09	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,3	0,2	0,2	-1,18	Baja	
		Criterio 3	Negativa	0,8	0,3	1	0,2	-1,84	Baja	
		Criterio 4	Negativa	0,2	0,2	0,2	0,1	-0,15	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,2	0,8	0,2	0,1	-0,51	Baja	
		Criterio 6	Negativa	0,2	0,8	0,2	0,1	-0,51	Baja	
		Criterio 7	Negativa	1	0,8	1	0,1	-3,10	Baja	
		Criterio 8	Negativa	0,6	0,3	0,5	0,3	-1,17	Baja	
		Ca, fabricación de plásticos								-8,54
	Imprentas y litografías	Criterio 1	Negativa	0,2	0,1	0,3	0,1	-0,10	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,3	0,7	0,5	-3,35	Baja	
		Criterio 3	Negativa	1	0,8	1	0,8	-8,00	Alta	
		Criterio 4	Negativa	0,2	0,2	0,2	0,2	-0,18	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,7	0,8	0,4	0,4	-2,46	Baja	
		Criterio 6	Negativa	0,3	0,8	0,4	0,2	-0,89	Baja	
Criterio 7		Negativa	1	0,8	1	0,2	-3,80	Baja		
Criterio 8		Negativa	1	1	0,8	1	-8,60	Alta		
Ca, imprentas y litografías								-27,38	Baja	

Tipo	Clasificación	Criterios de evaluación	(C)	(P)	(D)	(E)	(M)	Calificación ambiental (Ca)	Jerarquización (Relevancia de la alteración)	
Industrial	Producción de rosas	Criterio 1	Negativa	0,2	0,1	0,3	0,1	-0,10	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,2	0,5	0,3	-1,65	Baja	
		Criterio 3	Negativa	1	0,8	1	0,8	-8,00	Alta	
		Criterio 4	Negativa	0,2	0,2	0,2	0,2	-0,18	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,2	0,8	0,3	0,2	-0,56	Baja	
		Criterio 6	Negativa	0,2	0,8	0,3	0,2	-0,56	Baja	
		Criterio 7	Negativa	1	0,8	1	0,2	-3,80	Baja	
		Criterio 8	Negativa	1	0,8	0,8	1	-8,00	Alta	
		Ca, producción de rosas								-22,86
	Fabricante y comercializador de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza	Criterio 1	Negativa	0,2	0,1	0,2	0,1	-0,09	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,3	0,2	0,2	-1,18	Baja	
		Criterio 3	Negativa	0,8	0,3	1	0,2	-1,84	Baja	
		Criterio 4	Negativa	0,2	0,2	0,2	0,1	-0,15	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,2	0,8	0,2	0,1	-0,51	Baja	
		Criterio 6	Negativa	0,2	0,8	0,2	0,1	-0,51	Baja	
		Criterio 7	Negativa	1	0,8	1	0,1	-3,10	Baja	
		Criterio 8	Negativa	0,6	0,3	0,5	0,3	-1,17	Baja	
		Ca, fabricante y comercializador de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de salud y belleza								-8,54
	Residencial	Criterio 1	Negativa	0,1	0,1	0,2	0,1	-0,04	Baja	
Criterio 2		Negativa	0,4	0,2	0,4	0,2	-0,46	Baja		
Criterio 3		Negativa	1	0,3	1	0,3	-3,00	Baja		
Criterio 4		Negativa	0,1	0,2	0,3	0,2	-0,10	Baja		
Criterio 5		Negativa	0,1	0,8	0,3	0,2	-0,28	Baja		
Criterio 6		Negativa	0,1	0,8	0,3	0,2	-0,28	Baja		
Criterio 7		Negativa	1	0,8	1	1	-9,40	Alta		
Criterio 8		Negativa	0,1	0,2	0,4	0,3	-0,14	Baja		
Ca, residencial								-13,72	Baja	
Comercial	Establecimientos de preparación y consumo de alimentos (Restaurantes, cafeterías, comidas rápidas, asaderos, pizzería, heladerías, fruterías, salsamentarias, panadería, piqueteaderos, postres, restaurantes escolares)	Criterio 1	Negativa	0,7	0,4	0,7	0,8	-3,58	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,8	0,8	0,8	-6,88	Alta	
		Criterio 3	Negativa	1	0,5	1	0,8	-7,10	Alta	
		Criterio 4	Negativa	1	0,5	0,7	0,7	-4,93	Media	
		Criterio 5	Negativa	0,8	0,8	0,6	0,6	-3,94	Baja	
		Criterio 6	Negativa	1	0,8	0,7	0,8	-6,32	Alta	
		Criterio 7	Negativa	1	0,8	1	0,9	-8,70	Alta	
		Criterio 8	Negativa	1	0,7	0,7	0,8	-6,02	Alta	
		Ca, establecimientos de preparación y consumo de alimentos								-47,47

Tipo	Clasificación	Criterios de evaluación	(C)	(P)	(D)	(E)	(M)	Calificación ambiental (Ca)	Jerarquización (Relevancia de la alteración)	
Comercial	Establecimientos de comercialización de alimentos (supermercados, minimercados, tiendas)	Criterio 1	Negativa	0,3	0,3	0,4	0,4	-0,61	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,4	0,5	0,4	-2,60	Baja	
		Criterio 3	Negativa	1	0,4	1	0,5	-4,70	Media	
		Criterio 4	Negativa	0,3	0,3	0,4	0,4	-0,61	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,3	0,8	0,4	0,4	-1,06	Baja	
		Criterio 6	Negativa	0,3	0,8	0,4	0,3	-0,97	Baja	
		Criterio 7	Negativa	1	1	1	0,6	-7,20	Alta	
		Criterio 8	Negativa	0,6	0,4	0,6	0,5	-1,98	Baja	
		Ca, establecimientos de comercialización de alimentos								-19,72
	Salas de belleza	Criterio 1	Negativa	0,3	0,2	0,2	0,3	-0,31	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,4	0,4	0,3	-2,04	Baja	
		Criterio 3	Negativa	1	0,8	1	0,5	-5,90	Media	
		Criterio 4	Negativa	0,3	1	0,3	0,3	-1,09	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,3	0,8	0,3	0,3	-0,91	Baja	
		Criterio 6	Negativa	0,3	0,8	0,3	0,3	-0,91	Baja	
		Criterio 7	Negativa	1	0,8	1	0,3	-4,50	Media	
		Criterio 8	Negativa	0,8	0,8	0,5	0,6	-3,60	Baja	
		Ca, salas de belleza								-19,25
	Expendio de carnes	Criterio 1	Negativa	0,3	0,2	0,2	0,3	-0,31	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,4	0,6	0,6	-3,72	Baja	
		Criterio 3	Negativa	1	0,5	1	0,6	-5,70	Media	
		Criterio 4	Negativa	0,3	1	0,3	0,3	-1,09	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,4	0,8	0,3	0,4	-1,30	Baja	
		Criterio 6	Negativa	0,4	0,8	0,4	0,4	-1,41	Baja	
		Criterio 7	Negativa	1	0,8	1	0,6	-6,60	Alta	
		Criterio 8	Negativa	0,8	0,8	0,5	0,6	-3,60	Baja	
		Ca, expendio de carnes								-23,72
	Veterinarias	Criterio 1	Negativa	0,2	0,2	0,4	0,3	-0,29	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,4	0,5	0,3	-2,25	Baja	
		Criterio 3	Negativa	1	0,4	1	0,4	-4,00	Media	
		Criterio 4	Negativa	0,2	0,3	0,4	0,3	-0,35	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,2	0,8	0,4	0,3	-0,65	Baja	
		Criterio 6	Negativa	0,2	0,8	0,4	0,2	-0,59	Baja	
		Criterio 7	Negativa	1	1	1	0,5	-6,50	Alta	
		Criterio 8	Negativa	0,6	0,4	0,6	0,4	-1,73	Baja	
		Ca, veterinarias								-16,35

Tipo	Clasificación	Criterios de evaluación	(C)	(P)	(D)	(E)	(M)	Calificación ambiental (Ca)	Jerarquización (Relevancia de la alteración)	
Comercial	Establecimientos de atención a la salud humana	Criterio 1	Negativa	0,3	0,1	0,2	0,1	-0,13	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,4	0,7	0,4	-3,16	Baja	
		Criterio 3	Negativa	1	1	1	0,8	-8,60	Alta	
		Criterio 4	Negativa	0,2	0,1	0,2	0,1	-0,09	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,4	0,8	0,3	0,2	-1,13	Baja	
		Criterio 6	Negativa	0,3	0,8	0,3	0,2	-0,85	Baja	
		Criterio 7	Negativa	1	0,8	1	0,6	-6,60	Alta	
		Criterio 8	Negativa	1	1	1	0,8	-8,60	Alta	
		Ca, establecimientos a la atención humana								-29,15
	Estaciones de servicio	Criterio 1	Negativa	0,4	0,3	0,5	0,5	-1,06	Baja	
		Criterio 2	Negativa	1	0,8	0,8	0,5	-5,20	Media	
		Criterio 3	Negativa	1	0,5	1	0,5	-5,00	Media	
		Criterio 4	Negativa	0,5	0,5	0,5	0,4	-1,45	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,5	0,8	0,5	0,4	-1,90	Baja	
		Criterio 6	Negativa	0,8	0,8	0,5	0,4	-3,04	Baja	
		Criterio 7	Negativa	1	0,8	1	0,4	-5,20	Media	
		Criterio 8	Negativa	0,8	0,5	0,6	0,5	-2,88	Baja	
		Ca, estaciones de servicio								-25,73
	Lavanderías	Indicador 1	Negativa	0,1	0,1	0,2	0,1	-0,04	Baja	
	Sastrerías	Indicador 2	Negativa	0,4	0,2	0,4	0,2	-0,46	Baja	
	Zapaterías	Indicador 3	Negativa	1	0,3	1	0,3	-3,00	Baja	
	Ferreterías	Indicador 4	Negativa	0,1	0,2	0,3	0,2	-0,10	Baja	
	Establecimientos internet	Indicador 5	Negativa	0,1	0,8	0,3	0,2	-0,28	Baja	
	Expendio de bebidas alcohólicas	Indicador 6	Negativa	0,1	0,8	0,3	0,2	-0,28	Baja	
	Establecimientos comerciales	Indicador 7	Negativa	0,8	0,8	1	0,1	-2,48	Baja	
	Talleres (vidrierías, bicicleterías, cerrajerías, talleres carros y motos)	Indicador 8	Negativa	0,1	0,2	0,4	0,2		-0,12	Baja
	Gimnasios y SPA									
Floristerías	Ca, grupo usuarios comerciales								-6,77	Baja
Especial		Criterio 1	Negativa	0,1	0,1	0,2	0,1	-0,04	Baja	
		Criterio 2	Negativa	0,4	0,2	0,4	0,2	-0,46	Baja	
		Criterio 3	Negativa	1	0,3	1	0,5	-4,40	Media	
		Criterio 4	Negativa	0,1	0,2	0,3	0,2	-0,10	Baja	
		Criterio 5	Negativa	0,1	0,8	0,3	0,2	-0,28	Baja	
		Criterio 6	Negativa	0,1	0,8	0,3	0,2	-0,28	Baja	
		Criterio 7	Negativa	0,8	0,8	1	0,4	-4,16	Media	
		Criterio 8	Negativa	0,1	0,2	0,4	0,2	-0,12	Baja	
		Ca, usuario especial								-9,85

Tipo	Clasificación	Criterios de evaluación	(C)	(P)	(D)	(E)	(M)	Calificación ambiental (Ca)	Jerarquización (Relevancia de la alteración)
Oficial		Criterio 1	Negativa	0,1	0,1	0,2	0,1	-0,04	Baja
		Criterio 2	Negativa	0,4	0,2	0,4	0,2	-0,46	Baja
		Criterio 3	Negativa	1	0,3	1	0,5	-4,40	Media
		Criterio 4	Negativa	0,1	0,2	0,3	0,2	-0,10	Baja
		Criterio 5	Negativa	0,1	0,8	0,3	0,2	-0,28	Baja
		Criterio 6	Negativa	0,1	0,8	0,3	0,2	-0,28	Baja
		Criterio 7	Negativa	0,8	0,8	1	0,4	-4,16	Media
		Criterio 8	Negativa	0,1	0,2	0,4	0,2	-0,12	Baja
		Ca, usuario oficial							

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
Criterio 1	Colapso de la red de alcantarillado y desbordamiento del agua residual
Criterio 2	Generación de gases malolientes
Criterio 3	Alteración de la calidad de agua residual transportada y tratada.
Criterio 4	Reducción de la velocidad del agua conducida
Criterio 5	Deterioro de la red de alcantarillado por procesos de corrosión
Criterio 6	Incremento de actividades de limpieza del sistema de alcantarillado
Criterio 7	Aporte al monto a pagar por tasa retributiva
Criterio 8	Alteración al sistema de tratamiento y al cuerpo de agua receptor final

ANEXO 2. ACTORES – MANEJO DE VERTIMIENTOS

Tabla 40. Actor No 1 de la Gestión de vertimientos

ACTOR	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	
FUNCIONES		LEGISLACIÓN
Expedir el Protocolo para el Monitoreo de los Vertimientos en Aguas Superficiales, Subterráneas.		Decreto 4728 de 2010 Presidente de la República de Colombia
Establecer los elementos, sustancias o parámetros contaminantes, objeto del cobro de la tasa retributiva		Decreto 2667 de 2012 Presidente de la República de Colombia
HERRAMIENTAS DE GESTIÓN		
Protocolo para el Monitoreo de Vertimientos		
Tasa Retributiva		

Tabla 41. Actor No 2 de la Gestión de vertimientos

ACTOR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR	
FUNCIONES		LEGISLACIÓN
Verificar el cumplimiento de la norma de vertimiento al alcantarillado público por parte de los suscriptores y/o usuarios del prestador del servicio público domiciliario de alcantarillado.		Resolución 0075 de 2011 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
Fijar valores más restrictivos a la norma de vertimiento que deben cumplir los vertimientos al cuerpo de agua o al suelo.		Decreto 3930 de 2010, Presidente de la República de Colombia
Cobrar la tarifa de la tasa retributiva. Cuando el usuario vierte a una red de alcantarillado, la CAR cobrará la tasa, únicamente a la entidad que presta el servicio de alcantarillado.		Decreto 2667 de 2012 Presidente de la República de Colombia
Definir los objetivos de calidad para el río Bogotá		Acuerdo 43 de 2006 Consejo Directivo de la CAR
Establecer la Meta Global de Reducción de cargas contaminantes de Demanda Bioquímica		Acuerdo 40 de 2009 Consejo Directivo de la CAR

de Oxígeno (DB0.) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) para los tramos del río Bogotá para la gestión de su descontaminación durante el quinquenio 2009 – 2014	
HERRAMIENTAS DE GESTIÓN	
Tasa Retributiva	
Objetivos de calidad del agua y metas de reducción de carga contaminante	
Rigor subsidiario de la norma de vertimientos	
Seguimiento a los usuarios del sistema de alcantarillado al cumplimiento de la norma de vertimientos	

Tabla 42. Actor No 3 de la Gestión de vertimientos

ACTOR	Empresa de Servicios Públicos de Cajicá	
FUNCIONES	LEGISLACIÓN	
Dar cumplimiento a la norma de vertimiento vigente y contar con el respectivo permiso de vertimiento o con el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos –PSMV	Decreto 3930 de 2010, Presidente de la República de Colombia	
Exigir respecto de los vertimientos que se hagan a la red de alcantarillado, el cumplimiento de la norma de vertimiento al alcantarillado público.		
Presentar anualmente a la CAR, un reporte con indicación del estado de cumplimiento de la norma de vertimiento al alcantarillado, de sus suscriptores y/o usuarios en cuyos predios o inmuebles se preste el servicio comercial, industrial, oficial y especial.		
Informar a la CAR cuando su usuario y/o suscriptor en cuyos predios o inmuebles se preste el servicio comercial, industrial, oficial y especial, no está en cumplimiento con la norma de vertimiento al alcantarillado público	Resolución 0075 de 2011 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	

<p>El Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos - PSMV contemplará las actividades e inversiones necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos y el cumplimiento de la meta individual establecida.</p>	
<p>Realizar pago del monto cobrado por concepto de la tasa retributiva, sin ser trasladados a sus suscriptores a través de la tarifa ni de cobros extraordinarios de los mayores valores cobrados por incumplimiento de los prestadores del servicio de alcantarillado en sus metas de carga contaminante o en el indicador de número de vertimientos puntuales eliminados por cuerpo de agua contenidos en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos.</p>	<p>Decreto 2667 de 2012 Presidente de la República de Colombia</p>
<p>Cobrar la prestación del servicio de alcantarillado, que incluye el costo medio de tasas ambientales (CMT), implementando los métodos alternativos establecidos para el cálculo del costo medio de la tasa, tanto para suscriptores con caracterización como para aquellos que carecen de la misma</p>	<p>Resolución 287 de 2004 de la CRA</p>
<p>HERRAMIENTAS DE GESTIÓN</p>	
<p>PSMV</p>	
<p>Norma de vertimientos</p>	
<p>Reporte anual a la autoridad ambiental del estado de los vertimientos de sus usuarios</p>	
<p>Facturación del servicio de alcantarillado, que incluye el costo de las tasas ambientales (Tasa retributiva)</p>	

Tabla 43. Actor No 4 de la Gestión de vertimientos

ACTOR	Usuario del Sistema de Alcantarillado	
FUNCIONES		LEGISLACIÓN
<p>Reubicar sus instalaciones, cuando quiera que no puedan garantizar la adecuada disposición de sus vertimientos, debido a que no disponen de área apropiada para la construcción de sistemas de control de contaminación y/o que no cumplen con las normas de vertimiento</p>		
<p>Cumplir con la norma de vertimientos vigente en cuyos predios o inmuebles se requiera de la prestación del servicio comercial, industrial, oficial y especial, por parte del prestador del servicio público domiciliario de alcantarillado.</p>		
<p>Presentar al prestador del servicio por parte de los suscriptores y/o usuarios en cuyos predios o inmuebles se requiera de la prestación del servicio comercial, industrial, oficial y especial, la caracterización de sus vertimientos, de acuerdo con la frecuencia que se determine en el Protocolo para el Monitoreo de los Vertimientos expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.</p>		<p>Decreto 3930 de 2010, Presidente de la República de Colombia.</p>
<p>Dar aviso a la entidad encargada de la operación de la planta tratamiento de residuos líquidos, cuando con un vertimiento ocasional o accidental puedan perjudicar su operación.</p>		
<p>Están exceptuados del permiso de vertimiento solicitado y tramitado ante la autoridad ambiental competente (Anexo 6)</p>		
<p>Suministrar a la CAR los resultados de los análisis y cuantificación de los parámetros aplicables definidos en la norma de vertimientos (Resolución 631 de 2015)</p>		<p>Resolución 631 de 2015 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</p>

Pagar el monto por tasa retributiva los usuarios que realicen vertimientos puntuales directa o indirectamente al recurso hídrico.	Decreto 2667 de 2012 Presidente de la República de Colombia
HERRAMIENTAS DE GESTIÓN	
Reubicación de sus instalaciones frente a incumplimiento de la norma de vertimientos	
Norma de vertimientos	
Caracterización de sus vertimientos	
Comunicación entre operador PTAR Municipal y usuario	
Pago de la Tasa retributiva	

ANEXO 3. OPERACIONES FÍSICAS Y PROCESOS BIOLÓGICOS – QUÍMICOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

Tabla 44. Operaciones físicas para el tratamiento del agua residual

Medición de caudal	Se emplea para el control y seguimiento de procesos internos e informes de descargas
Desbaste	Se emplea para la eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción. Es la primera operación unitaria que tiene lugar en las plantas de tratamiento.
Dilaceración	Se aplica para la trituración de sólidos gruesos hasta conseguir un tamaño más o menos uniforme
Homogeneización de caudales	Se aplica para la homogeneización del caudal y de las cargas de DBO y de Sólidos en suspensión y lograr mejora del tratamiento biológico, ya que elimina o reduce las cargas de choque, se diluyen las sustancias inhibitoras y se consigue estabilizar el pH, mejorar el rendimiento de los tanques de sedimentación secundaria al trabajar con cargas de sólidos constantes, reducir las superficies necesarias para la filtración del efluente, mejorar los rendimientos de los filtros, mejorar el control de la dosificación de reactivos y fiabilidad del proceso en el caso del tratamiento químico, mejora la mayoría de las operaciones y procesos de tratamiento, aumenta el rendimiento de las plantas de tratamiento que se encuentran sobrecargadas.
Mezclado	Aplicado para el mezclado de productos químicos y gases con el agua residual, y mantenimiento de los sólidos en suspensión.
Floculación	Provoca la agregación de pequeñas partículas aumentando el tamaño de las mismas, para mejorar su eliminación por sedimentación por gravedad
Sedimentación	Se aplica para la eliminación de sólidos sedimentables y espesado de fangos. Eliminación del 50 al 70% de materia suspendida, y eliminación del 30 al 40% de materia orgánica.
Sedimentación acelerada	Unidad empleada para la separación de sólidos empleando campos de aceleración diferentes a la gravedad, como la acción de la fuerza centrífuga y las velocidades inducidas.
Flotación	Unidad empleada para la eliminación de sólidos en suspensión finamente divididos y de partículas pequeñas o ligeras cuya deposición es lenta. Es utilizada para la remoción de grasas y aceites o material flotante. También espesa los fangos biológicos.
Filtración	Se emplea de forma generalizada para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión (incluida la DBO particulada) de los efluentes de procesos de tratamiento biológicos y químicos.
Transferencia de gases	Se aplica para la adición y eliminación de gases. Es un componente base para gran número de procesos de tratamiento del agua residual, como por ejemplo la transferencia de oxígeno en el tratamiento biológico del agua residual.

Fuente: Adaptada de Metcalf & Eddy, 1995

Tabla 45. Ficha técnica Lodos Activados de mezcla completo

Tecnología	Lodos Activados de mezclado completo
Descripción general	Proceso biológico con crecimiento de microorganismos en suspensión
eficiencias de remoción de contaminantes	Eficiencia de remoción: DBO (90-95%) , Sólidos Totales (80 - 95%)
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere aereadores o difusores para producir mezcla completa y agregar oxígeno al medio. • Requiere un sistema de retorno continuo de flóculos biológicos. • El tiempo de retención hidráulica es de 3 a 5 horas
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Efluente de buena calidad utilizando poco espacio, alta reducción de DBO y patógenos. • Flexibilidad de operación a través de un control racional de la biomasa presente en el proceso • Minimización de olores y ausencia de insectos • Puede incorporar Desnitrificación al proceso • No requieren tratamiento posterior de los lodos • Adaptable a distintos tipos de agua residual • Puede eliminar fenoles • Se han desarrollado muchas variantes del proceso de lodos activados. • Es el más popular de todos los procesos de tratamiento de agua residual • Muestra particular resistencia a los choques y sobrecargas • Se puede modificar para lograr límites de descarga específicos
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere una fuente constante de electricidad para su operación • Requieren mayor sofisticación y mantenimiento • Presenta dependencia con la temperatura del efluente y condiciones de entrada como pH y presencia de compuestos tóxicos • Riesgo de taponamiento de los dispositivos de aireación • Requiere operador capacitado • Es necesario un control operativo permanente • Alto costo de capital-inversión • Alto costo de operación, asociados especialmente a los requerimientos de oxígeno • Baja eficiencia de remoción de bacterias, con la consecuente necesidad de efectuar desinfección final del afluente • Proceso susceptible a producción de bulking filamentoso. • Propenso a complicados problemas químicos y microbiológicos • No todas las piezas y materiales pueden estar disponibles localmente • Requiere diseño y supervisión expertos

Fuente: Fundación Chile.

Tabla 46. Ficha técnica Filtros percoladores

Tecnología	Filtros percoladores
Descripción general	Dispositivo que pone en contacto al agua residual con microorganismos adheridos en forma de biopelícula a un empaque.
eficiencias de remoción de contaminantes	Eficiencia de remoción DBO (50-85%) , Sólidos Totales (60 - 85%)
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de empaques naturales (materiales pétreos) o sintéticos (diversas geometrías de piezas de plástico). • Requiere recirculación de una parte del agua tratada y un sedimentado secundario • Para solucionar problemas que pueda generar las condiciones climáticas, se opta por ser cubierto el sistema • Se requiere de bombeo para alimentar al filtro percolador
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere de poca energía para su funcionamiento • Es un sistema bastante flexible • Resulta eficaz en la eliminación de la materia orgánica • La recirculación del agua produce una autolimpieza del sistema. • Se ha empleado para remoción de cobre, tratamiento de lixiviados, tratamiento de afluentes de industrias de tintas y barnices, y depuración de agua residual de municipios pequeños • La operación es sencilla • Presenta costes de operación muy bajos • Son menos sensibles que los lodos activados a la presencia de sustancias tóxicas • Capaz de alcanzar consistentemente un efluente de buena calidad, • Estabilidad ante variaciones de la carga y concentración del afluente, • Producción de un lodo estable concentrado, en general bien floculado y fácil de decantar, • Se pueden emplear para desnitrificación. • Se requiere una pequeña área en comparación con los Humedales Artificiales • Se puede operar en varios índices de carga orgánica e hidráulica
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de malos olores, proliferación de moscas y caracoles • Pueden producir encharcamiento • El coste de su implantación se eleva si se usan empaques de plástico sintéticos • Se genera más lodos que en otros sistemas de tratamiento de aguas • Son vulnerables a las condiciones climáticas • Se producen obstrucciones en el filtro • Se requiere pretratamiento para prevenir las obstrucciones • Alto costo de capital –inversión y moderado costo de operación • Requiere diseño y construcción expertos • Requiere fuente constante de energía y flujo constante de aguas residuales • El sistema de dosificación requiere una ingeniería más compleja

Fuente: Tec Depur Ingeniería, 2013; Metcalf & Eddy, 1995; y COSUDE.

Tabla 47. Ficha técnica Sistema de Discos Biológicos Rotatorios/Biodiscos

Tecnología	Sistema de Discos Biológicos Rotatorios/Biodiscos
Descripción general	<ul style="list-style-type: none"> • Empaque circular giratorio en el cual se encuentra la biomasa adherida.
eficiencias de remoción de contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia de remoción DBO (80-85%) , Sólidos Totales (80 - 85%)
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere de una serie de discos rotativos, colocados en un eje horizontal e instalados en un tanque de almacenamiento de agua residual. • Usualmente está conectado a un sedimentador secundario, para separar la biopelícula y recolectar los lodos generados • Requiere engría para la rotación de los discos
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Es necesaria baja energía para accionarlos • Simplicidad en la gestión y mantenimiento • No requiere personal especializado • Fácil operación • No existen problemas de ruido • Puede eliminarse la sedimentación del agua antes de entrar al biodisco • No hay problema de moscas y malos olores • Se recuperan más rápido de la entrada de tóxicos al proceso otro proceso biológico • Menor sensibilidad a las variaciones de carga tanto orgánica como hidráulica • Remueve solventes, fenoles, cianuros. • No se necesita equipo de retrolavado • No presenta problemas de formación de espumas cuando el agua contiene tensoactivos • El requerimiento de área es menor frente a otros sistemas de tratamiento biológico, tiene reducidas dimensiones. • Se maneja en instalaciones modulares, que potencialidad su expansión. • Baja producción de lodos debido al uso de cultivo fijo • Tiempos de residencia bajos • El proceso no requiere recirculación y sus costos de operación son reducidos. • No requiere sistemas externos para aireación, ya que se genera por rotación y exposición de los discos al aire • Puede llegar a altas eficacias de remoción de materia orgánica y de nitrificación.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere tratamiento primario • Requiere un tiempo muy largo para alcanzar la estabilidad • No son efectivos cuando el agua residual contiene altas concentraciones de metales y ciertos pesticidas, heroicidad y compuestos orgánicos fuertemente clorados, toda vez que inhibe la actividad microbiana • Altos costos de instalación y mantenimiento debido principalmente a fallas en los ejes

	<ul style="list-style-type: none"> • Cada cierto tiempo se produce desprendimiento de la biopelícula, lo cual paraliza el proceso hasta que se produzca la recolonización. • Se afecta su eficiencia por variaciones notables del caudal y de la carga orgánica, alteraciones del pH • El mayor punto débil del sistema no está en el proceso biológico, sino en el mecánico, ya que el sistema se encuentra soportado en un eje metálico que descansa en rodamientos (chumaceras), elementos que pueden fallar durante la operación debido a desalineamiento o a mala lubricación.
--	--

Fuente: Deloya, 2001; Ordóñez et al., 2003; Metcalf & Eddy, 1995; y COSUDE.

Tabla 48. Ficha técnica Filtro sumergido aerobio

Tecnología	Filtro sumergido aerobio (FSA)
Descripción general	Tanque empacado con elementos plásticos, cerámicos o piedras de pequeño tamaño para la adherencia de microorganismos, y al cual se incorpora oxígeno.
eficiencias de remoción de contaminantes	Eficiencia de remoción DBO (93-98%) , Sólidos Totales (80-90%)
Requerimientos	Se requiere de elementos plásticos, cerámicos o piedras de pequeño tamaño, como también difusores colocados en el fondo del reactor.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Sus características le permiten alcanzar una concentración alta de microorganismos (adheridos y en suspensión). • Tiene la capacidad para el tratamiento de altas cargas de materia orgánica y estabilidad en su operación. • Sistema adecuado para manejar altas fluctuaciones de caudal. • Se obtiene una mayor capacidad de tratamiento sin necesidad de aumentar el volumen del estanque de aireación, lo que disminuye los requerimientos de superficie. • La operación es similar a la de lodos activados comunes • Produce menos cantidad de lodos • Tiene capacidad para el tratamiento de altas cargas de materia orgánica y estabilidad en su operación. • Maneja un amplio espectro de remoción de contaminantes
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • El uso del sistema en plantas de mayor tamaño se complica por el costo del empaque y/o la necesidad de estructuras civiles más resistentes y de mayor tamaño • Requiere de energía eléctrica para su operación

Fuente: Noyola, 2013; Metcalf & Eddy, 1995; COSUDE.

Tabla 49. Ficha técnica Humedal Artificial

Tecnología	SISTEMA NATURAL CONSTRUIDO – HUMEDAL ARTIFICIAL
Descripción general	Filtro de materiales granulares en donde se desarrolla un sistema de raíces de plantas, en donde el agua residual es tratada de forma aeróbica y anaeróbica.
eficiencias de remoción de contaminantes	Reducción significativa de DBO, sólidos y patógenos.
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Material granular, comúnmente grava. • Plantas que generalmente pertenecen al género <i>Phragmites</i> y <i>Thypha</i>, conocidos comúnmente como carrizos, tules o totora en los países andinos. • Se requiere remover el suelo del sitio que ocupará el sistema de tratamiento (1,5 metros de profundidad aprox). • La zona a intervenir debe ser impermeabilizada con arcilla compactada o con membranas plásticas (geotextiles), y eventualmente con una losa de cemento o asfalto.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • No requiere sistemas de aireación, las plantas aportan el oxígeno atmosférico requerido. • Bajo costo de operación y mantenimiento • Fácil mantenimiento • Produce un efluente de buena calidad. • Ofrece un aspecto agradable a la vista. • Se puede constituir como una reserva para la vida silvestre. • Los humedales construidos se han utilizado para tratar una amplia gama de aguas residuales: domésticas, industriales, agrícolas. • Purifican el agua mediante remoción del material orgánico (DBO) y SST, oxidando el amonio, reduciendo los nitratos, removiendo fósforo, procesos de absorción de metales pesados. • Reemplazan el tratamiento secundario e inclusive, bajo ciertas condiciones, al terciario y primario de las aguas residuales, ya que eliminan contaminantes mediante varios procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización. • Alta reducción de DBO y sólidos; eliminación moderada de patógenos • No requiere energía eléctrica • No hay problemas de moscas ni olores si se usan correctamente
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Alta demanda de área para su funcionamiento. • Puede facilitar la reproducción de mosquitos • Largo tiempo de arranque para operar a plena capacidad • Se requiere una gran área de terreno • Costo moderado de capital dependiendo de la tierra, recubrimiento, relleno, etc. • Bajo costo de operación • Se requiere pretratamiento para prevenir las obstrucciones

Fuente: Adaptada de Noyola 2013; Metcalf & Eddy, 1995; y COSUDE.

Tabla 50. Ficha técnica Sistemas Lagunares

Tecnología	Sistemas Lagunares
Descripción general	<p><i>Lagunas aerobias:</i> Sistemas en donde se aprovecha la simbiosis entre bacterias y algas para degradar la materia orgánica, en presencia de oxígeno.</p> <p><i>Lagunas anaerobias:</i> lagunas profundas que mantienen condiciones anóxicas y anaerobias, para la degradación de la materia orgánica.</p> <p><i>Lagunas facultativas:</i> Lagunas donde se encuentra una zona aerobia en la parte superior, anaerobia en la parte inferior y una zona intermedia con bacterias aerobias, anaerobias y facultativas.</p>
eficiencias de remoción de contaminantes	<p><i>Lagunas aerobias:</i> DBO5: 80 - 95%, SST: 85 - 95%,</p> <p><i>Lagunas anaerobias:</i> DBO5: 50-70%, SS: 20-60%</p> <p><i>Lagunas facultativas:</i> DBO: 80 - 90%, SS: 63-75%</p>
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Dos o tres estanques o lagunas, conectados en serie, cada una con características y objetivos específicos. • Se requiere remover el suelo del sitio que ocupará el sistema de tratamiento. • La zona a intervenir debe ser impermeabilizada con arcilla compactada o con membranas plásticas (geotextiles), y eventualmente con una losa de cemento o asfalto.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • La presencia de algas producen oxígeno, lo que mantiene concentraciones de oxígeno disuelto adecuadas • Son sistemas con altos % de remoción de DBO • Prácticamente no requiere equipo electromecánicos • Tiene los requerimientos más bajos de personal • Es capaz de producir agua apta para riego • Elimina coliformes cuando incluyen lagunas de pulimento al final del sistema. • Remueve contaminantes orgánicos biodegradables y, en algunos casos, nutrientes. • Alta reducción de patógenos • Bajo costo de operación • No requiere energía eléctrica • No hay problemas con moscas ni olores si se diseñan correctamente
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden producir malos olores. • Requiere elevada disponibilidad de área • Altos costos demandados después de un cierto número de años (5 años aprox), cuando el sistema requiere el retiro de los lodos acumulados. • Costos variables de capital dependiendo del precio de la tierra • El efluente y los lodos requieren tratamiento secundario y/o descarga adecuada

Fuente: Adaptada de Noyola M., 2013; Metcalf & Eddy, 1995; y COSUDE.

Tabla 51. Ficha técnica Reactor Anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente

Tecnología	Reactor Anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente UASB
Descripción general	Reactor con una cama de lodos (microorganismos anaerobios presentes en forma granular o floculada).
eficiencias de remoción de contaminantes	DBO (65-80%), DQO (60-80%), SS (60-70%)
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de campanas colectoras de biogás • La formación de un lodo biológicamente activo en el reactor, en forma de gránulos sedimentables
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • No requiere material de empaque para retener los microorganismos. • Puede operar con reducidos tiempos de retención hidráulica y con volúmenes de reactor limitados, conservando buenas eficiencias en la remoción de materia orgánica. • Aplicada para el tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica • Tiene capacidad de absorber picos orgánicos. • Dependiendo del tamaño de la planta de tratamiento, se puede producir energía a través de la combustión del metano en el biogás generado. • Es plenamente aceptado en sus aplicaciones para aguas residuales industriales • Su operación no depende del suministro de oxígeno y por lo tanto no se requieren equipos de aireación. • Alta reducción de la materia orgánica • Puede soportar un elevado índice de carga orgánica y de carga hidráulica. • Baja producción de lodos • Se puede usar el biogás como fuente de energía
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere medios de empaque o soporte • Se forman flóculos suaves y difíciles de sedimentar con aguas residuales con gran contenido de proteínas, a diferencia cuando su contenido es alto en carbohidratos o azúcares. • El funcionamiento depende de la amplia experiencia del diseñador. • Se requiere un adecuado sistema de pretratamiento, pues el ingreso de material que se sedimente o flote puede generar complicaciones operacionales y de mantenimiento. • Es difícil mantener las condiciones hidráulicas adecuadas (se debe equilibrar el flujo ascendente y el índice de sedimentación) • Tiempo de arranque prolongado • El tratamiento puede ser inestable con cargas hidráulicas y orgánica variables • Se requiere una fuente constante de electricidad • Es necesario que expertos se encarguen del diseño y la supervisión de la construcción

Fuente: Adaptada de Metcalf & Eddy, 1995; y COSUDE.

Tabla 52. Ficha técnica Reactores de lecho expandido o fluidizado

Tecnología	Reactores de lecho expandido o fluidizado
Descripción general	Reactores que operan con la biomasa expandida o fluidificada.
eficiencias de remoción de contaminantes	DQO (80-85%)
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuada granulación del lodo, pues de lo contrario, el lodo sale con el efluente. • Estructura cilíndrica con material de empaque de pequeño tamaño (no mayor a un milímetro de diámetro por lo general) donde se adhiere la biopelícula anaerobia. • Requiere agua con alta concentración de materia orgánica para favorecer la formación de granulación adecuada. Por lo que no aplica para agua residual doméstica. • Elevadas tasas de recirculación, por tanto sistema de bombeo del agua.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Alcanza alta eficiencia de remoción y admiten elevada carga orgánica. • Reactores orientados al tratamiento de aguas residuales industriales. • Elevada concentración de biomasa activa sobre las partículas de soporte. • Digestor menos sensible a componentes tóxicos del influente.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Son sistemas que tienen mayores requerimientos de operación y control. • La energía de bombeo necesaria para fluidizar el lecho puede ser importante.

Fuente: Adaptada de Metcalf & Eddy, 1995; y COSUDE.

Tabla 53. Ficha técnica Fosa Séptica

Tecnología	Fosa séptica
Descripción general	Dispositivos herméticamente cerrados y estancos, enterrados normalmente, en donde se decanta la materia sedimentable y la fracción orgánica se degrada en condiciones anaerobias.
eficiencias de remoción de contaminantes	DBO ₅ (30 a 40%), SST (50%)
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • El agua que se trata es principalmente de tipo doméstica proveniente de viviendas de comunidades rurales. • Mínimo está conformada por dos compartimentos • Requiere retirada periódica de lodos (purga) • El tiempo de retención debe ser de 48 horas para alcanzar un tratamiento moderado. • Las aguas provenientes de cocinas deben ser conducidas de forma previa a la cámara de retención de grasas. • Como se debe extraer lodo regularmente se requiere un mecanismo o un camión de vacío que tenga acceso a la ubicación. • Deben ser monitoreados los niveles de espuma y lodos

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • No precisan instalación de ningún equipo mecánico • No requiere energía eléctrica • Larga vida de servicio • No hay problemas con moscas ni olores si es usada correctamente • Bajos costos para instalación y moderados costos de operación dependiendo del agua y del vaciado • Se requiere una pequeña área de terreno
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Es rara vez usado como tratamiento unitario. • El efluente y los lodos requieren tratamiento secundario y/o una descarga apropiada • La tasa de acumulación es mayor que la tasa de descomposición • La eliminación de patógenos no es alta • Baja reducción de patógenos, sólidos y materiales orgánicos • Requiere una fuente constante de agua

Fuente: Adaptada de Metcalf & Eddy, 1995; y COSUDE.

Tabla 54. Ficha técnica Tanque Imhoff

Tecnología	Tanque Imhoff
Descripción general	depósito único en el que se distinguen 3 compartimento: Cámara de sedimentación o decantación, Cámara de digestión de lodos, Área de ventilación y cámara de natas.
eficiencias de remoción de contaminantes	DBO ₅ (25-60%), SST (37- 82%)
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere que los fangos generados se retiran cada 6 meses • Retención hidráulico (3 horas)
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Esta técnica se usan como tratamiento previo, sustituyendo en muchas ocasiones al desbaste o tamizado • El lodo se seca y se evacua con más facilidad que el precedente de los tanques sépticos • No necesitan tratamiento preliminar, salvo el paso por una criba gruesa y la separación de las arenas • No precisan instalación de ningún equipo mecánico • Permiten caudales un poco más altos (100 m³/día) que las fosas sépticas • Posibilidad de reaprovechamiento del gas metano, para generar electricidad • Se pueden usar los lodos para hacer compost.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Rara vez se usan como tratamiento unitario • Son estructuras profundas (> 6m) • Genera grasas y flotantes • Necesidad del tratamiento de sus efluentes, ya que puede contener probablemente un elevado número de agentes patógenos • No se puede emplear el efluente para regar cultivos ni descargarse en canales sino debe de ser tratada por un tratamiento secundario.

Fuente: Adaptada de Metcalf & Eddy, 1995; y COSUDE

Tabla 55. Ficha técnica Reactor de Contacto Anaerobio

Tecnología	Reactor de Contacto Anaerobio
Descripción general	Reactor completamente mezclado y calentado acoplado a un decantador que separa la biomasa para que sea recirculada al reactor.
eficiencias de remoción de contaminantes	Eficiencia de remoción DQO (75 - 90%)
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de un sistema de desgasificación entre el reactor y el decantador.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Se ha aplicado en el tratamiento de aguas residuales concentradas aunque • Se puede emplear para estabilizar residuos industriales con alto contenido en DBO, como industrias cárnicas y otras de alto contenido orgánico en estado soluble. • Tiempo de detención hidráulica de 2-10h. • Arranque rápido con inóculo adecuado. • Se puede incorporar carbón activado en polvo para tratar aguas con compuestos. • Puede admitir aguas con compuestos que forman precipitados. • Soporta sobrecargas orgánicas
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • En la actualidad ha sido ya sustituido por otras tecnologías más eficientes y compactas. • Costos energéticos asociados al mezclado y recirculación. - • Operación relativamente delicada. • Límite para recibir cargas orgánicas • Grandes tiempos de retención hidráulica (TRH), grandes volúmenes de reactor consecuentemente. • Alta dependencia de la difícil sedimentación del lodo anaerobio

Fuente: Adaptada de Metcalf & Eddy, 1995; y COSUDE.

Tabla 56. Ficha técnica Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

Tecnología	Filtro Anaerobio de Flujo ascendente (FAFA)
Descripción general	Reactor inundado de flujo ascendente o descendente empacado con soportes plásticos o piedras, que permite la interacción entre el sustrato en el agua residual y el microorganismo adherido al empaque.
eficiencias de remoción de contaminantes	Eficiencia de remoción DBO (50-80%), DQO (75 - 85%), SS (60-70).
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Normalmente es necesario introducir una etapa de postratamiento al filtro anaerobio para alcanzar condiciones de descarga acordes con la normativa ambiental • cuerpo poroso (piedra, grava, piedras quebradas, carboncillo, o piezas de plástico), soporte de biopelícula de microorganismos • Tiempo de retención hidráulica entre 0,5 y 1,5 días • Sólo es apropiada si el uso de agua es • Requiere suministro de agua constante

	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere un tanque de sedimentación antes del filtro para evitar que la mayoría de los sólidos entren en la unidad. • Debe ser limpiado cuando baje su eficiencia.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Resistente a cargas de choque orgánicas e hidráulicas • Se puede colocar después de una fosa séptica con el fin de retener sólidos y flotantes. • Tecnología fácilmente adaptable • No requiere energía eléctrica • Larga vida útil • Una vez estable requiere poca atención • Puede ser construido sobre o bajo tierra. • Puede ser instalado en todo tipo de clima aunque su eficiencia se reduce en climas más fríos • Costos de instalación moderados, costos de operación moderados. • Alta reducción de DBO y SST
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere una fuente constante de agua • Baja eliminación de patógenos y nutrientes • El efluente requiere tratamiento secundario y/o descarga adecuada • Largo tiempo de arranque requerido por la biomasa para estabilizarse (6 a 9 meses)

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995.

Tabla 57. Ficha técnica Precipitación Química

Tecnología	PRECIPITACIÓN QUÍMICA
Descripción general	Es la adición de productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, y facilitar su eliminación por sedimentación. Hace parte de los procesos y operaciones unitarias aplicadas para el tratamiento avanzado del agua.
eficiencias de remoción de contaminantes	Eficiencia de remoción de DBO5 40 - 70%, SST 80 - 90%, DQO 30-60 % y entre el 80 al 90% de las bacterias.
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Se emplea diversidad de productos químicos como: sulfato de alúmina, cloruro férrico, sulfato ferroso o cal (agentes de precipitación). • El grado de clarificación resultante depende tanto de la cantidad de producto químico aplicado como del nivel de control de los procesos.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • En comparación con los procesos biológicos, este proceso es más fácil de operar. • Permite operar a mayores tasas superficiales, por lo tanto permite operar con sedimentadores más pequeños. • Permite reducir el tamaño de las unidades siguientes o de incrementar la capacidad de las plantas convencionales existentes. • Es el esquema de tratamiento más económico en el cual el efluente puede ser adecuadamente desinfectado. • Rápida recuperación después de un problema operacional (~2 hrs). • Se emplea para la eliminación de compuestos orgánicos, de nutrientes (fósforo) y mejorar la eliminación de sólidos en suspensión en las instalaciones de sedimentación primaria, elimina igualmente algunos metales pesados.

Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Alta producción de lodos. • Los lodos tienen un alto contenido de agua y contienen diferentes compuestos, lo que puede hacer que el proceso de deshidratación y secado del lodo sea más complejo y generar inconvenientes para su disposición. • Menor eficiencia de remoción de DBO y SST que tratamientos biológicos • La adición de coagulante en exceso puede disminuir la efectividad del tratamiento. • Nitrógenos son levemente removidos o alterados durante el proceso. • Este proceso puede implicar trabajar con productos químicos corrosivos aumentando los riesgos de seguridad para el operador. • Al utilizar reactivos químicos aumentará la concentración de los componentes de dichos reactivos en las aguas residuales tratada, lo cual puede ser un grave inconveniente si estas aguas quieren ser reutilizadas.
-------------	---

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995.

Tabla 58. Ficha técnica Adsorción

Tecnología	ADSORCIÓN
Descripción general	Proceso por el cual los iones o las moléculas son retenidos sobre la superficie de un sólido. Un ejemplo de este proceso es el tratamiento del agua residual con carbón activado.
Requerimientos	Está considerado como un proceso de refinado de aguas que ya han recibido un tratamiento biológico o químico, y se emplea para eliminar parte de la materia orgánica disuelta o eliminar parte de la materia particulada.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede emplear para la eliminación de compuestos orgánicos naturales y sintéticos entre los que se incluyen los COVs; pesticidas; PCBs; metales pesados. • También se emplea para declorar el agua residual antes de su vertido final.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Es un proceso que no se emplea a menudo • Requiere un tratamiento previo biológico o químico.

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995.

Tabla 59. Ficha técnica Coagulación - Floculación

Tecnología	COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN
Descripción general	Es la adición al agua de sustancias (coagulantes y floculantes), para la eliminación de partículas en suspensión de tamaño muy pequeño (suspensión coloidal), por medio de la formación de agregados o flóculos. Se emplea especialmente para tratar la turbidez y color del agua.
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Se emplean coagulantes como sales de hierro, aluminio, polielectrolitos, etc. • Se requiere agitación del agua de forma mecánica o con aire.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • La coagulación química, junto con la sedimentación y filtración, se aplican para eliminar metales pesados y PCBs • Se emplea para aumentar la eliminación de sólidos en suspensión y de DBO en las instalaciones de decantación primaria, para acondicionar

	el agua residual que contenga vertidos industriales y mejorar la eficiencia de los decantadores secundarios especialmente cuando son procesos de fangos o lodos activados.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • No se suele incluir en las instalaciones típicas de tratamiento

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995.

Tabla 60. Ficha técnica Intercambio iónico

Tecnología	INTERCAMBIO IÓNICO
Descripción general	Es un proceso unitario en el que los iones de las diferentes especies en disolución desplazan a los iones insolubles de un determinado material de intercambio. Proceso que hace parte del tratamiento avanzado del agua residual.
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Se emplea material de intercambio, como resinas catiónicas o aniónicas • Se requiere regeneración de la resina, cuando se agota su capacidad, empleando según la resina sustancias como ácido sulfúrico o hidroclicórico, también el hidróxido de sodio. • Antes del uso de la unidad de intercambio iónico, es necesario un tratamiento químico y de decantación.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Se emplea especialmente en el ablandamiento (reducción de la dureza generado por iones de calcio y magnesio) de aguas residuales doméstica, reducción de sólidos disueltos totales
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Las elevadas concentraciones de sólidos en suspensión en el agua que entra en las unidades de proceso pueden taponar los lechos de intercambio iónico, provocando grandes pérdidas de carga y rendimientos ineficaces. • Las resinas de intercambio iónico son selectivas, por lo que algunos iones al final tan solo se eliminan parcialmente. • Para todos los procesos y operaciones de tratamiento avanzado del agua residual, se les asocian factores que se pueden oponer a su implantación, tales como el coste, necesidades de explotación y consideraciones estéticas.

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995.

Tabla 61. Ficha técnica Filtración con membranas - ultrafiltración

Tecnología	FILTRACIÓN CON MEMBRANAS - ULTRAFILTRACIÓN
Descripción general	Son operaciones que emplean membranas porosas para la eliminación de materia disuelta y coloidal. Proceso que hace parte del tratamiento avanzado del agua residual.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Se emplean para eliminar materia coloidal y moléculas de gran tamaño con pesos moleculares superiores a 5.000. Incluye la eliminación de aceites y de la turbidez. • El agua efluente bajo ciertas condiciones puede ser empleada como fuente alimentadora de la ósmosis inversa.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Para todos los procesos y operaciones de tratamiento avanzado del agua residual, se les asocian factores que se pueden oponer a su implantación, tales como el coste, necesidades de explotación y consideraciones estéticas.

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995.

Tabla 62. Ficha técnica Osmosis Inversa

Tecnología	OSMOSIS INVERSA
Descripción general	Es un proceso en el que se separa el agua de las sales disueltas en disolución mediante la filtración a través de una membrana semipermeable a una presión superior a la presión osmótica provocada por las sales disueltas en el agua residual
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Emplea una membrana, una estructura de soporte de la membrana, un recipiente contenedor y una bomba de alta presión. • Para que el funcionamiento de la osmosis inversa sea el adecuado, es necesario conseguir un afluente de gran calidad. Toda vez que la presencia de material coloidal puede provocar fallos en las membranas. • Requiere lavados químicos regulares para restaurar el flujo en la membrana.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Elimina la materia orgánica disuelta que no es susceptible de ser eliminada con otras técnicas de desmineralización
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado coste

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995.

ANEXO 4. CALCULO TAMAÑO DE LA MUESTRA

Ecuación empleada para determinar el tamaño de muestra:

$$n = \frac{\sigma^2 z^2}{e^2} \quad (6)$$

Donde

n = Tamaño de la muestra

σ^2 = Varianza

z = Nivel de confianza (95%)

e = Error máximo admisible (2%)

Tabla 63. Calculo tamaño de la muestra

USUARIO	Tamaño de la muestra (n)	σ^2	z^2	e^2
Restaurantes	3,75	0,000390827	3,8416	0,0004
Empresa lácteos	2,32	0,000241879	3,8416	0,0004

En el caso de los dos fabricantes y comercializadores de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza fue posible obtener la información de un usuario y no se logró obtener respuesta de la industria de alimento para animales.

ANEXO 5. METODOLOGIA AHP – MATRICES

5.1. Construcción y desarrollo de la Matriz de Comparación por Pares (MCP) de subcriterios:

5.1.1. Determinación del orden de preferencia de los subcriterios:

Se solicitó a los usuarios según tamaño de la muestra (n) e información disponible, de forma presencial, vía telefónica o por correo electrónico, el orden de preferencia de los subcriterios de priorización. Se presenta a continuación el orden de preferencia establecida por los diferentes tipos de usuarios analizados:

Tabla 64. Orden de preferencia – usuarios de establecimientos de preparación y comercialización de alimentos

Subcriterio	Restaurante(a)	Restaurante(b)	Restaurante(c)	Restaurante(d)
Rendimiento o eficiencia	1	1	1	1
Inversión total de capital	1	1	3	3
O y M Costo	1	1	2	2
Generación de olor y ruido	1	1	3	3
Complejidad	2	1	5	5
Requisitos del terreno	2	1	4	4

Donde, 1 representa el mayor grado de preferencia.

Tabla 65. Orden de preferencia – usuarios que elaboran y producen lácteos

Subcriterio	Empresa (a)	Empresa (b)
Rendimiento o eficiencia	1	1
Inversión total de capital	2	5
O y M Costo	2	2
Generación de olor y ruido	3	3
Complejidad	3	4
Requisitos del terreno	4	5

Se realizó solicitud de información de forma telefónica y por correo electrónico a los tres (3) usuarios identificados como industrias de alimentos preparados para animales, respecto al orden de preferencia de los subcriterios; sin obtener respuesta alguna de ninguna de las empresas contactadas. En este sentido, se propuso por el autor el orden de prioridad de los subcriterios a partir de las propuestas de orden de subcriterios establecidas por los usuarios industriales de producción de lácteos y de ortopédicos. El orden propuesto es el siguiente:

Tabla 66. Orden de preferencia – usuarios que preparan alimentos para animales.

Subcriterio	Orden prioridad
Rendimiento o eficiencia	1
Inversión total de capital	3
O y M Coste	2
Generación de olor y ruido	3
Complejidad	4
Requisitos del terreno	5

Se realizó solicitud de información de forma telefónica y por correo electrónico a los dos (2) usuarios identificados con actividad direccionada a la fabricación y comercialización de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza, respecto al orden de preferencia de los subcriterios, obteniéndose respuesta únicamente de uno de los usuarios. Orden presentado a continuación:

Tabla 67. Orden de preferencia – usuarios que fabrican y comercializan productos ortopédicos

Subcriterio	Empresa 1
Rendimiento o eficiencia	1
Inversión total de capital	2
O y M Costo	2
Generación de olor y ruido	4
Complejidad	5
Requisitos del terreno	3

5.1.2. Construcción la Matriz de Comparación por Pares (MCP) de subcriterios:

Se construyó la matriz de comparación entre subcriterios para cada tipo de usuario analizado, con el objetivo de establecer su nivel de importancia empleando la escala de preferencia estándar en un rango de 1 a 5, considerando que entre mayor importancia o preferencia del criterio tiene un mayor peso (ver Tabla 68).

El AHP utiliza una escala de preferencia con 9 valores y juicios de 1 a 9 para calificar las preferencias relativas entre dos elementos (Toskano, 2005); sin embargo, emplear tantos juicios se convirtió en un proceso más confuso para ser aplicado con los usuario. En este sentido, para facilitar la toma de decisiones y evitar confuciones por el usuario, se redujo el listado de juicios a 5.

Tabla 68. Escala de preferencia estándar

Juicios verbales de preferencia	Calificación
Igualmente preferido	1
Moderadamente preferido	2
Fuertemente preferido	3
Muy fuertemente preferido	4
Extremadamente preferido	5

Fuente: Autor, modificado de metodología AHP

La calificación expuesta en cada matriz esta propuesta por el autor, respetando el orden de preferencia de los subcriterios establecido por los usuarios y buscando establecer que la matriz alcance una Relación de Consistencia (RC) inferior a 0,10.

Es de aclarar que se realizaron todas las matrices de comparación con el aporte del autor para organizar la información basándose en el orden de preferencia o prioridad previamente establecidos por el usuario, debido a la dificultad encontrada al diligenciar la matriz completamente con el usuario, dadas las siguientes situaciones: el manejo de vertimientos es un tema poco manejado por el usuario, la dificultad en mantener coherencia entre los juicios en la matriz por parte del usuario que conlleve a un RC inferior a 0,10 y adicionalmente la mínima disponibilidad de tiempo del usuario para atender el ejercicio de diligenciamiento de la matriz.

A continuación se presenta la Matriz de Comparación por Pares, para cada uno de los usuarios analizados:

Tabla 69. Matriz de Comparación por Pares – Restaurante (a)

Subcriterio	Rendimiento o eficacia (I1)	Complejidad (I2)	Requisitos de terreno (I3)	Inversión total de capital (I4)	O y M costo (I5)	Generación de olores y ruido (I6)
Rendimiento o eficacia (I1)	1	2	2	1	1	1
Complejidad (I2)	½	1	1	½	½	½
Requisitos de terreno (I3)	½	1	1	½	½	½
Inversión total de capital (I4)	1	2	2	1	1	1
O y M costo (I5)	1	2	2	1	1	1
Generación de olores y ruido (I6)	1	2	2	1	1	1

Tabla 70. Matriz de Comparación por Pares - Restaurante (b)

Subcriterio	Rendimiento o eficacia (I1)	Complejidad (I2)	Requisitos de terreno (I3)	Inversión total de capital (I4)	O y M costo (I5)	Generación de olores y ruido (I6)
Rendimiento o eficacia (I1)	1	1	1	1	1	1
Complejidad (I2)	1	1	1	1	1	1
Requisitos de terreno (I3)	1	1	1	1	1	1
Inversión total de capital (I4)	1	1	1	1	1	1
O y M costo (I5)	1	1	1	1	1	1
Generación de olores y ruido	1	1	1	1	1	1

Tabla 71. Matriz de Comparación por Pares - Restaurante (c y d)

Subcriterio	Rendimiento o eficacia (I1)	Complejidad (I2)	Requisitos de terreno (I3)	Inversión total de capital (I4)	O y M costo (I5)	Generación de olores y ruido (I6)
Rendimiento o eficacia (I1)	1	5	4	3	2	3
Complejidad (I2)	1/5	1	1/3	1/4	1/5	1/4
Requisitos de terreno (I3)	1/4	3	1	1/3	1/4	1/3
Inversión total de capital (I4)	1/3	4	3	1	1/2	1
O y M costo (I5)	1/2	5	4	2	1	2
Generación de olores y ruido (I6)	1/3	4	3	1	1/2	1

Tabla 72. Matriz de Comparación por Pares – Empresa Láctea (a)

Subcriterio	Rendimiento o eficacia (I1)	Complejidad (I2)	Requisitos de terreno (I3)	Inversión total de capital (I4)	O y M costo (I5)	Generación de olores y ruido (I6)
Rendimiento o eficacia (I1)	1	3	4	2	2	3
Complejidad (I2)	1/3	1	2	1/2	1/2	1
Requisitos de terreno (I3)	1/4	1/2	1	1/3	1/3	1/2
Inversión total de capital (I4)	1/2	2	3	1	1	2
O y M costo (I5)	1/2	2	3	1	1	2
Generación de olores y ruido (I6)	1/3	1	2	1/2	1/2	1

Tabla 73. Matriz de Comparación por Pares – Empresa Láctea (b)

Subcriterio	Rendimiento o eficacia	Complejidad	Requisitos de terreno	Inversión total de capital	O y M coste	Generación de olores y ruido
Rendimiento o eficacia	1	4	5	5	2	3
Complejidad	1/4	1	2	2	1/3	1/2
Requisitos de terreno	1/5	1/2	1	1	1/4	1/3
Inversión total de capital	1/5	1/2	1	1	1/4	1/3
O y M costo	1/2	3	4	4	1	2
Generación de olores y ruido	1/3	2	3	3	1/2	1

Tabla 74. Matriz de Comparación por pares de subcriterios – Industria de alimentos preparados para animales

Subcriterio	Rendimiento o eficacia (I1)	Complejidad (I2)	Requisitos de terreno (I3)	Inversión total de capital (I4)	O y M coste (I5)	Generación de olores y ruido (I6)
Rendimiento o eficacia (I1)	1	4	5	3	2	3
Complejidad (I2)	1/4	1	3	1/3	1/4	1/3
Requisitos de terreno (I3)	1/5	1/3	1	1/4	1/5	1/4
Inversión total de capital (I4)	1/3	3	4	1	1/3	1
O y M coste (I5)	1/2	4	5	3	1	2
Generación de olores y ruido (I6)	1/3	2	4	1	1/2	1

Tabla 75. Matriz de Comparación por Pares – Empresa a Fabricante y comercializador de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza.

Subcriterio	Rendimiento o eficacia	Complejidad	Requisitos de terreno	Inversión total de capital	O y M coste	Generación de olores y
Rendimiento o eficacia	1	5	3	2	2	4
Complejidad	1/5	1	1/3	1/4	1/4	1/2
Requisitos de terreno	1/3	3	1	1/3	1/3	2
Inversión total de capital	1/2	4	3	1	1	2
O y M costo	1/2	4	3	1	1	2
Generación de olores y ruido	1/4	2	1/2	1/2	1	1

5.2. Desarrollo de la Matriz Normalizada (MCN) de los subcriterios

Matriz resultado de la división de cada número de una columna de la Matriz de Comparación por pares y la suma total de la columna.

Como ejemplo de desarrollo de la Matriz Normalizada, a continuación se presenta la matriz resultado para dos tipos de usuarios:

Tabla 76. Matriz Normalizada de los subcriterios - Restaurante (c y d)

	Rendimiento o eficacia (I1)	Complejidad (I2)	Requisitos de terreno (I3)	Inversión total de capital (I4)	O y M coste (I5)	Generación de olores y ruido (I6)
Rendimiento o eficacia (I1)	0,382	0,227	0,261	0,396	0,449	0,396
Complejidad (I2)	0,076	0,045	0,022	0,033	0,045	0,033
Requisitos de terreno (I3)	0,096	0,136	0,065	0,044	0,056	0,044
Inversión total de capital (I4)	0,127	0,182	0,196	0,132	0,112	0,132
O y M coste (I5)	0,191	0,227	0,261	0,264	0,225	0,264
Generación de olores y ruido (I6)	0,127	0,182	0,196	0,132	0,112	0,132

Tabla 77. Matriz Normalizada de los subcriterios – Empresa Láctea (a)

	Rendimiento o eficacia (I1)	Complejidad (I2)	Requisitos de terreno (I3)	Inversión total de capital (I4)	O y M coste (I5)	Generación de olores y ruido (I6)
Rendimiento o eficacia (I1)	0,343	0,316	0,267	0,375	0,375	0,316
Complejidad (I2)	0,114	0,105	0,133	0,094	0,094	0,105
Requisitos de terreno (I3)	0,086	0,053	0,067	0,063	0,063	0,053
Inversión total de capital (I4)	0,171	0,211	0,200	0,188	0,188	0,211
O y M coste (I5)	0,171	0,211	0,200	0,188	0,188	0,211
Generación de olores y ruido (I6)	0,114	0,105	0,133	0,094	0,094	0,105

5.3. Identificación del vector de prioridad para el criterio

Vector producto del cálculo del promedio de cada fila de la Matriz Normalizada. Se presenta a continuación el vector de prioridad para cada tipo de usuario analizado:

Tabla 78. Vector de Prioridad por criterio – establecimientos de preparación y consumo de alimentos

Criterio	vector de prioridad por Subcriterio Restaurante (a)	vector de prioridad por Subcriterio Restaurante (b)	vector de prioridad por Subcriterio Restaurante (c) y (d)
Rendimiento o eficacia (I1)	0,20	0,17	0,35
Complejidad (I2)	0,10	0,17	0,04
Requisitos de terreno (I3)	0,10	0,17	0,07
Inversión total de capital (I4)	0,20	0,17	0,15
O y M coste (I5)	0,20	0,17	0,24
Generación de olores y ruido (I6)	0,20	0,17	0,15
<i>Cociente de Consistencia (RC)</i>	0,00	0,00	0,035

Tabla 79. Vector de Prioridad por criterio – empresas que laboran productos lácteos

Criterio	vector de prioridad por Subcriterio empresa láctea (a)	vector de prioridad por Subcriterio empresa láctea (b)
Rendimiento o eficacia (I1)	0,33	0,38
Complejidad (I2)	0,11	0,10
Requisitos de terreno (I3)	0,06	0,06
Inversión total de capital (I4)	0,19	0,06
O y M costo (I5)	0,19	0,25
Generación de olores y ruido (I6)	0,11	0,16
<i>Cociente de Consistencia (RC)</i>	0,086	0,013

Tabla 80. Vector de prioridad por criterio– Industria de alimentos preparados para animales

Subcriterio	Vector de prioridad para el subcriterio
Rendimiento o eficiencia	0,35
Inversión total de capital	0,14
O y M Costo	0,26
Generación de olor y ruido	0,14
Complejidad	0,07
Requisitos del terreno	0,04
<i>Cociente de Consistencia (RC)</i>	0,029

Tabla 81. Vector de Prioridad por Criterio - Fabricante y comercializador de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza.

Subcriterio	Vector de prioridad para el Subcriterio
Rendimiento o eficacia (I1)	0,33
Complejidad (I2)	0,05
Requisitos de terreno (I3)	0,11
Inversión total de capital (I4)	0,20
O y M costo (I5)	0,20
Generación de olores y ruido (I6)	0,10
<i>Cociente de Consistencia (RC)</i>	0,058

5.4. Cálculo de la Relación de Consistencia (RC)

Cálculo para determinar la consistencia de las opiniones o juicios utilizados en la Matriz de Comparación por pares, asegurando un RC inferior a 0,10.

Para calcular el RC, inicialmente se calcula el Índice de Consistencia (IC). Éste índice se obtiene de la siguiente manera: se genera una matriz producto de multiplicar cada columna de la matriz de comparación de criterios, por el vector de prioridad correspondiente. Cada fila de esta matriz se suma. Posteriormente el resultado de esta suma para cada criterio se divide por su vector de prioridad. A este listado de valores obtenidos se calcula el promedio. Valor al cual se le resta el tamaño de la matriz o número de criterios (n) y se divide entre (n-1), obteniendo el valor de IC.

Finalmente se calcula el Índice Aleatorio (RC), empleando la siguiente ecuación:

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (4)$$

Donde,

RC = Índice Aleatorio

Si n = 6 (6 criterios de priorización) corresponde un RI igual a 1,25

Si n = 4 (4 alternativas analizadas) corresponde un RI igual a 0,89

En el presente documento las matrices de subcriterios y alternativas aseguran un RC inferior a 0,10.

5.5. Desarrollo de la Matriz de Comparación de alternativas por pares, como también de la Matriz normalizada correspondiente e identificación del Vector de prioridad para las alternativas.

Para obtener las matrices de las alternativas se empleó prácticamente la misma metodología aplicada para obtener las matrices e identificar el vector de prioridad de los subcriterios, con algunas variaciones mínimas como a continuación se especifica:

5.5.1. Orden de prioridad o preferencia de las alternativas

Para construir la Matriz de Comparación de Alternativas por pares se obtuvo respuesta de dos (02) especialistas en el área de tratamiento de aguas residuales, a pesar de realizar contacto y buscar el aporte de mínimo tres especialistas. Profesionales que evaluaron y seleccionaron para cada tipo de usuario la alternativa de tratamiento de aguas residuales preferida, considerando como base los subcriterios de selección y la escala de preferencia estándar (Tabla 68).

Se realizó la evaluación de las alternativas de tratamiento y definición del orden de prioridad para cada especialista por aparte, debido a la dificultad de generar espacios de reunión entre los participantes y lograr un consenso en los resultados.

En las siguientes tablas se presenta el promedio de los resultados aportados por los dos (02) especialistas y el orden de preferencia de la tecnología de tratamiento por cada usuario, resaltándose en color el tratamiento preferido.

Tabla 82. Orden de preferencia de los sistemas de tratamiento – Elaboración de productos lácteos

CRITERIO/ALTERNATIVAS	Tratamiento físicoquímico	Tratamiento Biológico – Aerobio	Tratamiento Biológico – Anaerobio	Tratamiento Biológico - Sistema natural construido
Rendimiento o eficacia (I1)	2	3	4	2
Complejidad (I2)	2	3	3	3
Requisitos de terreno (I3)	3	2	3	3
Inversión total de capital (I4)	3	3	3	2
O y M coste (I5)	1	3	3	3
Generación de olores y ruido (I6)	3	2	3	3
SUMA TOTAL	12	16	19	14
ORDEN DE PREFERENCIA	4	2	1	3

Donde, 4 representa el mayor grado de preferencia.

Tabla 83. Orden de preferencia de los sistemas de tratamiento – Industria de alimento preparado para animales

CRITERIO/ALTERNATIVAS	Tratamiento fisicoquímico	<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico – Anaerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>
Rendimiento o eficacia (I1)	3	3	4	1
Complejidad (I2)	2	3	3	3
Requisitos de terreno (I3)	3	2	3	3
Inversión total de capital (I4)	3	3	3	1
O y M coste (I5)	2	3	3	3
Generación de olores y ruido (I6)	3	3	3	2
TOTAL	15	16	18	12
ORDEN DE PREFERENCIA	3	2	1	4

Tabla 84. Orden de preferencia de los sistemas de tratamiento – Fabricante y comercializador de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza

CRITERIO/ALTERNATIVAS	Tratamiento fisicoquímico	<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico – Anaerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>
Rendimiento o eficacia (I1)	4	3	2	2
Complejidad (I2)	3	3	3	3
Requisitos de terreno (I3)	3	2	3	3
Inversión total de capital (I4)	3	3	3	1
O y M coste (I5)	2	3	3	3
Generación de olores y ruido (I6)	3	2	3	2
TOTAL	17	15	16	13
ORDEN DE PREFERENCIA	1	3	2	4

Tabla 85. Orden de preferencia de los sistemas de tratamiento – Establecimientos de preparación y consumo de alimentos (restaurantes)

CRITERIO/ALTERNATIVAS	Tratamiento fisicoquímico	<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico – Anaerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>
Rendimiento o eficacia (I1)	3	4	3	1
Complejidad (I2)	2	3	2	3
Requisitos de terreno (I3)	3	2	3	3
Inversión total de capital (I4)	3	3	3	1
O y M coste (I5)	2	3	4	3
Generación de olores y ruido (I6)	3	2	3	2
TOTAL	15	16	17	12
ORDEN DE PREFERENCIA	3	2	1	4

5.5.2. Construcción de la Matriz de Comparación de alternativas por pares para cada criterio

Para cada usuario y teniendo en cuenta el orden de prioridad o preferencia establecido por los especialistas para los sistemas de tratamiento, se construyó la Matriz de Comparación entre Alternativas, empleando igualmente la metodología aplicada para la Construcción de la Matriz de Comparación por Pares (MCP) de subcriterios, en donde se emplea la escala de preferencia estándar en un rango de 1 a 5, considerando que entre mayor importancia o preferencia el criterio tiene un mayor peso. Cada calificación expuesta en las matrices son igualmente propuestas por el autor, respetando el orden de preferencia de las alternativas establecido por los especialistas y buscando establecer que la matriz alcance una Relación de Consistencia (RC) inferior a 0,10.

Para construir el conjunto de Matrices se comparó cada alternativa por pares para cada criterio y para cada tipo de usuario. A continuación se presenta el caso de construcción de las matrices para los establecimientos de preparación y consumo de alimentos (restaurantes).

Tabla 86. Matriz de Comparación de Alternativas por pares – Establecimientos de preparación y consumo de alimentos (restaurantes).

Rendimiento eficacia (I1)	Tratamiento fisicoquímico	<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>
Tratamiento fisicoquímico	1	½	1	3
<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	2	1	2	4
<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	1	½	1	3
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	1/3	¼	1/3	1

Complejidad (I2)	Tratamiento fisicoquímico	<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>
Tratamiento fisicoquímico	1	1/2	1	1/2
<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	2	1	2	1
<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	1	1/2	1	1/2
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	2	1	2	1

Requisitos de terreno (I3)	Tratamiento fisicoquímico	<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>
Tratamiento fisicoquímico	1	2	1	1
<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	½	1	½	1/2
<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	1	2	1	1
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	1	2	1	1

Inversión total de capital (I4)	Tratamiento fisicoquímico	<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>
Tratamiento fisicoquímico	1	1	1	3
<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	1	1	1	3
<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	1	1	1	3
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	1/3	1/3	1/3	1

O y M coste (I5)	Tratamiento fisicoquímico	<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>
Tratamiento fisicoquímico	1	1/2	1/3	½
<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	2	1	½	1
<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	3	2	1	2
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	2	1	½	1

Generación de olores y ruido (I6)	Tratamiento fisicoquímico	<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>
Tratamiento fisicoquímico	1	2	1	2
<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	½	1	½	1
<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	1	2	1	2
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	½	1	½	1

5.5.3. Construcción de la Matriz Normalizada, el Vector de prioridad de alternativas y el Cociente de Consistencia para las matrices de alternativas

A partir de esta información se generó la Matriz normalizada correspondiente para cada matriz y el Cociente de Consistencia (RC), empleando la misma metodología explicada en el numeral 5.2 y 5.4 del presente Anexo.

5.6. Desarrollo de la Matriz de Prioridad de Alternativas/subcriterios (MP)

Matriz resultado de listar los subcriterios por columna y las alternativas por fila y colocando en cada casilla el vector de prioridad correspondiente. A continuación se presenta la Matriz de Prioridad para todos los usuarios analizados:

Tabla 87. Matriz de Prioridad de Alternativas/subcriterios - establecimiento de preparación y consumo de alimentos (restaurante a)

ALTERNATIVA/ CRITERIO	Rendimient o o eficacia	Complejidad	Requisitos de terreno	Inversión total de capital	O y M coste	Generación de olores y ruido	VECTOR PRIORIDAD GLOBAL ALTERNATIVAS
Tratamiento fisicoquímico	0,24	0,17	0,29	0,42	0,12	0,33	0,27
<i>Tratamiento Biológico – Aerobio</i>	0,43	0,33	0,14	0,42	0,23	0,17	0,30
<i>Tratamiento Biológico – Anaerobio</i>	0,24	0,17	0,29	0,42	0,42	0,33	0,33
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	0,09	0,33	0,29	0,14	0,23	0,17	0,19
<i>Vector Prioridad subcriterios</i>	0,20	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	

Tabla 88. Matriz de Prioridad de Alternativas/subcriterios - establecimiento de preparación y consumo de alimentos (restaurante b)

ALTERNATIVA/ CRITERIO	Rendimiento o eficacia	Complejidad	Requisitos de terreno	Inversión total de capital	O y M coste	Generación de olores y ruido	VECTOR PRIORIDAD GLOBAL ALTERNATIVAS
Tratamiento o físicoquímico	0,24	0,17	0,29	0,42	0,12	0,33	0,26
<i>Tratamiento o Biológico - Aerobio</i>	0,43	0,33	0,14	0,42	0,23	0,17	0,29
<i>Tratamiento o Biológico - Anaerobio</i>	0,24	0,17	0,29	0,42	0,42	0,33	0,31
<i>Tratamiento o Biológico - Sistema natural construido</i>	0,09	0,33	0,29	0,14	0,23	0,17	0,21
<i>Vector Prioridad subcriterio</i>	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	

Tabla 89. Matriz de Prioridad de Alternativas/subcriterios - establecimiento de preparación y consumo de alimentos (restaurantes c y d)

ALTERNATIVA/ CRITERIO	Rendimiento o eficacia	Complejidad	Requisitos de terreno	Inversión total de capital	O y M costo	Generación de olores y ruido	VECTOR PRIORIDAD GLOBAL ALTERNATIVAS
Tratamiento o físicoquímico	0,24	0,17	0,29	0,42	0,12	0,33	0,25
<i>Tratamiento o Biológico - Aerobio</i>	0,43	0,33	0,14	0,42	0,23	0,17	0,31
<i>Tratamiento o Biológico - Anaerobio</i>	0,24	0,17	0,29	0,42	0,42	0,33	0,32
<i>Tratamiento o Biológico - Sistema natural construido</i>	0,09	0,33	0,29	0,14	0,23	0,17	0,17
<i>Vector Prioridad subcriterio</i>	0,35	0,04	0,07	0,12	0,24	0,18	

Tabla 90. Matriz de Prioridad de Alternativas/subcriterios – empresa (a) que elaboran productos lácteos.

ALTERNATIVA/ CRITERIO	Rendimiento o eficacia (1)	Complejidad (2)	Requisitos de terreno (3)	Inversión total de capital (4)	O y M coste (5)	Generación de olores y ruido (6)	VECTOR PRIORIDAD GLOBAL ALTERNATIVAS
Tratamiento físicoquímico	0,10	0,1	0,29	0,33	0,1	0,29	0,18
<i>Tratamiento Biológico – Aerobio</i>	0,29	0,3	0,14	0,33	0,3	0,18	0,28
<i>Tratamiento Biológico – Anaerobio</i>	0,43	0,3	0,29	0,33	0,3	0,29	0,35
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	0,18	0,3	0,29	0,16	0,3	0,25	0,23
<i>Vector Prioridad subcriterios</i>	0,33	0,11	0,06	0,19	0,19	0,11	

Tabla 91. Matriz de Prioridad de Alternativas/subcriterios – empresa (b) que elaboran productos lácteos.

ALTERNATIVA/ CRITERIO	Rendimiento o eficacia (1)	Complejidad (2)	Requisitos de terreno (3)	Inversión total de capital (4)	O y M coste (5)	Generación de olores y ruido (6)	VECTOR PRIORIDAD GLOBAL ALTERNATIVAS
Tratamiento físicoquímico	0,10	0,1	0,29	0,33	0,1	0,29	0,15
<i>Tratamiento Biológico – Aerobio</i>	0,29	0,3	0,14	0,33	0,3	0,18	0,27
<i>Tratamiento Biológico – Anaerobio</i>	0,43	0,3	0,29	0,33	0,3	0,29	0,35
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	0,18	0,3	0,29	0,16	0,3	0,25	0,24
<i>Vector Prioridad subcriterios</i>	0,38	0,10	0,06	0,06	0,25	0,16	

Tabla 92. Matriz de prioridad de alternativas/subcriterios-Industrias de alimentos preparados para animales.

ALTERNATIVA/ CRITERIO	Rendimiento o eficacia	Complejidad	Requisitos de terreno	Inversión total de capital	O y M coste	Generación de olores y ruido	VECTOR PRIORIDAD GLOBAL ALTERNATIVAS
Tratamiento fisicoquímico	0,24	0,14	0,29	0,39	0,14	0,29	0,24
<i>Tratamiento Biológico – Aerobio</i>	0,24	0,29	0,14	0,39	0,29	0,29	0,28
<i>Tratamiento Biológico – Anaerobio</i>	0,41	0,29	0,29	0,39	0,29	0,29	0,35
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	0,10	0,29	0,29	0,13	0,29	0,14	0,18
<i>Vector Prioridad subcriterios</i>	0,35	0,07	0,04	0,14	0,26	0,14	

Tabla 93. Matriz de Prioridad de Alternativas/subcriterios – fabricante y comercializador de productos ortopédicos, rehabilitación y complementarios en el área de la salud y belleza.

ALTERNATIVA/ CRITERIO	Rendimiento o eficacia	Complejidad	Requisitos de terreno	Inversión total de capital	O y M coste	Generación de olores y ruido	VECTOR PRIORIDAD GLOBAL ALTERNATIVAS
Tratamiento fisicoquímico	0,45	0,25	0,29	0,38	0,14	0,33	0,33
<i>Tratamiento Biológico – Aerobio</i>	0,26	0,25	0,14	0,38	0,29	0,17	0,27
<i>Tratamiento Biológico – Anaerobio</i>	0,14	0,25	0,29	0,38	0,29	0,33	0,26
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	0,14	0,25	0,29	0,13	0,29	0,17	0,19
<i>Vector Prioridad subcriterios</i>	0,33	0,05	0,11	0,20	0,20	0,10	

5.7. Desarrollo del Vector de Prioridad Global

Vector producto de sumar la multiplicación entre el vector de prioridad de los subcriterios por la Matriz de Prioridad (la fila del vector de prioridad por cada fila de la alternativa).

Corresponde al cálculo de los pesos de calificación o pesos finales para la priorización de la alternativa más sostenible. En esta etapa se reconoce cual es la alternativa más preferida y menos preferida de acuerdo al objetivo establecido y los subcriterios considerados.

El valor del Vector de Prioridad Global para los diferentes usuarios, se presenta en las Tablas 86 a 92, señalándose en color la alternativa preferida.

5.8. Generación de gráficos

A continuación se presentan las matrices a partir de las cuales se obtuvo la información de la Figura 4, y que es resultado del producto de la matriz de prioridad (alternativas vs. subcriterios) y el vector de prioridad de los subcriterios:

Tabla 94. Matriz base de Figura 4, Restaurante a, b, c y d)

	Rendimiento o eficacia (11)	Complejidad (12)	Requisitos de terreno (13)	Inversión total de capital (14)	O y M coste (15)	Generación de olores y ruido (16)
Tratamiento fisicoquímico	0,048	0,017	0,029	0,083	0,025	0,067
<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	0,087	0,033	0,014	0,083	0,045	0,033
<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	0,048	0,017	0,029	0,083	0,085	0,067
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	0,018	0,033	0,029	0,028	0,045	0,033

Restaurante a

	Rendimiento o eficacia (11)	Complejidad (12)	Requisitos de terreno (13)	Inversión total de capital (14)	O y M coste (15)	Generación de olores y ruido (16)
Tratamiento fisicoquímico	0,040	0,028	0,048	0,069	0,020	0,056
<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	0,072	0,056	0,024	0,069	0,038	0,028
<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	0,040	0,028	0,048	0,069	0,071	0,056
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	0,015	0,056	0,048	0,023	0,038	0,028

Restaurante b

	Rendimiento o eficacia (11)	Complejidad (12)	Requisitos de terreno (13)	Inversión total de capital (14)	O y M coste (15)	Generación de olores y ruido (16)
Tratamiento fisicoquímico	0,084	0,007	0,021	0,061	0,029	0,049
<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	0,152	0,014	0,011	0,061	0,054	0,024
<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	0,084	0,007	0,021	0,061	0,101	0,049
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	0,031	0,014	0,021	0,020	0,054	0,024

Restaurante c y d

Tabla 95. Matriz base de Figura 5, - Elaboración y producción de lácteos

	Rendimiento o eficacia (11)	Complejidad (12)	Requisitos de terreno (13)	Inversión total de capital (14)	O y M coste (15)	Generación de olores y ruido (16)
Tratamiento fisicoquímico	0,032	0,011	0,018	0,063	0,019	0,031
<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	0,095	0,032	0,009	0,063	0,058	0,019
<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	0,144	0,032	0,018	0,063	0,058	0,031
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	0,061	0,032	0,018	0,032	0,058	0,027

Empresa (a)

	Rendimiento o eficacia (1)	Complejidad (2)	Requisitos de terreno (3)	Inversión total de capital (4)	O y M coste (5)	Generación de olores y ruido (6)
Tratamiento fisicoquímico	0,037	0,010	0,017	0,019	0,025	0,046
<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	0,109	0,029	0,008	0,019	0,074	0,028
<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	0,164	0,029	0,017	0,019	0,074	0,046
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	0,070	0,029	0,017	0,010	0,074	0,039

Empresa (b)

Tabla 96. Matriz base de Figura 7 – Industria de alimentos para animales.

	Rendimiento o eficacia (1)	Complejidad (2)	Requisitos de terreno (3)	Inversión total de capital (4)	O y M coste (5)	Generación de olores y ruido (6)
Tratamiento fisicoquímico	0,091	0,008	0,016	0,064	0,036	0,027
<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	0,091	0,017	0,008	0,064	0,072	0,027
<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	0,155	0,017	0,016	0,064	0,072	0,027
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	0,037	0,017	0,016	0,021	0,072	0,014

Tabla 97. Matriz base de Figura 6 – Empresa productora de ortopédicos y otros elementos.

	Rendimiento o eficacia (1)	Complejidad (2)	Requisitos de terreno (3)	Inversión total de capital (4)	O y M coste (5)	Generación de olores y ruido (6)
Tratamiento fisicoquímico	0,151	0,012	0,032	0,076	0,029	0,034
<i>Tratamiento Biológico - Aerobio</i>	0,088	0,012	0,016	0,076	0,058	0,017
<i>Tratamiento Biológico - Anaerobio</i>	0,047	0,012	0,032	0,076	0,058	0,034
<i>Tratamiento Biológico - Sistema natural construido</i>	0,047	0,012	0,032	0,025	0,058	0,017

ANEXO 6. RESPUESTA CAR: ARTICULO 41 DEL DECRETO 3930 DE 2010.



Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR
Dirección de Evaluación, Seguimiento y Control Ambiental
República de Colombia

Bogotá,

Ingeniera
DIANA ALEJANDRA SARTRE TORRES
HOSPITAL CAJICA JORGE CADAVIEL
Tel: 8664949
carrera 4 N° 1 - 10
dialejitasarte@hotmail.com
Cajicá (Cundinamarca)

CAR 03/02/2017 10:47
Al Contestar cite este No.: 20172104157
Origen: Dirección de Evaluación, Seguimi
Destino: HOSPITAL CAJICA JORGE CADAVIEL
Anexos: Fol: 3

ASUNTO: Respuesta al radicado 20171102802

Respetada Señora:

Con el fin de dar respuesta a la consulta del asunto, me permito informarle que de acuerdo con lo establecido en el artículo 2.2.3.3.4.18 del Decreto 1076 de 2015, la responsabilidad de vigilar por el cumplimiento de la normatividad ambiental en materia de vertimientos al alcantarillado, establecida en el artículo 16 de la Resolución 631 de 2015, la cual se encuentra vigente desde el 1 de enero de 2016, es del prestador del servicio público domiciliario de alcantarillado.

Por otra parte, el suscriptor del servicio público domiciliario de alcantarillado debe presentar al prestador del servicio, la caracterización de sus vertimientos y dar aviso a la entidad encargada de la operación de la planta tratamiento de residuos líquidos cuando con un vertimiento ocasional o accidental pueda perjudicar su operación, tal como lo establece el artículo 2.2.3.3.4.17 del Decreto 1076 de 2015.

Sobre la excepción contemplada en el anterior párrafo 1 del artículo 41 del Decreto 3930 de 2010 (norma compilada en el Decreto 1076 de 2015), el cual mediante el Auto 0567 del 13 de octubre de 2011, la Sección Primera, Sala de lo Contencioso Administrativo del Consejo de Estado, Consejero Ponente, Dr. Rafael E. Ostau De Lafont Planeta, fue suspendido provisionalmente, le informo lo siguiente:

1. El Consejo de Estado al efectuar el análisis correspondiente, *grosso modo*, estimó que dado que la Ley no hacía excepción alguna sobre la necesidad del permiso de vertimientos a los usuarios del servicio de alcantarillado, no le era dable hacerla al decreto y por tal motivo procedió a la suspensión provisional del párrafo en cuestión. Se destaca que el Consejo de Estado en el Auto aludido, no hizo distinción alguna a la clase de vertimiento (industrial, doméstico, comercial, etc) que se realizaba al alcantarillado público.
2. La suspensión provisional del párrafo 1 del artículo 41 del Decreto 3930 de 2010, ha



Protección Ambiental Responsabilidad de Todos

Bogotá Carrera 7 No. 36-45; Código Postal 110311 - Conmutador: 320 9000 Ext: 1560 <https://www.car.gov.co/>
Fax: 287 1772 - Correo electrónico: sau@car.gov.co

conllevado a que se interprete que los suscriptores y/o usuarios que están conectados o se vayan a conectar a un sistema de alcantarillado público, requieren de la obtención del permiso de vertimientos, indistintamente de que se trate de un usuario que genere vertimientos domésticos (como ocurre con las residencias), industrial, etc., interpretación esta que no comparte el área jurídica de esta Corporación, debido a que el anterior artículo 41 del Decreto 3930 de 2010 (actual 2.2.3.3.5.1 del Decreto 1076 de 2015), es claro en señalar los requisitos que deben cumplir los sujetos pasivos del permiso de vertimiento, esto es:

- Que se trate de una actividad o servicio
- Que esta genere vertimientos
- Que los vertimientos tengan como receptores a las aguas superficiales, marinas, o al suelo (asociado a un acuífero).

Por lo anterior los usuarios y/o suscriptores del servicio público de alcantarillado (indistintamente que el vertimiento sea doméstico, industrial, comercial, oficial o especial) no cumplen con estos presupuestos legales, de manera tal que no requieren del permiso de vertimiento. En ese sentido, la excepción contemplada en el anterior párrafo 1 del artículo 41 del Decreto 3930 de 2010, no era necesaria. Además por tratarse de una situación que estaba suficientemente clara a la luz de lo dispuesto en el Decreto 1594 de 1984 y de la Ley 142 de 1994.

3. En consonancia con lo expuesto en el considerando anterior, se reitera que conforme a los artículos 2.2.3.3.4.17 y 2.2.3.3.4.18 del Decreto 1076 de 2015 (anteriores artículos 38 y 39 del Decreto 3930 de 2010), quien está obligado a obtener el permiso de vertimientos o en su defecto el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos — PSMV —, *"como usuario del recurso hídrico"*, es el *"prestador del servicio de alcantarillado"*.

En caso de requerir información adicional puede comunicarse con la ingeniera Mabel Liliana Rubio Lizcano, funcionaria de esta Dirección al teléfono 3209000 ext. 1560.

Cordialmente,



ORLANDO AVILA GOMEZ
Director Operativo DESCA (E)



Protección Ambiental Responsabilidad de Todos
Bogotá Carrera 7 No. 36-45; Código Postal 110311 - Conmutador: 320 9000 Ext: 1560 <https://www.car.gov.co/>
Fax: 287 1772 - Correo electrónico: sau@car.gov.co