

**APLICACIÓN PARA LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
DOMESTICA BAJO LAS NORMAS TECNICAS DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y
SANEAMIENTO BÁSICO EN COLOMBIA.**

IGNACIO ANTONIO ARMESTO CHARRY

CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

Girardot – Cundinamarca

2018

**APLICACIÓN PARA LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
DOMESTICA BAJO LAS NORMAS TECNICAS DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y
SANEAMIENTO BÁSICO EN COLOMBIA.**

Autor:

Ignacio Antonio Armesto Charry

**Proyecto de Grado presentado como requisito parcial para optar por el título de
Ingeniero Civil**

Director:

ING. Jhon Jairo Reinel Moreno

CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

Girardot – Cundinamarca

2018

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma 1 Jurado

Firma 2 Jurado

Firma 3 Jurado

Girardot, ___ de _____ de 2018

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida, por llenarme de paciencia y sabiduría en todo este proceso y por brindarme la oportunidad de conocer a todas las personas que influyeron en mi paso universitario.

A la Universidad por brindarme las herramientas necesarias para emprender el camino de la vida profesional.

A los amigos que me trajo la Universidad, por llenar horarios de clase de sonrisas y recuerdos maravillosos.

A los profesores, por transmitirme el conocimiento técnico y ético necesario para desenvolverme adecuadamente en la ardua labor de la ingeniería civil

Al director del Trabajo de Grado por su colaboración y orientación, para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, a Carlos y Mario, porque sin sus conocimientos en programación, esto no sería posible.

DEDICATORIA

A mi esposa Nina y mi hija Juanita, por su apoyo, comprensión y por ser el pilar más grande de persistencia y entrega para poder realizar el pregrado de ingeniería civil, a la profesora Matha Liliana por sus concejos y asesorías; así mismo a todos aquellos que creyeron en la idea del trabajo de grado, a ellos les dedico este trabajo, gracias por atreverse a confiar en mí, es obvio que sin ustedes este proyecto no se hubiera completado, recuerden que siempre contarán conmigo en las buenas y en las malas y que siempre iré en la búsqueda de un futuro sostenible.

A todos ellos, Muchas gracias de todo corazón.

CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. OBJETIVOS	19
3.1 Objetivo General	19
3.2 Objetivos Específicos	19
4 MARCO TEÓRICO	20
4.1 MARCO CONCEPTUAL	22
4.1.1 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	22
4.1.2 APLICACIÓN PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA	23
4.2 MARCO LEGAL	24
4.3 ESTADO DEL ARTE (ANTECEDENTES)	26
5. MARCO METODOLOGICO	28
5.1 FASE 1: PLANEACIÓN	29
5.2 FASE 2: EJECUCIÓN	29
5.3 FASE 3: EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO	30
5.3.1 Análisis	30
5.3.2 Diseño	31
5.3.3 Codificación	31
5.3.4 Pruebas	31
5.3.5 Instalación	31
6 MATERIALES Y METODOS	31
6.3 DESCRIPCIÓN	32
6.4 SISTEMA DE MUESTREO	33
6.4.1 ESTIMACION DE LA POBLACION	33
6.4.1.1 Censos de población.	35
6.4.1.2 Métodos de cálculo de proyección de población.	35
6.4.1.3 Método aritmético.	36
6.4.1.4 Método geométrico.	38
6.4.1.5 Método exponencial.	39
6.4.1.6 Población flotante.	42

6.4.1.7	Población proyectada.	42
6.4.1.8	Periodo de diseño.	42
6.4.2	Estimacion de la dotación.	43
6.4.2.1	Calculo de la dotación neta.	43
6.4.2.2	Calculo de las perdidas.	44
6.4.2.3	Calculo de la dotación bruta.	45
6.4.3	Estimacion de la demanda.	45
6.4.3.1	Caudal medio diario.	47
6.4.3.2	Caudal máximo diario.	47
6.4.3.3	Caudal máximo horario.	47
6.4.4	DEFINICION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.	49
6.4.4.1	Estimación real de las contribuciones de aguas residuales.	50
6.4.4.2	Caracterización de las aguas residuales.	55
6.4.4.3	Análisis de cargas contaminantes.	55
6.4.4.4	Identificación del sistema de tratamiento.	59
6.5	ANÁLISIS DE DATOS.	60
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	62
7.3	DESARROLLO DEL MODELO	62
7.4	INSTALACION DE JAVA	63
7.4.1	EJECUCION DE LA APLICACIÓN.	63
7.4.1.1	Presentación.	63
7.4.1.2	Proyección de Población.	64
7.4.1.3	Proyección de población flotante.	65
7.4.1.4	Calculo de las dotaciones del sistema.	66
7.4.1.5	Calculo de las demandas del sistema.	67
7.4.1.6	Selección del sistema de tratamiento de agua residual.	68
7.5	CALIBRACION DEL MODELO	71
7.6	VALIDACION DEL MODELO	73
7.6.1	Validación de la proyección de población del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.	73
7.6.2	Validación de la proyección de población flotante del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.	75

7.6.3	Validación de la proyección de población total y nivel de complejidad del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.	77
7.6.4	Validación de las dotaciones del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.	78
7.6.5	Validación de las demandas del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.	81
7.6.6	Validación del sistema de tratamiento de agua residual seleccionado para el corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.	82
8	CONCLUSIONES	87
	9. RECOMENDACIONES	89
10.	BIBLIOGRAFIA	90
11.	ANEXOS.	94
11.1	Software Residual.jar	94
11.2	Diagnóstico y Análisis de Alternativas del Tratamiento del Sistema de Acueducto y Alcantarillado del Municipio de Bugalagrande – Corregimiento de Paila Arriba.	94
11.3	Cronograma y Costos.	94
11.4	Instalación Java.	94

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1	Marco legal	24
Tabla 2.	Dotación neta máxima.	44
Tabla 3.	Factor máximo	54
Tabla 4.	Caudales de diseño para el tratamiento de aguas residuales	54
Tabla 5.	Cumplimiento de las cargas contaminantes básicas.	57
Tabla 6.	Cumplimiento De Las Cargas de Contaminantes Químicas	58
Tabla 7.	Eficiencias del sistema de tratamiento.	59
Tabla 8.	Censo de población del corregimiento de Paila Arriba.	74
Tabla 9.	Resultados de la proyección de población del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.	75
Tabla 10.	Resultados de la Proyección de Población Flotante del Corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.	76
Tabla 11.	Proyección dotación bruta del corregimiento Paila Arriba.	80
Tabla 12.	Proyección de demanda corregimiento Paila Arriba.	81
Tabla 13.	Resultados de laboratorio de la caracterización de agua residual del corregimiento de Paila Arriba.	83

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Tendencias de crecimiento aritmético para diferentes tasas de cálculo dependiendo del año de censo inicial. _____	38
Ilustración 2 Tendencias de crecimiento geométrico para diferentes tasas de cálculo dependiendo del año de censo inicial _____	39
Ilustración 3 Tendencias de crecimiento exponencial para diferentes tasas de cálculo dependiendo del año de censo inicial. _____	41
Ilustración 4. Nombre de la aplicación y contenido del menú. _____	64
Ilustración 5. Proyección de población. _____	64
Ilustración 6. Proyección de población flotante. _____	65
Ilustración 7. Estimación de las dotaciones. _____	67
Ilustración 8. Estimación de demandas o caudales. _____	68
Ilustración 9. Parámetros de la caracterización del vertimiento según análisis de laboratorio. _____	69
Ilustración 10. Selección del sistema de tratamiento de agua residual de la aplicación. _____	70
Ilustración 11. Validación de la proyección de población del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales. _____	74
Ilustración 12. Validación de la población flotante del corregimiento de Paila Arriba con la la Aplicación Aguas Residuales. _____	76
Ilustración 13. Validación de la proyección total de población y nivel de complejidad del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales. _____	78
Ilustración 14. Validación de las dotaciones del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales. _____	80
Ilustración 15. Validación de las demandas del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales. _____	82
Ilustración 16. Proceso de tratamiento por tanque imhoff y filtro anaerobio de lujo ascendente. _____	84
Ilustración 17. Validación de los resultados de laboratorio de la caracterización de agua residual del corregimiento de Paila Arriba, con la Aplicación Aguas Residuales. _____	85
Ilustración 18. Validación del sistema de tratamiento de agua residual del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales. _____	86

RESUMEN

Cada título y capítulo establecido en las Normas RAS, contiene un manual de buenas prácticas de ingeniería y establece los criterios y recomendaciones para el diseño, construcción, supervisión técnica, Interventoría, operación y mantenimiento propio del sector del agua potable y saneamiento básico y está en el contratista, entidad, Interventoría, supervisión o quien use dichas normas para dar cumplimiento a su cometido y que permitan el mejoramiento de la calidad de vida de la población Colombiana.

En este orden de ideas, el desarrollo de una sistematización de procesos consistente en un software que permite seleccionar los diferentes sistemas de tratamiento de agua residual doméstica, facilita la toma de decisiones de aquellos contratistas y entidades que usan tales normas para dar cumplimiento a las obras, equipos y procedimientos operativos que se usen para la prestación de cualquier servicio público domiciliario ya sea de acueducto y alcantarillado, dando cumplimiento a lo establecido en la ley 142 de 1994.

Palabras Clave—, Agua Residual, Alcantarillado, Metodología Software, Saneamiento Básico, Sistemas de tratamiento, Recurso Hídrico.

ABSTRACT

Each title and chapter established in the RAS Norms contains a manual of good engineering practices and establishes the criteria and recommendations for the design, construction, technical supervision, auditing, operation and maintenance of the drinking water and basic sanitation sector and is in the contractor, entity, Supervision, supervision or who uses said norms to fulfill its purpose and that allow the improvement of the quality of life of the Colombian population.

In this order of ideas, the development of a systematization of processes consisting of software that allows to select the different systems of domestic wastewater treatment, facilitates the decision making of those contractors and entities that use such standards to comply with the works , equipment and operative procedures that are used for the provision of any domiciliary public service, be it of aqueduct and sewerage, complying with the provisions of law 142 of 1994.

Keywords - Residual Water, Sewerage, Software Methodology, Basic Sanitation, Treatment Systems, Water Resources.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales en casi la totalidad de los países de América Latina incumplen a nivel general con lo requerido en materia ambiental por la cantidad de agua contaminada y la poca infraestructura e inversión en estas plantas. Por otro lado, el acceso a soluciones de alcantarillado y el tratamiento de las aguas residuales es otro factor importante en la salud y la calidad de vida de la población quienes están en el derecho de disfrutar de un ambiente sano que les permita desarrollar plenamente sus capacidades. Todos tienen el mandato de realizar una prestación adecuada y eficiente de los servicios de alcantarillado. Con el acceso de toda la población a servicios de saneamiento básico, se disminuyen los riesgos de morbilidad y mortalidad por enfermedades relacionadas con el contacto con aguas residuales, tales como infecciones y hongos. Esto es posible si las administraciones evaluaran la necesidad de contar con una planta de tratamiento de aguas residuales para que así permitan disminuir el impacto del vertimiento de aguas residuales a las fuentes de agua.

Para el caso Colombiano, el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS,..."...establece que el agua para consumo humano no debe contener microorganismos patógenos, ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud, por lo que debe cumplir los requisitos de calidad microbiológicos y fisicoquímicos exigidos en el Decreto 475 de marzo 10 de 1998, expedido por el Ministerio de Salud. Además, la calidad del agua no debe deteriorarse ni caer por debajo de los límites establecidos durante el periodo de tiempo para el cual se diseñó el sistema de abastecimiento...". Este mismo reglamento establece que las coberturas mínimas de alcantarillado deben ser de

95% para los municipios menores de 2.500 habitantes, 90% para los municipios con 2.501 a 60.000 habitantes y 85% para los municipios con más de 60.000 habitantes.

Así mismo, para asegurar la eficiencia y la eficacia en las inversiones realizadas en el sector de agua potable y saneamiento básico, los municipios del país están en la obligación de elaborar un Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. En éste deben diagnosticar detalladamente la situación del municipio en la materia, y a partir de este diagnóstico, cada municipio debe establecer las prioridades en agua potable y saneamiento básico. Conociendo qué es lo prioritario, y deben formular programas y proyectos acordes para diseñar un plan de inversión de largo plazo.

Finalmente, en Colombia en 989 localidades, en áreas con menos de 30.000 habitantes, el 78% no cuentan con tratamiento alguno de aguas residuales. Hasta el 2002 en Cundinamarca operaban 38 PTARs, en Antioquia 26, Cesar 14, Valle del Cauca 14 y Tolima 13. Según el CONPES 3177 del 2002 (Consejo Nacional de Política Económica y social), existían 237 plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en 235 municipios, que trataban el 8% de los vertimientos de alcantarillado de los mismos, en medio de deficiencias como poca capacidad, procesos incompletos o nula operación.

En este orden de ideas, el desarrollo de una aplicación para PC que permitiera seleccionar los diferentes procesos de tratamiento de agua residual doméstica, facilitaría la toma de decisiones de aquellos contratistas y entidades que usan tales normas para dar cumplimiento a las obras, equipos y procedimientos operativos que se usen para la prestación de cualquier servicio público domiciliario ya sea de acueducto o alcantarillado, dando cumplimiento a lo establecido en la ley 142 de 1994.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente se estima que el 80% de habitantes en América Latina no cuenta con instalaciones tanto para el tratamiento de agua y su consumo, como tampoco para el desecho de sus aguas; existe una gran variación entre estos países, donde sus aguas se encuentran contaminadas y carecen de infraestructuras de saneamiento para tratar los vertimientos.

Para el caso de Colombia, la construcción de sistemas que tratan y reutilizan las aguas puede ser más costosos y no son retribuíbles económicamente en el tiempo con respecto a la población beneficiada. La principal dificultad se encuentra en que el plazo para la elección de alternativas para los tratamientos de agua residual se alargan y a menos que no se lleven de manera correcta, es probable que la selección no tengan un impacto positivo y no retribuya la inversión eficazmente, afectando además en forma negativa los recursos naturales.

Con lo anteriormente mencionado, en este trabajo de grado se ha definido como pregunta de investigación la siguiente:

¿Cómo codificar por medio de una aplicación los procesos de tratamiento de agua residual domestica bajo el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico en colombia?

Dicha pregunta define “Un proceso de reflexión que pretende ordenar u organizar lo que ha sido la marcha, los procesos, los resultados de un proyecto, buscando en tal

dinámica las dimensiones que pueden explicar el curso que asumió el trabajo realizado” (Martinic, Sergio 1984).

En concordancia con esta definición, la expresión “codificar” en el presente trabajo se refiere a la creación de una aplicación de computador que permita la selección de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, de acuerdo a los lineamientos y recomendaciones consignados en la norma RAS - Resolución 0330 de 2017, En sus capítulos 1 y 5. Por ende se propone realizar dicha aplicación sujeta a la norma RAS actualizada, porque circunscribe la selección del sistema de tratamiento dentro de la realidad colombiana, aprovechando sus requerimientos y organizándolos; garantizando de esta forma el cumplimiento de las distintas exigencias técnicas y legales referentes al campo.

Los principales usuarios objetivos de la aplicación son entidades públicas y privadas, funcionarios, estudiantes y profesionales responsables e interesados en la toma de decisiones relacionadas con el sector de tratamiento de aguas y en la protección de los recursos vinculados.

2. JUSTIFICACIÓN

Según el informe “Estudio Sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado”, presentado a finales de 2017 por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Superservicios), solo 541 municipios de los 1.122 registrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Dane) cuentan con algún tipo de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Las plantas de tratamiento residual son uno de los diferentes sistemas de tratamiento de saneamiento del agua y el más utilizado en Colombia. Para los casos de los departamentos y municipios que carecen de infraestructura de tratamiento de agua residual, es la autoridad ambiental la encargada de definir los esquemas de tratamiento en función de instrumentos como los planes de saneamiento y el manejo de vertimientos, entre otros, explican en un informe de la Superservicios.

Un ejemplo claro es el Departamento de Cundinamarca, que lidera con la mayor cantidad de infraestructura dispuesta para el saneamiento del agua, cuenta con 32 proyectos de PTAR, además de los dos proyectos emblemáticos de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), las Ptar Salitre y Canoas, que son los proyectos más ambiciosos.

Según proyecciones del Foro Mundial del Agua los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado, en el año 2030, la demanda global de agua se espera que crezca un 50%, Al mismo tiempo, la cantidad de aguas residuales crecerá de forma exponencial por el número de personas que viven en las ciudades, el urbanismo y el crecimiento económico; Por tal razón debemos utilizar al máximo las aguas residuales para el regadío, lavado, agricultura y uso industrial. La mejora del tratamiento de aguas residuales y la creación de los sistemas de reutilización de aguas fomentarán el desarrollo de nuevas empresas y crearán empleos verdes.

Cabe resaltar que la expansión del tratamiento de las aguas residuales urbanas requiere inversiones importantes, que hasta hace poco la mayoría de los países no han podido afrontar. Como el correcto tratamiento de las aguas residuales domésticas,

permite la mejora en la calidad de vida y el mejor aprovechamiento del recurso agua, es muy importante que la planificación de su uso y disposición sea la más adecuada para no desperdiciar tiempo ni dinero durante el funcionamiento del proyecto.

Aunque en la actualidad, se cuenta en Colombia con claridad en la normatividad técnica de saneamiento básico, a la hora de la selección de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, no existe un consenso en cuanto a los pasos y criterios a seguir para escoger el proceso de tratamiento adecuado.

Debido a la gran problemática de saneamiento que vive el país, un tema tan importante para un diseñador de procesos de tratamiento, es la selección del mismo a desarrollar en el proyecto, por lo que abarca una cantidad de tiempo y dinero que puede ser usado para una mejor implementación de los recursos, reduciendo los costos de diseño y por ende mejorando la calidad de vida de muchas comunidades.

Es por ello que, para asegurar la eficiencia y la eficacia en las inversiones realizadas en el sector de agua potable y saneamiento básico, basados en los planes de Desarrollo Nacional y Departamental, los municipios deben diagnosticar detalladamente la situación en que se encuentran, y establecer las prioridades en agua potable y saneamiento básico.

De acuerdo a lo anterior, se hace necesario sistematizar la metodología mediante una aplicación, para facilitar la toma de decisión de los contratistas y entidades, permitiendo a los interesados, tener una idea de las opciones de tratamiento que aplican a sus necesidades, sin tener que acceder a los servicios de terceros, Esto agiliza el tiempo de diseño de los sistemas de saneamiento básico.

El enfoque del proyecto requiere una amplia participación del alumno en investigar y reforzar conocimientos previos, cuya problemática puede solucionarse a partir del uso de una aplicación.

Las actividades se encuentran orientadas a fortalecer la interacción entre el alumno y la aplicación, ya que solo a través de ésta se pueden desarrollar las habilidades necesarias para plantear y solucionar problemas relativos a la ingeniería civil.

Esta sera una herramienta valiosa para ingenieros consultores, diseñadores de proceso, lo cual permite al usuario desarrollar, valorar y optimizar eficientemente tecnologías beneficiosas ambientalmente; Asi mismo, se planea generar un nuevo perfil del ingeniero civil con la habilidad de utilizar y generar programas de cómputo desarrollados para diversas áreas de la ingeniería hidraulica y sanitaria, que permiten hacer eficiente su labor como ingeniero y solucionar problemas relativos a la ingeniería civil.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Crear una aplicación para computador, para la selección de los procesos de tratamiento de aguas residuales de tipo domestico bajo el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar la revisión del documento RAS y de trabajos a fines, con el fin de recopilar información para poder determinar la funcion del estudio.
- Ordenar los parámetros y opciones que ayuden en la selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales de tipo domestico bajo el reglamento técnico del secto de agua potable y saneamiento básico en Colombia.
- Definir las variables de programación que permitan esquematizar las diferentes alternativas de tren de tratamientos de agua residual de tipo doméstico.
- Desarrollar e integrar las variables y parámetros en el modelo de aplicacion para que apoye la selección de diferentes alternativas de procesos de tratamiento de agua residual de tipo doméstico.
- Obtener como resultado, el proceso final de una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo domestico que garantice una remoción eficiente que cumpla la normatividad existente.

4 MARCO TEÓRICO

El desarrollo de la sociedad reclama cada vez más agua, pero no solo a veces escasea el agua sino que su calidad en los puntos donde se encuentra y capta, desgraciadamente se ha ido deteriorando día a día con el propio desarrollo, esto obliga a un tratamiento cada vez amplio y complejo técnicamente, con su único objetivo final que es el lograr suministrar un agua de mejor calidad sanitaria garantizada.

Según Lizaro, Jenny & Orjuela, Marhta, 2013, "...El tratamiento del agua es el proceso de naturaleza físico-química y biológica, mediante el cual se eliminan una serie de sustancias y microorganismos que implican riesgo para el consumo o le comunican un aspecto o cualidad organoléptica indeseable y la transforma en un agua apta para consumir". Todo sistema sanitario de aguas residuales que no este provisto de medios de tratamiento, no merece el calificativo sanitario de vertimiento de aguas. En el tratamiento del agua se debe recurrir a métodos adecuados a la calidad del agua origen a tratar.

El proceso o línea de tratamiento, considerado también convencional, consta de una serie de etapas más o menos complejas en función de la calidad del agua bruta objeto del tratamiento y se llevan a cabo en las siguientes secuencias:

- Preoxidación y desinfección inicial con cloro, dióxido de cloro u ozono, o permanganato potásico.

- Coagulación-Floculación, con sales de aluminio o de hierro y coadyuvantes de la floculación (polielectrolitos, polidadamas) coagulación con cal, sosa, o carbonato sódico.
- Decantación, en diversos tipos de decantadores.
- Filtración sobre arena, o sobre lecho mixto (arena y antracita) y en determinados casos sobre lecho de carbón en grano.
- Acondicionamiento, corrección del pH por simple neutralización o por remineralización con cal y gas carbónico.
- Desinfección final con cloro, cloraminas, dióxido de cloro u ozono.

Por tal razón en Colombia, el Reglamento RAS es un Manual de prácticas de buena ingeniería, donde se establecen los criterios y recomendaciones para el diseño, construcción, supervisión técnica, interventoría, operación y mantenimiento propios del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Gracias a esto, se garantiza un consenso en cuanto al cumplimiento legal y técnico, en el ámbito colombiano.

Según las Normas RAS, establecen que la calidad del agua tratada para consumo humano no debe contener microorganismos patógenos, ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud. Por tanto, el agua para consumo debe cumplir los requisitos de calidad microbiológicos y fisicoquímicos exigidos en el Decreto 475 de marzo 10 de 1998, expedido por el Ministerio de Salud o en su defecto, el que lo reemplace. La calidad del agua no debe deteriorarse ni caer por debajo de los límites establecidos durante el periodo de tiempo para el cual se diseñó el sistema.

Para la selección de los procesos de tratamientos previos o paralelos al diseño de una planta, deben realizarse ensayos en el laboratorio siendo obligatorio entre estos, el Ensayo de Jarras; y posteriormente, si se justifica, realizar ensayos en planta piloto para determinar el tratamiento al que debe ser sometida el agua.

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

Para el caso de los sistemas de tratamiento de agua residual, las normas RAS 2000, menciona aquellos...”...*métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos se conocen como operaciones unitarias, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza con base en procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios...*”.

Al referirse a operaciones y procesos unitarios es porque se agrupan entre sí para constituir los tratamientos primario, secundario y terciario (RAS, 2000; Sefin, 2013).

Tratamientos preliminares: aunque no reflejan un proceso en sí, sirven para aumentar la efectividad de los tratamientos primarios, secundarios y terciarios. Las aguas residuales que fluyen desde los alcantarillados a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), son muy variables en su flujo y contienen gran cantidad de objetos, en muchos casos voluminosos y abrasivos, que por ningún motivo deben llegar a las diferentes unidades donde se realizan los tratamientos y deben ser removidos.

En cuanto a los Tratamientos Primarios, el principal objetivo es el de remover aquellos contaminantes que pueden sedimentar.

El tratamiento primario Este tratamiento es para reducir principalmente sólidos sedimentables. Así mismo según las Normas RAS, en cuanto a los **tratamientos secundarios**, el objetivo de este tratamiento es remover la demanda biológica de oxígeno (DBO) soluble que escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos sedimentables y la descomposición de los contaminantes orgánicos en períodos cortos de tiempo.

Finalmente, **los tratamientos terciarios**, tiene el objetivo de remover contaminantes específicos, usualmente tóxicos o compuestos no biodegradables o aún la remoción complementaria de contaminantes no suficientemente removidos en el tratamiento secundario.

4.1.2 APLICACIÓN PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA

Es una herramienta fácil de usar para la selección de procesos de tratamiento de aguas residuales, su diseño está dirigido a operadores, ingenieros e investigadores interesados en el estudio de los procesos físicos, biológicos o químicos, que tienen lugar en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

La aplicación establece los datos poblacionales de los últimos censos y adicionalmente el método con el cual se desea calcular la población de proyecto.

Así mismo también asume por defecto una gran cantidad de parámetros. De esta manera un usuario no muy experimentado puede obtener resultados satisfactorios con un bajo margen de error. Presenta además cada una de las unidades de tratamiento, el esquema de tratamiento y eficiencia de remoción de contaminantes.

4.2 MARCO LEGAL

A continuación va a encontrar el marco legal y la forma como ha venido evolucionando la normatividad relacionada con los procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. Se fundamenta principalmente en la Constitución política colombiana, y se complementa con los distintos decretos, resoluciones y demás normatividad referente al tema.

Es gracias a estas leyes y regulaciones que se adjudica a las autoridades y entes gubernamentales las herramientas para la administración política, la vigilancia y el control de los distintos procesos de tratamiento de agua residuales domésticas.

Tabla 1 Marco legal

MARCO LEGAL	DEFIINICION
Constitución Política de Colombia	ARTICULO 365. Los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado. Es deber del Estado asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional.
	ARTICULO 366. El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable.
Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Ley 09 de 1979	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.

MARCO LEGAL	DEFIINICION
Decreto 1594 de 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.
Decreto Nacional 1641 de 1994	Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 142 de 1994.
Decreto Nacional 2785 de 1994	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994 se establecen disposiciones para la transformación y adecuación estatutaria de las entidades prestadoras de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y Saneamiento básico, para la creación de nuevas empresas de servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Saneamiento Básico, y se dictan otras disposiciones.
Resolución 1096 de 2000	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS
Decreto Nacional 3930 de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
RESOLUCIÓN 0330 DE 2017 (Junio 08)	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se derogan las Resoluciones números 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009

Fuente: Autor, 2018

4.3 ESTADO DEL ARTE (ANTECEDENTES)

El presente proyecto no ha sido desarrollado, sin embargo existen diferentes modelos que identifican y pre-dimensionan diferentes sistemas de tratamiento que están especificados en el estado del arte del presente anteproyecto. Así mismo existen programas hechos en el Centro de Investigación en Matemáticas, A.C. CIMAT el cual diagnostica la duración adecuada para el tratamiento de las aguas residuales y logran una remoción más eficiente de los contaminantes. El sistema mediante simulaciones virtuales, permite también hacer modificaciones al diseño de una planta de tratamiento para mejorar su funcionamiento (Jerez, 2010).

Por lo anteriormente expuesto se debe profundizar en el presente trabajo por dos razones: *la primera por la actualización de la norma RAS y la segunda porque se modificaron los parámetros de selección y diseño de sistema de tratamiento. Así mismo el valor agregado es el desarrollo del software basados en la actualización de la norma.*

A continuación, se presentan 3 diferentes trabajos encontrados en la bibliografía que han aportado software para el tratamiento de agua potable y residual, estos trabajos se han tenido en cuenta debido a su importancia e innovación a la hora de seleccionar un tratamiento adecuado de agua. Es de resaltar también su relevancia regional en los países donde fueron realizados, ya que su aplicación se ha circunscrito precisamente a su respectivo marco nacional.

1. Sistema de cómputo para el análisis y diseño óptimo de redes de distribución de agua potable.

Tzatchkov, Velitchko G; Izurieta, Jorge de Ingeniería hidráulica en México;11(2):55-63, may.-ago. 1996. Presenta un nuevo sistema de cómputo que automatiza y optimiza el diseño de redes de agua potable, con las siguientes posibilidades: digitalización, análisis estático y dinámico, selección óptima de los diámetros, diseño de cruceros, cálculo del costo, despliegue de los resultados en tablas y gráficas, isolíneas, superficies piezométricas, impresión de los resultados y dibujo de planos del proyecto ejecutivo, el sistema divide al plano de la localidad en un mosaico de segmentos según la escala deseada, con lo cual puede procesar proyectos de ciudades grandes en escalas de proyecto ejecutivo.

2. Modelo de selección de tecnología en el tratamiento de agua para consumo humano.

Alberto Galvis C.; Viviana Vargas F del Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico, CINARA,, presenta el desarrollo del modelo SelTec: Selección de Tecnología y Análisis de Costos en Sistemas de Potabilización de Agua. SelTec permite seleccionar alternativas tecnológicas sostenibles, para la potabilización del agua, en una localidad donde no existe sistema de tratamiento, evaluar la sostenibilidad de la tecnología en una planta de tratamiento existente y estimar costos de inversión inicial, reposición, administración, operación y mantenimiento para las opciones tecnológicas más utilizadas en Colombia. El modelo fue desarrollado por el Instituto Cinara de la Universidad del Valle en el marco de un proyecto para el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, en el periodo 1996 – 2002, donde se consideraron las siguientes opciones tecnológicas: ciclo completo, plantas compactas, filtración directa, filtración en múltiples etapas, remoción de hierro y manganeso; combinación de tecnologías. El orden de estos niveles es: el grado de

experiencias nacionales con la tecnología; características socioculturales de la localidad; disponibilidad de recursos y materiales; riesgo sanitario y eficiencia de las tecnologías; análisis de costos; capacidad y disponibilidad de pago.

3. Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de proceso y residuales.

Rigola Lapeña, Miguel de Alfaomeda Marcolombo, establece las técnicas de tratamiento de agua cubren una amplia variedad de procesos de purificación y sus diferentes alternativas de tratamiento se puede elegir cada una óptima, para ciertas condiciones determinadas y que posteriormente requiere de una evaluación experta basada en conocimientos especializados

5. MARCO METODOLOGICO

El diseño metodológico utilizado en el presente proyecto de grado fue investigación Acción. Según Muñoz Razo, Carlos “Son investigaciones en las que la recopilación de información se realiza enmarcada por el ambiente específico en el que se presenta el fenómeno de estudio” según el mismo autor “en la realización de estos trabajos se utiliza un método exclusivo de investigación y se diseñan ciertas herramientas para recabar información que solo se aplican en el medio en el que actúa el fenómeno de estudio; para el análisis de la información obtenida, se utilizan métodos y técnicas descriptivos que ayudan a obtener conclusiones formales, científicamente comprobadas”

Así mismo, se desarrolla bajo el esquema del ENFOQUE CUALITATIVO; el cual se basa en la recolección de datos con medición alfa numérica, como también busca descubrir o afinar preguntas de investigación.

Investigar requiere conocer, analizar y definir los enfoques, los modelos y los diseños de Investigación que se pueden utilizar; por otra parte las fases en las que se desarrollara el presente proyecto de investigación serán:

5.1 FASE 1: PLANEACIÓN

La presente fase está dirigida al desarrollo e identificación de variables, según las normas RAS, las variables físicas, químicas, biológicas, territoriales, económicas, políticas y sociales, entre otras que definen...”...*las obras o componentes de los sistemas ...*”. Dichas variables permiten garantizar la fiabilidad, eficiencia, seguridad, durabilidad y sostenibilidad de un sistema de purificación de agua facilitando desde la elaboración de los estudios y diseños hasta la puesta en marcha, operación y mantenimiento.

Es en esta parte donde se incluyen generalidades, calificación del tipo de aguas a tratar, sistemas de tratamiento en el sitio de origen, sistemas centralizados con metodologías de diseño recomendadas, etc.

Por último, se debe tener en cuenta el procedimiento general y particular para el diseño de los sistemas de depuración de aguas servidas para así desarrollar y procesar el software para la selección de alternativas de tratamiento de agua residual domestica

5.2 FASE 2: EJECUCIÓN

Se caracterizan tratamientos de depuración de aguas residuales, y se deben tener en cuenta los requerimientos en cuanto a los parámetros de calidad. Para ello es necesario identificar los diferentes procesos de tratamiento que estas usan. Para el caso del agua residual doméstica, los tratamientos suelen incluir la siguiente secuencia:

- Pre-tratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

Luego de identificar los diferentes procesos de tratamiento es necesario conocer las diferentes variables y parámetros que permiten seleccionar los trenes de tratamientos adecuados en los sistemas de depuración de aguas servidas.

5.3 FASE 3: EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO

Para desarrollar una aplicación significa construirla, para procesar las diferentes variables en los sistemas de tratamiento de agua residual domestica donde interviene la realidad del proceso para que sea solucionado. Para esta etapa final es necesario encontrar el proceso adecuado para el desarrollo software y que se puede resumir como se muestra a continuación tal como lo establece Rut Martínez Yuraima y Yanez Joel para el desarrollo de un software:

5.3.1 Análisis

La idea en esta etapa es realizar la identificación de los procesos de tratamiento para el tipo de agua demandado, y se analizan los requerimientos o necesidades de acuerdo al programa.

5.3.2 Diseño

Considera toda la estructura del sistema según las variables identificadas en los diferentes trenes de tratamiento, permitiendo a la aplicación presentar un diseño de acuerdo a las necesidades del usuario.

5.3.3 Codificación

Es en esta etapa donde se desarrolla todo el código del sistema por parte del programador y ofrecerle funcionalidad al sistema siempre y cuando se apege a las especificaciones de los procesos de tratamiento establecidos.

5.3.4 Pruebas

Se hace correr varias veces el sistema, en distintas situaciones para ponerlo a prueba frente a situación previamente diseñadas para revisar que errores se generan para así corregirlos.

5.3.5 Instalación

Finalmente se debe realizar la instalación de la aplicación para que se haga su debido uso por parte de quien así lo requiera.

6 MATERIALES Y METODOS

A continuación se presenta los materiales y métodos usados en la CODIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA BAJO

LAS NORMAS TECNICAS DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO EN COLOMBIA, de acuerdo al marco teórico.

6.3 DESCRIPCIÓN

Según la resolución 1096 del 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico, formulo la política relacionada con los sectores productivos del agua potable y saneamiento básico con el cual, mediante actos administrativos, genero los requisitos técnicos que deben cumplir con las obras o equipos y procedimientos que utilicen las empresas de servicios públicos que se encuentren en la jurisdicción del sector de agua potable y saneamiento básico, con el fin de mejorar la calidad de los servicios que ellos suministran a la población Colombiana.

El objeto de la presente resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo.

Según informa en el artículo 2, de la presente resolución aplica a los prestadores de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, a las entidades formuladoras de proyectos de inversión en el sector, a los entes de vigilancia y control, a las entidades territoriales y las demás con funciones en el sector de agua potable y saneamiento básico, en el marco de la Ley 142 de 1994. Así como a los diseñadores, constructores, interventores, operadores, entidades o personas contratantes que elaboren o adelanten diseños, ejecución de obras, operen y mantengan obras, instalaciones o sistemas propios del sector de agua y saneamiento básico.

Finalmente, como base del presente trabajo de grado, el reglamento o manual de buenas prácticas se deben aplicar...”...a los proyectos que se lleven a cabo en el territorio nacional en el sector de agua potable y saneamiento básico, cubiertos por el alcance de este Reglamento deberán ser ejecutados por profesionales que tengan las calidades y los requisitos de idoneidad que trata cada título y deberán seguir en los procedimientos generados...”

6.4 SISTEMA DE MUESTREO

Con base a la información que nos brinda las Resolución 0330 de 2017, se definieron los siguientes sistemas de muestreo para la CODIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA BAJO LAS NORMAS TECNICAS DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO EN COLOMBIA.

6.4.1 ESTIMACION DE LA POBLACION

Según el DANE, la estimación de la población define el tamaño y la composición de las habitantes en diferentes periodos de tiempo (presentes y futuros) y que estos valores se pueden obtener por medio de procedimientos que se denominan proyección de población.

Dependiendo de las proyecciones de la población se puede prever demográficamente las hipótesis más probables en el comportamiento del crecimiento de una población teniendo en cuenta los márgenes de errores adecuados y las variables más acertadas dependiendo de las condiciones en la que vivan sus habitantes.

Es tan importante definir el tamaño de la población ya que para el Banco de la Republica en su publicación del año 2009 acerca de la Metodología de Proyecciones de Población y Estudios Demográficos menciona que, *“... en el marco de las Conferencias Internacionales de las Naciones Unidas se ha adoptado como principio fundamental del desarrollo humano sostenible, a la población, como sujeto y objeto de las acciones del progreso, cobrando así cada vez mayor relevancia los datos sociodemográficos de los diversos grupos y sectores que la conforman según sea su edad y sexo, información que sirve de insumo para los fines de la planeación y gestión de la política pública...”*

Lo mencionado anteriormente también apoya la teoría del desarrollo sostenible donde establece no solo, que se debe ver a la población como demandante de recursos, sino también como recurso productivo y actor del desarrollo de su entorno y medio ambiente, esto en pro de establecer su capacidad de producción, generación de empleo, consumo, ordenamiento territorial y *lo más importante como la primera variable de selección de procesos de tratamientode agua residual.*

Acorde a lo anterior, es por ello que en el alcance del decreto 0330 de 2017, artículo 8, establece que se debe, *“...determinar la población directa o indirectamente afectada, así como la población objetivo o beneficiada con la ejecución del proyecto, calculada dentro del periodo de diseño del mismo. Para establecer una línea base, se deberá buscar información confiable, proveniente de entidades oficiales relacionadas con el tema...”*

A continuación, se presentara la forma en que se debe estimar el tamaño de la población:

6.4.1.1 Censos de población.

En palabras coloquiales un censo de población es un conteo y recuento de la población, que por lo general se realiza en un periodo de tiempo de 10 años aproximadamente con el fin de establecer el tamaño de la población actual y de esta manera conocer los cambios en las actividades económicas, conocimientos, desplazamientos, nivel de estudio, infraestructura, poder adquisitivo entre otros tantos con el fin de proyectar las futuras actuaciones del sector público como el abastecimiento de agua, tratamientos de las basuras, vías, planes parciales, etc.

Actualmente el ente encargado de los censos en el país es el Departamento Administrativo Nacional de Estadística “DANE”, apoyado de la red local de secretarías de planeación tanto a nivel departamental como municipal, así como los diferentes entes que actualmente hacen parte de Gobierno en Línea.

6.4.1.2 Métodos de cálculo de proyección de población.

Se calculará la población utilizando por lo menos los siguientes modelos matemáticos según las normas RAS 2000, como lo son: Aritmético, geométrico y exponencial, seleccionando el modelo que mejor se ajuste.

Para el método de cálculo y con base al análisis de los resultados del DANE de la población se recomienda realizar un análisis de sensibilidad teniendo en cuenta las siguientes variaciones metodológicas:

- Usar como año inicial para la proyección cada uno de los años existentes entre el primero y el penúltimo censo.
- Calcular una tasa de crecimiento poblacional representativa de la dinámica entre los diferentes datos censales disponibles, y con esta realizar las proyecciones a partir de los datos del último censo.

En el análisis de sensibilidad para los modelos aritmético y geométrico y exponencial establece que la tasa de crecimiento se calcula a partir del último censo (uc) y del censo inicial (ci), una primera proyección se realiza considerando como último censo el del año 2005 y como censo inicial el del año 1985, en la segunda proyección, no se tiene en cuenta en el análisis el efecto del censo del año 1985 y por lo tanto se considera como censo final el del año 2005 y censo inicial el del año 1993.

En el método exponencial, al disponerse de 3 censos poblacionales, se calcula un K_a promedio para los dos K obtenidos en los períodos: 1985 – 1993 y 1993 – 2005.

6.4.1.3 Método aritmético.

Si el aumento de la población es constante e independiente del tamaño de la misma, el crecimiento podría tener un comportamiento lineal, si P es la población y T es el tiempo, se tiene entonces:

$dP/dT = K_a$
Dónde:
$dP = K_a \cdot dT$

Integrando entre los límites del último censo (uc) y del censo inicial (ci), se tiene la siguiente expresión:

$$Ka = (Puc - Pci) / (Tuc - Tci)$$

Dónde:

Ka:	Pendiente de la recta de crecimiento, hab/año
PUC:	Población del último censo, expresada en hab
PCI:	Población del censo inicial, expresada en hab
TUC:	Año del último censo, expresado en años
TCI:	Año del censo inicial, expresado en años

De acuerdo con este método, la población final viene dada por la siguiente expresión:

$$Pf = Puc + Ka (Tf - Tuc)$$

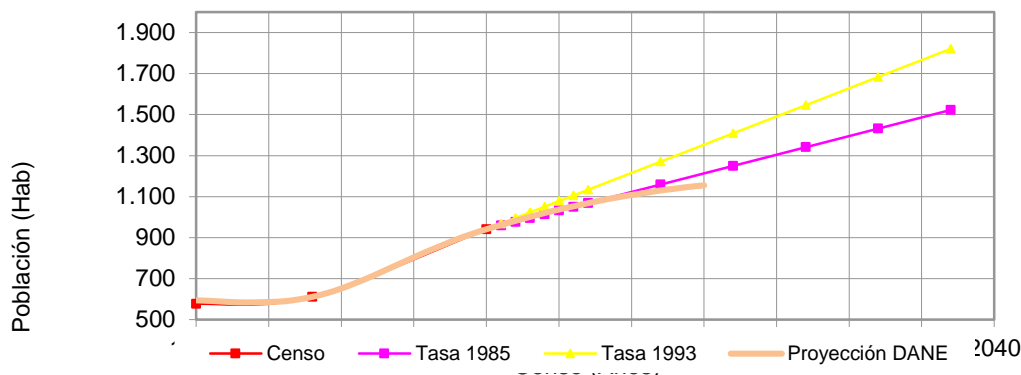
Dónde:

Pf :	Población proyectada al año horizonte de diseño, expresada en hab
Tf :	Año de la población proyectada en años

$$Ka = (Puc - Pci) / (Tuc - Tci)$$

Los resultados de manera gráfica se ilustran en la siguiente figura en donde se indican las tendencias de crecimiento, dependiendo de la tasa calculada para cada censo inicial.

Ilustración 1 Tendencias de crecimiento aritmético para diferentes tasas de cálculo dependiendo del año de censo inicial.



Fuente: Consorcio Manov CPT PDA, 2011.

La anterior grafica identifica un ejemplo de crecimiento de población

6.4.1.4 Método geométrico.

Este método es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades.

De acuerdo con este método, la población final viene dada por la siguiente expresión:

$$P_f = P_{uc} (1+r)^{T_f} - T_{uc}$$

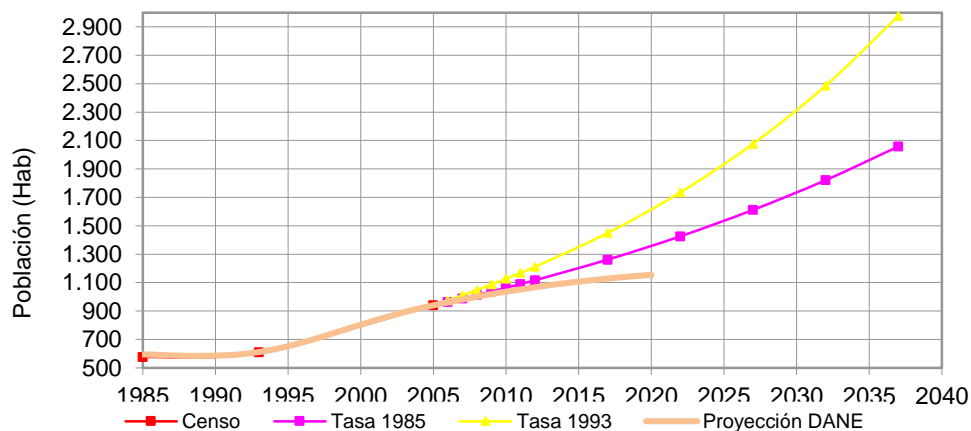
En donde r es la tasa de crecimiento anual, calculada a partir de la ecuación anterior, se reemplaza el subíndice f por uc y uc por ci y se despeja el término r para obtener la siguiente ecuación:

$$r = (P_{uc}/P_{ci})(1/(T_{uc} - T_{ci})) - 1$$

Este valor se reemplaza en la anterior ecuación para hacer la proyección de población.

$$P_f = P_{uc} (1+r)^{T_f} - T_{uc}$$

Ilustración 2 Tendencias de crecimiento geométrico para diferentes tasas de cálculo dependiendo del año de censo inicial



Fuente: Consorcio Manov CPT PDA, 2011.

La anterior grafica identifica un ejemplo de crecimiento de población

6.4.1.5 Método exponencial.

Si el crecimiento de la población es de tipo exponencial, la población se proyecta a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{dP}{dT} = K_g \cdot P$$

De donde, se tiene que:

$$\frac{dP}{P} = K_g \cdot dT$$

Integrando la anterior ecuación entre dos periodos de tiempo cualquiera, se tiene que:

$\ln (P_f) - \ln (P_o) = K_g (T_f - T_o)$
$K_g = (\ln (P_{cp}) - \ln (P_{ca}) / (T_{cp} - T_{ca})$

Donde el subíndice **cp** corresponde al censo posterior y el subíndice **ca**, al censo anterior.

La aplicación de este método requiere de por lo menos tres (3) censos, ya que al evaluar un K_g promedio se necesita un mínimo de dos (2) valores de K_g , y haciendo una integración abierta de la ecuación anterior, se obtiene:

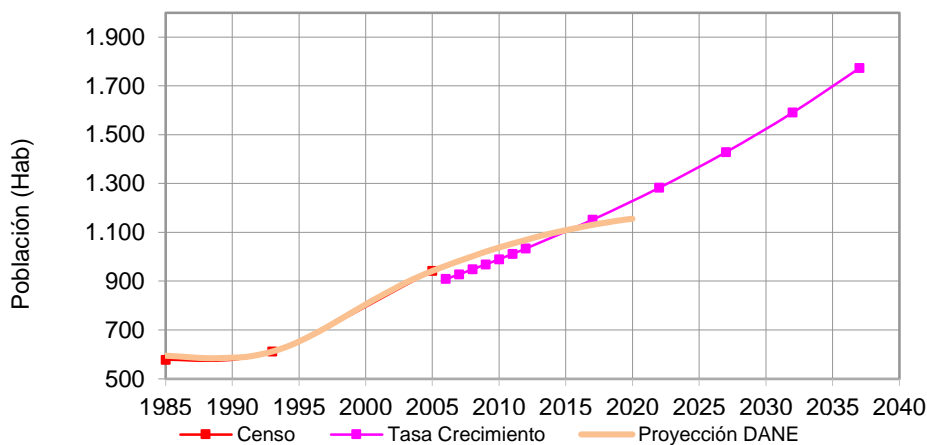
$\ln P + C = K_g \cdot T$
Para $T = 0$ y $P = P_{ci}$
$C = - \ln P_{ci}$

Remplazando el valor promedio de K_g (obtenido en la ecuación respectiva) en la anterior ecuación, la ecuación de proyección de población será:

$\ln (P_f) = \ln (P_{ci}) + K_g \cdot (T_f - T_{ci})$
Es decir:
$P_f = P_{ci} e^{K_g (T_f - T_{ci})}$

En la siguiente figura se presentan las proyecciones obtenidas por el método exponencial.

Ilustración 3 Tendencias de crecimiento exponencial para diferentes tasas de cálculo dependiendo del año de censo inicial.



Fuente: Consorcio Manov CPT PDA, 2011.

La anterior grafica identifica un ejemplo de crecimiento de población

Es factible usar otro método de proyección como el grafico, según lo establecía las Normas RAS 2000, "...cuando la información censal es insuficiente o poco confiable, lo cual hace que las proyecciones geométricas y exponencial, arrojen resultados que no corresponden con la realidad. El método gráfico consiste en comparar gráficamente la población del municipio en estudio con la de otros tres municipios del país..."... con las siguientes características:

Uno de los municipios (población B) debe ser de la misma región, con desarrollo, clima y tamaño similar al del municipio en estudio y obviamente con información confiable en cuanto a crecimiento de la población.

El otro municipio (población C) debe ser de la misma región, con desarrollo y clima similar al del municipio en estudio (población A) pero con un número de habitantes mayor al de este municipio.

El tercer municipio (población D) debe ser de otra región del país con una número de habitantes mayor al del municipio en estudio (población A) y con un desarrollo y clima similar.

6.4.1.6 Población flotante.

De acuerdo a los requerimientos del numeral 3. De la resolución 0330 de 2017, se hace necesario el ajuste de la población efectiva calculada con relación a la población flotante y migratoria del proyecto, el cálculo de esta población debe considerar actividades turísticas, laborales, industriales y/o comerciales que representen población flotante, debe ajustarse la proyección de la población para tener en cuenta la población flotante, de acuerdo con los estudios socioeconómicos disponibles para la población, en caso de que existan posibilidades de migración hacia el municipio, ésta debe tenerse presente en los estudios de proyección de la población, en caso de que no existan datos, el diseñador debe proyectar la población utilizando alguna metodología especial establecida de común acuerdo con el contratante, para efectos la mayoría de consultorías en el país estima en un valor porcentual del 3% con relación a la población calculada.

6.4.1.7 Población proyectada.

Con el cálculo de las proyecciones de población, incluyendo la población flotante definida en el numeral anterior, determina el tamaño de la población proyectada.

6.4.1.8 Período de diseño.

Para todos los proyectos de saneamiento básico se tiene previsto periodo de diseño de 25 años a partir de la puesta en marcha del proyecto.

Recordemos que el periodo de diseño es aquel que define el tiempo máximo en el cual se podrá tener en cuenta los diseños a los cuales queremos abastecer, ya sea de sistemas de tratamiento, o sistemas de acueducto, alcantarillado y otros que permiten el saneamiento básico de la población.

En dado caso que el periodo de diseño no coincida con la proyección de población es necesario retomar los datos de población del numeral 4, y repetir el procedimiento para ajustar los diseños de manera adecuada con los niveles de complejidad.

6.4.2 Estimacion de la dotación.

La Dotación es el consumo de agua diario que sirve para el cálculo de los caudales de diseño, por lo general el sistema de abastecimiento o el sistema de vertimiento público deberá ser siempre que sea posible, una cantidad suficiente y de la mejor calidad desde el punto de vista físico, químico y bacteriológico.

Para efectos de calcular el caudal de diseño tanto para el sistema de acueducto como el sistema de alcantarillado, o tratamiento de agua o análisis de recolección de residuos entre otros, se hace necesario definir la siguiente metodología:

6.4.2.1 *Calculo de la dotación neta.*

La dotación neta per cápita de aportes unitarios de cada habitante, se escoge de acuerdo al a la dotación máxima del sistema, y representa la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto, esta variable se expresa en L/(hab-día), su valor se escoge de acuerdo con el artículo 43 de la Resolución 0330 de 2017

Tabla 2. Dotación neta máxima.

ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACION NETA MAXIMA (L / HAB* DIA)
≥2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
≤ 1000 m.s.n.m	140

Fuente: Artículo 43, Resolución 0330 de 2017.

6.4.2.2 Cálculo de las pérdidas.

Se contempla las pérdidas de agua como un parámetro para el cálculo de las dotaciones brutas respecto a las pérdidas en la aducción o agua cruda, en la planta de tratamiento para su operación y mantenimiento, pérdidas en la conducción y distribución así como las pérdidas técnicas en el sistema por efecto de reparaciones y daños que se puedan presentar, pero debido al alto valor de estas pérdidas y a la luz del Artículo 6º de la Resolución 1795 de la CRA, todos los sistemas están comprometidos a realizar esfuerzos para disminuirlas al máximo pues el nivel máximo de agua no contabilizada que se aceptará para el cálculo de los costos de la prestación del servicio será del 25%. De otro lado la Ley 373 de junio de 1997, por la cual se establece el programa para uso eficiente y ahorro del agua, invita a hacer esfuerzos ingentes para reducir las pérdidas de los sistemas de acueducto en el territorio nacional.

Finalmente, en el párrafo en el artículo 44 de la resolución 0330 establece que:”
...el porcentaje de pérdidas técnicas máximas en la ecuación anterior engloba el total de pérdidas esperadas en todos los componentes del sistema (como conducciones,

aducción y redes), así como las necesidades de la planta de tratamiento de agua potable, y no deberá superar el 25%..”

6.4.2.3 Cálculo de la dotación bruta.

El artículo 44 de la resolución 0330 de 2017, define que la Dotación Bruta, es la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante considerando para su cálculo el porcentaje de pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto, para su cálculo la Norma RAS 2000 y la resolución, establece la siguiente ecuación:

$$DB = DN / (1 - \%P)$$

Dónde:

DN	Dotación Neta del Sistema de Acueducto, expresada en L/ (hab día).
DB	Dotación Bruta del Sistema de Acueducto, expresada en L/ (hab día).
%P	Porcentaje de Perdidas del Sistema, expresado en tanto por uno (% de pérdidas no debe ser superior al 25%).

6.4.3 Estimación de la demanda.

Recordemos que la demanda de agua define la cantidad y la calidad que requiere una población para su abastecimiento y/o tratamiento inicialmente para el consumo humano, la producción sectorial y las demandas esenciales de los ecosistemas no antrópicos, en el cual para la estimación de la demanda hídrica, en el marco del Estudio Nacional del Agua 2010... “...se seleccionaron los siguientes sectores, intensivos o

extensivos en el uso del recurso hídrico: agua para uso humano o doméstico, agua en actividades industriales, agua en actividades de servicios, agua en el sector agrícola, agua en el sector pecuario y en acuicultura, y agua en el sector de energía...”, en el cual el grueso del cálculo tiene como soporte en operaciones estadísticas objetivas y continuas que, dependiendo del dominio de medición, pueden ser censos, encuestas o registros administrativos. Su utilización garantiza atributos deseables, tales como confiabilidad estadística, certidumbre frente a la sostenibilidad en el tiempo, representatividad de los datos, oficialidad de las cifras utilizadas y replicabilidad del ejercicio; en suma, esto le confiere a la estimación misma un valor defendible.

Conforme a los resultados antes mencionados, acerca de la proyección de la población, estimación de la dotación neta y la evolución de la pérdidas y dotaciones brutas del sistema, se procede a la construcción y definición de la curva de la demanda del sistema, considerando que las misma no se efectúa mediante una operación directa, sino que debe considerarse los criterios en el comportamiento de las distintas variables

Las variables anteriormente mencionadas para la demanda, fueron establecidas por el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, acorde a la normatividad RAS 2000, y su manual de buenas prácticas que estableció los siguientes parámetros en cuanto a caudales y que se deben tener en cuenta en el tratamiento de agua sea de vertido.

A continuación, encontrara la metodología adoptada para cada uno de los caudales requeridos:

6.4.3.1 Caudal medio diario.

El caudal medio diario, Qmd, es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Qmd = \text{Población} * \text{Dotación bruta} / 86400$$

6.4.3.2 Caudal máximo diario.

El caudal máximo diario, QMD, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k1.

K1, es un coeficiente de consumo diario que corresponde a la evaluación de los estudios nacionales de demandas de agua en cada zona del país y que está en correlación con los diferentes niveles de complejidad del sistema y se observa a continuación:

6.4.3.3 Caudal máximo horario.

El caudal máximo horario, QMH, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k2; por lo general es la relación entre el caudal máximo horario y el caudal máximo diario,

por lo general y en función de los niveles de complejidad del sistema y el tipo de red de distribución se establece de la siguiente manera:

Para aclarar la red de distribución menor corresponde a aquellos sectores que después del sistema de tratamiento solo abastece poblaciones que se encuentran dentro de la red de distribución del sistema por lo general en sistema de mallas simples. Para la Red Secundaria, pertenece a una red sectorizada de dos o más redes menores de distribución y finalmente la red matriz que incluye más de dos redes secundarias y presenta uno o más puntos principales de abastecimiento. Finalmente, el caudal máximo horario se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$QMH = QMD * k2$$

Es necesario identificarse este tipo de suscriptores para tener especiales detalles al momento del abastecimiento del mismo e incluirlo de manera independiente como una demanda atípica dentro de los sectores a evaluar y que no se contemplaron en el estudio de población y proyección de dotación.

Otro tipo de caudales que se pueden establecer son los caudales de incendios que giran alrededor de 5l/s por cada hidrante que se instale y también depende del nivel de complejidad.

Es fundamental este tipo de evaluación porque permite establecer los parámetros mínimos de tratamiento de agua residual. Los factores de mayoración K1 y K2 deben calcularse para cada caso con base a los registros históricos de macromedición. En

condiciones excepcionales en las que dicha información no esté disponible, debe justificarse la selección de los valores empleados.

Sin embargo, el parágrafo 2, del artículo 47 de la resolución 0330 de 2017, ...”
...para poblaciones menores o iguales a 12.500 habitantes, al periodo de diseño, en ningún caso el factor k_1 será superior a 1.3 ni el factor k_2 superior a 1.6. Para poblaciones mayores a 12.500 habitantes, al periodo de diseño en ningún caso el factor K_1 será superior a 1.2, ni el factor k_2 superior a 1.5”

6.4.4 DEFINICION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

Según Metcalf & Eddy - 1998, se puede definir el agua residual “...como la combinación de los residuos líquidos procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales...”

En la medida en que se vaya presentando acumulación y estancamiento del agua residual pueden generarse gases de mal olor debido a la descomposición orgánica que ésta posee; además es importante anotar que en el agua residual hay existencia de numerosos microorganismos patógenos causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal humano o que pueden estar en ciertos residuos industriales. Pero no todo es negativo, las aguas residuales contienen nutrientes que en gran parte ayudan al crecimiento de plantas acuáticas. Con base a lo anterior, es necesario definir un sistema de tratamiento acorde a las condiciones poblaciones, y las estimaciones de caudales, para ello es importante definir los criterios y parámetros que se presentan a continuación:

6.4.4.1 *Estimación real de las contribuciones de aguas residuales.*

La estimación de las contribuciones de aguas residuales, que serán objeto de este subcapítulo están enmarcados en lo estipulados por el artículo 134 de la resolución 0330 de 2017, del cual se derivan los valores de aportes estimados para las contribuciones domésticas, institucionales, comerciales, industriales y otros aportes adicionales no relacionados al consumo como son las conexiones erradas e infiltraciones.

El diseño del proceso de tratamiento de aguas residuales, debe basarse en el caudal máximo semanal para el periodo de diseño. El diseño hidráulico de la planta debe hacerse para el caudal máximo horario.

El aporte doméstico de aguas residuales denominado QD, depende de la dotación per cápita, la población, la densidad demográfica y el coeficiente de retorno, el cálculo de este aporte está dado por la siguiente expresión:

$$QD = C \times P \times R / 86400$$

Dónde:

QD	Caudal de diseño de aportes domésticos, expresado en L/s
C	Dotación neta de diseño corregida, expresada en l/hab día
P	Población en hab.
R	Coefficiente de Retorno de Aguas Residuales, adimensional

Cabe resaltar que el coeficiente de retorno es la fracción del agua de uso doméstico servida (dotación neta), entregada como agua negra al sistema de recolección

y evacuación de aguas residuales. Su estimación debe provenir del análisis de información existente de la localidad y/o de mediciones de campo.

Sin embargo la misma resolución establece que las aguas residuales domesticas se pueden proyectar con la demanda de agua potable con base al área de demanda o por el número de suscriptores con el que cuente el operador.

A su vez, se deben considerarse los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado sanitario, provenientes de malas conexiones de bajantes de tejados y patios, QCE. Estos aportes son función de la efectividad de las medidas de control sobre la calidad de las conexiones domiciliarias y de la disponibilidad de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias. La información existente en la localidad sobre conexiones erradas debe utilizarse en la estimación de los aportes correspondientes.

También se deben contemplar las conexiones erradas y las infiltraciones de aguas subsuperficiales a las redes de sistemas de alcantarillado sanitario, principalmente freáticas, a través de fisuras en los colectores, en juntas ejecutadas deficientemente, en la unión de colectores con pozos de inspección y demás estructuras, y en éstos cuando no son completamente impermeables. Su estimación debe hacerse en lo posible a partir de aforos en el sistema, en horas cuando el consumo de agua es mínimo, y de consideraciones sobre la naturaleza y permeabilidad del suelo, la topografía de la zona y su drenaje, la cantidad y distribución temporal de la precipitación, la variación del nivel freático con respecto a las cotas clave de los colectores, las dimensiones, estado y tipo de colectores, los tipos, número y calidad constructiva de uniones y juntas, el número de pozos de inspección y demás estructuras, y su calidad constructiva.

Con base a lo anterior, se puede calcular el caudal medio diario de aguas residuales (QMD) es la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$QMD = QD + QI + QC + QIN$$

Dónde:

QMD	Caudal medio diario de aguas residuales, expresado en L/s.
QD	Caudal de diseño de aportes domésticos, expresado en L/s.
QI	Caudal de aportes industriales, expresado en L/s.
QC	Caudal de aportes comerciales, expresado en L/s.
QIN	Caudal de aportes Institucionales, expresado en L/s.

Luego de haber calculado el caudal máximo diario se debe estimar el factor de mayoración, F, que debe ser estimada a partir de mediciones de campo. Sin embargo, esto no es factible en muchos casos, por lo cual es necesario estimarlo con base en relaciones aproximadas como las de Harmon y Babbitt, válidas para poblaciones de 1.000 a 1.000.000 habitantes, y la de Flores, en las cuales se estima F en función del número de habitantes con la expresión:

$$QMH = F \times QMD$$

Dónde:

F	Factor de mayoracion
QMD	Caudal medio diario, expresado en L/s

C	Dotación neta de diseño corregida, expresada en l/hab día
P	Población en hab.
R	Coefficiente de Retorno de Aguas Residuales, adimensional

En general el valor de F debe ser mayor o igual a 1,4. Se emplea esta función, dado que se recomienda para poblaciones mayores a 1.000 habitantes, ahora el cálculo entre la ecuación de Harmon y Babbit para este rango de poblaciones poseen una discrepancia importante, siendo más conservadora la expresión de Harmon.

Finalmente, se determinara el caudal de diseño de la planta, sumando el caudal máximo horario de aguas residuales más el aporte de infiltración más el aporte de conexiones erradas, la expresión que define lo anterior es:

$$QDIS = QMH + QINF + QCE$$

De donde:

QDIS	Caudal de Diseño, en L/s.
QMH	Caudal máximo horario, en L/s.
QINF	Caudal por infiltración, en L/s.
QCE	Caudal por conexiones erradas, en L/s

Dado que los caudales tanto de conexiones erradas como los de infiltración, serán aliviados en época de invierno cuando el sistema supera la capacidad hidráulica y tratados en el tratamiento preliminar en época de verano; la expresión anterior se reduce a:

$$DIS = QMH$$

Para el diseño de la PTAR, deberá utilizar datos históricos de factores máximos de su cuenta, de PTAR similares en tamaño o condiciones o en su defecto emplear factores picos así:

Tabla 3. Factor máximo

Rango de caudales (l/s)	Factor máximo horario	Factor máximo diario	Factor máximo mensual
0 -10	4	3	1,7
Los valores de los factores máximos horario, diario y mensual para caudales entre 10 y 90 l/s se interpolarán linealmente			
90	2,9	2,1	1,5
Los valores de los factores máximos horario, diario y mensual para caudales entre 10 y 700 l/s se interpolarán linealmente			
mayor a 700	2	1,5	1,2

Fuente, Resolución 0330 de 2017.

Por otro lado, el artículo 166 de la resolución 0330 de 2017, establece que el caudal de diseño para el dimensionamiento de los procesos de tratamiento de aguas residuales, deberán tenerse en cuenta los caudales indicados en la tabla a continuación:

Tabla 4. Caudales de diseño para el tratamiento de aguas residuales

Caudal	Descripción	Aplicación
Caudal medio de diseño	Caudal medio diario de capacidad de la PTAR	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal medio de referencia. • Caudal de diseño de unidades de tanques sépticos. • Sistemas lagunares.
Caudal máximo horario	Máximo volumen en una hora, identificado en los registros estudiados.	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamiento de sistemas de bombeo, procesos físicos desarenadores, cribados, trampas de grasa y sedimentadores primarios y secundarios). • Desarrollo de estrategias operativas. • Conductos de interconexión de unidades de proceso.
Caudal máximo diario	Máximo volumen en un día, identificado en los registros estudiados.	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamiento de tanques de regulación. • Dimensionamiento de sistemas de bombeo de lodos.

		<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamiento de dosificación química.
Caudal máximo mensual	Caudal promedio diario para el mes con el mayor volumen mensual identificado en los registros estudiados.	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamiento de bioreactores. • Dimensionamiento del almacenamiento de químicos

Fuente: Resolución 0330 de 2017.

6.4.4.2 Caracterización de las aguas residuales.

Según el artículo 169 de la resolución 0330 de 2017, después de haber calculado el caudal de diseño de la planta, es necesario la representación de la composición del agua para ese tiempo y lugar específicos.

Se deben realizar por lo menos tres jornadas de 24 horas en tiempo seco y tres jornadas en tiempo húmedo, para la medición de caudales y muestreo, con toma de datos cada hora. Dos de las tres campañas deben realizarse entre semana y una tercera campaña el día sábado. Los parámetros que se requiere medir son: temperatura de ambiente, temperatura del agua, pH, DBO5, SST, SSed, grasas y aceites, nitrógeno total, fosforo total, oxígeno disuelto, coliformes fecales, coliformes totales

6.4.4.3 Análisis de cargas contaminantes.

En la actualidad los países en desarrollo enfrentan un gran desafío; aumentar sus tasas de crecimiento económico y lograr al mismo tiempo, menores impactos sobre el medio ambiente. Tradicionalmente los esfuerzos hechos por estos países (Incluido Colombia), apuntan al uso de mecanismos de “comando y control” para reducir la contaminación, que son imposiciones de valores de vertidos, restricciones, penalizaciones y multas. Un caso en Colombia es el decreto 901 de 1997, por medio del

cual se establecen el uso de las tasas retributivas para el control de la contaminación de las aguas en el país, por medio de esta se desarrollan un mecanismo económico, basado en señales de precio, para aquellos que usan las aguas del país como lugar donde disponer lo que no necesitan.

Las tres grandes fuentes de contaminación del agua son: las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales y las escorrentías por uso del suelo en los asentamientos poblacionales los cuales afectan los niveles de oxígeno disuelto en agua especial para la vida del agua y el equilibrio, para nuestro caso se analizarán las primeras. Además las aguas negras poseen bacteria patógenas presentes en las heces humanas, las cuales están relacionadas con las altas tasas de mortalidad infantil y de la morbimortalidad. La contaminación con metales pesados, químicos, sales, grasa y sólidos suspendidos, etc., están presentes en los efluentes industriales.

En Colombia la tasa retributiva solamente grava dos sustancias que son sustancias que son el DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y SST (Sólidos Suspendidos Totales). Es muy importante mencionar que una sustancia contaminante no es necesariamente una sustancia siempre dañina y dispuesta a destruir el recurso, es una condición necesaria pero no suficiente, para que lo sea se requiere un grado de concentración de cantidades excesivas que no permita la auto regeneración del recurso y ponga en peligro la supervivencia del recurso, la salud humana del hombre y afecte el bienestar de forma directa o indirecta.

El mayor problema concerniente a la calidad del agua está relacionado con la contaminación por materia orgánica, le siguen los sólidos disueltos y posteriormente una gama amplia de sustancia químicas.

El objetivo del análisis de cargas es identificar el nivel de remoción con los diferentes sistemas de tratamientos. Cabe resaltar que esta metodología está definida en las normas RAS, pero depende de la eficiencia del sistema de tratamiento de agua residual es sus diferentes etapas.

Los diferentes procesos deben reducir la carga contaminante del vertimiento en cumplimiento a la norma 1594 de 1984 como se describe en las tablas a continuación:

a. Para el caso de los parámetros básicos.

Tabla 5. Cumplimiento de las cargas contaminantes básicas.

Referencia	Usuario existente	Usuario nuevo
pH	5 a 9 unidades	5 a 9 unidades
Temperatura	40°C	40°C
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción 80% en carga	Remoción 80% en carga
Sólidos suspendidos, domésticos o industriales	Remoción 50% en carga	Remoción 80% en carga
Demanda bioquímica de oxígeno:		
Para desechos domésticos	Remoción 30% en carga	Remoción 80% en carga
Para desechos industriales	Remoción 20% en carga	Remoción 80% en carga

Fuente: Decreto 1594 de 1984.

b. Para el caso de los parámetros químicos.

Tabla 6. Cumplimiento De Las Cargas de Contaminantes Químicas

Sustancia	Expresada como	Concentración (mg/l)
Arsénico	As	0.5
Bario	Ba	5.0
Cadmio	Cd	0.1
Cobre	Cu	3.0
Cromo	Cr ⁺⁶	0.5
Compuestos fenólicos	Fenol	0.2
Mercurio	Hg	0.02
Níquel	Ni	2.0
Plata	Ag	0.5
Plomo	Pb	0.5
Selenio	Se	0.5
Cianuro	CN-	1.0
Difenil policlorados	Concentración de agente activo	No detectable
Mercurio orgánico	Hg	No detestable
Tricloroetileno	Tricloroetileno	1.0
Cloroformo	Extracto Carbón	1.0
	Cloroformo (ECC)	
Tetracloruro de Carbono	Tetracloruro de Carbono	1.0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	1.0
Sulfuro de Carbono	Sulfuro de Carbono	1.0
Otros compuestos organoclorados, cada variedad	Concentración de agente activo	0.05
Compuestos organofosforados, cada variedad	Concentración de agente activo	0.1
Carbamatos		0.1

Fuente: Decreto 1594 de 1984

Los valores anteriormente mencionados aplican según corresponde a la muestra que entablo las normas 0330, en cuanto a la caracterización del vertimiento.

Sin embargo, se debe revisar que la muestra de salida de la PTAR, cumpla con lo establecido con la resolución 0631 de 2015.

6.4.4.4 Identificación del sistema de tratamiento.

Existen diferentes procesos para el tratamiento de agua residual y múltiples bibliografías para definir trenes de tratamiento para tratar con detalle cada uno de los parámetros de la caracterización de las aguas residuales, con el fin de disminuir a lo normativo las cargas contaminantes; a continuación se muestran las eficiencias de cada proceso las cuales están determinadas así:

Tabla 7. Eficiencias del sistema de tratamiento.

	Unidades de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción de parámetros, porcentajes (%)						
		DBO5	DQO	SST	SSED	Grasas y aceites	Patógenos	Observaciones
Pre-tratamiento	Cribado o desbaste	0-15	0-10	10-50	0-6	0-40	N/A	Remociones con miltamices y microcribas
	Desarenadores	0-5	0-5	0-10	N/A	N/A	N/A	
	Trampa de grasas	0-5	0-3	10-15	N/A	85-95	N/A	
Tratamiento Primario	Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	75-85	60-70	30-50	
	Lagunas anaerobias	50-70	30-50	50-60	75-85	80-90	80-90	
	Tanque Imhoff	25-40	15-30	50-70	75-85	60-70	30-50	
Tratamiento Secundario	Reactor UASB (RAFA)	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Lagunas facultativas	80-90	40-50	63-75	75-85	70-90	80-90	Sin contar con algas
	Lagunas aireadas	80-95	60-70	N/A	N/A	N/A	80-90	Con sedimentación secundaria
	Reactor anaerobio RAP	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	

	Lodos activados (convencionales)	80-95	70-	80-	N/A	N/A	80-90		
			80	90					
	Filtros percoladores De alta tasa, roca De alta tasa, plastico	65-90	55-	60-					
			70	85	N/A	N/A	80-90		
		75-95	60-	65-	N/A	N/A	80-90		
			80	85					
Desinfección	Ravos UV	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100		
	Cloración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100		
	Laguna de maduración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	99,99		

Fuente: Artículo 184 de la resolución 0330 de 2017.

Existen múltiples soluciones de tratamiento dependiendo de la caracterización de las aguas residuales y del análisis de cargas, no existe una metodología clara para la selección de la misma y siempre depende de la concertación con la Interventoría y el Supervisor del Contrato.

6.5 ANÁLISIS DE DATOS.

Para poder simplificar el ingreso del sistema de muestreo y las variables necesarias para determinar los procesos de tratamiento de aguas residuales domesticas según el reglamento de agua potable y saneamiento básico– se utilizará el lenguaje de programación JAVA.

Según Overview -2015, Java es un lenguaje de programación de propósito general, concurrente, orientado a objetos que fue diseñado específicamente para tener tan pocas dependencias de implementación como fuera posible. *“...Su intención es permitir que los desarrolladores de aplicaciones escriban el programa una vez y lo*

ejecuten en cualquier dispositivo (conocido en inglés como WORA, o "write once, run anywhere"), lo que quiere decir que el código que es ejecutado en una plataforma no tiene que ser recompilado para correr en otra. Java es, a partir de 2012, uno de los lenguajes de programación más populares en uso, particularmente para aplicaciones de cliente-servidor de web, con unos 10 millones de usuarios reportados..."

Según LagPop - 2013, el lenguaje Java se creó con cinco objetivos principales:

1. Debería usar el paradigma de la programación orientada a objetos.
2. Debería permitir la ejecución de un mismo programa en múltiples sistemas operativos.
3. Debería incluir por defecto soporte para trabajo en red.
4. Debería diseñarse para ejecutar código en sistemas remotos de forma segura.
5. Debería ser fácil de usar y tomar lo mejor de otros lenguajes orientados a objetos, como C++.

El principio es separar aquello que cambia de las cosas que permanecen inalterables, frecuentemente cambiar una estructura de datos implica un cambio en el código que opera sobre los mismos, o viceversa. Esta separación en objetos coherentes e independientes ofrece una base más estable para el diseño de un sistema software.

Con base a esta información, la sistematización del trabajo de grado se hará en los entornos de desarrollo de NETBEANS.

NetBeans es un proyecto de código abierto de gran éxito con una gran base de usuarios, una comunidad en constante crecimiento, y con cerca de 100 socios en todo el

mundo. Sun Microsystems fundó el proyecto de código abierto NetBeans en junio de 2000 y continúa siendo el patrocinador principal de los proyectos (Actualmente Sun Microsystems es administrado por Oracle Corporation).

Según la misma página web oficial de NetBeans, 2015... "...permite que las aplicaciones sean desarrolladas a partir de un conjunto de componentes de software llamados módulos. Un módulo es un archivo Java que contiene clases de java escritas para interactuar con las APIs de NetBeans y un archivo especial (manifest file) que lo identifica como módulo. Las aplicaciones construidas a partir de módulos pueden ser extendidas agregándole nuevos módulos. Debido a que los módulos pueden ser desarrollados independientemente, las aplicaciones basadas en la plataforma NetBeans pueden ser extendidas fácilmente por otros desarrolladores de software".

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A continuación se presenta el análisis e interpretación de resultados de la CODIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA BAJO LAS NORMAS TECNICAS DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO EN COLOMBIA, de acuerdo a los objetivos expuestos previamente y la metodología propuesta para el desarrollo del presente documento.

7.3 DESARROLLO DEL MODELO

A continuación, se presentará como se puede ejecutar la Aplicación Aguas Residuales (denominado así por el autor) para el desarrollo del modelo.

7.4 INSTALACION DE JAVA

Para poder ejecutar la aplicación (denominada Aguas residuales por parte del autor) es necesario instalar la aplicación de extensión del programa de Java denominado JDK vía internet, por lo que es necesario una conexión a red wifi. JDK según Oracle - 2015, es un software que provee herramientas de desarrollo para la creación de programas en Java; así mismo el proceso de instalación se encuentra en los anexos del presente trabajo, donde se describe el paso a paso de su correcta instalación.

7.4.1 EJECUCION DE LA APLICACIÓN.

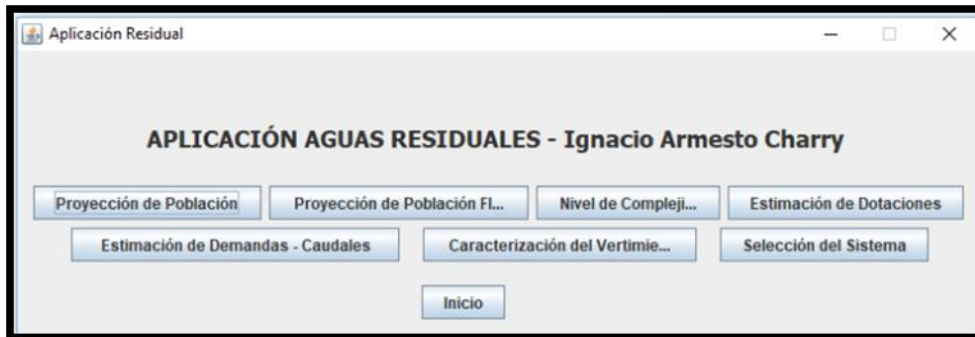
Luego de haber instalado satisfactoriamente el programa JAVA como plataforma, se presentan a continuación el proceso de ejecución.

7.4.1.1 *Presentación.*

Se procede a ejecutar el archivo con clic derecho abrir con java en el archivo que se encuentra en el Anexo No 1 del presente archivo.

Se desplegará una ventana con el nombre extenso, con un menú el cual visualiza cada uno de los módulos que contiene la aplicación y su desarrollador al cual se le debe dar clic en "Inicio".

Ilustración 4. Nombre de la aplicación y contenido del menú.

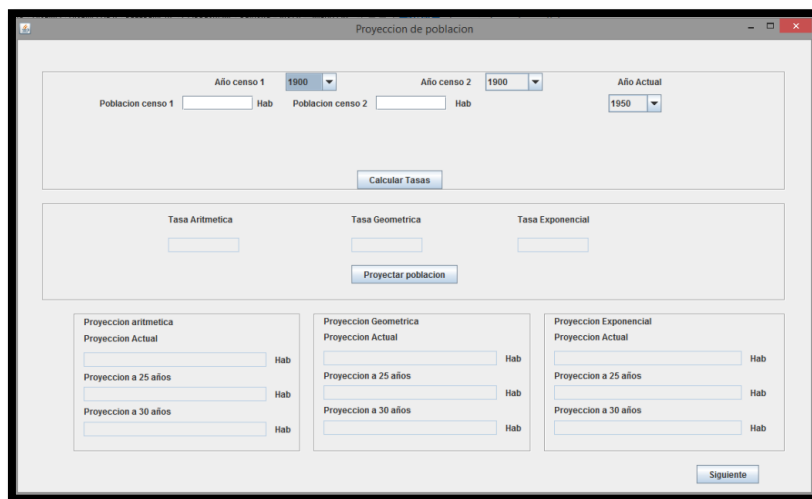


Fuente: Aplicación, 2018.

7.4.1.2 Proyección de Población.

Según la aplicación, acorde a la resolución 0330 de 2017, iniciamos la selección del sistema de tratamiento de agua residual domestica con la proyección de población:

Ilustración 5. Proyección de población.



Fuente: Aplicación, 2018.

Debe ingresar la información correspondiente a los años de los censos oficiales de Colombia así como la habitantes registrados en los periodos de tiempo como lo menciona el numeral “Censos” en el capítulo de “Estimación de Población” del presente

documento, adicionalmente, debe seleccionar la lista desplegable el año actual de ejecución del trabajo o del proyecto de consultoría.

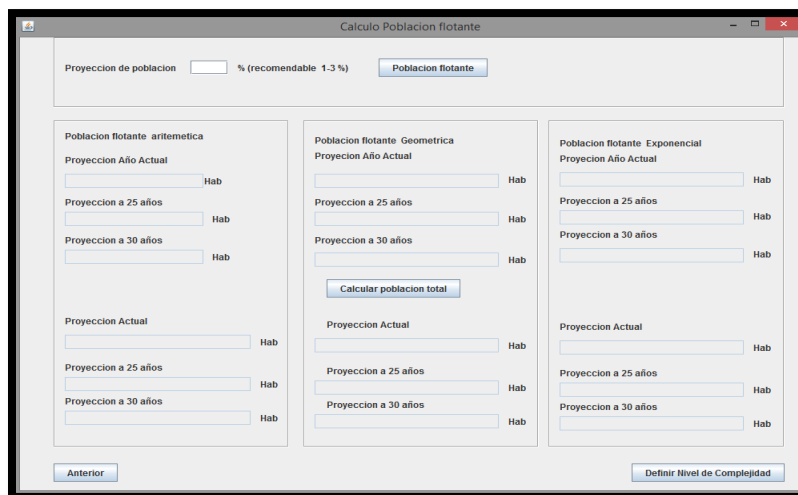
Posteriormente dar clic en calcular las tasas. Este paso cumple con las tasas aritmética, geométrica y exponencial relacionadas con los “Métodos de Cálculo” del Capítulo “Estimación de Población”.

Luego, le da clic en el icono “Proyectar Población”, y con base a las tasas calculadas indica la proyección de población a un periodo actual, a 25 años según lo indica la resolución 0330 de 2017.

7.4.1.3 *Proyección de población flotante.*

Procesada la información debe dar clic en “Siguiente” para continuar con la proyección de población y se abrirá la siguiente información:

Ilustración 6. Proyección de población flotante.



Fuente: Aplicación, 2018.

Como lo indican diferentes referencias bibliográficas, es necesario definir la población flotante considerando de actividades turísticas, industriales y de otras actividades que representen la población “visitante”. Cuando no se tiene el dato porcentual se recomienda un valor de 1% al 3% dependiendo del tamaño del municipio en sus condiciones geopolíticas.

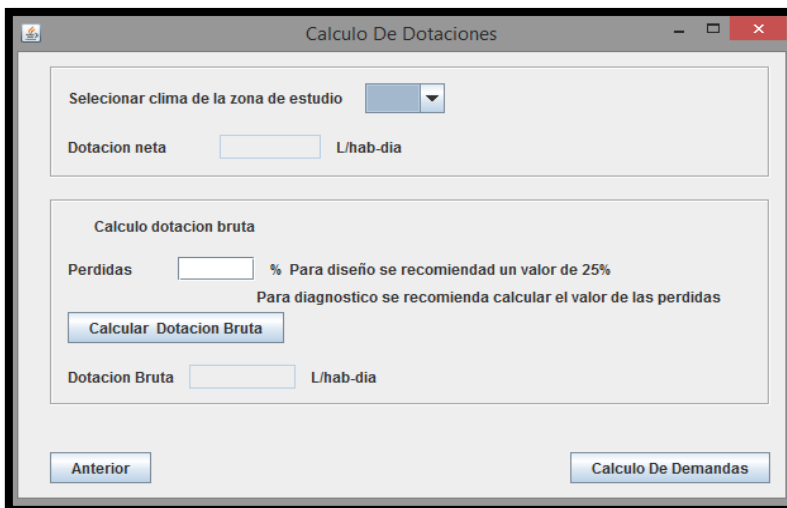
Se ingresa el dato porcentual requerido y se da clic en el icono “Población Flotante”, internamente la aplicación proyectara la población considerando la tasa de crecimiento correspondiente al método de cálculo de estimación de población de la ventana anterior.

Finalmente y luego de dar clic en el icono “Calcular Proyección Total” el resultado de la población flotante se sumara a la proyección de población correspondiente del resultado de las tasas de crecimiento y de los censos poblaciones los periodos de proyección.

7.4.1.4 *Calculo de las dotaciones del sistema.*

Luego de la estimación de población detallada con la información anteriormente suministrada, es necesario calcular las dotaciones del proyecto, para ello debe dar clic en el icono “Calculo de Dotaciones” al final de la ventana y se abrirá la siguiente información:

Ilustración 7. Estimación de las dotaciones.



Fuente: Aplicación, 2018.

Respecto a lo anterior, para tener en cuenta las dotaciones reales o brutas es necesario contabilizar las pérdidas en la aducción y distribución, así como las pérdidas técnicas en el sistema por efecto de mantenimiento y reparaciones del sistema (acueducto, alcantarillado, PTAR, PTAP y/o otros). De esta manera y según el Artículo 6º de la Resolución 1795 de la CRA se debe considerar máximo un 25% de pérdidas para el periodo de diseño adoptado en el proyecto, dato que se debe incluir en las “Perdidas” de la aplicacion y luego dar clic en “Calcular la Dotación Bruta”

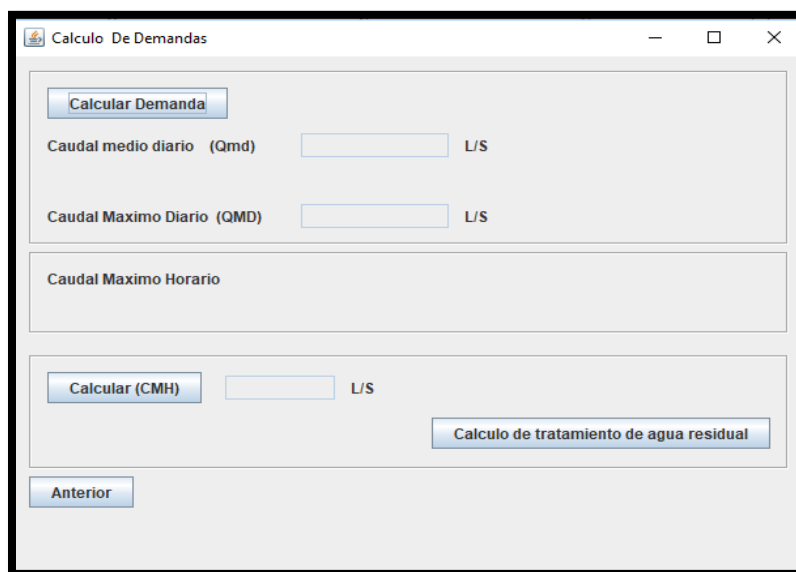
El dato de la dotación bruta define el “Cálculo de Demandas” dándole clic en el icono correspondiente al final de la ventana mencionada con anterioridad.

7.4.1.5 *Calculo de las demandas del sistema.*

A continuación, se desplegará la ventana para la “Estimación de la Demanda” explicada con detalle en el presente documento.

En esta ventana y dando clic en el icono “Calcular Demandas”, dará cumplimiento al cálculo de los caudales medio diario y máximo diario que se deben tener en cuenta para el tratamiento de agua sea de vertido.

Ilustración 8. Estimación de demandas o caudales.



Fuente: Aplicación, 2018.

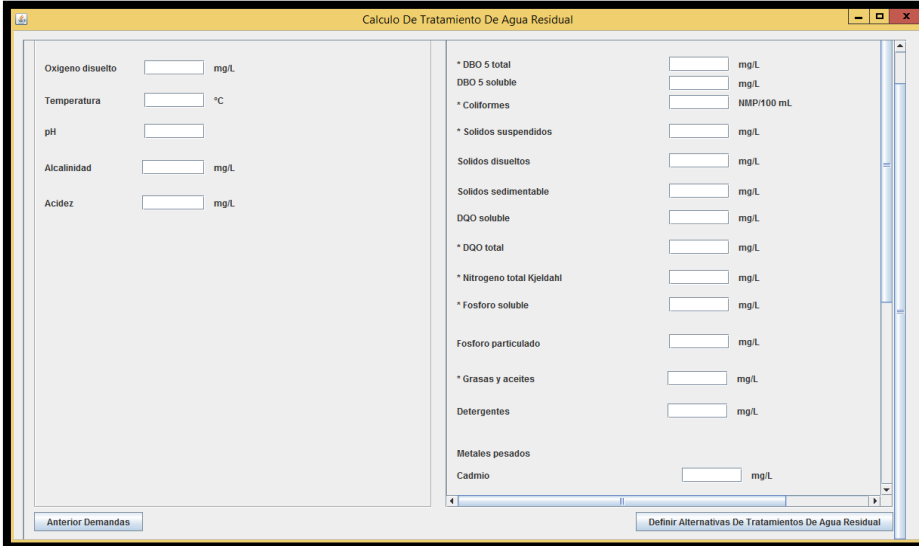
Dependiendo del alcance del proyecto, debe seleccionar entre el cálculo del tratamiento de agua residual.

7.4.1.6 Selección del sistema de tratamiento de agua residual.

Para efectos de la descripción del presente manual, seguimos con el tratamiento de agua residual con los datos suministrados de población, dotación y proyección de caudales.

Para ello es necesario volver a la ventana de demandas y dar clic en el botón “Calculo de Tratamiento de Agua Residual”. Y se desplegara la siguiente ventana:

Ilustración 9. Parámetros de la caracterización del vertimiento según análisis de laboratorio.



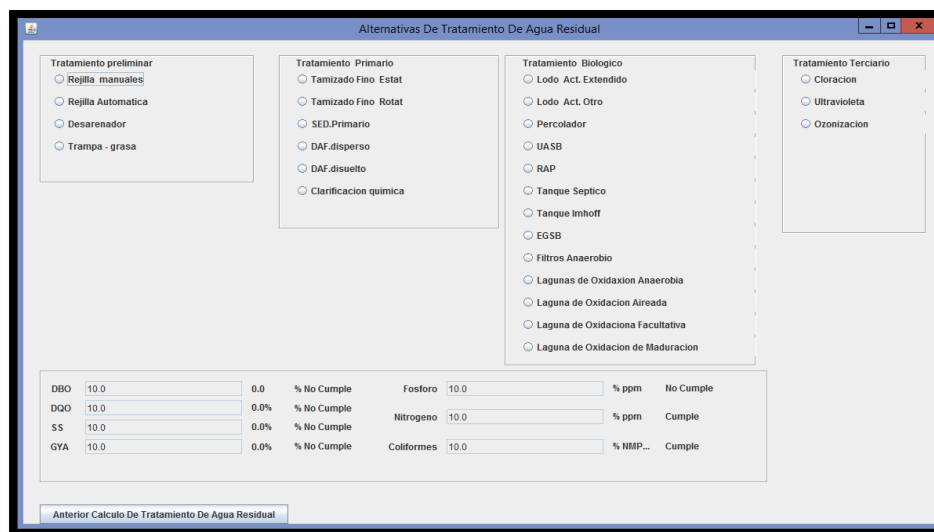
Fuente: Aplicación, 2018.

Luego de haber calculado el caudal de diseño de la planta, es necesario la representación de la composición del agua para ese tiempo y lugar específicos. Dicha muestra puede ser representativa de espacios y tiempos mayores si se sabe con anterioridad que la composición es constante en el tiempo y que no existen gradientes de concentración espaciales a esto se denomina la caracterización de las aguas residuales las cuales se dividen en Muestra Simples o Compuestas.

Acorde a lo mencionado anteriormente, en el capítulo de definición del sistema de tratamiento de agua residual, subcapítulo caracterización de las aguas residuales, se debe hacer el laboratorio de las aguas vertidas antes de la entrada a la planta de tratamiento, según lo estipulado en las tablas de nivel de complejidad y parámetros a evaluar tanto para muestras simples como para muestras compuestas. Los resultados del laboratorio, se deben ingresar en la ventana anterior para definir las alternativas de tratamiento de agua residual.

Luego de ingresar los datos, se da clic en “Definir Alternativas de Tratamiento de Agua Residual” y aparecerá la siguiente ventana:

Ilustración 10. Selección del sistema de tratamiento de agua residual de la aplicación.



DBO	10.0	0.0	% No Cumple	Fosforo	10.0	% ppm	No Cumple
DQO	10.0	0.0%	% No Cumple	Nitrogeno	10.0	% ppm	Cumple
SS	10.0	0.0%	% No Cumple	Coliformes	10.0	% MMP...	Cumple
GYA	10.0	0.0%	% No Cumple				

Fuente: Aplicación, 2018.

Como se observa en la parte superior de la ventana, se encuentran todos los tratamientos (preliminares, primarios, biológicos y terciarios) que relaciona la resolución 0330 de 2017.

De igual manera en la misma ventana en la parte inferior se encuentran los parámetros ingresados de la caracterización en muestras simples y compuestas de las aguas vertidas. Al frente de cada uno de los parámetros aparecen los niveles de remoción y el cumplimiento del mismo acorde a la reducción de la carga contaminante del vertimiento en cumplimiento a la norma 1594 de 1984.

Para poder identificar el sistema de tratamiento adecuado, se debe seleccionar o deseleccionar el tren de tratamiento adecuado para reducir las cargas contaminantes

hasta que cumplan con la norma establecida, este proceso se hace automáticamente respondiendo a la eficiencias y parámetros de cada uno de los tratamientos seleccionados.

Lo anterior depende de la experticia de quien maneje la aplicación ya que no existe una metodología establecida que definan los sistemas de tratamientos adecuados acorde a las remociones requeridas versus al tamaño del sistema, por lo que se recomienda que cualquier tren de tratamiento seleccionado sea concertado con la Interventoría, la Supervisión del contrato y finalmente con las autoridades ambientales competentes quien finalmente son los que avalan el sistema más adecuado y los permisos pertinentes para la construcción de este tipo de estructuras.

Finalmente, la aplicación tiene en todas las ventanas los botones de minimizar, maximizar o cerrar según sea el caso, así como el botón “volver” a la ventana anterior sin perder información registrada.

7.5 CALIBRACIÓN DEL MODELO

Según Milenarium – 2003, la fase más crítica del desarrollo del modelo consiste en la calibración y el análisis de sensibilidad del sistema.

Durante el desarrollo de la aplicación se realizaron decenas de simulaciones para los sistemas más complejos variando en cada una de ellas los datos de partida y analizando los resultados producidos por el modelo; de los parámetros disponibles en el modelo algunos poseen una credibilidad alta (por su procedencia o forma de determinación) como las obtenidas en el tratamiento de agua.

La fase de calibración tiene por objeto mejorar la credibilidad de estos parámetros y consiste en la iteración de un procedimiento mediante el cual se introducen los datos al sistema, se ejecuta el modelo y se comparan los resultados obtenidos con la información histórica disponible. Si existe una discrepancia alta entre los resultados modelados y los observados en la realidad, se modifican los datos de partida y se itera el proceso.

La calibración finaliza cuando la diferencia entre los resultados modelados y los datos observados está por debajo de un valor de cierre (error asumido).

Para el caso de la aplicación del presente documento, el sistema de calibración pasó por el método científico de ensayo y error, con base a la matriz de resultados que ofrece las resoluciones 0330 de 2017.

Este método según ECYT-AR - 2012, consiste en probar una alternativa y verificar si funciona. Si es así, se tiene una solución. En caso contrario —resultado erróneo— se intenta una alternativa diferente. Para poder comprobar los resultados matemáticos y cruces de información normativa se apoyó en el programa Excel y JAVA mediante diferentes matrices correspondientes a cada ítem del capítulo del sistema de muestreo.

La técnica finalmente usada para verificar todos los posibles resultados fue la siguiente:

- Se selecciona un conjunto de posibles soluciones.
- Si se conoce la probabilidad de ocurrencia, se ordenan las soluciones en orden decreciente de probabilidad.
- Se prueba la primera posible solución y se verifica si lo es.

- Si no es una solución, se prueba la siguiente y así sucesivamente hasta encontrar una solución o agotar el conjunto.
- Si ninguna de las posibles soluciones propuestas lo es, se busca un conjunto nuevo. Si no se sabe cómo encontrar otras posibles soluciones, el problema resulta insoluble por ensayo y error.

De esta manera para cada sistema de muestreo establecido en este documento, se hizo la calibración del modelo esperando los resultados de tratamiento de aguas servidas más adecuadas y respondiendo a las necesidades de las normas

7.6 VALIDACIÓN DEL MODELO

Para poder validar la aplicación tomaremos el estudio aprobado por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio del Contrato de Consultoría No. VA-04-01-06.062-2012 **“ESTUDIOS Y DISEÑOS COMO PREINVERSIÓN EN EL SECTOR DE AGUA Y SANEAMIENTO DEL PDA(Plan departamental del Agua) GRUPO 3”**, de la empresa MANOV INGENIERIA LTDA, según el documento base del Diagnóstico y Análisis de Alternativas del Tratamiento del Sistema de Acueducto y Alcantarillado del Municipio de Bugalagrande – Corregimiento de Paila Arriba que se encuentra anexo al presente documento, junto con la aplicación aguas residuales.

7.6.1 Validación de la proyección de población del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.

Con base a la información base de los censos de población, se tiene los siguientes datos:

Tabla 8. Censo de población del corregimiento de Paila Arriba.

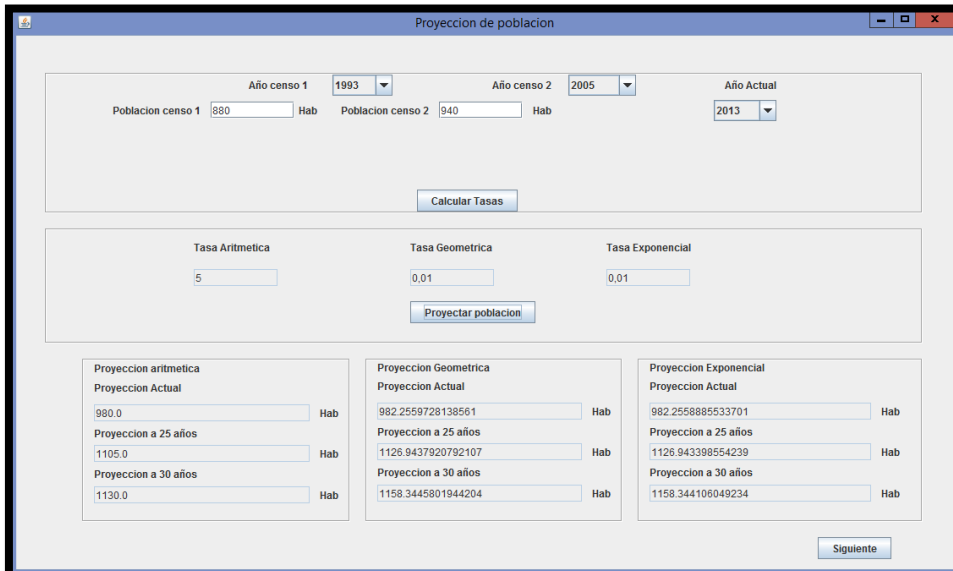
Censo 1993	880 habitantes
Censo 2005	940 habitantes

Fuente: Manov Ingeniería Ltda., 2013

Como el estudio fue contratado en el año 2012 y la entrega con aprobación al MVCT fue en el año 2013, tomo como año actual y población actual el año 2013.

Con base a la información anteriormente suministrada y siguiendo el manual de usuario, se ingresan los datos censales a la aplicación como se muestra en la siguiente ventana.

Ilustración 11. Validación de la proyección de población del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.



Fuente: Residual, 2018

Podemos observar que al calcular las tasas de crecimiento población y al proyectar la población se tiene los siguientes resultados.

Tabla 9. Resultados de la proyección de población del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.

Periodo de Diseño	Proyección Aritmética	Proyección Geométrica	Proyección Exponencial
Actual	980	983	983
25 años	1105	1127	1127
30 años	1130	1159	1159

Fuente: Residual, 2018

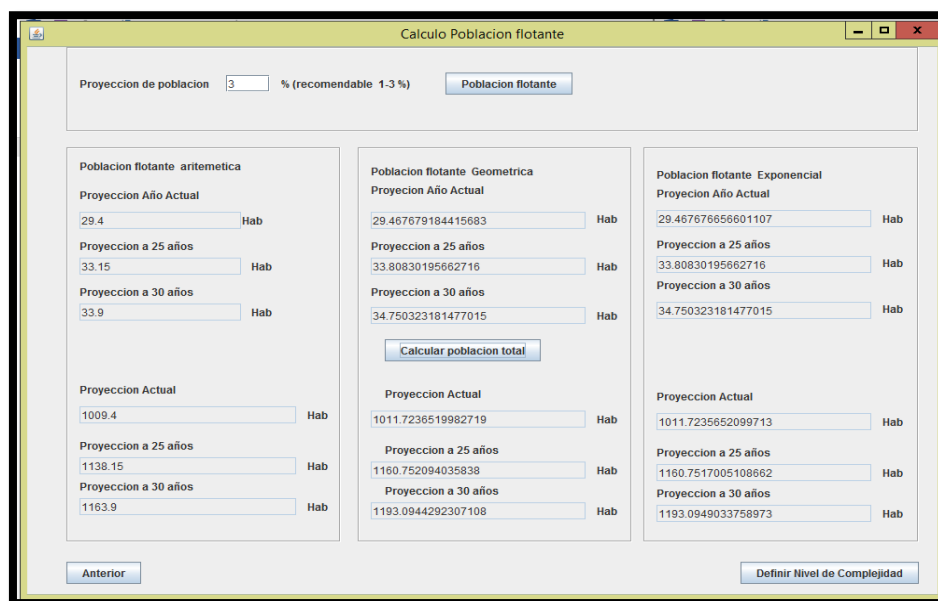
Como se puede observar la población más alta según las proyecciones de población de la aplicación sería de 1159 habitantes.

7.6.2 Validación de la proyección de población flotante del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.

Según los “ESTUDIOS Y DISEÑOS COMO PREINVERSIÓN EN EL SECTOR DE AGUA Y SANEAMIENTO DEL PDA GRUPO 3”,...“...De acuerdo con el literal B.2.2.5. RAS 2000, se hace necesario el ajuste de la población efectiva calculada con relación a la población flotante y migratoria del proyectoDado que no existe información sobre la población flotante en la vereda de Paila Arriba, la Consultoría presentó a consideración de la Interventoría el criterio de adoptar un valor del 3% de la población proyectada para estimar el valor de la población flotante, el cual es un valor aceptable y que también se ha usado en otros proyectos y regiones del País como en los proyectos rurales realizados en las regiones centro y sur occidente del Departamento del Huila (centros poblados de los municipios de Gigante, Garzón, Altamira, Guadalupe, Suaza, El Agrado, El Pital, Tarquí, Timaná, Elías, La Plata, La Argentina, Paicol y Nátaga). La interventoría de los estudios, aceptó el valor propuesto por la Consultoría...”

Acorde a la información anterior ingresamos el 3% de la población flotante a la aplicación y procedemos a calcular la proyección de población flotante y a calcular la población total del proyecto por los tres métodos establecido en las Normas RAS cuyos resultados se presentan a continuación:

Ilustración 12. Validación de la población flotante del corregimiento de Paila Arriba con la la Aplicación Aguas Residuales.



Fuente: Residual, 2015

Se puede observar que, al calcular la proyección de población flotante, la población total seria la siguiente:

Tabla 10. Resultados de la Proyección de Población Flotante del Corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.

Periodo de Diseño	Proyección Aritmética	Proyección Geométrica	Proyección Exponencial
Actual	1010	1012	1012
25 años	1139	1161	1161
30 años	1164	1194	1194

Fuente: Residual, 2015

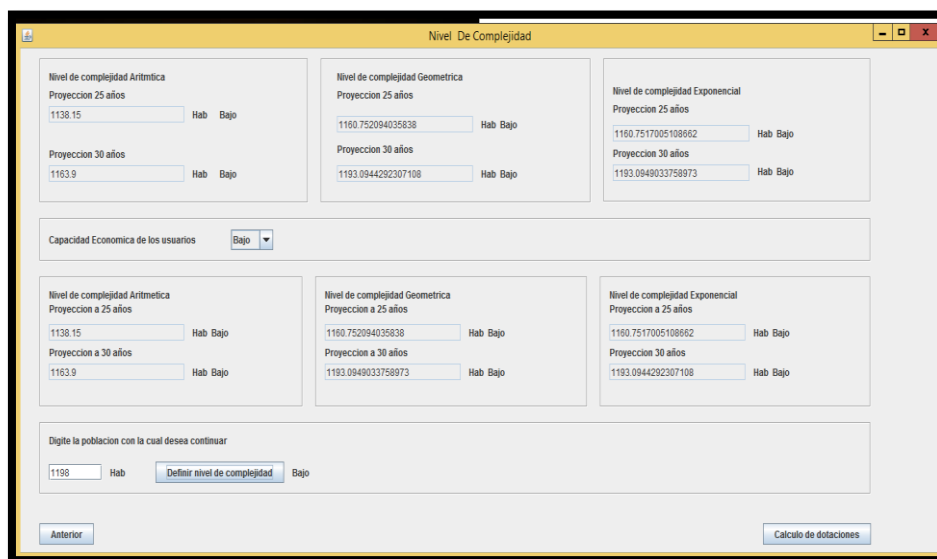
El resultado de la proyección arroja un máximo de 1194 habitantes en el corregimiento.

7.6.3 Validación de la proyección de población total y nivel de complejidad del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.

Se recomienda, que se trabaje con el mismo modelo del nivel de complejidad considerando el artículo 11 de la Resolución 1096 del año 2000, ya que en la nueva normatividad no lo establece claramente, y considerando el Diagnostico de Paila Arriba, su clasificación de acuerdo el nivel de complejidad del sistema, teniendo en cuenta el número de habitantes proyectado en el área urbana de la localidad, su capacidad económica y el grado de exigencia técnica que se requiera para adelantar el proyecto, de acuerdo con lo establecido en la Tabla A.3.1. Del RAS 2000 Titulo A Capitulo A.3. Numeral A.3.1. De acuerdo a los resultados obtenidos de población proyectada, incluyendo la población flotante, con un periodo de diseño de 25 años, se concertó con la Interventoría (debido al crecimiento de ciertos lotes de la zona) en 1.198 habitantes en el corregimiento al año 2039, razón por la cual se establece que el nivel de complejidad para la localidad es Bajo, debido a que cuenta con menos de 2.500 habitantes en el horizonte de proyección.

Para verificar la información se ingresó los datos anteriormente mencionados en la aplicación aguas residuales, y se presentaron los siguientes resultados:

Ilustración 13. Validación de la proyección total de población y nivel de complejidad del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.



Fuente: Residual, 2018

La aplicación validó la información anteriormente mencionado y con la población concertada con la Interventoría, el Nivel de Complejidad del Sistema es bajo.

7.6.4 Validación de las dotaciones del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.

Según el Estudio de Manov Ingeniería – 2013, Para efectos de calcular el caudal de diseño para el sistema de acueducto, se hace indispensable definir la dotación neta per cápita de aportes unitarios de cada habitante, esta se escoge de acuerdo al nivel de complejidad del sistema, y representa la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto, esta variable se expresa en L/hab-día, su valor se escoge de acuerdo con la Resolución 2320 de 2009, la cual modifica el artículo 67 de la Resolución 1096 del año 2000.

Para efectos de la aplicación de los valores de la Resolución, se debe entender por poblaciones con "clima frío o templado" aquellas ubicadas a una altura superior a 1.000 metros sobre el nivel del mar y por poblaciones con "clima cálido" aquellas ubicadas a una altura inferior o igual a 1.000 metros sobre el nivel del mar. Debido a que la empresa administradora del servicio en el corregimiento no cuenta con información de consumos y a que el sistema actualmente no cuenta con sistemas de macro o micro medición se dificulta determinar el consumo actual de agua por parte de la población. De acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta la Resolución 2320 del año 2009, se establece para el Corregimiento de Paila Arriba una dotación neta per cápita de 100 L/(hab-día), ya que su Centro Poblado se encuentra por encima de los 1.000 metros sobre el nivel del mar. Este valor se adopta como la dotación neta per cápita.

A su vez, y según el estudio de Manov Ingeniería – 2013, la Resolución 2320 de 2009 en su Artículo 1 establece que el porcentaje de pérdidas técnicas máximas admisibles en el sistema de acueducto es del 25%. Debido a que la Empresa Administradora del servicio en el Corregimiento no cuenta con información de facturación y a que el sistema actualmente no cuenta con sistemas de macro medición o micro medición, se dificulta determinar las pérdidas del sistema, que se estiman generalmente a partir de la diferencia entre agua producida y agua facturada, se calcula con base al máximo técnico de 25%.

Considerando la proyección de pérdidas definidas en el numeral anterior, la dotación bruta para la localidad a lo largo del periodo de diseño se muestra a continuación:

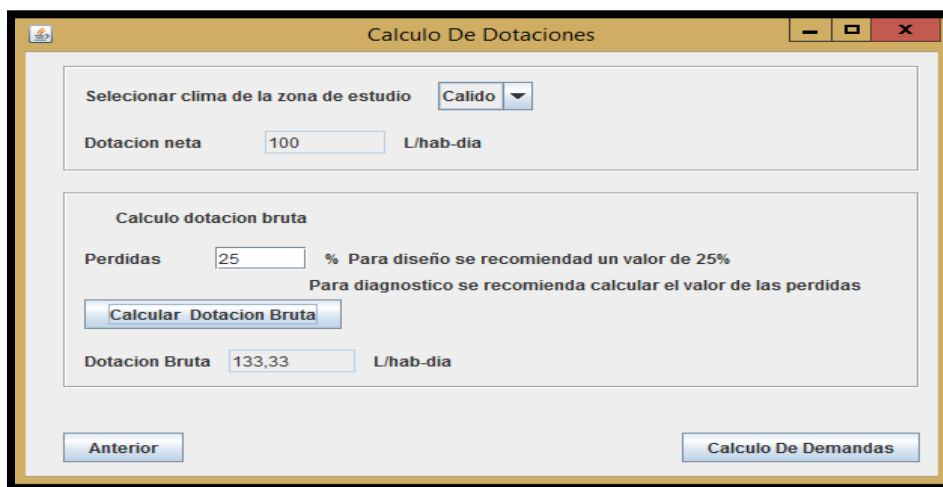
Tabla 11. Proyección dotación bruta del corregimiento Paila Arriba.

AÑO	DOTACION		AÑO	DOTACION	
	BRUTA	(L/hab.dia)		BRUTA	(L/hab.dia)
2014	498,0		2027	133,33	
2015	305,5		2028	133,33	
2016	220,4		2029	133,33	
2017	172,3		2030	133,33	
2018	141,5		2031	133,33	
2019	133,33		2032	133,33	
2020	133,33		2033	133,33	
2021	133,33		2034	133,33	
2022	133,33		2035	133,33	
2023	133,33		2036	133,33	
2024	133,33		2037	133,33	
2025	133,33		2038	133,33	
2026	133,33		2039	133,33	

Fuente: Manov Ingeniería Ltda., 2013

Con base a la tabla anterior, se verifica la información en el modelo de dotaciones del Residual así:

Ilustración 14. Validación de las dotaciones del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.



Fuente: Residual, 2018

Se puede observar que la aplicación convalida la información y establece que la dotación bruta de sistema de Paila Arriba está en el orden de 133,33 L/hab-día.

7.6.5 Validación de las demandas del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.

El estudio de Manov Ingeniería – 2013, establece que conforme a los resultados antes mencionados, acerca de la proyección de la población, estimación de la dotación neta, pérdidas y dotaciones brutas del sistema, se procede a la construcción y definición de la curva de la demanda del sistema, considerando que las misma no se efectúa mediante una operación directa, sino que debe considerarse los criterios en el comportamiento de las distintas variables, dando como resultado los valores que se consignan en la siguiente tabla.

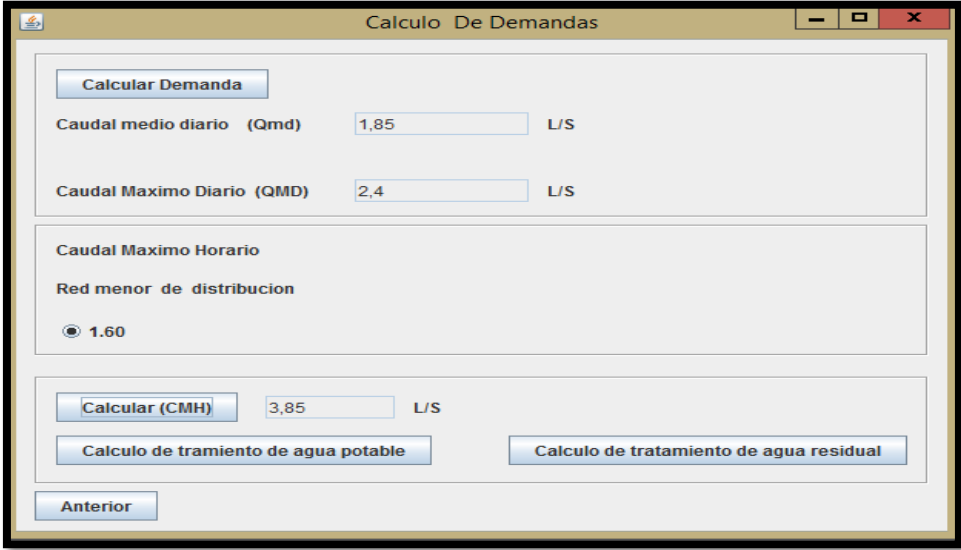
Tabla 12. Proyección de demanda corregimiento Paila Arriba.

AÑO	POBLACIÓN TOTAL (hab)	DOTACIÓN NETA (L/hab.día)	PÉRDIDAS (%)	DOTACIÓN BRUTA (L/hab.día)	K1	Q MEDIO DIARIO (L/s)	Q MÁXIMO DIARIO (L/s)
2039	1.198	100,0	25,0%	133,33	1,3	1,66	2,16

Fuente: Manov Ingeniería Ltda., 2013

En respuesta a los resultados de la consultoría, se procede a ingresar la información para relacionarla con la aplicación aguas residuales:

Ilustración 15. Validación de las demandas del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.



Fuente: Residual, 2018

La información ha sido validada y coincide con las proyecciones del cálculo de las demandas de la aplicación.

Cabe resaltar que el estudio no calcula el caudal máximo horario para comparar con el resultado de la aplicación.

7.6.6 Validación del sistema de tratamiento de agua residual seleccionado para el corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.

Luego de haber definido el sistema de potabilización del sistema de Paila Arriba se procedió por parte del estudio de Manov Ingeniería en la Pagina 258, monitorear el agua residual domestica proveniente de los puntos de vertimiento seleccionados que corresponden al sistema de alcantarillado del corregimiento de Paila Arriba, es importante para verificar el contenido de compuestos orgánicos, inorgánicos y de las características bacteriológicas con respecto a la normatividad dispuesta en el Decreto 1594/84.

Según el Estudio de Manov Ingeniería – 2013, ...”...La metodología de recolección de las muestras, tipo de muestra, registros de campo, cadenas de custodia, preservación, almacenamiento, envío de las muestras y demás procedimientos fueron realizados según las lineamientos establecidos por INGESAN S.A.S. lo que garantiza el control de calidad en el trabajo de campo. La toma de muestras se llevó a cabo de forma compuesta con alícuotas cada hora durante 24 horas. Los resultados de la caracterización se presentan a continuación...”

Tabla 13. Resultados de laboratorio de la caracterización de agua residual del corregimiento de Paila Arriba.

PARAMETRO	METODO DE ANALISIS	UNIDADES	CAÑADUZAL
DQO Total	SM 5220 D	mg O ₂ /L	241
DQO Soluble	SM 5220 D	mg O ₂ /L	103
DBO Total	SM 5210 B	mg O ₂ /L	97
DBO Soluble	SM 5210 B	mg O ₂ /L	37
Sólidos Totales	SM 2540 B	mg/L	360
Sólidos Suspendidos Totales	2540 D	mg/L	100
Sólidos Sedimentables 10 min.	2540 F	mg/L	0,50
Sólidos Sedimentables 60 min.	2540 F	mg/L	0,70
Nitrógeno Total	4500 N B	mg N/L	19,70
Fosforo	SM 4500 P D	mg P/L	2,72
Coliformes Fecales	SM 9222 D	UFC/ 100 mL	15600000
Grasas y Aceites	5520 B	mg/L	26,3
pH	4500 H B	Unidades	6,89

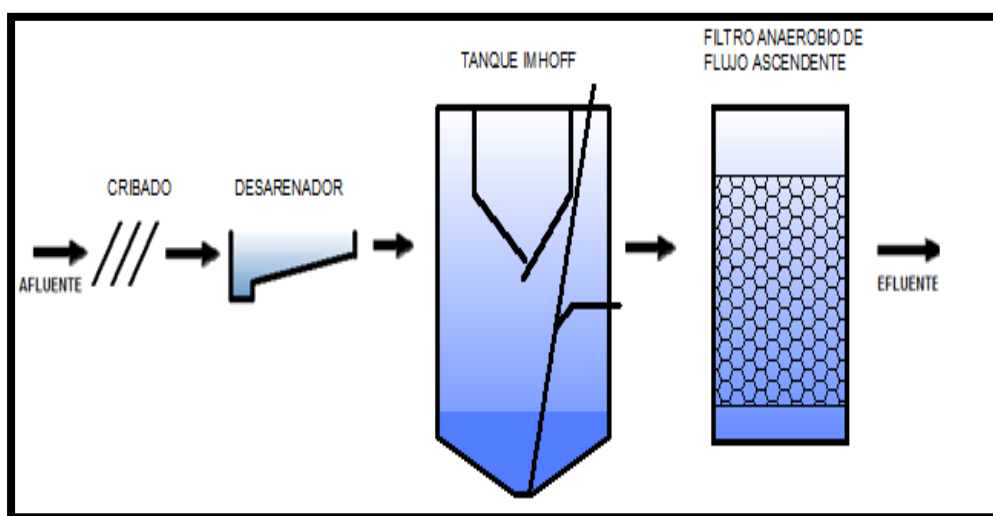
Fuente: Manov Ingeniería Ltda., 2013

Luego de obtener la caracterización de aguas servidas del corregimiento y como resultado de la evaluación para la selección del sistema de tratamiento de agua residual doméstica, según la página 288, del estudio de Manov Ingeniería -2013, ”...en conclusión

para las aguas servidas del corregimiento de Paila Arriba, municipio de Bugalagrande-Valle del Cauca y de acuerdo a las condiciones biofísicas y socioeconómicas, las alternativas de tratamiento recomendadas son: Tanque Imhoff, Filtro Anaerobio, sistemas de bajos costos de inversión y operación, fáciles para su operación y mantenimiento...”.

Como se observa a continuación:

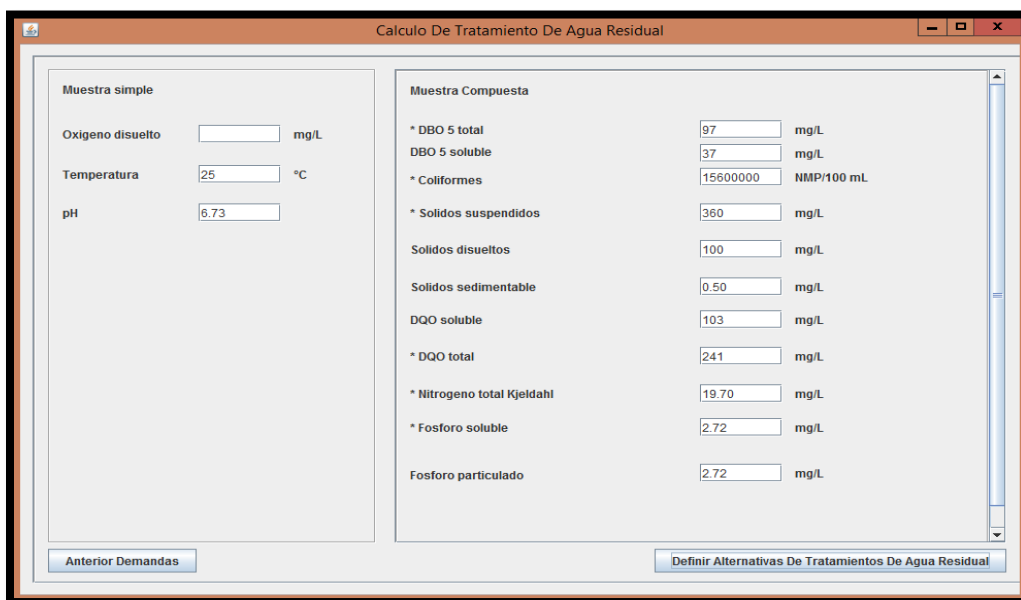
Ilustración 16. Proceso de tratamiento por tanque imhoff y filtro anaerobio de flujo ascendente.



Fuente: Manov Ingeniería Ltda., 2013

Para poder verificar el sistema seleccionado se ingresó la información a la aplicación aguas residuales de la siguiente manera:

Ilustración 17. Validación de los resultados de laboratorio de la caracterización de agua residual del corregimiento de Paila Arriba, con la Aplicación Aguas Residuales.



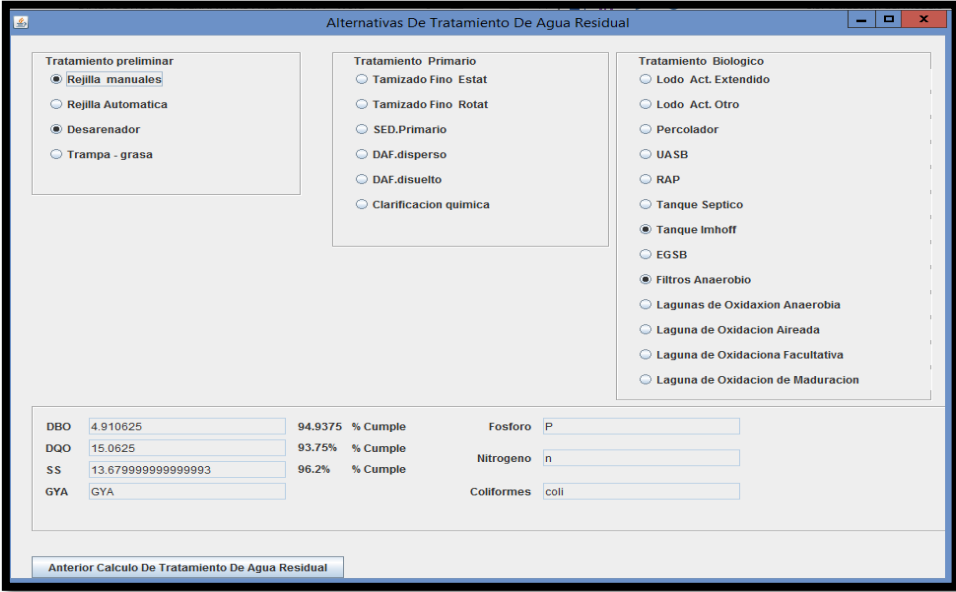
Muestra simple		Muestra Compuesta	
Oxígeno disuelto	<input type="text" value=""/>	* DBO 5 total	<input type="text" value="97"/> mg/L
Temperatura	<input type="text" value="25"/> °C	DBO 5 soluble	<input type="text" value="37"/> mg/L
pH	<input type="text" value="6.73"/>	* Coliformes	<input type="text" value="15600000"/> NMP/100 mL
		* Solidos suspendidos	<input type="text" value="360"/> mg/L
		Solidos disueltos	<input type="text" value="100"/> mg/L
		Solidos sedimentable	<input type="text" value="0.50"/> mg/L
		DQO soluble	<input type="text" value="103"/> mg/L
		* DQO total	<input type="text" value="241"/> mg/L
		* Nitrogeno total Kjeldahl	<input type="text" value="19.70"/> mg/L
		* Fosforo soluble	<input type="text" value="2.72"/> mg/L
		Fosforo particulado	<input type="text" value="2.72"/> mg/L

Anterior Demandas Definir Alternativas De Tratamientos De Agua Residual

Fuente: Residual, 2018

La anterior información, se debe al resultado de la caracterización de las aguas residuales tomadas en campo. Posteriormente se definió el sistema de tratamiento de aguas residual contemplado por el estudio de consultoría para determinar si cumple con lo establecido en los niveles de remoción y nivel de complejidad del sistema y los resultados se encuentran a continuación:

Ilustración 18. Validación del sistema de tratamiento de agua residual del corregimiento de Paila Arriba con la Aplicación Aguas Residuales.



Parámetro	Valor	% Cumple	Parámetro	Valor
DBO	4.910625	94.9375	Fosforo	P
DQO	15.0625	93.75%	Nitrogeno	n
SS	13.679999999999993	96.2%	Coliformes	coll
GYA	GYA			

Fuente: Residual, 2018

Analizando el tren de tratamiento planteado por la consultoría: (Cribado, Desarenador, Tanque Imhoff y Filtro Anaerobio) tiene una remoción en el orden promedio de 95% en los parámetros a evaluar según el nivel de complejidad del sistema y cumple con lo establecido en el decreto 1594/84.

Con base a la información anterior, el estudio de Consultoría coincide con la establecida en la aplicación residual y valida en un 100% la información en cuanto al sistema de tratamiento de agua residual.

8 CONCLUSIONES

1. Se programo la forma de seleccionar un proceso de tratamiento de agua residual doméstica en donde fue necesario considerar las características de las población en los diferentes periodos de tiempo tanto censados como los futuros, teniendo como base el mejor indicador de la situación socio-económica de los grupos sociales que los habitan, como: la existencia de servicios básicos de agua y desagüe, indicadores que reflejan indirectamente la relación positiva o negativa con los hechos de fecundidad. Con la información base de la población y su clasificación económica, se pudo definir los consumos necesarios que la población tendrá en un periodo de diseño establecido en la bibliografía consultada.
2. Las condiciones de entrada del procesamiento de datos (Residual) permitió definir lo parámetros y variables que permitieron esquematizar las diferentes alternativas de tren de tratamientos de agua residual doméstica. Cada alternativa tecnológica seleccionada para el agua y saneamiento de la misma, tiene como objetivo fijar los criterios básicos y las buenas prácticas de ingeniería que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la implementación y construcción, la supervisión técnica, la operación, el mantenimiento, el cierre, la clausura y las actividades de salvamento de infraestructura de los diferentes componentes y subcomponentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo para la zona rural del país, con el fin de aplicar tecnologías costo efectivas y sostenibles para promover el desarrollo del sistema y su entorno.

3. Se identificaron los diferentes procesos de tratamiento de agua residual doméstica, desarrollando un modelo software aplicativo enmarcado en la política pública del sector de agua y saneamiento que maneja el Ministerio, la cual está contenida en los documentos Conpes 3383, Metas de Desarrollo del Milenio a 2015, Visión Colombia II Centenario: 2019 y Lineamientos de Política de Agua Potable y Saneamiento Básico para Colombia.

4. La validación de la aplicación frente al Contrato de Consultoría No. VA-04-01-06.062-2012 “**ESTUDIOS Y DISEÑOS COMO PREINVERSIÓN EN EL SECTOR DE AGUA Y SANEAMIENTO DEL PDA GRUPO 3**”, de la empresas MANOV INGENIERIA LTDA, según el documento base del Diagnóstico y Análisis de Alternativas del Tratamiento del Sistema de Acueducto y Alcantarillado del Municipio de Bugalagrande – Corregimiento de Paila Arriba, permite verificar en un 100% el alcance del proyecto y optimiza los tiempos y movimientos de la información suministrada para diferentes áreas de la empresa.

5. La aplicación presenta bases importantes para el ahorro de tiempos en la selección de los diferentes procesos de tratamientode agua residual. A su vez junto con el manual de uso y la calibración del mismo ofrece las condiciones adecuadas de Ingeniería en el desarrollo del saneamiento ambiental del país.

9. RECOMENDACIONES

1. Es necesario obtener un modelo más exacto en cuanto a la selección del sistema de tratamiento de agua residual, ya que existen diferentes metodologías de apropiación de tecnologías para diferentes poblaciones en el país, por que a mayores niveles de tratamiento se incrementan los costos de forma notable.
2. Este modelo de aplicación permite hacer un acercamiento a resultados reales, pero requiere mejorarse con las condiciones financieras del municipio para su operación y mantenimiento, así como un acercamiento frente a los costos de la obra civil.
3. La presente aplicación debe ampliarse con otros procesos de tratamientos incluso con otro tipo de normatividad que sea aplicable a los procesos de tratamiento en Colombia, esto debido a que las Normas son manuales de buenas prácticas y en algunos casos son permisibles y en otros restrictivos.
4. Las empresas prestadoras del servicio incumplen las normas de vertimiento de aguas residuales, desconocen el protocolo de operación, y como si fuera poco a esto se suman las deficiencias técnicas y operativas de los sistemas.

10. BIBLIOGRAFIA

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 0330 “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”.

ABC, D. (2007). Definición de Potabilización. Recuperado el 07 de Febrero de 2015, de Potabilización: <http://www.definicionabc.com/medio-ambiente/potabilizacion.php#ixzz3Xh0487fR>.

Asociación de ingenieros sanitarios de Antioquia. Características y pretratamiento de las aguas residuales. AINSO 1986. Medellín, Colombia.

Aqua Limpia, G. (Enero de 2007). aqualimpia.com. Obtenido de Software: <http://www.aqualimpia.com/software.htm>.

Bogotá, O. R. (23 de Enero de 2013). Proyecciones de Población e indicadores demográficos de Bogotá. Recuperado el 11 de Febrero de 2015, de Secretaria Distrital de Planeación: http://observatorioruralbogota.gov.co/todos_doc_inves.shtml?apc=cf,-,-,-,1,-,-,b3f5d1c42df3414acb653531501fe0dd&x=125.

C., A. A. (10 de Agosto de 2010). Determinación De La Dotación del Agua. recuperado el 20 de enero de 2015, de Elementos Básicos y Parámetros Para La Elaboración de proyectos:<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoentuberias/dotacionagua/determinaciondeladotaciondeagua.html>.

C., A. G., & F., V. V. (2006). Modelo De Selección De Tecnología En El Tratamiento De Agua Para Consumo Humano. Cali: Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico, CINARA.

COLOMBIA, P. D. (26 de Junio de 1984). DECRETO 1594 DE 1984. Recuperado el 06 de Abril de 2015, Que Reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617>

Constituyente, A. N. (1991). Constitución Política de Colombia. Bogotá: Secretaria Senado de Colombia. Recuperado el 16 de Noviembre de 2013, de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/cp/constitucion_politica_1991.html

CRITES TCHOBANOGLIOUS. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos y descentralizados. Tomo 1.

DANE. (22 de Septiembre de 2005). CONCEPTOS. Recuperado el 13 de Diciembre de 2014, de Estimación de población: <http://www.dane.gov.co/index.php/esp/poblacion->

y-demografia/proyecciones-de-poblacion/34-demograficas/proyecciones-de-poblacion/2915-conceptos

DANE. (11 de Enero de 2006). Censo General 2005. Recuperado el 20 de Marzo de 2015, de Sistema de Consulta DANE: <http://www.dane.gov.co/index.php/esp/poblacion-y-demografia/censos>

DANE. (10 de Noviembre de 2009). Metodología Proyecciones de Población y Estudios Demográficos. Recuperado el 19 de Marzo de 2015, de Banco de la Republica: http://www.banrep.gov.co/economia/sal_deu_x/Proyecciones_poblacion.pdf

Desarrollo Económico, M., & Agua Potable y Saneamiento Básico, D. G. (2000). Documentación Técnico Normativa del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000. Bogotá: Min Desarrollo. Recuperado el 2013 de Noviembre de 16, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd22/legislacion/tituloa.pdf>

Díaz Delgado, C. (2010). Agua Potable Para Comunidades Rurales, Reusó Y Tratamientos Avanzados De Aguas Residuales Domésticas. Virtual Pro, 43.

Diseprosa. (2007). Plantas de Tratamiento de Aguas. Recuperado el 13 de Noviembre de 2013, de Diseño y Proyectos S.A.: http://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/87264/Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas.pdf.

Económico, M. d. (17 de Noviembre de 2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000. Recuperado el 12 de Enero de 2015, de Sección II - Título B - Sistemas de Acueducto: http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/4._Sistemas_de_acueducto.pdf

Económico, M. D. (17 de Noviembre de 2000). Resolución 1096 de 2000 Ministerio de Desarrollo Económico. Recuperado el 6 de Febrero de 2015, de RESOLUCION 1096 DE 2000: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=38541>

Económico, M. d. (17 de Noviembre de 2000). RESOLUCIÓN No. 1096 de 17 de Noviembre de 2000. Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS: http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/2._resolucion_1096_de_2000.pdf

ECYTAR. (05 de Noviembre de 2012). Ensayo y error. Recuperado el 11 de Abril de 2015, de La enciclopedia de ciencias y tecnologías en Argentina: http://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Ensayo_y_error.

Energiverde. (2018). la importancia y los tratamientos de aguas residuales. Recuperado el 12 de Noviembre de 2013: <http://www.energiverde.com/agua-2/la-importancia-y-los-tratamientos-de-aguas-residuales>.

Escobar, Y. (Septiembre de 2006). Desarrollo del Software. Recuperado el 14 de Noviembre de 2013, de Monografias.com: <http://www.monografias.com/trabajos39/desarrollo-del-software/desarrollo-del-software2.shtml>.

Foundation, F. S. (30 de Marzo de 2014). Java. Recuperado el 10 de Abril de 2015, de Sun begins releasing Java under the GPL: <http://www.fsf.org/news/fsf-welcomes-gpl-java.html>.

General de la Nación, P. (2006). El Agua Potable y el Saneamiento Básico en los Planes de Desarrollo. Recuperado el 7 de Noviembre de 2013, de Capítulo 1: El Estado del Agua, el Alcantarillado y los Residuos Sólidos en los Municipios: http://www.procuraduria.gov.co/portal/media/file/descargas/publicaciones/parte3_agua.pdf.

Girasales Penagos, Dayana (2010). Sistemas no convencionales de tratamiento de aguas superficiales para comunidades de desplazados en estado de emergencia (Caso Villa-Clarín), Recuperado el 12 de noviembre de 2018: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/494/GrisalesPenagosDayana2010.pdf;jsessionid=308B2E68D1247FDCCA708398C0524A65?sequence=2>.

IDEAM. (2010). Capítulo 5 - Estimación de la Demanda de Agua. Recuperado el 02 de Febrero de 2015, de Conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial: https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Agua/4_Presion/20120928_Estim_deman_agua_ENA_2010.pdf.

Ingeniería, M. (2012). Consultoría para la formulación y elaboración de los planes maestros de acueducto y alcantarillado de 26 Municipios del Departamento de Boyacá. Grupo I. Municipios de Macanal, Chivor, Sutatenza, Garagoa (actualización alcantarillado), Campohermoso (actual. Bogotá: Plan Departamental de Agua.

Ingeniería, M. (2013). Diagnóstico y Análisis de Alternativas del Tratamiento del Sistema de Acueducto y Alcantarillado del Municipio de Bugalagrande – Corregimiento de Paila Arriba. Bogotá: Vallecaucana de Aguas.

Jerez Galliano, S. (2010). Two Finite-Difference Schemes that Preserve the Dissipation of Energy in a System of Modified Sine-Gordon Equations. CIMAT, 15.

LangPop. (25 de Octubre de 2013). Programming Language. Recuperado el 10 de Abril de 2015, de Programming Language Popularity: <http://www.langpop.com/>

Language, D. P. (08 de Abril de 2015). Overview. Recuperado el 10 de Abril de 2015, de What is D?: <http://dlang.org/overview.html>.

Lizarazo Becerra, Jenny Milena & Orjuela Gutierrez, Martha (2013). Sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Recuperado el 12 de noviembre de 2018: <http://www.bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>.

M. Domínguez-Dorado, Todo Programación. N° 8. Págs. 39-42. Editorial Iberprensa (Madrid). DL M-13679-2004. Febrero, 2005. *Dibujando sobre lienzos en Java*.

M. Domínguez-Dorado, Guillermo Som. Todo Programación. N° 11. Págs. 10-20. Editorial Iberprensa (Madrid). DL M-13679-2004. Agosto, 2005. *Imprimir desde Java y .NET*.

METCALF & EDDY. (1998). Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización. Editorial Mc Graw Hill.

Miliarium. (2008). Calibración de modelos de simulación. Recuperado el 28 de Febrero de 2015, de Introducción a las técnicas de calibración de modelos: <http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/ModelosSimulacionAmbiental/CalibracionModelos.asp>

Oracle. (2015). Java Language and Virtual Machine Specifications. Recuperado el 10 de Abril de 2015, de Java SE: <http://docs.oracle.com/javase/specs/>

Oracle. (Abril de 2015). Oracle Technology. Recuperado el 10 de Abril de 2015, de Java: <http://www.oracle.com/technetwork/java/index.html>

República de Colombia, P. (1974). Decreto 2811 DE 1974: Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Bogotá, Colombia. Recuperado el 11 de Noviembre de 2013, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1551>

Rigola Lapeña, M. (1990). Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de proceso y residuales. México: Alfaomega Marcolombo.

RIGOLA L. Miguel. (1989). Tratamiento de aguas industriales.

S.A, A. y. (Octubre de 2011). Gestión Ambiental. Recuperado el 28 de Febrero de 2015, de Fuentes de Abastecimiento: <http://www.acueductopopayan.com.co/gestion-ambiental/fundacion-procuenca-rio-las-piedras/fuentes-de-abastecimiento/>

Sefin. (s.f.). Guía Metodológica Sectorial para la Formulación y Evaluación de Programas y Proyectos de Agua Potable y Saneamiento. Recuperado el 10 de Noviembre de 2013, de Dirección General de Inversiones Públicas: http://www.preventionweb.net/files/32088_guiametodologicasectorialdeaguaysan.pdf

Tiobe. (02 de Abril de 2015). TIOBE Index. Recuperado el 2015 de 10 de Abril, de Java back at the top!: <http://www.tiobe.com/index.php/content/paperinfo/tpci/index.html>

Tzatchkov, V. G., & Izurieta, J. (1996). Sistema De Cómputo Para El Análisis Y Diseño Óptimo De Redes De Distribución De Agua Potable. México: CEPIS.

UNESCO. (2017). Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017. Recuperado el 12 de noviembre de 2018 en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/247553s.pdf>

Vidal, R., Martínez, F., & Ayza, M. (2006). Aplicaciones De Los Modelos De Calidad En La Simulación De Las Redes De Distribución De Agua Potable. Barcelona: Àrees temàtiques de la UPC.

11. ANEXOS.

11.1 Software Residual.jar

11.2 Diagnóstico y Análisis de Alternativas del Tratamiento del Sistema de Acueducto y Alcantarillado del Municipio de Bugalagrande – Corregimiento de Paila Arriba.

11.3 Cronograma y Costos.

11.4 Instalación Java.