

Selección de Tecnologías y Análisis de Costos para Potabilización del Agua  
Aplicando el Modelo SELTEC, para el Municipio de Pajarito Boyacá

Yurani Liceth Parra Botia  
Tania Yisel Pineda Rivera

Universidad de Boyacá  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Ingeniería Sanitaria  
Tunja  
2022

Selección de Tecnologías y Análisis de Costos para Potabilización del Agua Aplicando  
el Modelo SELTEC, para el Municipio de Pajarito Boyacá

Yurani Liceth Parra Botia

Tania Yisel Pineda Rivera

Trabajo de Grado para Optar al Título de  
Ingeniera Sanitaria

Codirector

Catherin Dayani Caro Avendaño

Ingeniera Sanitaria

Director

Yadi Johaira Ramos Parra

Ingeniera Sanitaria

Universidad de Boyacá

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Ingeniería Sanitaria

Tunja

2022

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Tunja, 09 de junio de 2022

“Únicamente el graduando es responsable de las ideas expuestas en el presente trabajo”.  
(Universidad de Boyacá. Acuerdo 958 del 30 de marzo de 2017, Artículo décimo Primero).”

Dedicamos este proyecto de grado a Dios por permitirnos desarrollar de la mejor forma cada uno de los proyectos y metas que con paso del tiempo nos hemos planteado, por estar con nosotras en cada paso que damos brindándonos su bendición, fortaleza y entendimiento necesario para lograr nuestros cometidos, a nuestros padres por el esfuerzo que realizan a diario para velar por nuestro bienestar, por ser ese motor que nos impulsa a realizar de la mejor manera cada una de nuestras actividades tanto académicas como personales, depositando su voto de confianza en cada reto que nos planteamos.

**Yurani Liceth**

**Tania Yisel**

### **Agradecimientos**

Agradecemos a nuestras asesoras Ingenieras Yadi Johaira Ramos Parra y Catherin Dayani Caro Avendaño por depositar su voto de confianza y creer en nosotras al momento de llevar a cabo el desarrollo de este proyecto como alternativa de grado, por su compromiso, por compartir día a día cada uno de sus conocimientos adquiridos con el pasar del tiempo en el desarrollo de su labor profesional, conocimientos que fueron indispensables durante la ejecución de nuestro trabajo de grado los cuales nos fortalecieron profesionalmente.

De igual manera, agradecemos al ingeniero Johan Priciliano Monroy Ramírez jefe de la unidad de servicios públicos del municipio de Pajarito, quien nos abrió las puertas de su municipio, nos permitió conocer de primera mano las condiciones en las que se encontraba la planta de tratamiento de agua potable y nos facilitó la documentación necesaria para llevar a cabo el desarrollo de la propuesta de investigación.

**Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción.....	19
1. Definiciones Técnicas Aplicativas en Recolección de Información para Modelo SELTEC.....	20
1.1. Identificación del Modelo SELTEC.....	20
1.1.1. Nivel 0 y 1. Institucionalización de las tecnologías.....	20
1.2. Nivel 2. Aspectos Socio-Culturales de la Localidad.....	33
1.3. Nivel 3. Disponibilidad de Recursos y Materiales.....	36
1.4. Nivel 4. Riesgo Sanitario y Eficiencia de las Tecnologías.....	39
2. Implementación Modelo SELTEC Municipio de Pajarito Boyacá.....	40
2.1. Niveles 0 y 1.....	40
2.1.1. Actividades tipo F. Formatos de entrada de datos.....	40
2.1.2. Actividades tipo B. Procedimiento.....	41
2.2. Nivel 2.....	46
2.2.1. Actividades tipo F. formatos de entrada de datos.....	46
2.2.2. Actividades tipo A. Criterios para la ejecución de procesos.....	51
2.2.3. Actividades tipo S. Criterios para la selección de tecnología.....	51
2.3. Nivel 3.....	54
2.3.1. Actividades tipo F. Formatos de entrada de datos.....	54
2.3.2. Actividades tipo S. Criterios para la selección de tecnología.....	55
2.4. Nivel 4.....	59
2.4.1. Actividades tipo F. Formatos de entrada de datos.....	59
2.4.2. Actividades tipo B. Procedimientos.....	64
3. Comparación Tren de Tratamiento Municipio de Pajarito Vs Tren de Tratamiento Arrojado por el Modelo SELTEC.....	75
3.1. Visita e Inspección Planta de Tratamiento Municipio de Pajarito Boyacá.....	75
3.1.1. Recorrido desde el municipio de Pajarito hasta la PTAP.....	75
3.1.2. Reconocimiento lugar de captación.....	77

3.1.3. Reconocimiento y visita planta de tratamiento de agua apta para consumo humano (PTAP).....	79
3.1.4. Red de distribución y prestación del servicio .....	86
3.2. Comparativos Trenes de Tratamiento de Agua Apta para Consumo Humano .....	87
3.3. Determinación Perfil Hidráulico.....	91
4. Establecer Sugerencias y / o Recomendaciones de los Posibles Escenarios para el Sistema de Tratamiento en el Municipio de Pajarito Boyacá.....	103
5. Conclusiones.....	104
Referencias.....	106
Anexos.....	110



**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Lista de procesos de potabilización.....	22
Tabla 2 Tabla B.2.2. (RAS, 2017). Dotación neta máxima.....	24
Tabla 3 Porcentajes admisibles de pérdidas técnicas, tabla B.2.4. ....	25
Tabla 4 Tecnologías sostenibles.....	29
Tabla 5 Tecnologías sostenibles teniendo en cuenta caudal de diseño .....	31
Tabla 6 Categorías para cabeceras municipales .....	33
Tabla 7 Selección tren de tratamiento teniendo en cuenta la población.....	34
Tabla 8 Opciones tecnológicas sostenibles .....	35
Tabla 9 Selección de tecnología teniendo en cuenta facilidad de transporte al centro urbano	36
Tabla 10 Selección de tecnología teniendo en cuenta prestación del servicio de energía eléctrica .....	37
Tabla 11 Selección de tecnología teniendo en cuenta disponibilidad de medios filtrantes.....	38
Tabla 12 Cálculo proyección de población para el municipio de Pajarito, Boyacá.....	42
Tabla 13 Selección de procesos y tecnologías.....	44
Tabla 14 Selección de tecnologías dependiendo del caudal de diseño para el año cero del proyecto .....	45
Tabla 15 Establecimiento de tipos de repuestos y accesorios para la planta de tratamiento....	48
Tabla 16 Intervalos de categorías en cabeceras municipales .....	51
Tabla 17 Tecnologías sostenibles según categoría de la localidad.....	52
Tabla 18 Tecnologías sostenibles de acuerdo a acceso en centro urbano .....	53
Tabla 19 Selección de tecnología teniendo en cuenta facilidad de transporte al centro urbano .....	58
Tabla 20 Selección de tecnología teniendo en cuenta prestación del servicio de energía eléctrica .....	57
Tabla 21 Selección de tecnología teniendo en cuenta disponibilidad de medios filtrantes.....	58
Tabla 22 Registro parámetros analizados en PTAP del municipio de Pajarito Boyacá.....	62
Tabla 23 Lectura parámetro turbiedad.....	64
Tabla 24 Determinación de valores máximos y mínimos parámetro turbiedad.....	65

Tabla 25 Determinación tamaño de intervalo parámetro turbiedad .....	65
Tabla 26 Consolidados intervalos de frecuencia, parámetro turbiedad.....	66
Tabla 27 Establecimiento de ejes, parámetro turbiedad.....	67
Tabla 28 Lectura parámetro color aparente .....	68
Tabla 29 Determinación de valores máximos y mínimos parámetro color aparente. ....	69
Tabla 30 Determinación tamaño de intervalo parámetro color aparente.....	69
Tabla 31 Consolidados intervalos de frecuencia, parámetro color aparente .....	69
Tabla 32 Establecimiento de ejes, parámetro color aparente .....	70
Tabla 33 Lectura parámetro turbiedad.....	71
Tabla 34 Determinación de valores máximos y mínimos parámetro hierro total .....	72
Tabla 35 Determinación tamaño de intervalo parámetro hierro total.....	73
Tabla 36 Consolidados intervalos de frecuencia, parámetro hierro total .....	73
Tabla 37 Establecimiento de ejes, parámetro hierro total .....	74
Tabla 38 Comparativo tren de tratamiento .....	87
Tabla 39 Listado de accesorios presentes en el sistema y perdidas asociadas a los accesorios	98
Tabla 40 Consolidado información estructura sistemas tren de tratamiento de agua apta para consumo humano.....	100
Tabla 41 Cuadro resumen línea de gradiente hidráulico planta de tratamiento municipio de Pajarito Boyacá.....	101

### Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Crecimiento poblacional municipio Pajarito para el Año 2045 .....	43
Figura 2. Localización municipio de Pajarito.....	46
Figura 3. Relación parámetro turbiedad respecto a la frecuencia acumulada (%). .....	67
Figura 4. Relación parámetro color aparente respecto a la frecuencia acumulada (%). .....	71
Figura 5. Relación parámetro hierro total respecto a la frecuencia acumulada (%). .....	74
Figura 6. Registro fotográfico desplazamiento de municipio a PTAP Pajarito Boyacá.....	76
Figura 7. Coordenadas geográficas ubicación bocatoma o punto de captación PTAP Pajarito Boyacá. ....	77
Figura 8. Bocatoma o punto de captación PTAP Pajarito Boyacá .....	78
Figura 9. Coordenadas Geográficas Ubicación PTAP Pajarito Boyacá.....	79
Figura 10. Estructura desarenador PTAP Pajarito Boyacá.....	80
Figura 11. Macromedidor y válvula de compuerta PTAP Pajarito Boyacá .....	81
Figura 12. Estructura para mezcla rápida PTAP Pajarito Boyacá.....	82
Figura 13. Estructura cámara de quietamiento PTAP Pajarito Boyacá .....	83
Figura 14. Estructura sedimentación PTAP Pajarito Boyacá.....	84
Figura 15. Estructura sistema de filtración PTAP Pajarito Boyacá.....	84
Figura 16. Tanque de almacenamiento PTAP Pajarito Boyacá.....	85
Figura 17. Línea de conducción de agua desde la PTAP hasta el tanque de almacenamiento casco urbano de Pajarito Boyacá.....	86
Figura 18. Sistema de suministro de agua del municipio de Pajarito Boyacá.....	87
Figura 19. Vista en planta, tren de tratamiento municipio de Pajarito Boyacá .....	92
Figura 20. Despiece vista en planta Sistema de tratamiento de agua apta para consumo humano, entrada afluente.....	93
Figura 21. Continuación despiece vista en planta Sistema de tratamiento de agua apta para consumo humano, entrada afluente .....	94
Figura 22. Vista en perfil, tren de tratamiento municipio de Pajarito Boyacá .....	95
Figura 23. Despiece vista en perfil Sistema de tratamiento de agua apta para consumo humano entrada afluente.....	96

Figura 24. Despiece vista en perfil Sistema de tratamiento de agua apta para consumo humano  
entrada afluyente..... 97

Figura 25. Línea de gradiente hidráulico..... 102

**Lista de Ecuaciones**

	<b>Pág.</b>
Ecuación 1. Calculo Tasa de Crecimiento Poblacional .....	21
Ecuación 2 Cálculo Dotación Bruta .....	21
Ecuación 3 Estimación de población.....	26
Ecuación 4. Caudal de Diseño al Final del Horizonte del Proyecto.....	26
Ecuación 5. Caudal de Diseño al Final del Horizonte del Proyecto.....	27
Ecuación 6. Estimación de Población- Método Aritmético .....	27
Ecuación 7. Estimación de Población- Método Geométrico.....	28
Ecuación 8. Cálculo Tasa de Crecimiento Anual .....	28
Ecuación 9. Estimación de Población- Método Exponencial.....	29
Ecuación 10. Cálculo Tasa de Crecimiento Poblacional (Logarítmica).....	29
Ecuación 11. Cálculo para determinación de pérdidas por fricción .....	101
Ecuación 12. Cálculo para determinación de Línea de Gradiente Hidráulico.....	101

**Lista de Anexos**

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Anteproyecto .....	111
Anexo B. Encuestas formuladas por la metodología SELTEC .....	136

## Glosario

**Aducción:** componente a través del cual se transporta agua cruda, ya sea a flujo libre o a presión.

**Afluente:** líquido que proviene de una fuente (río, quebrada, subterránea) e ingrese a un proceso de tratamiento.

**Agua cruda:** agua que no ha recibido ningún tipo de tratamiento previo antes de ser distribuida a la población.

**Agua potable:** agua apta para consumo humano y que ha recibido un tratamiento previo.

**Almacenamiento:** acción destinada a almacenar un determinado volumen de agua para cubrir los picos horarios y la demanda contra incendios.

.

**Caudal:** cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo.

**Calidad del Agua:** conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.

**Capacidad de producción (en potabilización):** caudal que puede tratar una planta de potabilización.

**Criterio de diseño:** normas o guías que se crean y establecen con el fin de brindar orientación, determinar objetivos y pasos a seguir con el propósito de cumplir con el diseño de construcción de procesos, estructuras o componentes de sistemas.

**Desarrollo Sostenible:** es la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

**Efluente:** líquido que sale como resultado de un proceso de tratamiento.

**Fuente de abastecimiento:** puede ser superficial, profunda o subterránea, la elección del tipo de abastecimiento depende de factores dentro de los que se encuentran la localización de la zona, calidad del recurso y la cantidad de agua que se requiere entregar a la población.

**Medio Ambiente:** es el conjunto de factores físico-naturales, sociales, culturales, económicos y estéticos que interactúan entre sí, con el individuo y con la sociedad en que vive, determinando su forma, carácter, relación y supervivencia.

**Modelo SELTEC:** Modelo de Selección de Tecnología y Análisis de Costos en el tratamiento de agua apta para consumo humano.

**Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP):** conjunto de estructuras y sistemas de ingeniería en las que se trata el agua cruda para convertirla en apta para consumo humano.



## Resumen

Parra Botia, Yurani Liceth

Selección de Tecnologías y Análisis de Costos para Potabilización del Agua Aplicando el Modelo SELTEC, para el Municipio de Pajarito Boyacá / Yurani Liceth Parra Botia, Tania Yisel Pineda Rivera. - - Tunja : Universidad de Boyacá, Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2022.

144 h. : il.+1 CD ROM. - - (Trabajos de Grado UB, Ingeniería Sanitaria ; n° )

Trabajo de Grado (Ingeniera Sanitaria). - - Universidad de Boyacá, 2022.

El presente proyecto tiene como fin realizar la implementación del modelo SELTEC enfocado al aprovisionamiento del agua apta para el consumo humano, acorde a las necesidades de la comunidad, evaluando con ello el tren de tratamiento existente en la planta de tratamiento de agua apta para consumo humano del municipio de Pajarito, Boyacá y el tren de tratamiento arrojado de acuerdo a la tecnología estudiada en el modelo SELTEC, tomando como referente un caudal proyectado para la población del municipio a 25 años.

De acuerdo a lo anterior, se plantea seleccionar la tecnología de tratamiento de agua apta para consumo humano en el municipio de Pajarito Boyacá empleando el modelo SELTEC, con el cual se pretende brindar acciones que contribuyan significativamente a la resolución de problemáticas ambientales que se presentan y los diversos beneficios que trae consigo el correcto tratamiento que debe darse al agua cruda, cumpliendo a cabalidad las especificaciones determinadas por la normativa colombiana para el manejo y tratamiento de agua apta para consumo humano.

Mediante la ejecución y puesta en marcha de una metodología de tipo descriptivo con enfoque observacional, por medio de la cual se involucran procesos de recolección de información de visitas en campo, consulta de referentes bibliográficos, que evidencian información de sistemas de tratamiento de agua apta para consumo humano, metodologías y modelos empleados para llevar a cabo especificaciones de sistemas de tratamiento.

Así como el cumplimiento de los requerimientos mínimos de diseño y optimización de costos que mejoren el desempeño de la misma, recomendando la implementación y puesta en marcha del modelo SELTEC por parte de los entes gubernamentales del municipio de Pajarito Boyacá con el fin de mejorar las condiciones y la calidad del agua apta para el consumo humano.

**Palabras clave:** Modelo SELTEC, Planta de Tratamiento de Agua, Consumo humano, Tecnologías sostenibles, Problemáticas ambientales, Agua potable.

### Abstract

Parra Botia, Yurani Liceth

Selection of Technologies and Cost Analysis for Water Purification Applying the SELTEC Model, for the Municipality of Pajarito Boyacá / Yurani Liceth Parra Botia, Tania Yisel Pineda Rivera. - - Tunja : University of Boyacá, College of Science and Engineering, 2022. 144 h. : il. + 1 CD ROM. - - (Degree Projects UB, Sanitary Engineering ; n°. )

Degree Work (Sanitary Engineering). - - University of Boyacá, 2022.

The purpose of this project is to carry out the implementation of the SELTEC model focused on the supply of water suitable for human consumption, according to the needs of the community, thereby evaluating the existing treatment train in the water treatment plant suitable for human consumption. of the municipality of Pajarito, Boyacá and the treatment train discharged according to the technology studied in the SELTEC model, taking as reference a flow projected for the population of the municipality in 25 years.

According to the above, it is proposed to select the water treatment technology suitable for human consumption in the municipality of Pajarito Boyacá using the SELTEC model, with which it is intended to provide actions that contribute significantly to the resolution of environmental problems that arise and the various benefits that the correct treatment that should be given to raw water brings, fully complying with the specifications determined by Colombian regulations for the management and treatment of water suitable for human consumption.

Through the execution and implementation of a descriptive methodology with an observational approach, through which processes of collecting information from field visits are involved, consultation of bibliographic references, which show information on water treatment systems suitable for human consumption, methodologies and models used to carry out specifications of treatment systems.

As well as compliance with the minimum requirements for design and optimization of costs that improve its performance, recommending the implementation and start-up of the SELTEC model by the government entities of the municipality of Pajarito Boyacá in order to improve the conditions and the quality of water suitable for human consumption.

**Keywords:** SELTEC Model, Water treatment plant, Human consumption, sustainable technologies, environmental problems, Drinking water.

## **Introducción**

El Modelo de Selección de Tecnología y Análisis de Costos en el Tratamiento de Agua para Consumo Humano “ SELTEC” , es una herramienta de planeación que permite seleccionar alternativas tecnológicas sostenibles en potabilización de agua, cuando no existe tecnología en la localidad y permite la realización de una planta nueva, igualmente evalúa la sostenibilidad de una planta en una localidad ; una planta existente y estima costos de inversión inicial, administración, operación y mantenimiento para las opciones tecnológicas de un sistema de tratamiento (Seltec, 2018).

En la actualidad hay un déficit en el tratamiento de agua potable y carencia de estructuras para la prestación de servicios en cuanto al abastecimiento de agua y saneamiento básico, lo que implica la generación de impactos en la salud y en la calidad de vida de la población que no cuenta con este suministro. Ante la necesidad de dar respuesta a esta situación se ha venido analizando y replanteando el sector de agua potable y saneamiento en el estado.

Es por esto que se ve la necesidad de implementar este tipo de modelos en municipios que no cuenta con esta alternativa, así contribuyendo a la solución del problema anterior y por consiguiente al mejoramiento del impacto de las inversiones en el sector de abastecimiento de agua, por lo cual se desarrolló el modelo de Selección de Tecnología y Análisis de Costos en Sistema de Potabilización de Agua “SELTEC” en el municipio de Pajarito – Boyacá, ya que es uno de los municipios del departamento que cuenta con poca tecnología sostenible, para el tratamiento de agua para consumo humano; por lo tanto esta herramienta permite analizar cuáles son las mejores alternativas en cuanto a los aspectos socioculturales, la institucionalización de la tecnologías, criterios de la tecnología y la respectiva selección, con el propósito de recomendar las tecnologías sostenibles eficientes para el tratamiento de la fuente de captación del agua.

## **1. Definiciones Técnicas Aplicativas en Recolección de Información para Modelo SELTEC**

Con el propósito de llevar a cabo un correcto desarrollo del trabajo investigativo, se realiza en primera instancia la respectiva consulta bibliográfica enfocada en la identificación de la tecnología desarrollada en la literatura, para llevar a cabo la construcción de un modelo SELTEC, posterior a ello, se realiza un acercamiento directo con los encargados de la unidad de servicios públicos del municipio de Pajarito Boyacá, con el propósito de conocer e identificar las problemáticas que se vienen presentando en el municipio en cuanto a la distribución, tratamiento de agua apta para consumo humano y las condiciones en las cuales se encuentra la Planta de Tratamiento (PTAP) en la actualidad, para ello se plantea una serie de actividades dentro de las cuales se encuentran:

### **1.1. Identificación del Modelo SELTEC**

Teniendo en cuenta, que desde la literatura se ha trabajado por diversos autores la temática encaminada en la construcción de modelos SELTEC, se lleva a cabo una exhaustiva búsqueda bibliográfica, mediante la cual se verifica cada uno de los niveles con los que cuenta el SELTEC y se seleccionan los que para el momento se requieren aplicar a lo largo del desarrollo del trabajo investigativo.

Se hace necesario, relacionar los niveles 0 y 1,2,3,4 puesto que estos niveles presentan una exhaustiva y amplia información, que inicialmente sirve como sustento en el desarrollo del modelo que se ejecutara para el municipio de pajarito, cada uno de los niveles a su vez, cuenta con actividades específicas dependiendo en su totalidad de información existente tanto de la planta de tratamiento como del municipio y sus habitantes, siendo mencionados a continuación:

#### **1.1.1. Nivel 0 y 1. Institucionalización de las tecnologías:**

A continuación, se presenta la relación de las actividades empleadas para llevar a cabo la construcción del modelo SELTEC para el municipio de Pajarito Boyacá (Galvis A. , 2001).

• **Actividades tipo F**

F 1.1. Información para estimar el caudal al final del horizonte del proyecto (Galvis A. , 2001).

- Población actual: \_\_\_\_\_ habitantes
- Tasa de crecimiento anual: \_\_\_\_\_%

$$r = \left( \frac{PUC}{PCI} \right)^{\frac{1}{TUC-TCI}-1}$$

*Ecuación 1. Calculo Tasa de Crecimiento Poblacional*

Donde:

r: tasa de crecimiento observado en el periodo.

Puc: Población del último censo realizado por el DANE.

Pci: población del censo inicial por habitantes.

Tuc: año correspondiente al último año proyectado por DANE.

Tci: Año correspondiente al censo inicial con información.

- Dotación bruta (incluyendo pérdidas): \_\_\_\_\_ l/hab/día

$$D. Bruta = \frac{D. NETA}{1 - \%PERDIDAS}$$

*Ecuación 2. Cálculo Dotación Bruta*

- Coeficiente de consumo máximo diario (K<sub>1</sub>): \_\_\_\_\_
- Horas de funcionamiento de la planta de tratamiento: \_\_\_\_\_ hr / día

• **Actividades tipo A**

A 0.1 Criterios para analizar el nivel de institucionalización de los procesos de tratamiento y las tecnologías.

Dentro de los criterios para analizar cada una de las actividades planteadas dentro del modelo se hace necesario, puntualizar y seleccionar adecuadamente los procesos a trabajar contando

metodología estipulada inicialmente por autores en literatura para llevar a cabo el modelo SELTEC, metodología plasmada a continuación (Galvis A. , 2001):

- **Metodología**

Procesos tecnológicos considerados:

En la siguiente tabla (Ver tabla 1) se presenta un listado de los procesos más conocidos, en el tratamiento de agua para consumo humano. Lista de procesos considerados en el modelo de selección, antes de la barrera de la institucionalización de las tecnologías (Galvis A. , 2001).

Tabla 1

*Lista de procesos de potabilización*

N° de Orden	Proceso	Opciones del Proceso
1	Aireación	Bandejas o cascadas Aspersores
2	Coagulación o mezcla rápida	Hidráulica Mecánica
3	Floculación hidráulica	Tabiques Mallas Medio poroso
4	Floculación mecánica	Vertical Horizontal
5	Sedimentación	Convencional Alta tasa Manto de lodos
6	Flotación	Aire disuelto Aire disperso
7	Filtración rápida	Ascendente Descendente Biflujo

---

		Doble filtración
		Precapa
8	Filtración por membranas	Nanofiltración Microfiltración Hiperfiltración – Osmosis Inversa
9	Filtración lenta	Flujo descendente Flujo ascendente
10	Filtración gruesa	FGDi (Filtración gruesa dinámica) FGAC (Filtración gruesa ascendente en capas) FGAS (Filtración gruesa ascendente en serie) FGDS (Filtración gruesa descendente en serie) FGH (Filtración gruesa horizontal)
11	Desinfección	Cloro Gaseoso Hipoclorito de Sodio Hipoclorito de Calcio Ozonación Rayos Ultravioleta Dióxido de Cloro
12	Ablandamiento	Cal Cal – Soda Cáustica
13	Adsorción	Carbón Activado Granular Carbón Activado Pulverizado Zeolitas

Fuente: Modelo SELTEC, apoyado en Nivel 0 y 1 modelo conceptual para la Selección de Tecnología en Sistemas de Potabilización de Agua, adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 0 y 1. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

A1.1 Criterios del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, para estimación del caudal de diseño.

Teniendo en cuenta la información contenida dentro del modelo SELTEC y la información que se ha establecido dentro del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento

Básico, para llevar a cabo la determinación de cálculos partiendo del nivel de complejidad del sistema, se requiere integrar valores de Dotación Neta Máxima, tomando como referente la información consignada dentro del nivel de 0 y 1 especificado en la literatura para el modelo SELTEC (Ver tabla 2).

Tabla 2

*Dotación neta máxima*

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

Fuente: Modelo SELTEC, apoyado en Nivel 0 y 1 modelo conceptual para la Selección de Tecnología en Sistemas de Potabilización de Agua, adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 0 y 1. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

En este mismo literal del modelo SELTEC se señala que: "En aquellos casos en los que exista una carencia notable del recurso agua, pueden tener dotaciones inferiores a las establecidas en la Tabla 2. En este caso debe tenerse autorización expresa de la DSPD". Por lo tanto, en el Modelo se considerará una dotación mínima de 50 l/hab\*día.

- La dotación neta puede ajustarse teniendo en cuenta: efecto del tamaño de la población, efecto del clima y sistema de alcantarillado existente.
- El porcentaje de pérdidas para determinar la dotación bruta no debe ser superior al establecido teniendo en cuenta las consideraciones del literal B.2.4. 4 del RAS. a continuación, se transcribe la tabla (Ver tabla 3) donde se establece el porcentaje máximo de pérdidas técnicas admisibles para cálculos y determinación de dotación bruta:



Tabla 3

*Porcentajes admisibles de pérdidas técnicas, tabla B.2.4.*

Nivel de complejidad del sistema	Porcentaje de pérdidas admisibles para el cálculo de la dotación bruta
Bajo	40%
Medio	30%
Medio Alto	25%
Alto	20%

Fuente: Modelo SELTEC, apoyado en Nivel 0 y 1 modelo conceptual para la Selección de Tecnología en Sistemas de Potabilización de Agua, adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 0 y 1. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

El porcentaje de pérdidas técnicas máximas en la ecuación de la dotación bruta engloba el total de pérdidas esperadas en todos los componentes del sistema (como conducciones, aducciones y redes), así como las necesidades de la planta de tratamiento de agua potable, y no deberá superar el 25% (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017).

- **Actividades tipo B**

Las actividades a continuación relacionadas, se encaminan al cálculo y determinación de caudales para el proyecto, siendo necesario la implementación de fórmulas tanto para hallar población como caudal (Galvis A. , 2001).

B 1.1. Estimación del caudal<sup>1</sup> en el año cero del proyecto ( $Q_0$ ) y del caudal requerido al final del horizonte del proyecto , se toma como horizonte del proyecto, un tiempo determinado de 25 a 30 años.

<sup>1</sup> La estimación del caudal debe hacerse bajo los criterios establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico

Para estimar la población al final del horizonte del Proyecto (Ph), se utiliza la siguiente expresión:

$$Ph = Pa * (1 + r)^n$$

*Ecuación 3. Estimación de población.*

Donde:

Pa = Población actual a servir (habitantes).

R = Tasa de crecimiento anual.

n= Horizonte del proyecto, se adopta n=30 años.

- El caudal de diseño al final del horizonte del proyecto (Q<sub>h</sub>) se determina a partir de la siguiente expresión (Galvis A. , 2001):

- 

$$Qh = \frac{Ph * D * \left(\frac{24}{HF}\right) * K1}{86400}$$

*Ecuación 4. Caudal de Diseño al Final del Horizonte del Proyecto*

Donde:

Q<sub>h</sub>= Caudal de diseño al final del horizonte del proyecto, l/s<sup>2</sup>.

Ph = Población al final del horizonte del Proyecto, habitantes<sup>3</sup> .

D = Dotación bruta (incluyendo pérdidas), l/hab/día.

HF= Horas de funcionamiento de la planta de tratamiento, horas/día.

K1= Coeficiente de consumo máximo diario.

- El caudal de diseño en el año cero del proyecto (Q<sub>0</sub>), en l/s, se determina a partir de la siguiente expresión (Galvis A. , 2001):

---

<sup>2</sup> La estimación del caudal debe hacerse bajo los criterios establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico Ver A.1.1

<sup>3</sup> Considerar como población actual, la población en el año cero del proyecto

$$Q_0 = \frac{Pa * D * \left(\frac{24}{HF}\right) * K1}{86400}$$

*Ecuación 5. Caudal de Diseño al Final del Horizonte del Proyecto*

Donde:

Pa = Población actual a servir, habitantes<sup>4</sup>.

D = Dotación bruta (incluyendo pérdidas), l/hab/día.

HF= Horas de funcionamiento de la planta de tratamiento, horas/día.

K1= Coeficiente de consumo máximo diario.

- Métodos para proyección de población.

Teniendo en cuenta que existen varios métodos de proyección para llevar a cabo la estimación de proyección de población, a continuación, se presenta la descripción de cada uno con sus respectivas formulas a trabajar (Ministerio de Vivienda, 2017).

- Método aritmético:

Es un método de proyección completamente teórico y rara vez se da el caso de que una población presente este tipo de crecimiento. En la estimación de la población de diseño, a través de este método, sólo se necesita el tamaño de la población en dos tiempos distintos (Universidad de Piura, 2014).

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} * (Tf - Tuc)$$

*Ecuación 6. Estimación de Población- Método Aritmético*

Donde:

Pf = Población final para el año del proyecto.

Puc= Población del último censo realizado por el DANE.

Pci= Población del censo inicial por habitantes.

Tuc= Año correspondiente al último año proyectado por DANE.

---

<sup>4</sup> Considerar como población actual, la población en el año cero del proyecto

Tci= Año correspondiente al censo inicial con información.

Tf= Año al cual se quiere proyectar la información.

- Método geométrico:

Mediante este método, se asume que el crecimiento de la población es proporcional al tamaño de ésta. En este caso el patrón de crecimiento es el mismo que el usado para el método aritmético (Universidad de Piura, 2014).

$$Pf = Puc * (1 + r)^{(Tf - Tuc)}$$

*Ecuación 7. Estimación de Población- Método Geométrico*

$$r = \left( \frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{(Tuc - Tci)}} - 1$$

*Ecuación 8. Cálculo Tasa de Crecimiento Anual*

Donde:

Pf: población final para el año del proyecto.

Puc: Población del último censo realizado por el DANE.

Pci: población del censo inicial por habitantes.

Tuc: año correspondiente al último año proyectado por DANE.

Tci: Año correspondiente al censo inicial con información.

Tf: año al cual se quiere proyectar la información.

r: tasa de crecimiento observado en el periodo.

- Método exponencial

Para el uso de este método, se asume que el crecimiento de la población se ajusta al tipo exponencial y la población de diseño se puede calcular con la ecuación 2.3. La aplicación de este método requiere el conocimiento de por lo menos tres censos, ya que para el cálculo del valor de k promedio se requieren al menos de dos valores (Universidad de Piura, 2014).

$$Pf = Pci * e^{k(Tf-Tci)}$$

*Ecuación 9. Estimación de Población- Método Exponencial.*

$$k = \frac{\ln(Pcp - Pca)}{Tcp - Tca}$$

*Ecuación 10. Cálculo Tasa de Crecimiento Poblacional (Logarítmica).*

Donde:

Pf: población final para el año del proyecto.

K: constante.

Pci: población del censo inicial por habitantes.

Pca: población del censo anterior.

Pcp: población del censo posterior.

Tci: Año correspondiente al censo inicial con información.

Tf: año al cual se quiere proyectar la información.

• **Actividades tipo S**

S0. Tecnologías sostenibles de acuerdo al nivel de institucionalización de procesos y tecnologías (Galvis A. , 2001).

Se extrae del modelo SELTEC, la tabla 4, correspondiente a las alternativas de tratamiento que se manejan de acuerdo a los sistemas y procesos involucrados.

Tabla 4

*Tecnologías sostenibles*

Alternativa de Tratamiento	Código	Procesos involucrados <sup>5</sup>
	CC1 CC2 CC3 CC4	MRH + FLH + SD + FRC MRH + FLH
Ciclo completo. (CC)		+ SD + FRD MRH + FLM + SD + FRC MRH + FLM + SD + FRD

<sup>5</sup> Todas las alternativas de tratamiento incluyen la desinfección como proceso final.



FM: Filtración por Membrana	FLM: Floculación mecánica	FGAC: Filtración gruesa ascendente en capas
SD: Sedimentación	FGDi: Filtración gruesa dinámica	FGAS2: Filtración gruesa ascendente en serie 2 etapas
FR: Filtración rápida	FRC: Filtración rápida a tasa constante	FGAS3: Filtración gruesa ascendente en serie 3 etapas
FLH: Floculación hidráulica	AER: Aireación	

Fuente: Modelo SELTEC, apoyado en Nivel 0 y 1 modelo conceptual para la Selección de Tecnología en Sistemas de Potabilización de Agua, adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 0 y 1. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

S1. Tecnologías sostenibles de acuerdo al caudal de diseño y nivel de institucionalización.

En la presente tabla se establece dentro del modelo SELTEC, partiendo del caudal de diseño del proyecto para el año cero, como el caudal de diseño al final del proyecto una serie de tecnologías y los intervalos necesarios a trabajar, para las actividades tipo S. (Ver tabla 5).

Tabla 5  
*Tecnologías sostenibles teniendo en cuenta caudal de diseño*

Caudal de diseño en el año cero del Proyecto, Q0 (l/s)	Caudal de diseño al final del horizonte del Proyecto, Qh (l/s)	Tecnologías sostenibles
Q0 > 120 ó Q0 < 1	Cualquier valor de Qh	El Modelo no aplica porque el caudal en el año cero del proyecto (Q0) está por fuera del intervalo que maneja esta herramienta de planeación [1/s, 120 l/s]
Cualquier valor de Q0	Qh > 120 ó Qh < 1	El Modelo no aplica porque el caudal en el horizonte del proyecto (Qh) está por fuera del intervalo que maneja esta herramienta de planeación [1 l/s, 120 l/s]

$1 \leq Q_h \leq 40$	$1 \leq Q_h \leq 40$	Ciclo Completo (CC) Filtración Directa (FD)
		Filtración en Múltiples Etapas (FiME)
		Remoción de Hierro y Manganeso (RHM)
		Combinación de Tecnologías (CT)
		Planta Compacta (PC)
		Planta Desalinizadora (PD)
		No tratamiento - Sólo desinfección (NT)
		Ciclo Completo (CC)
$40 < Q_0 \leq 120$	$40 < Q_h \leq 120$	Filtración Directa (FD)
		Remoción de Hierro y Manganeso (RHM)
		Planta Compacta (PC)
$1 < Q_0 \leq 40$	$40 < Q_h \leq 120$	Planta Desalinizadora (PD)
		No tratamiento - Sólo desinfección (NT)
$40 < Q_0 \leq 120$	$1 \leq Q_h \leq 40$	

Fuente: Modelo SELTEC, apoyado en Nivel 0 y 1 modelo conceptual para la Selección de Tecnología en Sistemas de Potabilización de Agua, apartado S1., adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 0 y 1. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

Nota 1: Para desinfectar el agua se consideran como sostenibles las opciones de aplicación de cloro líquido, granular o gaseoso. En caso de que la comunidad no acepte el uso de productos químicos (Ver Nivel 2 del Modelo), se considera la opción de hervir el agua, como sustituto del proceso de desinfección por aplicación de cloro.

Nota 2: Las tecnologías FiME no se considerarán sostenibles para menos de 18 horas de funcionamiento diario.



### 1.2. Nivel 2. Aspectos Socio-Culturales de la Localidad

En el presente nivel se presenta una serie de actividades que facilitara la selección y determinación de los procesos a trabajar dentro de la construcción del modelo SELTEC, partiendo de la información del municipio y aspectos socio culturales de la localidad

- **Actividades tipo A**

Se hace necesario aclarar que dentro de las actividades estipuladas en el modelo SELTEC, se han planteado actividades de con numeración diferente antecedida por la letra de la actividad, como se presenta a continuación:

A 2.3 Intervalos de categorías en cabeceras municipales

Se presenta para esta actividad una serie de intervalos que se determinan de acuerdo a la población con la que cuenta el municipio (Ver tabla 6).

Tabla 6

*Categorías para cabeceras municipales*

Población (habitantes)	Intervalos y categorías		
500 - 2.500	≤20 (C1)	21-40 (C2)	41-100 (C3)
2.501 - 5.000	≤30 (C4)	31-50 (C5)	51-100 (C6)
5.001 - 12.500	≤50 (C7)	51-65 (C8)	66-100 (C9)
12.501 - 30.000	≤60 (C10)	61-80 (C11)	81-100 (C12)

Fuente: Modelo SELTEC, apoyado en Nivel 2, Aspectos socio-culturales de la localidad, adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 0 y 1. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

- **Actividades tipo S**

S2.2 Tecnologías sostenibles en cabeceras municipales según la categoría de la localidad (con aceptación de químicos).

Se presenta el tipo de tecnología que se podría trabajar teniendo en cuenta el número de habitantes presentes en la localidad de estudio (Ver tabla 7).

Tabla 7

*Selección tren de tratamiento teniendo en cuenta la población*

Población (habit.)	Categ.	Ciclo Completo	Plantas Compactas	Filtración		Combinación de tecnologías	FiME	Remoción de Hierro y Manganeso	No Tratamiento (Sólo desinfección)	Desinfección		
				Directa	3					4	5	6
500 -	C <sub>1</sub>						X	X	X	X	X	
2.500	C <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	XX	XX				XX	XX	XX	XX	XX	
				X	X							X
2.501 -	C <sub>4</sub>						X	X	X	X	X	
5.000	C <sub>5</sub> C <sub>6</sub>	XX	XX				XX	XX	XX	XX	XX	
				X	X							X
5.001 -	C <sub>7</sub>						X	X	X	X	X	
12.500	C <sub>8</sub> C <sub>9</sub>	XX	X	X	X	X	X	X	X	X	X	XX
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	
12.501 -	C <sub>10</sub>	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
30.000	C <sub>11</sub>											
	C <sub>12</sub>											

Fuente: Modelo SELTEC, apoyado en Nivel 2, actividades tipo S, adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 0 y 1. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

S2.5 Opciones tecnológicamente sostenibles teniendo en cuenta el acceso al centro urbano regional.

El modelo recomienda emplear cualquier sistema teniendo en cuenta la vía de acceso con la que cuenta la planta de tratamiento (Ver tabla 8).

Tabla 8

*Opciones tecnológicas sostenibles*

Tipo de transporte	Estado de la vía	Distancia al centro urbano regional (Km)	Ciclo completo	Plantas compactas	Filtración directa	Combinación de tecnologías	Remoción de hierro y manganeso	No				
								de Tratamiento (Sólo desinfección)	Desinfección Granular	Líquido	Gaseoso	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
terrestre	Pavimentada o carreteable en invierno		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Carreteable no transitable en invierno	≤20	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Camino de herradura	≤20	X	X	X	X	XX	XX	XX	XX	XX	
		>20										

Fuente: Autor, modelo SELTEC, nivel 2 actividad S. Opciones tecnológicamente sostenibles, adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 0 y 1. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

### 1.3. Nivel 3. Disponibilidad de Recursos y Materiales

En el presente nivel de estudio se relacionan actividades que se basan directamente en la obtención de información para determinar los recursos y materiales con los que se cuenta en el municipio, para ello se hace necesario determinar el desarrollo de las siguientes actividades:

- **Actividades tipo F**

Dentro de estas actividades se establece por parte del modelo SELTEC, la aplicación de encuestas construidas para determinar la disponibilidad de insumos químicos en la zona de estudio (Ver anexo B).

- **Actividades tipo S**

Se presenta a continuación las actividades a desarrollar teniendo en cuenta la tecnología y el estado de la vía:

S3. Selección de tecnología con base en las facilidades de transporte al centro urbano más cercano con disponibilidad de insumos químicos (Ver tabla 9).

Tabla 9

*Selección de tecnología teniendo en cuenta facilidad de transporte al centro urbano*

Tipo de Transporte	Estado de la vía	Distancia a centro urbano regional (Km)	Ciclo completo	Plantas compactas	Filtración Directa	Combinación de tecnologías	Remoción de Hierro y Manganeseo	No Desinfección					
								FiME	(Sólo desinfección)	Granular	Líquido	Gaseoso	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Pavimentada no transitable en invierno	Aplica a cualquier distancia	X	X		XX	X	X			XX	X	X



Generación local	< 19 horas	XX		XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX
	19 – 23 horas	X	XX	X	X	X	X	X	X	X	X
	≥ 23 horas										

Fuente: Autor, apoyado en modelo SELTEC, nivel 3. Actividad S, selección de tecnología con base en la prestación de servicio de energía, adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 0 y 1. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

S5. Opciones tecnológicas sostenibles de acuerdo con la disponibilidad de medios filtrantes

Hace referencia a las tecnologías y la disponibilidad de los medios filtrantes dependiendo del terreno y acceso a la planta de tratamiento (Ver tabla 11).

Tabla 11

*Selección de tecnología teniendo en cuenta disponibilidad de medios filtrantes*

Tipo de transporte	Estado de la vía	Distancia al sitio de obtención de medios filtrantes (Km)	Ciclo completo	Plantas compactas <sup>2</sup>	Filtración directa	Combinación de tecnologías	FIME	Remoción de Fe y Mn	No Tratamiento (Sólo desinfección)
			1	2	3	4	5	6	7
Terrestre	Pavimentada o transitable en invierno	Aplica para cualquier distancia	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: modelo SELTEC, nivel 3, actividades S, adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 0 y 1. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

#### **1.4.Nivel 4. Riesgo Sanitario y Eficiencia de las Tecnologías**

- **Actividades tipo F y tipo B**

Dentro de este tipo de actividades se asocia información perteneciente al tipo de fuente abastecedora de agua, de donde se capta el agua, datos de parámetros analizados a la fuente de captación y en los sistemas de tratamiento al agua, caudales trabajados en el proyecto e información de la fuente, mediante la implementación de encuestas planteadas por los autores en la literatura para el caso de la construcción del modelo SELTEC (ver anexo C).

## 2. Implementación Modelo SELTEC Municipio de Pajarito Boyacá

A continuación, se presenta el desarrollo del modelo SELTEC para el municipio de Pajarito Boyacá, dicho modelo está dividido en cuatro niveles, dentro de los cuales, se maneja e ingresa información del municipio, de los parámetros físico- químicos analizados de la Planta de Tratamiento de agua apta para Consumo Humano (PTAP), por parte de un ente externo contratado por la unidad de servicios públicos del municipio en mención.

### 2.1. Niveles 0 y 1

2.1.1. Actividades tipo F. Formatos de entrada de datos.

F1.1 Información para estimar el caudal al final del horizonte<sup>6</sup> del proyecto

1. Población actual<sup>7</sup>: 2168 habitantes

Tasa de crecimiento anual: 1,11 %

$$r = \left( \frac{PUC}{PCI} \right)^{\frac{1}{TUC-TCI}-1}$$

$$r = \left( \frac{2168 \text{ hab}}{814 \text{ hab}} \right)^{\frac{1}{2020-2010}-1}$$

$$r = 1,11\%$$

2. Dotación bruta<sup>8</sup> (incluyendo pérdidas): 160 l/hab/día

$$D. Bruta = \frac{D. NETA}{1 - \%PERDIDAS}$$

$$D. Bruta = \frac{120 \frac{l}{\text{hab} * \text{día}}}{1 - 0,25}$$

<sup>6</sup> En el Modelo, se considera un horizonte del proyecto de 30 años. (No confundir horizonte del proyecto con período de diseño).

<sup>7</sup> Entiéndase por población actual, la correspondiente al año cero del proyecto. Si se trata de un sistema de acueducto inter-regional ó inter-veredal, se debe considerar el total de la población beneficiada. Recordar que este valor debe oscilar entre 500 y 30.000 habitantes; para localidades rurales, no debe superar los 12.500 habitantes.

<sup>8</sup> Dotación bruta = Dotación neta / (1 - %p), donde %p = porcentaje de pérdidas técnicas. El Modelo considera dotaciones entre 50 y 400 l/hab\*día de acuerdo con lo estipulado en el RAS (ver A1.1).



$$D.Bruta = 160 \frac{l}{hab * día}$$

3. Coeficiente de consumo máximo diario (K1)<sup>9</sup>: 1.3

Según el artículo 47 de la Resolución 330 / 2017 y de acuerdo con la población presente en la cabecera del municipio de Pajarito-Boyacá, se determinó el valor de K como 1,3 ya que posee una población menor a 12500 habitantes (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio,2017).

4. Horas de funcionamiento de la planta de tratamiento<sup>10</sup>: 24 hr/día.

2.1.2. Actividades tipo B. Procedimiento.

B1.1 Estimación del caudal en el año cero del proyecto (Q<sub>0</sub>) y del caudal requerido al final del horizonte del proyecto

### **Población al final del horizonte del Proyecto:**

Partiendo de la información suministrada en la base de datos del DANE, donde se relaciona la cantidad de habitantes con los que cuenta el municipio de Pajarito Boyacá, a continuación, se presenta la relación de proyección de población y el método empleado en cada uno de los casos (Ver tabla 12).

<sup>9</sup> El Modelo asume que el sistema trabajará con almacenamiento. De no ser así se deberá anotar el factor correspondiente para caudal máximo horario.

<sup>10</sup> Este dato corresponderá estrictamente a 6, 12, 18 ó 24 horas. Esta versión del Modelo no considera opciones intermedias.

Tabla 12

*Cálculo proyección de población para el municipio de Pajarito, Boyacá.*

Año	Proyección de la población método			Población de diseño (Hab)
	Aritmético (Hab)	Geométrico (Hab)	Exponencial (Hab)	
2019	872	1039	1040	984
2020	871	1051	1052	992
2021	870	1062	1063	999
2022	868	1074	1075	1006
2023	867	1086	1087	1014
2024	866	1098	1099	1021
2025	864	1110	1112	1029
2026	863	1123	1124	1037
2027	862	1135	1137	1045
2028	861	1148	1149	1053
2029	859	1160	1162	1061
2030	858	1173	1175	1069
2031	857	1186	1188	1077
2032	855	1200	1202	1086
2033	854	1213	1215	1094
2034	853	1226	1228	1103
2035	851	1240	1242	1111
2036	850	1254	1256	1120
2037	849	1268	1270	1129
2038	848	1282	1284	1138
2039	846	1296	1299	1147
2040	845	1310	1313	1156
2041	844	1325	1328	1166
2042	842	1339	1343	1175
2043	841	1354	1357	1184

2044	840	1369	1373	1194
2045	838	1385	1388	1204

Fuente: Autor, adaptado de Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2017). Censo poblacional Municipio de Pajarito Boyacá. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/files/censo2005/perfiles/boyaca/pajarito.pdf>

n = Horizonte del proyecto. Se adopta n = 30 años (2045)

Posterior, al cálculo de proyección de población mediante la implementación de diversos métodos, se presenta la relación de cada uno de ellos para el año 2045 (ver figura 1).

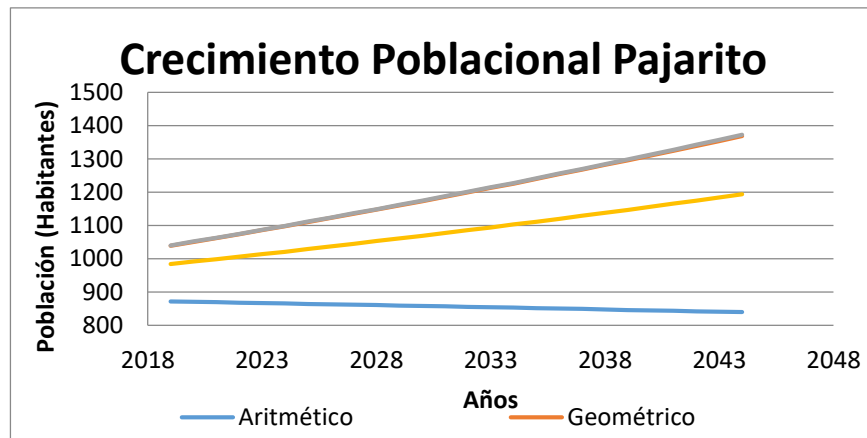


Figura 1. Crecimiento poblacional municipio Pajarito para el Año 2045, fuente: poblacional Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2017) . Censo poblacional Municipio de Pajarito Boyacá. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/files/censo2005/perfiles/boyaca/pajarito.pdf>

De igual manera, partiendo de la información expuesta en la proyección de población se procede a realizar la determinación de caudales para el diseño y final del proyecto:

Caudal de diseño al final del horizonte del proyecto (Qh)

$$Qh = \frac{Ph * D * \left(\frac{24}{HF}\right) * K1}{86400}$$

$$Qh = \frac{1204 \text{ hab} * 160 \frac{l}{\text{hab} * \text{día}} * \left(\frac{24}{24h/\text{día}}\right) * 1,3}{86400}$$

$$Qh = 2,901 \frac{l}{s}$$

- Caudal de diseño en el año cero del proyecto (Q0), en l/s

$$Q0 = \frac{Pa * D * \left(\frac{24}{HF}\right) * K1}{86400}$$

$$Q0 = \frac{984 \text{ hab} * 160 \frac{l}{\text{hab} * \text{día}} * \left(\frac{24}{24h/\text{día}}\right) * 1,3}{86400}$$

$$Q0 = 2,36 \frac{l}{s}$$

Actividades tipo S. Criterios para la selección de tecnología.

S0. Tecnologías sostenibles de acuerdo al nivel de institucionalización de procesos y tecnologías.

Para este caso se selecciona de acuerdo a los requerimientos necesarios del sistema para la operación y correcto funcionamiento del tren de tratamiento, llevar a cabo como alternativa de tratamiento un ciclo completo, en el cual se ven involucrados procesos como mezcla rápida hidráulica, floculación hidráulica, sedimentación, filtración rápida a tasa constante o tasa declinante, entre otras alternativas (Ver tabla 13).

Tabla 13

*Selección de procesos y tecnologías.*

Alternativa de Tratamiento	Procesos involucrados
Ciclo completo. (CC)	MRH + FLH + SD + FRC MRH + FLH + SD + FRD MRH + FLM + SD + FRC MRH + FLM + SD + FRD

Fuente: Autor, apoyado en Modelo SELTEC, Nivel 0 y 1 modelo conceptual para la Selección de Tecnología en Sistemas de Potabilización de Agua, apartado S0, adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 0 y 1. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

S1. Tecnologías sostenibles de acuerdo al caudal de diseño y nivel de institucionalización.

Teniendo en cuenta el caudal de diseño arrojado, mediante la implementación de fórmulas se establece que el tren de tratamiento requiere las siguientes tecnologías (Ver tabla 14).

Tabla 14

*Selección de tecnologías dependiendo del caudal de diseño para el año cero del proyecto*

Caudal de diseño en el año cero del Proyecto, Q0 (l/s)	Caudal de diseño al final del horizonte del Proyecto, Qh (l/s)	Tecnologías sostenibles
$1 \leq Q_0 \leq 40$	$1 \leq Q_h \leq 40$	Ciclo Completo(CC) Filtración Directa (FD) Filtración en Múltiples Etapas (FiME) Remoción de Hierro y Manganeseo (RHM) Combinación de Tecnologías (CT) Planta Compacta (PC) Planta Desalinizadora(PD) No tratamiento - Sólo desinfección (NT)

Fuente: Autor, apoyado en Modelo SELTEC Nivel 0 y 1 modelo conceptual para la Selección de Tecnología en Sistemas de Potabilización de Agua, apartado S1, adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 0 y 1. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

## 2.2.Nivel 2

### 2.2.1. Actividades tipo F. formatos de entrada de datos

#### F2.1 Región y tipo de localidad

- Número de habitantes

Población actual a servir con la planta de tratamiento: 2168 (habitantes)

- Tipo de localidad

- Cabecera Municipal

### PAJARITO – BOYACÁ

El municipio de Pajarito está ubicado en la República de Colombia a 343 Km. de Bogotá D. C en el sector oriental del departamento de Boyacá (Piedemonte llanero), hace parte de la Provincia de la Libertad. Sus límites son: Al norte con Aquitania y Labranza grande, al oriente con Yopal al sur con Aguazul, al sudeste con Recetor y al occidente con Aquitania. Su territorio se encuentra entre los pisos términos frío, templado y cálido así: Frío y Páramo 16 Km<sup>2</sup>, medio 106 Km<sup>2</sup> y Cálido 17Km<sup>2</sup>. Las temperaturas promedio oscilan entre 16 y 24°C y alta precipitación que asciende a los 4075.8 mmanuales, la cabecera municipal de Pajarito se localiza a los 5° 17' 14" de latitud Norte y a 1° 7' 20" ya 72° 42' al oeste del meridiano de Greenwich, a 800 msnm.



*Figura 2.* Localización municipio de Pajarito, fuente: Superintendencia delegada para acueducto, alcantarillado y aseo. (2013). Informe ejecutivo de gestión unidad de servicios públicos de Pajarito Boyacá ID-836.Recuperado de <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Acueducto%2C%20alcantarillado>

- Aceptación de productos químicos

La comunidad acepta el uso de productos químicos para el tratamiento del agua

- si

F2.2. Información para estimar las características de la localidad (Aspectos socio-culturales)

F2.2.3. Cabeceras municipales entre 500 - 5000 habitantes

1. Saber académico

1.1. Máximo grado<sup>11</sup> que se puede alcanzar en establecimientos educativos locales

- 10° – 11° grado

1.2. Número de personas profesionales

- Más de 7

1.3. Número de personas con perfil 2<sup>12</sup>

- Más de 5

1.4. Número de técnicos mecánicos certificados<sup>13</sup>

- Más de 2

1.5. Número de técnicos electricistas certificados<sup>15</sup>

- Más de 4

1.6. Número de maestros de obra certificados<sup>15</sup>

- Más de 3

1.7. Número de oficiales de construcción certificados<sup>15</sup>

- 3 - 6

---

<sup>11</sup> Correspondiente a los grados establecidos por el Ministerio de Educación Nacional

<sup>12</sup> Persona con estudios de secundaria (mínimo 9° grado)

<sup>13</sup> Personas que hayan completado estudios y hayan obtenido constancia de aprobación por parte del Sena u otra organización educativa registrada en el Ministerio de Educación.

2. Saber comunitario

2.1. Número de personas con perfil 1<sup>14</sup>

- 1 - 5

2.2. Número de mecánicos empíricos

- 1 - 2

2.3. Número de electricistas empíricos

- 2 - 3

2.4. Número de maestros de obra empíricos

- 1 - 4

2.5. Número de oficiales de construcción empíricos

- 5 - 9

3. Accesibilidad a repuestos y materiales de construcción

3.1. Número de establecimientos que suministran materiales de construcción (arena, grava, ladrillo)

- Más de 1

3.2. Existen establecimientos que suministran los siguientes tipos de repuestos y accesorios para la planta de tratamiento (Ver tabla 15).

Tabla 15

*Establecimiento de tipos de repuestos y accesorios para la planta de tratamiento*

Sistemas	Accesorios	Si	No
Hidráulicos	(tubos, válvulas y accesorios)	■	□
Mecánicos	(ejes, balineras y motores eléctricos)	□	■
Eléctricos	(cables, interruptores, embobinados)	■	□

Fuente. Autor, modelo SELTEC, Nivel 2, adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 2. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

<sup>14</sup> Personas con bajo nivel escolar (mínimo 3er. grado de educación primaria) con conocimientos en fontanería.



#### 4. Existencia de instituciones públicas y privadas

##### 4.1. Número de instituciones públicas<sup>15</sup>

- Más de 3

##### 4.2. Número de instituciones privadas<sup>16</sup>

- 1 - 2

#### 5. Organización de la sociedad civil

##### 5.1. Número de organizaciones sociales comunitarias y gremios activos

- 3-4

### **F2.3. Información para estimar la capacidad de gestión**

#### F 2.3.2. Cabeceras municipales entre 500- 5000 habitantes

##### 1. Gestión de la administración municipal

###### 1.1. Número de proyectos aprobados en el último año

- 1 - 5

###### 1.2. Porcentaje del presupuesto<sup>17</sup> ejecutado el último año

- 50 - 70%

##### 2. Gestión de la sociedad civil

###### 2.1. Número de organizaciones sociales comunitarias y gremios activos<sup>18</sup>

---

<sup>15</sup> Considere como instituciones públicas las siguientes: Telecom, Policía Nal., ICBF, Adpostal, Alcaldía, Defensa Civil, Bomberos, entidad de salud, escuelas y colegios públicos, Registraduría Nacional

<sup>16</sup> Considere como instituciones privadas las siguientes: instituciones financieras (bancos, corporaciones, cooperativas), industria manufacturera (establecimientos paratransformación de materia prima). No considere el sector comercial ni las empresas agrícolas y ganaderas.

<sup>17</sup> Para comunidades indígenas considerar el presupuesto asignado al cabildo

<sup>18</sup> Considere opciones tales como:

- Junta administradora del acueducto
- Junta de acción comunal
- Asociación de usuarios
- Empresa mixta
- Empresa privada
- Cooperativa
- Empresa industrial y comercial del Estado

- Más de 4

2.2. Proyectos ejecutados en el último año por organizaciones de la sociedad civil

- 1 -2

3. Gestión de servicios públicos

3.1. El ente administrador del acueducto, es el Municipio

- Si

3.2. El ente administrador lleva libros de registro contable

- Si

3.3. Número de empleados por cada 1000 usuarios de acueducto

- 4-6

3.4. cuántas veces al año se reúnen los representantes del ente administrador

- 6-8

3.5. Se cobra tarifa por el servicio de acueducto

- Si

3.6. Los administradores del sistema presentan anualmente informes financieros a usuarios

- No

3.7. Porcentaje de utilidades obtenidas por la administración del servicio público<sup>19</sup>

- 0-5%

3.8. Nivel de morosidad de los suscriptores del acueducto<sup>20</sup>

- Más de 10%

F 2.4. Condiciones de acceso a centro urbano regional<sup>21</sup>

1. Tipo de transporte para llegar al centro urbano regional

- Terrestre

---

<sup>19</sup> Para obtener las utilidades, utilizar la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Ingresos} - \text{Egresos} \times 100\%}{\text{Ingresos}}$$

<sup>20</sup> Considere los suscriptores con más de un mes de retraso en el pago de la tarifa

<sup>21</sup> Si la ruta terrestre cubre tramos mixtos, considere aquél que represente la situación más limitante, para las condiciones particulares de la localidad

2. Distancia al centro urbano regional (sólo si el tipo de transporte es terrestre)

- Más de 20 Km

3. Estado de la vía (sólo si el tipo de transporte es terrestre)

- Pavimentada
- Carreteable transitable en invierno
- Camino de herradura

2.2.2. Actividades tipo A. Criterios para la ejecución de procesos.

### A2.3 Intervalos de categorías en cabeceras municipales

Teniendo en cuenta los intervalos y las categorías establecidas desde el modelo SELTEC y la población objeto estudio, se selecciona los siguientes intervalos y categorías (ver tabla 16).

Tabla 16

#### *Intervalos de categorías en cabeceras municipales*

Población (habitantes)	Intervalos y categorías		
500 - 2.500	≤20 (C <sub>1</sub> )	21-40 (C <sub>2</sub> )	41-100 (C <sub>3</sub> )

Fuente: Autor, apoyando selección en modelo SELTEC, nivel 2 tabla A2.3. Intervalos de categorías en cabeceras municipales, adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 2. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

Donde C<sub>2</sub>, representa la población que dentro del municipio cuenta con educación de tipo formal que aportan sus conocimientos en las tareas diarias dentro del municipio. Se encuentran en las localidades varias tiendas y locales que abastecen la población en cuanto a víveres, material de construcción, ferreterías y locales de venta de ropa.

2.2.3. Actividades tipo S. Criterios para la selección de tecnología.

S2.2 Tecnologías sostenibles en cabeceras municipales según la categoría de la localidad (con aceptación de químicos)

Teniendo en cuenta las categorías analizadas y especificadas dependiendo del número de población con la que cuenta el municipio de Pajarito, para este caso categoría tipo C2, se identifica y reconoce el siguiente sistema sombreado (ver tabla 17).

Tabla 17

*Tecnologías sostenibles según categoría de la localidad*

Población (habit.)	Categ.	Ciclo Completo	Plantas Compactas	Filtración Directa	Combinación de tecnologías		Remoción de Hierro y Manganeso	No Tratamiento (Sólo desinfección)	Desinfección		
					FIME				Granular	Líquido	Gaseoso
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
500 -	C <sub>1</sub>					X	X	X	X	X	
2.500	C <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	X	X			X	X	X	X	X	
				X	X						X

Fuente: Autor, modelo SELTEC, nivel 2, actividades tipo s, tabla s2.2, adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 2. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

**S2.5 Opciones tecnológicamente sostenibles teniendo en cuenta el acceso al centro urbano regional**

Conociendo que el municipio cuenta con vías de camino de herradura para la llegada de la zona donde se encuentra ubicada la planta de tratamiento, el modelo recomienda emplear los sistemas sombreados (Ver tabla 18).

Tabla 18

*Tecnologías sostenibles de acuerdo a acceso en centro urbano*

Tipo de transporte	Estado de la vía	Distancia al centro urbano regional (Km)	No									
			Ciclo completo	Plantas compactas	Filtración directa	Combinación de tecnologías	Remoción de hierro y manganeso	Tratamiento (Sólo desinfección)	Desinfección Granular	Desinfección Líquido	Desinfección Gaseoso	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
terrestre	Pavimentada o carreteable en invierno		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Carreteable no transitable en invierno	≤20	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		>20					X	X	X	X	X	
	Camino de herradura	≤20	X	X	X	X	XX	XX	XX	XX	XX	XX
		>20										

Fuente: Autor, modelo SELTEC, nivel 2, adaptado de Galvis, A. (2001). Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 2. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

### 2.3. Nivel 3

2.3.1. Actividades tipo F. Formatos de entrada de datos.

F3.1 Información sobre disponibilidad de insumos químicos

Hay disponibilidad de insumos químicos en la localidad

- No

F 3.2. Ubicación de la localidad con relación al centro urbano más cercano con disponibilidad de insumos químicos

1. Tipo de transporte para llegar al centro urbano

- Terrestre

2. Distancia al centro urbano (no aplica a transporte marítimo o aéreo)

- Más de 100 km

3. Estado de la vía (solo si el tipo de transporte es terrestre)

- Pavimentado
- Carreteable no transitable en invierno

#### **F4. Caracterización del servicio de energía eléctrica**

1. Origen

- Interconexión eléctrica

2. Continuidad<sup>22</sup>

- Más de 23 horas

#### **F5. Disponibilidad de medios filtrantes**

1. Distancia a sitio de consecución del medio filtrante

- Más de 50 Km

2. Tipo de transporte

- Terrestre

---

<sup>22</sup> Se debe considerar la continuidad, en horas, que pueda garantizarse durante los 7 días de la semana. Si la localidad no cuenta con servicio de energía al menos un día en la semana, se debe escoger la opción < 19 horas

### 3. Estado de la vía<sup>23</sup>

- Pavimentada
- Carreteable no transitable en invierno.

#### 2.3.2. Actividades tipo S. Criterios para la selección de tecnología

S3. Selección de tecnología con base en las facilidades de transporte al centro urbano más cercano con disponibilidad de insumos químicos.

Conociendo que el municipio de Pajarito, se encuentra ubicado en una zona con fallas geológicas y con terreno inestable, se selecciona la tecnología que podría llegar a funcionar por la topografía del terreno y el servicio de transporte para obtención de insumos químicos (ver tabla 19).

La topografía de Pajarito, cuenta con suelos susceptibles a deslizamientos y flujos de suelo. Por la parte central de la unidad pasa el Río Cusiana, el cual se encuentra en proceso de desequilibrio a consecuencia de la erosión severa a lo largo de sus márgenes. Estos fenómenos, afectan directamente los asentamientos humanos y a las actividades económicas que en ellas se realizan, haciéndolos vulnerables a los deslizamientos y flujos torrenciales. La ubicación de riesgo en que está fundado el casco urbano principalmente, por la presencia del Río Cusiana y el trabajo permanente de erosión y socavamiento causan un proceso de sedimentación en su cauce, y en épocas de invierno al aumentar el nivel de sus aguas, podría arrasarse con el pueblo (Piragautan N., 2019)

---

<sup>23</sup> Si la ruta cubre tramos mixtos, considere aquél que represente la situación más limitante, en el contexto local.

Tabla 19

*Selección de tecnología teniendo en cuenta facilidad de transporte al centro urbano*

Tipo de Transporte	Estado de la vía	Distancia a centro urbano regional (Km)	Ciclo completo	Planta compacta	Filtración Directa	Combinación de tecnologías	FiME	Remoción de Hierro y Manganeseo	Desinfección				
									No de Tratamiento y(Sólo desinfección )	Granular	Líquido	Gaseoso	
			1	2		34	5	6	78	9	10		
Terrestre	Pavimentad a no transitable en invierno	Aplica a cualquier distancia	X	X		XX	X	X			XX	X	X
	Carreteable no transitable en invierno	≤20 >20	X	X		XX	XX	XX	XX		XX	XX	
	Camino de herradura	≤20 >20					X	XX	XX		XX		

Fuente: Autor, apoyado en modelo SELTEC, nivel 3, tabla S3. Selección tecnología con base en las facilidades de transporte.



S4. Selección de tecnología con base en las características del servicio de energía eléctrica de la localidad

Se presenta el sistema y origen de la energía eléctrica con la que cuenta en la actualidad el municipio de Pajarito Boyacá y el cual apoya el funcionamiento del sistema o tren de tratamiento posible a implementar (ver tabla 20).

Tabla 20

*Selección de tecnología teniendo en cuenta prestación del servicio de energía eléctrica*

Origen de la energía	Continuidad diaria (horas)	Ciclo completo	Plantas compactas <sup>1</sup>	Filtración directa	Combinación de tecnologías	FiME	No Desinfección			Gaseoso	
							Remoción de Hierro y Manganeseo	Tratamiento (Sólo desinfección)	Granular		Líquido
		1	2	3	4	5	6		10		
Sin servicio de energía	No aplica	X		X		X	X	X	X	X	X
Interconexión eléctrica	< 19 horas	X		X	X	X	X	X	X	X	X
	19 – 23 horas	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX
	≥ 23 horas										
Generación local	< 19 horas	XX		XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX
	19 – 23 horas	X	XX	X	X	X	X	X	X	X	X
	≥ 23 horas										

Fuente: Autor, apoyado en modelo SELTEC, nivel 3. Actividad S, selección de tecnología con base en la prestación de servicio de energía.

S5. Opciones tecnológicas sostenibles de acuerdo con la disponibilidad de medios filtrantes

Teniendo en cuenta el tipo de transporte con el que se cuenta para la obtención de medios filtrantes y el estado de la vía, se procede a seleccionar la tecnología que podría implementarse en el municipio (ver tabla 21).

Tabla 21

Selección de tecnología teniendo en cuenta disponibilidad de medios filtrantes

Tipo de transporte	Estado de la vía	Distancia al sitio de obtención de medios filtrantes (Km)	Plantas compactas <sup>2</sup>		Filtración directa	Combinación de tecnologías	Remoción de No Tratamiento (Sólo desinfección)		
			Ciclo completo				FiME	Fe y Mn	
			1	2	3	4	5	6	7
Terrestre	Pavimentada o transitada en invierno	Aplica para cualquier distancia	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Autor, apoyado en modelo SELTEC, nivel 3, actividades S, tabla S5 disponibilidad de medios filtrantes.

**NOTA:** La selección de la tecnología para el municipio de Pajarito, Boyacá se hace desde el cálculo de proyección de población ya que la PTAP existente se encuentra obsoleta y en malas condiciones por ende no brinda la calidad de agua que el municipio necesita y se hace necesario establecer una nueva tecnología que garantice los objetivos de calidad y saneamiento para disminuir el índice de riesgo y la vulnerabilidad de la población que consume el recurso.

## 2.4. Nivel 4

### 2.4.1. Actividades tipo F. Formatos de entrada de datos.

#### F 6.1 Identificación del tipo de fuente<sup>24</sup>

Nombre de la fuente: **Quebrada Guaimara**

Fuente superficial

- Río de Ladera (tributario)

#### F 6.1.1. Caudal en el horizonte del Proyecto (Qh)

**Caudal 2019: 2,37 L/S**

**Caudal 2045: 2,90 L/S**

F 6.2. Identificación del tipo de información disponible sobre calidad de agua cruda.

#### F 6.2.1. Para fuentes superficiales

##### F 6.2.1.1. Ríos de ladera

- Tipo 3: Información con frecuencia mayor a la quincenal correspondiente a los 2 últimos años de periodos de invierno o de verano. Se incluyen en esta categoría como mínimo 2 datos puntuales de cada parámetro.

- Turbiedad
- Color aparente
- Hierro total

- Tipo 4: Dato puntual. El dato puntual, para el caso de los parámetros de turbiedad, hierro y manganeso total, debe corresponder a un muestreo efectuado en época de invierno; para

---

<sup>24</sup> La fuente debe haber sido seleccionada, tomando en cuenta lo estipulado en el RAS (ver criterios, actividades tipo A6.1, A7.1 y A7.2)

evaluar color verdadero y coliformes fecales se debe utilizar una muestra recolectada en época de verano. No se deberán tener en cuenta muestras puntuales que hayan sido recolectadas y analizadas en un lapso superior a un año, con respecto al año cero del proyecto.

- Turbiedad
- Color aparente
- Hierro total

F6.3. Información básica sobre calidad de agua cruda en fuentes superficiales y subterráneas para parámetros con información tipo 1.

Turbiedad: 0,8 UNT (para una frecuencia acumulada del 95%)

Color aparente: 8 UPC (para una frecuencia acumulada del 95%)

Hierro total: 0,11 mg/l (para una frecuencia acumulada del 95%)

F6.4. Inspección sanitaria de las fuentes cuando el tipo de información sobre parámetros básicos de calidad de agua cruda es diferente a Tipo 1.

F6.4.1. Para fuentes superficiales de ladera

1. Pendiente promedio de la cuenca
  - **entre 12-25%**
2. Porcentaje de cobertura vegetal de la cuenca.
  - **entre el 60 – 80%**
3. Tipo de suelo predominante de la cuenca
  - Suelos combinados (arcillo-arenoso): Terrenos ligeramente plásticos, moderada cantidad de humedad, escurrimiento superficial moderado. (GM, GC, SM, SC, GW-GC, etc.)
4. Precipitación media de la cuenca, con base en datos de estaciones pluviométricas en el área de influencia o cuencas de características similares.

- Entre 500-1000 mm/año

5. Tipo de vertimientos se presentan en la fuente de abastecimiento antes del sitio de derivación del agua cruda.

- Agrícolas

6. ¿Existe ganadería en la zona de la cuenca abastecedora, aguas arriba del sitio de captación del agua?

- Si

7. ¿Existen asentamientos humanos aguas arriba del sitio de derivación del agua en la cuenca abastecedora que realicen disposición de excretas a campo abierto?

- No

8. Existen en la microcuenca abastecedora aguas arriba del sitio de derivación del agua, ¿disposición de basuras a campo abierto o a cuerpos de agua?

- No

9. Preguntar a las personas que mantienen contacto diario con la fuente si en el período de lluvias, la turbiedad del agua se incrementa, en forma aproximada, en un 50% o más con respecto a la turbiedad promedio correspondiente al período seco. (picos de turbiedad).

- Si

10. En relación con la pregunta anterior, si la turbiedad del agua se incrementa en un 50% o más durante o después de una lluvia, indicar la frecuencia de acuerdo a las siguientes opciones:

- casi nunca (<40% de las veces)

11. Indicar la duración que tienen los picos de turbiedad.

- entre 1 y 5 horas

12. Registro información parámetros básicos de calidad de agua

A continuación, se presenta el correspondiente registro de información con la que se cuenta, de los parámetros físico- químicos analizados en la planta de tratamiento del municipio, de acuerdo a los requerimientos establecidos dentro de la metodología del modelo SELTEC (ver tabla 22).

Tabla 22

*Registro parámetros analizados en PTAP del municipio de Pajarito Boyacá*

Fecha de Muestreo	Turbiedad (UNT)	Color aparente (UPC)	Hierro total (mg/l)
19/03/2021	0,8	8	0,1
22/07/2021	0,92	8	0,11
10/09/2021	0,82	8	0,15
07/10/2021	0,8	9	0,13
23/12/2021	0,7	8	0,12

Fuente: Autor, apoyado en análisis fisicoquímicos realizados por la unidad de servicios públicos a la fuente de agua.

F8.1. Inspección Sanitaria para determinar presencia de plaguicidas y/o metales pesados en el agua cruda.

F8.1.2. Información para estimar presencia de plaguicidas y/o metales pesados en fuentes superficiales.

F8.1.2.1. Fuentes superficiales de ladera

1. En la cuenca abastecedora se presenta alguna de las siguientes situaciones:
  - Hay cultivos que utilizan fertilizantes químicos, para acondicionar la tierra
  - Se utilizan herbicidas o plaguicidas para el control de plagas o malezas
  - Hay vertimientos líquidos con plaguicidas, herbicidas o metales pesados
2. Estimar la precipitación media de la cuenca
  - Entre 500 y 1000 mm/año
3. Estimar la pendiente promedio de la cuenca, acorde con los siguientes rangos:
  - Entre 0-25%

#### F8.3. Solución propuesta con base en asesoría especializada

1. Tecnologías “In Situ”.
  - Aireación por bandejas o cascadas (AER)
  - Coagulación y mezcla rápida hidráulica (MRH)
  - Floculación hidráulica (FLH)
  - Sedimentación de alta tasa (SD)
  - Filtración rápida descendente (FR)
  - Desinfección con cloro (Cl<sub>2</sub>)
  - Filtro grueso ascendente en capas (FGAC)
  - Filtración lenta en arena (FLA)
  - ¿Otro(s) Cuáles? Desarenador

#### F9.1. Información para definir tipo de desinfección a utilizar

1. Tipo de fuente
  - Fuente superficial

2. La comunidad acepta la utilización de productos químicos para el tratamiento del agua.

- Si

2.4.2. Actividades tipo B. Procedimientos.

B6.2. Estimativo de calidad de agua cruda para parámetros con información Tipo 1 (para fuentes superficiales y subterráneas)

- Parámetro Turbiedad (año analizado 2021)

Teniendo en cuenta el anexo b presentado dentro del modelo SELTEC, se procede a realizar el estimativo de la calidad del agua cruda, apoyándonos en la lectura de parámetros físico-químicos en la planta de tratamiento del municipio de Pajarito Boyacá (ver tabla 23).

Tabla 23

*Lectura parámetro turbiedad*

Parámetro Turbiedad		
Mes	Valor	Unidad
Enero	-	
Febrero	-	
Marzo	0,8	
Abril	-	
Mayo	-	UNT
Junio	0,82	
Julio	0,92	
Agosto	-	



Septiembre	0,82
Octubre	0,8
Noviembre	-
Diciembre	0,7

Fuente: Autor, apoyado en datos suministrados por la empresa de servicios públicos del municipio.

En segunda instancia se procede a realizar el correspondiente calculo encaminado a la determinación de los valores máximos y mínimos para el parámetro de turbiedad (ver tabla 24).

Tabla 24

*Determinación de valores máximos y mínimos parámetro turbiedad*

Dato	Valor	Unidad	Diferencia (DIF= máx- min)
Valor Máximo	0,92	UNT	0,22
Valor Mínimo	0,7		

Fuente: Autor, apoyado del anexo B1, consignado en el modelo SELTEC.

Dentro del modelo SELTEC, se hace necesario estimar el correspondiente intervalo y el tamaño del mismo para el estudio del parámetro de turbiedad (ver tabla 25).

Tabla 25

*Determinación tamaño de intervalo parámetro turbiedad*

Diferencia (DIF)	Número de intervalos (ni)	Tamaño del intervalo (m)
0,22	5	DIF/ni=m 0,22/5= 0,04

Fuente: Autor, apoyado del anexo B1, Consignado en el modelo SELTEC.

A continuación, se presenta el correspondiente consolidado de la información final para el parámetro de turbiedad (Ver tabla 26).

*Tabla 26*

*Consolidados intervalos de frecuencia, parámetro turbiedad*

Intervalo	N° de datos en el intervalo	Frecuencia intervalo (%)	Frecuencia acumulada (%)
(0,7- 0,74)	1	16,66	16,66
(0,74-0,78)	0	0	16,66
(0,78-0,82)	2	33,33	49,99
(0,82-0,86)	2	33,33	83,32
(0,86-0,9)	1	16,66	100
Total	6	-	-

Fuente: Autor, apoyado del anexo B1, Consignado en el modelo SELTEC.

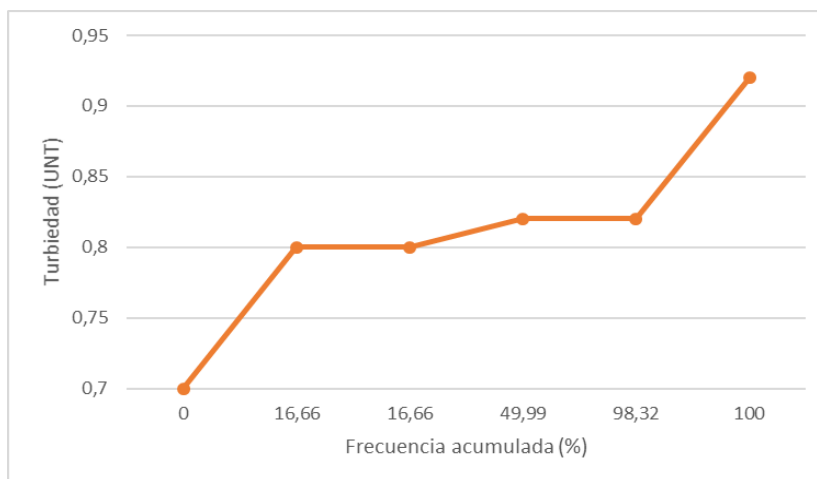
Finalmente, se procede a determinar los ejes para graficar la información suministrada del parámetro turbiedad, información relacionado en la tabla 27 y figura 3 respectivamente.

Tabla 27

*Establecimiento de ejes, parámetro turbiedad*

Eje X (Valor del parámetro, encontrado en el intervalo)	Eje Y (Frecuencia acumulada)
(0,7- 0,74)	16,66
(0,74-0,78)	16,66
(0,78-0,82)	49,99
(0,82-0,86)	83,32
(0,86-0,9)	100

Fuente: Autor, apoyado del anexo B1, Consignado en el modelo SELTEC



*Figura 3.* Relación parámetro turbiedad respecto a la frecuencia acumulada (%), fuente: autor, basado en resultados establecimiento de ejes, parámetro turbiedad.

- Parámetro Color Aparente (año analizado 2021)

Teniendo en cuenta el anexo b presentado dentro del modelo SELTEC, se procede a realizar el estimativo de la calidad del agua cruda, apoyándonos en la lectura de parámetros físico-

químicos para el parámetro color aparente en la planta de tratamiento del municipio de Pajarito Boyacá (ver tabla 28).

Tabla 28

*Lectura parámetro color aparente*

Parámetro Color Aparente		
Mes	Valor	Unidad
Enero	-	UPC
Febrero	-	
Marzo	8	
Abril	-	
Mayo	-	
Junio	8	
Julio	10	
Agosto	-	
Septiembre	8	
Octubre	9	
Noviembre	-	
Diciembre	8	

Fuente: Autor, apoyado en datos suministrados por la empresa de servicios públicos del municipio.

Seguido, se presente la determinación de valores máximos y mínimos para el parámetro de color aparente (ver tabla 29).

Tabla 29

*Determinación de valores máximos y mínimos parámetro color aparente.*

Dato	Valor	Unidad	Diferencia (DIF= máx- min)
Valor Máximo	10	UPC	2
Valor Mínimo	8		

Fuente: Autor, apoyado del anexo B1, consignado en el modelo SELTEC.

Se relaciona el tamaño de intervalo para parámetro de color aparente siendo este de 0,4 m como se observa en la tabla 30.

Tabla 30

*Determinación tamaño de intervalo parámetro color aparente*

Diferencia (DIF)	Número de intervalos (ni)	Tamaño del intervalo (m)
2	5	DIF/ni=m 2/5= 0,4

Fuente: Autor, apoyado del anexo B1, consignado en el modelo SELTEC.

En la tabla 31 y 32, respectivamente se consolida la información obtenida del parámetro color aparente y se presenta la estimación de los ejes a graficar.

Tabla 31

*Consolidados intervalos de frecuencia, parámetro color aparente*

Intervalo	Nº de datos en el intervalo	Frecuencia intervalo (%)	Frecuencia acumulada (%)
(8-8,4)	4	66,66	66,66
(8,4-8,8)	0	0	66,66

(8,8-9,2)	1	16,66	83,32
(9,2-9,6)	0	0	83,32
(9,6-10)	1	16,66	100
Total	6		

Fuente: Autor, apoyado del anexo B1, Consignado en el modelo SELTEC.

Tabla 32

*Establecimiento de ejes, parámetro color aparente*

Eje X (Valor del parámetro, encontrado en el intervalo)	Eje Y (Frecuencia acumulada)
(8-8,4)	66,66
(8,4-8,8)	66,66
(8,8-9,2)	83,32
(9,2-9,6)	83,32
(9,6-10)	100

Fuente: Autor, apoyado del anexo B1, Consignado en el modelo SELTEC.

Al observar la figura 4, se evidencia el comportamiento que presenta el parámetro de color aparente analizado dentro del modelo SELTEC para la planta de tratamiento de agua del municipio de Pajarito Boyacá.

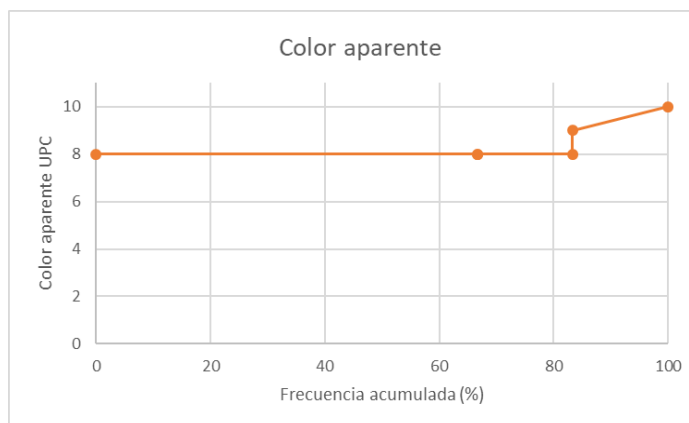


Figura 4. Relación parámetro color aparente respecto a la frecuencia acumulada (%), fuente: autor, basado en resultados establecimiento de ejes, parámetro color aparente.

- Parámetro Hierro Total

Se estudia el parámetro de hierro total, tomando como referente para ello la información suministrada dentro de la metodología del modelo SELTEC en su anexo b y la información suministrada de la lectura de este parámetro por parte de la empresa de servicios públicos del municipio de Pajarito Boyacá.

Tabla 33

*Lectura parámetro hierro total*

Parámetro Hierro Total		
Mes	Valor	Unidad
Enero	-	
Febrero	-	
Marzo	0,1	UPC
Abril	-	
Mayo	-	

Junio	0,1
Julio	0,11
Agosto	-
Septiembre	0,15
Octubre	0,13
Noviembre	-
Diciembre	0,12

Fuente: Autor, apoyado en datos suministrados por la empresa de servicios públicos del municipio.

Partiendo de la información relacionada en la tabla anterior, se procede a establecer los valores máximos y mínimos (ver tabla 34).

Tabla 34

*Determinación de valores máximos y mínimos parámetro hierro total*

Dato	Valor	Unidad	Diferencia (DIF= máx- min)
Valor Máximo	0,15	UPC	0,05
Valor Mínimo	0,1		

Fuente: Autor, apoyado del anexo B1, consignado en el modelo SELTEC.

El tamaño del intervalo a trabajar para el parámetro del hierro total, es de 0,01 m (ver tabla 35).



Tabla 35

*Determinación tamaño de intervalo parámetro hierro total*

Diferencia (DIF)	Número de intervalos (ni)	Tamaño del intervalo (m)
0,05	5	DIF/ni=m 0,05/5= 0,01

Fuente: Autor, apoyado del anexo B1, consignado en el modelo SELTEC.

Se consolida la información del parámetro hierro total, con el fin de identificar la frecuencia tanto en el intervalo como la acumulada, teniendo en cuenta el número de muestras analizadas (ver tabla 36).

Tabla 36

*Consolidados intervalos de frecuencia, parámetro hierro total*

Intervalo	N° de datos en el intervalo	Frecuencia intervalo (%)	Frecuencia acumulada (%)
(0,1-0,11)	3	50	50
(0,11-0,12)	1	16,66	66,66
(0,12-0,13)	1	16,66	83,32
(0,13-0,14)	0	0	83,32
(0,14-0,15)	1	16,66	100
Total	6		

Fuente: Autor, apoyado del anexo B1, consignado en el modelo SELTEC.

La Tabla 37, permite identificar los ejes y la información que se trabaja dentro de los mismos, con el propósito de presentar el comportamiento del parámetro de hierro total dentro de la fuente

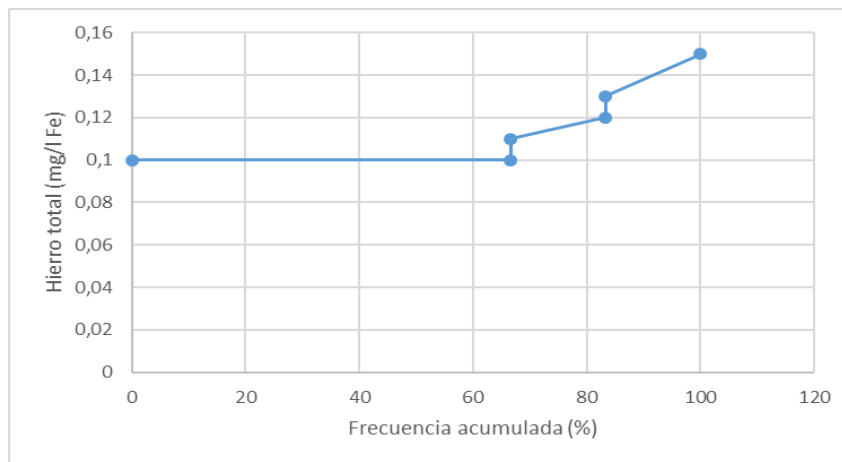
de la quebrada guáimara y el tren de tratamiento con el que cuenta la planta del municipio de pajarito Boyacá (ver figura 5).

Tabla 37

*Establecimiento de ejes, parámetro hierro total*

Eje X (Valor del parámetro, encontrado en el intervalo)	Eje Y (Frecuencia acumulada)
(0,1-0,11)	50
(0,11-0,12)	66,66
(0,12-0,13)	83.32
(0,13-0,14)	83,32
(0,14-0,15)	100

Fuente: Autor, apoyado del anexo B1, Consignado en el modelo SELTEC.



*Figura 5.* Relación parámetro hierro total respecto a la frecuencia acumulada (%), fuente: autor, basado en establecimiento de ejes, parámetro hierro total.

### **3. Comparación Tren de Tratamiento Municipio de Pajarito Vs Tren de Tratamiento Arrojado por el Modelo SELTEC**

Para llevar a cabo el correcto desarrollo de la comparativa entre el tren de tratamiento existente construido en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Pajarito Boyacá, respecto al tren de tratamiento arrojado mediante la evaluación e implementación del modelo SELTEC, a continuación, se presenta informe a detalle de visita e inspección realizado a la PTAP del municipio de pajarito y cada una de sus estructuras:

#### **3.1. Visita e Inspección Planta de Tratamiento Municipio de Pajarito Boyacá**

El día 16 de Marzo del año 2022, se llevó a cabo visita de inspección en campo por parte de las estudiantes del programa de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Boyacá Yurani Liceth Parra Botia y Tania Yisel Pineda Rivera, al acueducto del municipio de Pajarito Boyacá contando con el acompañamiento y permiso del Ingeniero Ambiental Johan Priciliano Monroy Ramírez jefe de la Unidad de Servicios Públicos del municipio de Pajarito Boyacá, en el cual se pudo conocer los puntos y lugares seleccionados como zonas de captación de agua hasta la planta de potabilización dividiendo la visita de la siguiente manera:

##### **3.1.1. Recorrido desde el municipio de Pajarito hasta la PTAP**

En compañía del ingeniero Johan Priciliano Monroy jefe de la unidad de servicios públicos del municipio de Pajarito y el señor Felipe Pérez fontanero de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio, desde el municipio hasta la planta, dicho desplazamiento se tarda hora y media, tiempo en el cual se recorren 1,5 km y se encuentran a su vez, dos fincas de pobladores del municipio hasta llegar a la zona de reserva delimitada años atrás por los mandatarios municipales, en el recorrido se encontró en primera instancia un puente colgante sobre el río cusiana que conecta el pueblo con las fincas cercanas al municipio, seguido de zonas de pastos y finalmente caminos de herradura los cuales deben ser atravesados (ver figura 6), hasta llegar al lugar donde se encuentra construida la PTAP del municipio.

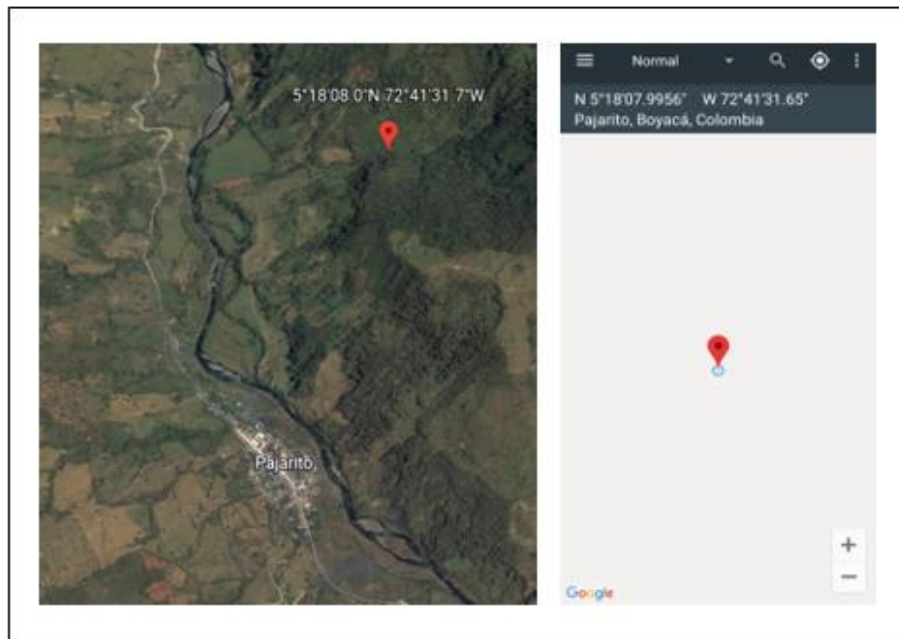


*Figura 6.* Registro fotográfico desplazamiento de municipio a PTAP Pajarito Boyacá, fuente: autor.

De igual manera, se evidencia a lo largo del recorrido que, aunque se transitó por caminos de herradura la vegetación del lugar al llegar a la zona de reserva tiende a ser demasiado densa, encontrando varias especies diferentes de plantas de gran tamaño (árboles, arbustos, plantas de enredadera, etc.), así como mosquitos, roedores, serpientes, nacimientos de agua natural y piedra rocosa suelta.

### 3.1.2. Reconocimiento lugar de captación

El punto de captación se realiza tomando agua de la fuente de abastecimiento denominada quebrada la Guaimara, la cual se encuentra ubicada en la vereda Monserrate del municipio de Pajarito Boyacá, especificando las coordenadas del lugar de captación gracias a la aplicación mapa coordenadas, las cuales son verificadas a su vez en google earth ( Ver figura 7).



*Figura 7.* Coordenadas geográficas ubicación bocatoma o punto de captación PTAP Pajarito Boyacá, Fuente: autor apoyado en google earth y mapa coordenadas.

En el lugar de la captación se encuentra construida una bocatoma lateral de doble contracción en concreto (Ver figura 8) la cual presenta un deterioro, la bocatoma cuenta con un muro en la zona oriental en cual ayuda a direccionar el flujo de la quebrada hacia la zona de captación, el cual ingresa a una rejilla donde a su vez, se ha construido también en concreto un vertedero central que conduce el fluido (agua) que es dirigido hacia la tubería de 6" que se encuentra instalada inicialmente, con el fin de transportar el agua captada hacia la PTAP del municipio.

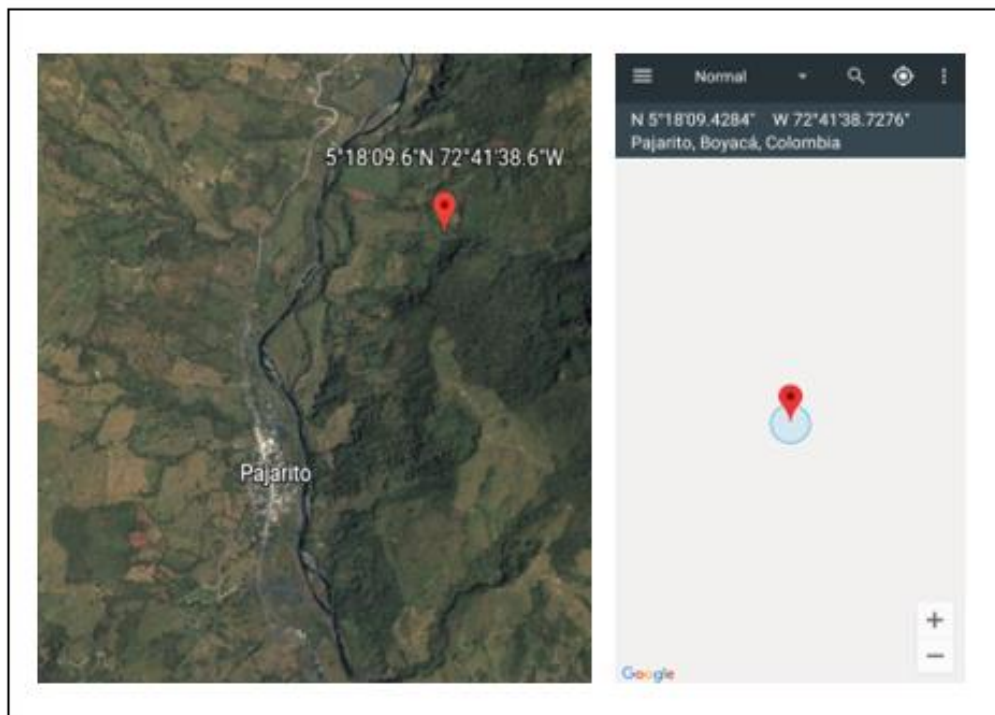
Cabe resaltar que la rejilla con la que cuenta la bocatoma lateral es de material metálico, antes del lugar donde se encuentra la rejilla se encuentra elaborado en PVC estructura que está recubierta con una malla, funciona como filtro y evita el paso de sedimentos, puesto que la zona donde se encuentra el lugar de captación se desprenden mucho material vegetal de los árboles que están alrededor.



*Figura 8.* Bocatoma o punto de captación PTAP Pajarito Boyacá, Fuente: autor.

3.1.3. Reconocimiento y visita planta de tratamiento de agua apta para consumo humano (PTAP).

Tomando como referente y punto de partida la aplicación Mapa coordenadas presente en la aplicación play store, se especifica la ubicación en la cual se encuentra ubicada la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Pajarito (Ver figura 9).



*Figura 9.* Coordenadas geográficas ubicación PTAP Pajarito Boyacá, fuente: autor apoyado en aplicación mapa coordenadas y Google earth.

Información que fue corroborada empleando para ello Google Earth en sitio web, aplicación mediante la cual, se evidencia a detalle el mapa real del municipio de Pajarito y la ubicación donde se encuentra construida la Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio en cuestión.

Se logra evidenciar el sistema y corroborar la información que hasta el momento se contaba de la planta, información referenciada de sitios web que a su vez hasta la construcción del anteproyecto del trabajo de grado era el sustento inicial, es por tal razón, se identifica que la planta en la actualidad no cuenta con todos los sistemas que se describen en los informes desarrollados por parte de Corporinoquia años anteriores. (Corporinoquia,2011)

La planta en la actualidad cuenta como primer sistema con un desarenador (Ver figura 10), dicho desarenador de acuerdo a información suministrada por parte del Ingeniero Jhoan Monroy, se encuentra ubicado a 271.5 metros respecto a la ubicación de la bocatoma de la planta, el sistema maneja un flujo de tipo horizontal, su estructura es construida en concreto, en su parte interior está enchapada con baldosa blanca que evidencia un deterioro constante por el tiempo de construcción del sistema.



*Figura 10.* Estructura desarenador PTAP Pajarito Boyacá, fuente: autor.



El desarenador posee dimensiones de 7.20 m \* 1.88 m \* 2.50 metros, presenta una división o pantalla construida también en concreto ubicada a 1,70 m, con una altura 0,95 m de altura, donde inicia la distribución de 22 orificios o perforaciones de forma circular, los cuales fueron abiertos de manera robusta (no cuentan con un diámetro específico, la circunferencia no está bien definida), orificios que permiten el tránsito del agua dentro del sistema.

De igual manera, el ingreso al sistema del flujo de agua se presenta, mediante tubería en pvc de 2" (pulgadas) que permite el ingreso de agua permanentemente al sistema, en temporadas de verano se emplea una manguera de 2" en polietileno como se observa en la figura 10, con el fin de mantener el caudal requerido para su tratamiento.

Para el momento de la visita se evidencia que al ingreso de la planta el sistema cuenta con un macromedidor, seguido de una válvula de compuerta (Ver figura 11) que se instalaron para controlar el caudal de ingreso al sistema, las cuales se encuentran bastantes deterioradas y dañadas.



*Figura 11.* Macromedidor y válvula de compuerta PTAP Pajarito Boyacá, fuente: autor.

Seguido del desarenador, encontramos estructura para mezcla rápida (Ver figura 12), elaborada en concreto de longitud 1,76 m\* 0,42 m\*0,50 m, esta estructura cuenta a su vez con una lámina en acrílico con un ángulo de 60° y 0,01 mm de espesor que hace la función de vertedero triangular, mediante el cual, se lleva a cabo el resalto hidráulico que permite disminuir o cambiar la velocidad del flujo de agua en el sistema.



*Figura 12.* Estructura para mezcla rápida PTAP Pajarito Boyacá, fuente: autor.

Posterior a la estructura de mezcla rápida con la que cuenta la planta encontramos estructura en concreto que anteriormente se empleaba como sistema de floculación pero que para el momento de la visita en campo se está manejando como una cámara de aquietamiento recubierta internamente con baldosa blanca de 2,30m \* 2,55m \*2,0 m ( Ver figura 13), la cual presenta deterioro al igual que la estructura, dentro del sistema de la PTAP, de acuerdo a la información suministrada por el Ingeniero Jhoan Monroy dicha estructura anteriormente contaba con pantallas construidas en asbesto que contribuían en la formación del FLOC, pero debido a que este es altamente contaminante y ocasiona afectaciones al ser humano se tomó la decisión de suspender el sistema.



*Figura 13.* Estructura cámara de aquietamiento PTAP Pajarito Boyacá, fuente: autor.

Por tal razón en la actualidad solo funciona como cámara de aquietamiento del agua tratada, cuenta con una separación con un tabique o muro construido en cemento, el cual, a su vez, presenta una serie de perforaciones simulando un diámetro de 2" pero que fueron realizadas manualmente, dichas perforaciones con las que cuenta el sistema equivalen a 22 agujeros por los que se transporta el fluido de agua.

El sistema de sedimentación (Ver figura 14) con la que cuenta la planta se encuentra construido por dos zonas en primer lugar se evidencia un módulo de sedimentación convencional de medidas 3,30 m \*2,55 m\*2.0 metros, que tiene dos pantallas construidas en asbesto cemento con una altura de 1,75 m, seguido de un módulo continuo de sedimentación de alta tasa tipo colmena de flujo ascendente con medida de la estructura de 1 m\* 2.55 m\*2.0 m. Teniendo en cuenta, lo comentado por el ingeniero Johan Monroy y el fontanero de la planta el sistema presenta algunas falencias y visualmente se observa deterioro en el sistema y agrietamientos en la estructura. Del mismo modo, se evidencia que esta estructura inicial del sistema de sedimentación fue construida para que fuera un desarenador, pero para el momento de la visita no funciona para este fin.



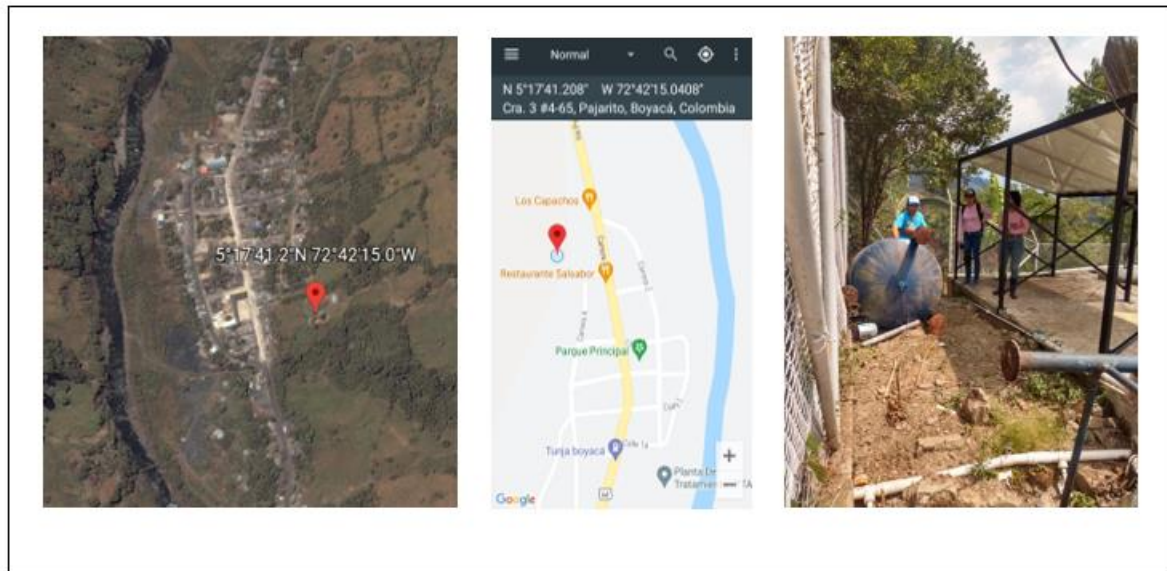
*Figura 14.* Estructura sedimentación PTAP Pajarito Boyacá, fuente: autor.

Finalmente, se presenta una estructura en concreto con dimensiones 1.20 m\*2.55 m\* 2 m, presenta dos unidades que sirven como lecho filtrante de flujo ascendente (Ver figura 15) el cual está construido de arena, grava y antracita con una altura de 0,20 metros respectivamente.



*Figura 15.* Estructura sistema de filtración PTAP Pajarito Boyacá, fuente: autor.

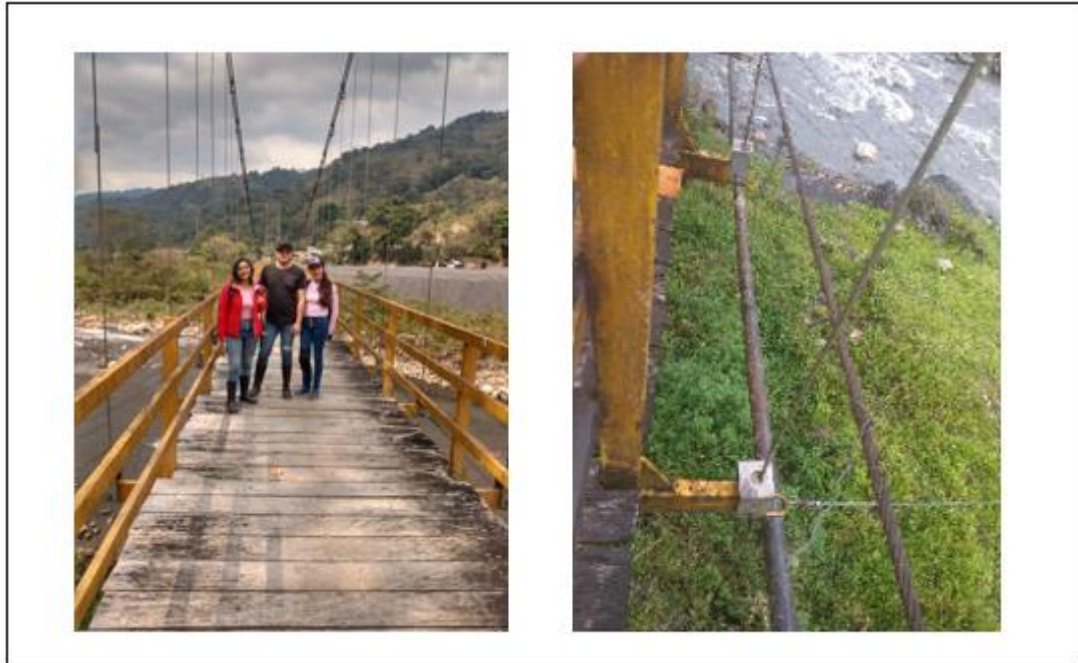
El tanque de almacenamiento (Ver figura 16) del municipio de Pajarito no se encuentra en el mismo punto de ubicación de la planta de tratamiento, por tanto, se emplea la aplicación mapa coordenadas para estipular las coordenadas donde se encuentra ubicado el tanque, las cuales se corroboran empleando para ello google earth.



*Figura 16.* Tanque de almacenamiento PTAP Pajarito Boyacá, fuente: autor, apoyado en aplicación mapa coordenadas y google earth.

Teniendo en cuenta que el tanque de almacenamiento está ubicado en un lugar diferente al de la planta, se hace necesario contar con una línea de conducción en tubería PVC de alta presión de 4" que transporta el agua tratada desde la planta (sistema de tratamiento) hasta el tanque de almacenamiento que se encuentra ubicado en el casco urbano del municipio.

Durante el recorrido de la línea de conducción se encuentra semienterrada desde la zona de reserva donde se ubica la planta hasta la llegada del puente colgante que comunica varias fincas con el centro del municipio, en el trayecto del puente la tubería de conducción se encuentra amarrada a la estructura del puente (Ver figura 17).



*Figura 17.* Línea de conducción de agua desde la PTAP hasta el tanque de almacenamiento casco urbano de Pajarito Boyacá, fuente: autor.

Al ingreso del tanque de almacenamiento, se cuenta con un sistema dosificador para hipoclorito de calcio granulado al 70%, el cual es automático, asegurando una buena mezcla del desinfectante con el agua tratada, antes de ser enviada a la red de distribución.

#### 3.1.4. Red de distribución y prestación del servicio

El municipio de Pajarito cuenta con una red de distribución de agua potable construida hace más de 15 años y que para el momento presenta deterioro y rupturas, las cuales afectan a los habitantes del municipio.

De igual manera, para el momento de la visita realizada al municipio se evidencia que ninguna de las casas del municipio cuenta con medidores, con el fin de contabilizar el gasto de agua que realizan los habitantes, para el caso del cobro de la prestación del servicio, se cuenta con una tarifa establecida por la unidad de servicios públicos domiciliarios.

### 3.2. Comparativos Trenes de Tratamiento de Agua Apta para Consumo Humano

A continuación, se presenta un comparativo a detalle de las estructuras con la que actualmente cuenta la planta de tratamiento de Pajarito Boyacá (ver figura 18) y los sistemas que mediante el estudio realizado a detalle en la metodología SELTEC, se sugieren emplear para mejorar la calidad del agua tratada en los trenes de tratamiento (ver tabla 38).

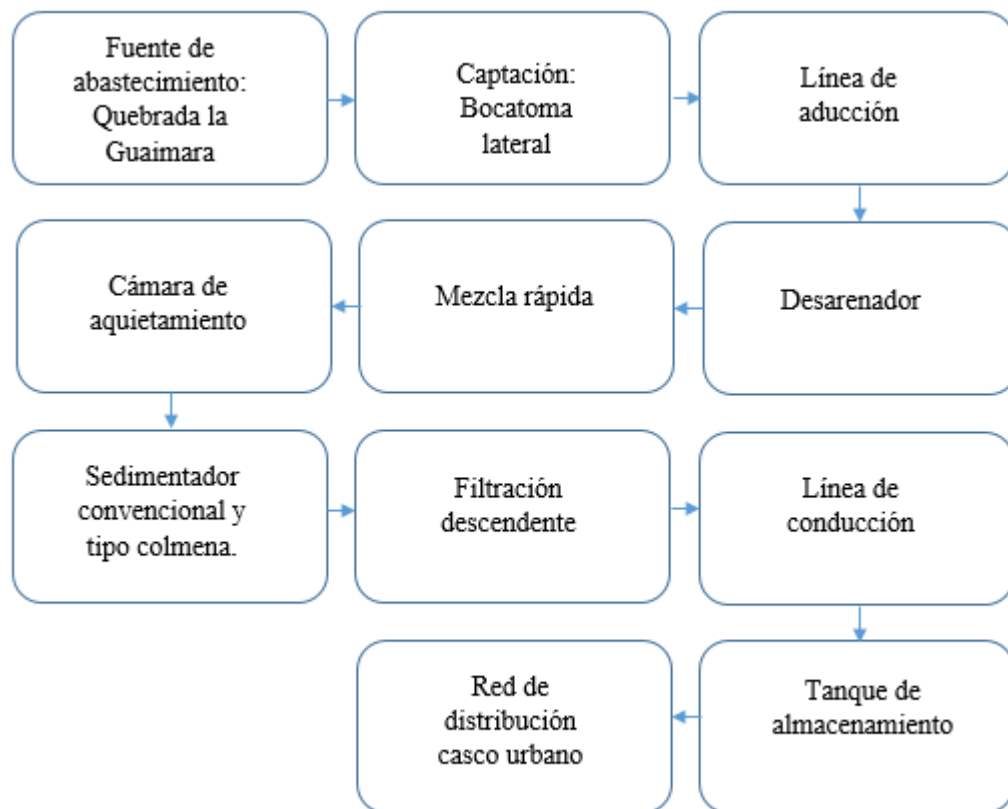


Figura 18. Sistema de suministro de agua del municipio de Pajarito Boyacá, fuente: autor.

Tabla 38

Comparativo tren de tratamiento

Planta de Tratamiento de Agua Apta para Consumo Humano (existente)		Planta de Tratamiento de Agua Apta para Consumo Humano (Sugerida por el modelo SELTEC)	
Tratamiento	Estado y Condición	Tratamiento	Estado y Condición
Aireación por bandejas o cascada (AER)	Actualmente la planta de tratamiento del municipio no cuenta con este sistema.	Aireación por bandejas o cascadas (AER)	Es apropiado construir la estructura, teniendo en cuenta para ello el caudal captado para tratar.
Desarenador	Cuenta con una estructura que se emplea como desarenador, dicha estructura se encuentra en malas condiciones (agrietamientos, deterioro) y requiere ser cambiada.	Desarenador	Es apropiado construir nuevamente la estructura, teniendo en cuenta la cantidad de agua a tratar en la PTAP, puesto que la estructura que se encuentra en operación, presenta agrietamientos, deterioro y no fue construida inicialmente para llevar a cabo este proceso dentro del sistema..



Coagulación	El tren de tratamiento del municipio no cuenta con este sistema.	Coagulación	Es apropiado construir la estructura para poder realizar este tipo de proceso en la planta de tratamiento del municipio de Pajarito Boyacá.
Mezcla rápida	Requiere modificación de áreas y cambios de estructura, ya que la actual está deteriorada y presenta agrietamientos.	Mezcla Rápida Hidráulica (MRH)	Es necesario realizar la construcción nuevamente de la estructura, teniendo en cuenta para ello el caudal captado.
Cámara de quietamiento	Requiere que se modifique la estructura, puesto que donde funciona la cámara actualmente presenta deterioro y la estructura es de un coagulador.	Cámara de quietamiento	Se requiere construir este sistema dentro de la planta de tratamiento para el municipio de Pajarito Boyacá.
Floculación	La planta tiene construido este sistema de floculación con tabiques en asbesto - cemento, dicho sistema actualmente no se encuentra en operación.	Floculación hidráulica (FLH)	Es apropiado construir una nueva estructura, que se ajuste a los requerimientos del tren de tratamiento y el caudal a tratar para el municipio de Pajarito.

---

Sedimentador (alta tasa tipo colmena)	La estructura está construida en asbesto- cemento, el sedimentador tipo colmena presenta agrietamientos.	Sedimentación de alta tasa (SD)	Es apropiado construir la estructura.
Filtración (filtro convencional con flujo descendente)	La estructura se encuentra agrietada y el filtro trabajado está funcionando adecuadamente	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Filtración rápida descendente (FR)</li> <li>■ Filtración lenta en arena (FLA)</li> </ul>	Es apropiado construir la estructura.
Desinfección	Se está realizando este proceso, en una estructura que presenta deterioro.	Desinfección con cloro (Cl <sub>2</sub> )	Es apropiado construir una estructura para llevar a cabo este proceso.

Fuente: Autor, apoyado en visita a campo, reconocimiento tren de tratamiento municipio de Pajarito Boyacá y construcción modelo SELTEC.

Partiendo de la información consignada en la tabla 38, se establece que el tren del sistema para el tratamiento de agua apta para consumo humano existente en el municipio de Pajarito Boyacá, si bien está actualmente en funcionamiento, presenta deterioro y agrietamiento en las estructuras, ocasionando que el tratamiento no se realice en su totalidad y/o adecuadamente, haciéndose necesario realizar un replanteamiento de las estructuras construidas y acondicionadas dentro de la planta.

En cuanto al tren de tratamiento sugerido mediante el desarrollo del modelo SELTEC para el sistema, presentan tecnologías que deben ser tenidas en cuenta para la optimización de los sistemas y de los procesos que se hace necesario aplicar en el municipio de Pajarito Boyacá, a su vez, se evidencia al momento de realizar el correspondiente comparativo, que el modelo SELTEC, sugiere la adaptación e implementación de nuevas estructuras que servirán de apoyo en el sistema de tratamiento de agua apta para consumo humano, mejorando las condiciones del agua tratada en la planta.

### **3.3. Determinación Perfil Hidráulico**

Teniendo en cuenta que el municipio de Pajarito Boyacá en la actualidad cuenta con una planta de tratamiento para agua potable en funcionamiento, se procede a tomar registro fotográficos y medidas de los sistemas, en la visita realizada a la misma por parte de las estudiantes Yurani Parra y Tania Pineda, información que a su vez es corroborada en el informe diagnóstico elaborado para la Planta de Tratamiento de Agua Apta para Consumo Humano del municipio de Pajarito Boyacá, por parte de la empresa departamental de servicios públicos de Boyacá en el año 2019 (Empresa de Servicios Públicos de Boyacá, 2019).

Contando con esta información se realiza la correspondiente evaluación del perfil hidráulico de la planta y el tren de tratamiento actual que maneja la planta de tratamiento (PTAP) del municipio de Pajarito, partiendo del hecho que hasta la fecha de la visita y el tiempo que lleva construido los sistemas no se cuenta con un dato de perfil hidráulico. Por tanto, se realiza el plano de la planta actual con vista en planta y perfil, donde a su vez se presentan las cotas del terreno (ver figura 18 y 21)

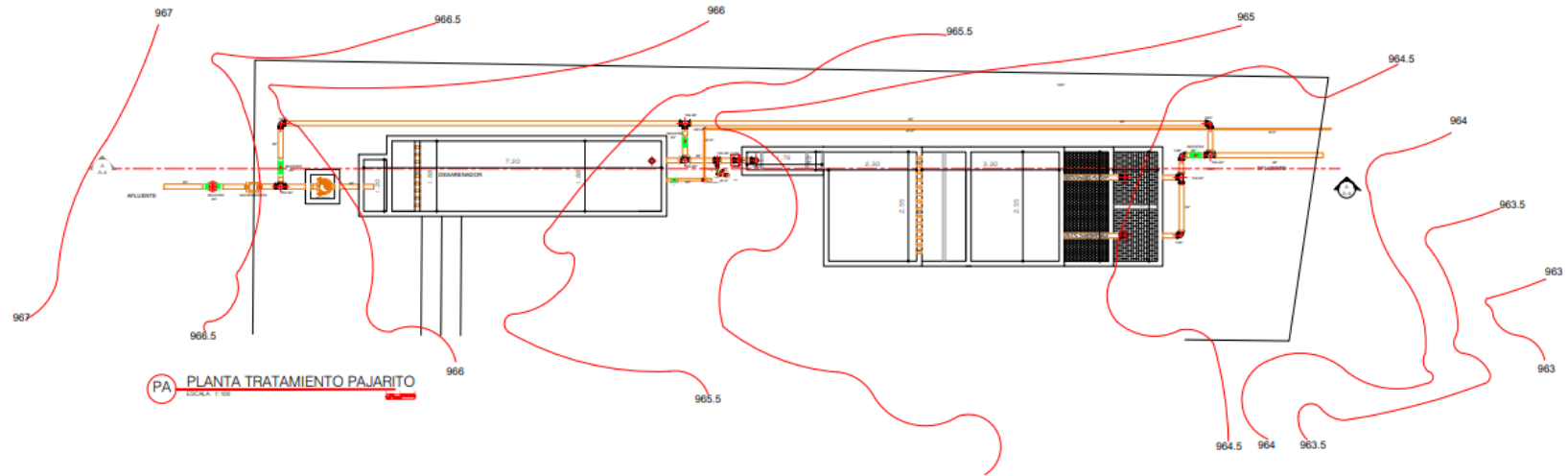


Figura 19. Vista en planta, tren de tratamiento municipio de Pajarito Boyacá, fuente: autor.

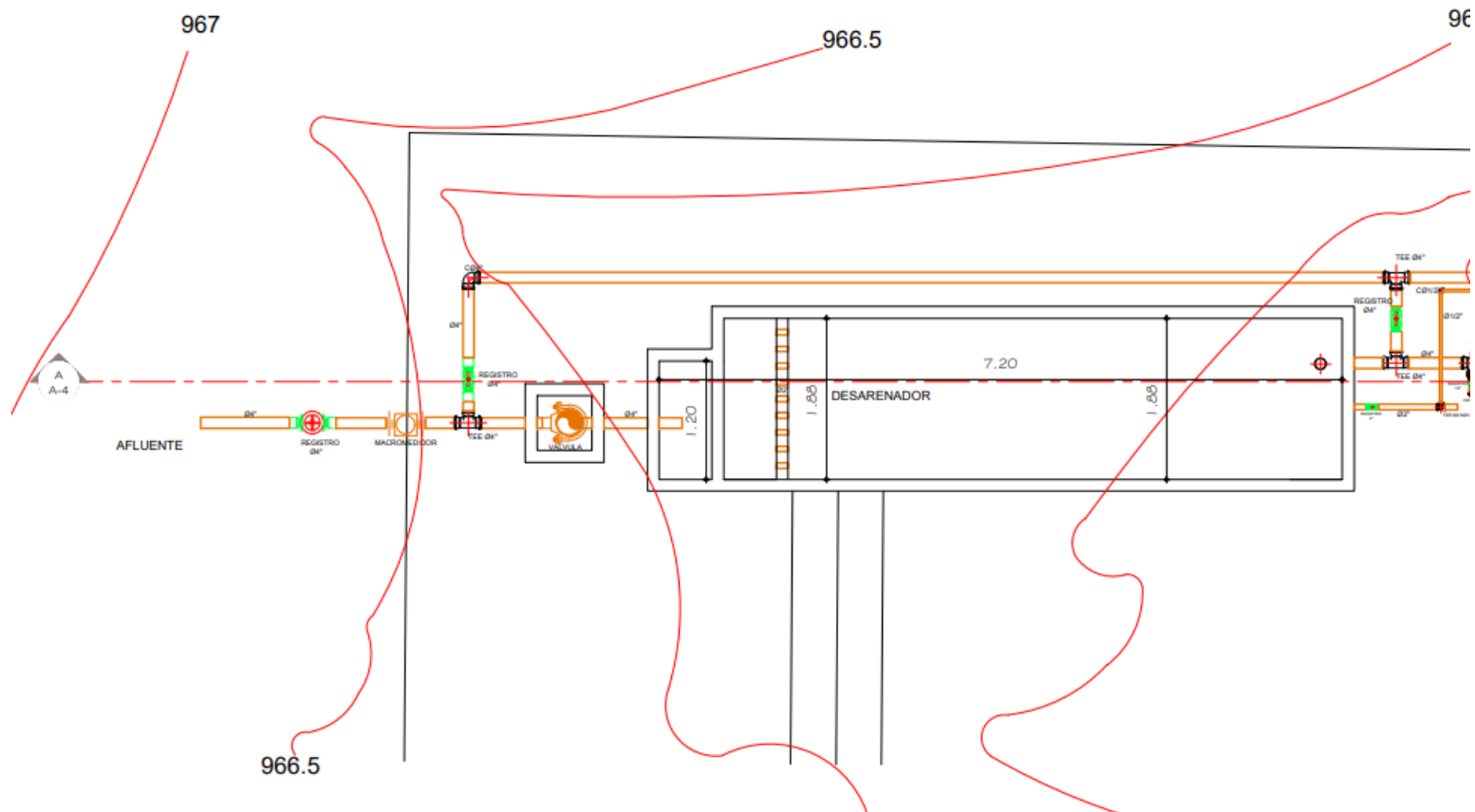


Figura 20. Despiece vista en planta sistema de tratamiento de agua apta para consumo humano, entrada afluyente, fuente: autor.

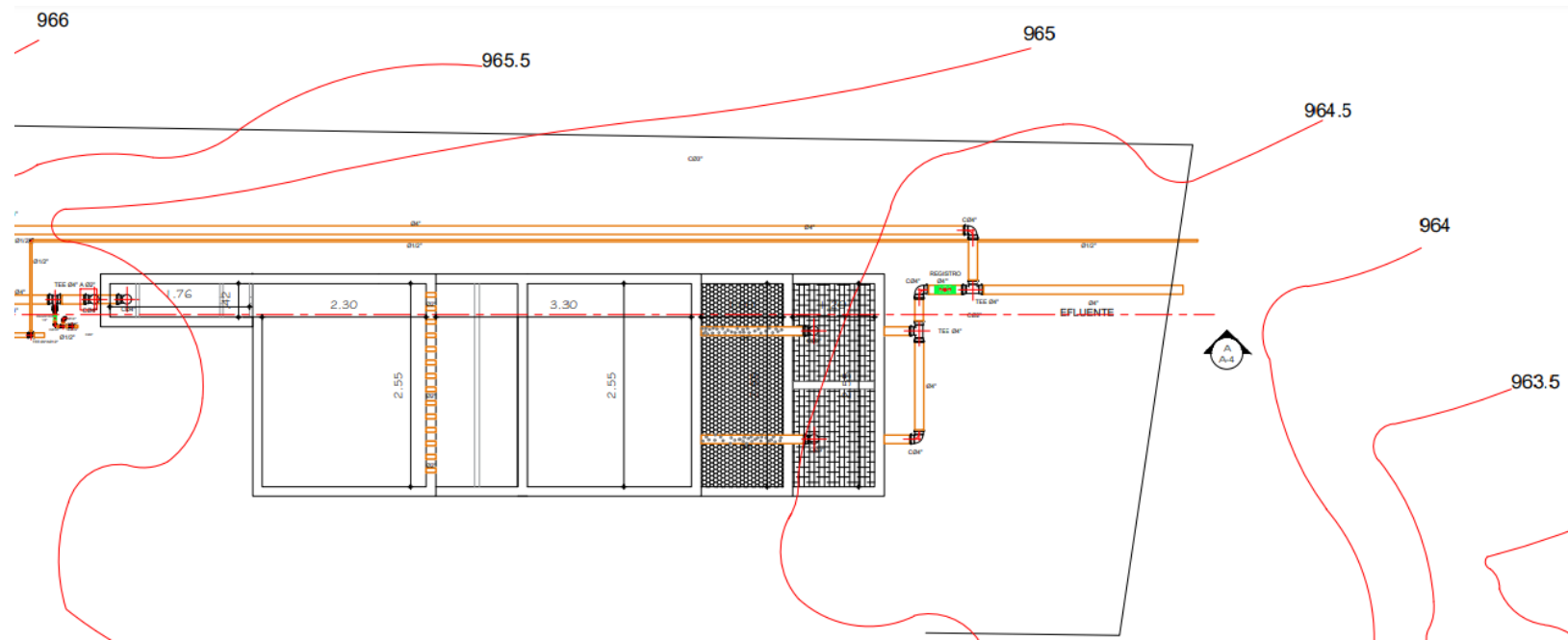


Figura 21. Continuación despiece vista en planta sistema de tratamiento de agua apta para consumo humano, entrada afluyente, fuente: autor.

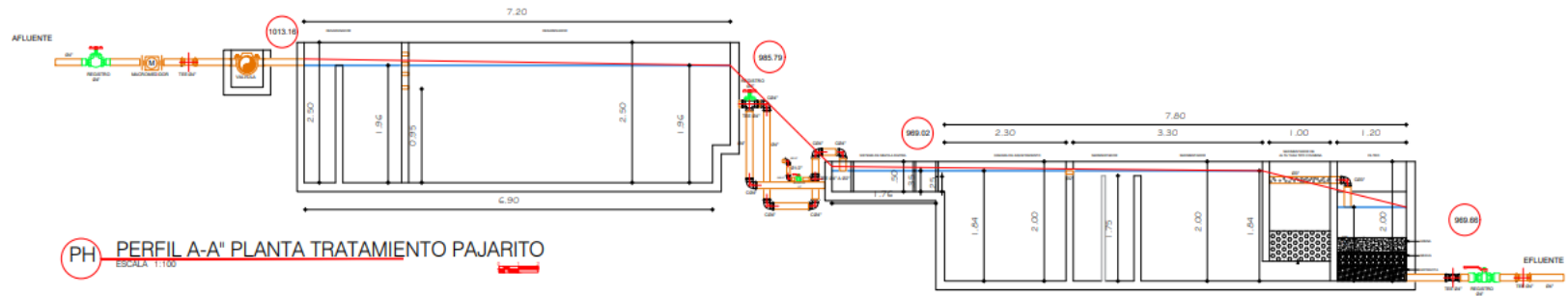
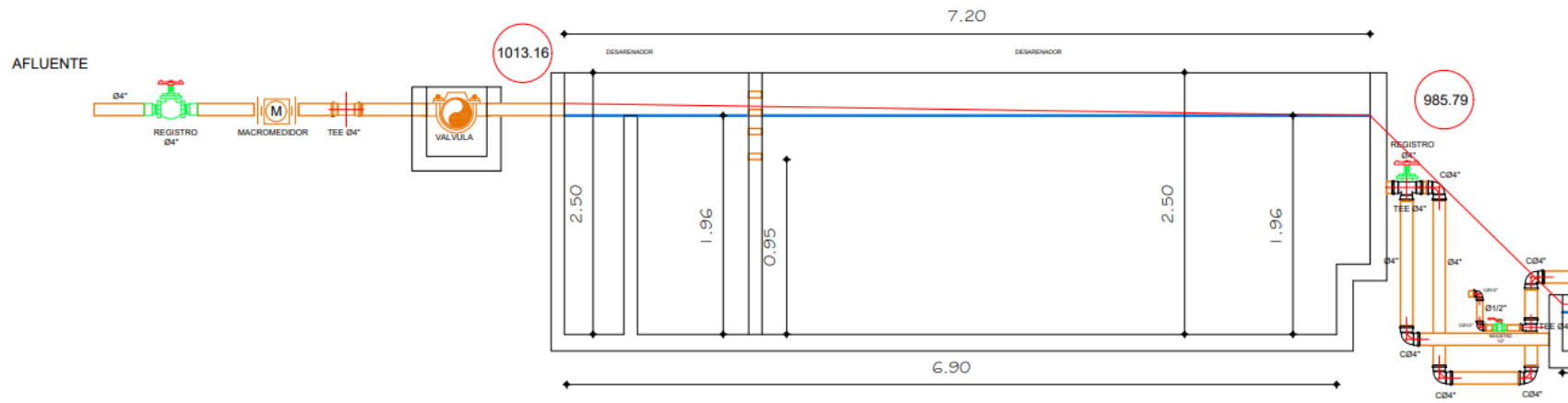


Figura 22. Vista en perfil, tren de tratamiento municipio de Pajarito Boyacá, fuente: autor.



PH PERFIL A-A" PLANTA TRATAMIENTO PAJARITO  
 ESCALA 1:100

Figura 23. Despiece vista en perfil sistema de tratamiento de agua apta para consumo humano entrada afluyente, fuente: autor.



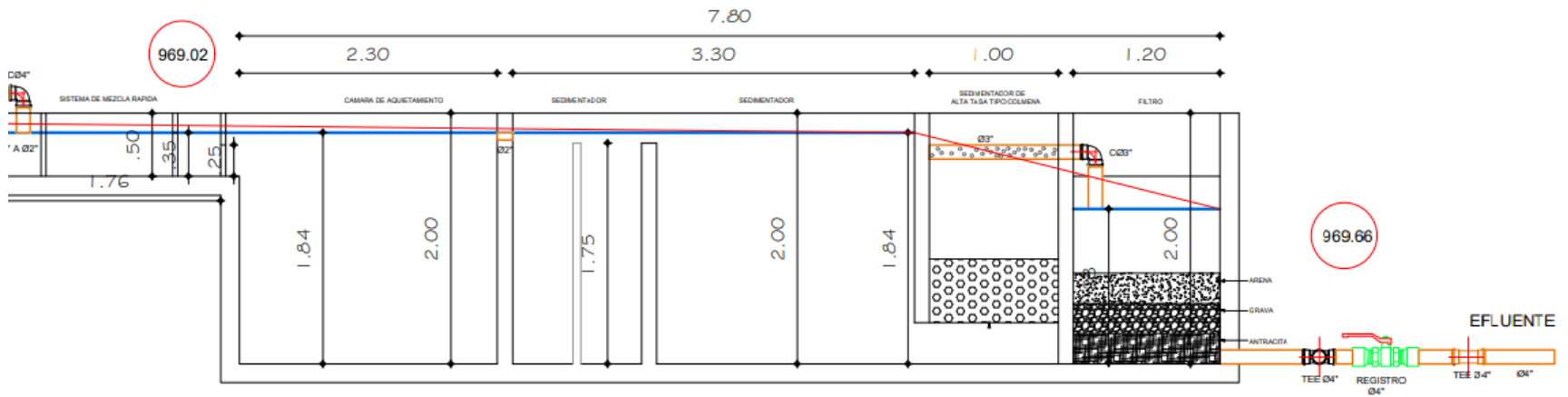


Figura 24. Despiece vista en perfil sistema de tratamiento de agua apta para consumo humano entrada afluyente, fuente: autor.

Para llevar a cabo la determinación del perfil hidráulico se hizo necesario estimar y calcular los datos de pérdidas tanto por accesorios como de fricción de materiales, mediante longitudes equivalentes para el caso de los accesorios, apoyándonos en las tablas consignadas en el libro de instalaciones hidrosanitarias, de gas y de aprovechamiento de aguas lluvias en edificaciones del autor Rafael Pérez Carmona (ver tabla 39).

Tabla 39

Listado de accesorios presentes en el sistema y perdidas asociadas a los accesorios

Estructura	Accesorios	Diámetro	Material	Cantidad	hm	hm (total)	$\Sigma$ hm
	Registro	4"		1		0	
	Macro medidor	4"		1		0	
	Tee de paso de lado y salida bilateral	4"	PVC	1	4,37	4,37	
Cámara de entrada	Válvula de pie con coladera	4"	Hierro galvanizado y acerado	1	36,32	36,32	45,2
	Salida de tubería	4"	PVC	1	2,06	2,06	
	Salida de tubería	2"	PVC	1	1,05	1,05	
	Codo radio largo 90°	4"	PVC	1	1,40	1,4	
	Tee de paso de lado y salida bilateral	4"	PVC	3	4,37	13,11	
	Registro	4"				0	
	Registro	2"				0	
Desarenador	Tee de paso de lado y salida bilateral	2"	PVC	1	2,31	2,31	18,82
	Reducción	1/2"	PVC	2	0,06	0,12	
	Codo radio largo 90°	1/2"	PVC	4	0,28	1,12	
	Registro	1/2"	PVC	1		0	

	Tee de paso de lado y salida bilateral	1/2"	PVC	1	0,76	0,76	
	Codo radio largo 90°	4"	PVC	1	1,4	1,4	
Mezcla rápida	Codo radio largo 90°	4"	PVC	1	1,4	1,4	3,46
	Salida de tubería	4"	PVC	1	2,06	2,06	
Cámara de aquietamiento sedimentación							3,46
Filtración	Reducción 4" a 3"	4"	PVC	2	0,4	0,8	3,92
	Salida de tubería	3"	PVC	2	1,56	3,12	
	Ampliación 3" a 4"	3"	PVC	2	0,62	1,24	
Salida sistema	Tee paso de lado y salida bilateral	4"	PVC	2	4,37	8,74	14,18
	Codo radio largo 90°	4"	PVC	3	1,4	4,2	
	Registro	4"		1		0	

Fuente: Autor apoyado en planos realizados de la planta de tratamiento de agua apta para consumo humano de Pajarito Boyacá y adaptado de Pérez. R. (2019).

Instalaciones hidrosanitarias, de gas y de aprovechamiento de aguas lluvias en edificaciones. 8ª. Ed. Bogotá: Ecoe Ediciones

Partiendo de la estructuración y elaboración de los planos en vista de perfil y planta, pertenecientes al sistema de tratamiento que se encuentra en operación en el municipio de Pajarito Boyacá, se procede a recopilar información correspondiente a caudal, área de la estructura, cotas, lámina de agua y longitudes de tubería, información importante en la determinación de los procesos y funcionamiento de los sistemas (Ver Tabla 40).

Tabla 40

*Consolidado información estructura sistemas tren de tratamiento de agua apta para consumo humano.*

Estructura	Lagua (m)	CT	CLagua	CT (final)	Q (L/S*h)	Q (m3/s)	A externa (m2)	A interna (m2)	V (m/s)	L (m) tuberia
Cámara de entrada	1,96	966	967,96	968,41						3,66
Desarenador	1,96	965	966,96	967,15	3	0,003	631,95	530,77	0,01	6,73
Mezcla rapida	0,35	965	965,35	965,38	3	0,003	60,66	35,88	0,08	2,01
Camara de aquietamiento	1,84	965	966,84	966,87	3	0,003	306,22	252,93		
sedimentación	1,84		966,84	966,87						
Filtración	1,23	964,5	965,73	965,77	3	0,003	153,01	124,12	0,02	1,19

Fuente: Autor apoyado en planos realizados de la planta de tratamiento de agua apta para consumo humano de Pajarito Boyacá.

Conociendo que la Línea de Gradiente Hidráulico, es la que permite el reconocimiento de la presión que ejerce la columna de agua, logrando de igual manera, estimar los niveles de agua a largo del sistema de tratamiento, se procede a realizar el correspondiente cálculo de variables (Ver ecuación 11 y 12) dentro de las cuales se tienen en cuenta las pérdidas por fricción de tuberías, perdidas por accesorios y valor real de la lámina de agua dentro del tren de tratamiento del municipio de pajarito (ver tabla 41).

$$hf = L * \left( \frac{V}{0,355 * C * D^{0,63}} \right)^{1,853}$$

*Ecuación 11.* Cálculo para determinación de pérdidas por fricción

$$LGH = hm + hf + CLagua$$

*Ecuación 12.* Cálculo para determinación de Línea de Gradiente Hidráulico

Tabla 41

*Línea de gradiente hidráulico planta de tratamiento municipio de Pajarito Boyacá*

Estructura	∑ hm	CLagua	C	D (m)	hf	LGH
Cámara de entrada	45,2	967,96	150	0,1016	0,000006575	1013,16
Desarenador	18,82	966,96	150	0,1016	0,0000121	985,79
Mezcla rápida	3,46	965,35	150	0,1016	0,00017	969,02

Cámara de aquietamiento	3,46	966,84	150	0,1016		
sedimentación	3,46		150	0,1016		
Filtración	3,92	965,73	150	0,1016	0,00000772	969,66

Fuente: Autor apoyado en planos realizados de la planta de tratamiento de agua apta para consumo humano de Pajarito Boyacá y fórmulas para determinación de pérdidas por fricción en tuberías.

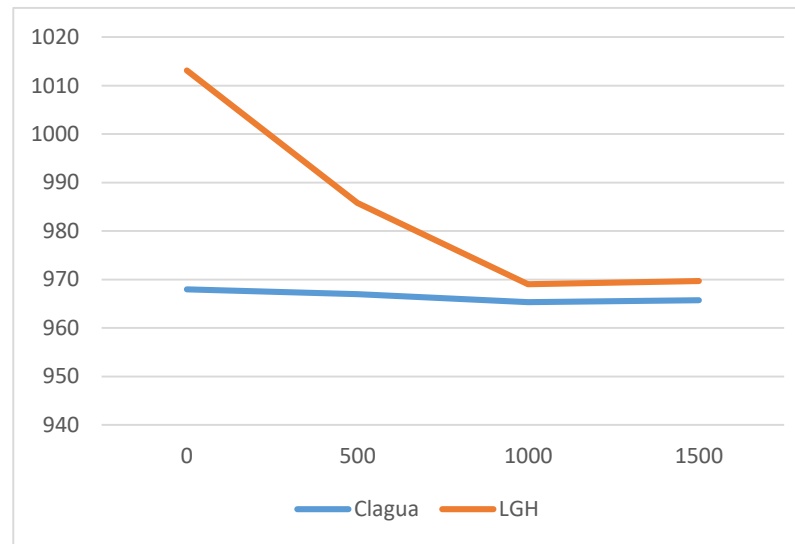


Figura 25. Línea de Gradiente Hidráulico, fuente: autor, basado en Tabla 42. Línea de gradiente hidráulico planta de tratamiento municipio de Pajarito Boyacá.

#### **4. Establecer Sugerencias y/o Recomendaciones de los Posibles Escenarios para el Sistema de Tratamiento en el Municipio de Pajarito Boyacá**

Partiendo de la información recolectada en la visita de campo realizada a la planta de tratamiento del municipio de Pajarito y la información recolectada mediante la construcción del modelo SELTEC, se sugiere tener en cuenta por parte de los funcionarios de la empresa de servicios públicos del municipio de Pajarito:

- Realizar un nuevo diseño de la planta de tratamiento para el municipio de Pajarito, teniendo en cuenta los trenes de tratamiento y sistemas arrojados en la metodología SELTEC, puesto que para el momento la planta con la que cuentan presenta deterioro en las estructuras y las estructuras donde operan los sistemas no corresponden en realidad a las que por normativa se necesitan construir.
- Se recomienda que para el momento del diseño y evaluación de cada sistema se tenga presente la topografía del lugar donde se pretende construir la nueva planta, puesto que el terreno presenta inestabilidades y movimientos en masa, los cuales podrían generar agrietamientos en los trenes de tratamiento y por ende mayor número de pérdidas de agua.
- Se hace necesario que para el momento de la implementación y/o construcción de la nueva planta de tratamiento de agua para el municipio de Pajarito, se lleve a cabo la determinación del perfil hidráulico del sistema y de la lámina de agua.
- Llevar a cabo una lectura diaria de parámetros físico- químicos del agua cruda y del agua tratada en la PTAP, con el fin de verificar que el agua entregada a la comunidad, es agua apta para consumo humano.
- Tener en cuenta el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, contemplado en la resolución 0330 de 2017, para desarrollar la implementación y optimización de la planta de tratamiento para el municipio.
- Implementar los niveles 5 y 6 del modelo SELTEC, para lo correspondiente a análisis de costos y capacidad y disponibilidad de pago, basándose en las posibilidades económicas del municipio.

## 5. Conclusiones

La recolección de información y las especificaciones técnicas necesarias para llevar a cabo la alimentación del modelo SELTEC, fueron punto de partida clave en el desarrollo del presente trabajo de grado, puesto que gracias a ello, se logró determinar y seleccionar la información aplicable para el modelo elaborado para el municipio de Pajarito Boyacá, describiendo dicha información por niveles y actividades, como se sugiere en el modelo inicial construido desde la literatura por parte de diversos autores.

La implementación y desarrollo del modelo SELTEC, especifica detalladamente cada uno de los niveles y actividades requeridas para la obtención de un tren de tratamiento acorde a las necesidades de la comunidad y las condiciones en las que se encuentra el recurso hídrico (agua) a ser tratada, permitiendo sugerir y/o recomendar a los encargados de los sistemas de tratamiento realizar mejoras y/o modificaciones tanto estructurales como de funcionamiento en pro de mejorar los sistemas y por ende la calidad del servicio que se entrega a la población.

Al implementar el modelo SELTEC, se analizó que éste facilitó la toma de decisiones relacionadas con la selección de tecnología para el tratamiento de agua apta para el consumo humano incorporando no sólo las variables técnicas, sino también los aspectos socioculturales, económicos e institucionales del municipio de Pajarito.

El resultado del modelo SELTEC nos permite sugerir que la metodología empleada según niveles empleados, es viable y que, con los ajustes empleados de las tecnologías faltantes al tren de tratamiento de Pajarito, se puede llegar a optimizar de una manera significativa el funcionamiento de la planta, y por ende el bienestar de la población.

Se concluye que el tren de tratamiento con el que cuenta en la actualidad la planta de tratamiento del municipio de Pajarito, no se encuentra en condiciones óptimas, para llevar a cabo un correcto tratamiento de agua, puesto que en general las estructuras presentan agrietamientos y deterioro que ocasionan pérdidas en el sistema, aumento en captación de agua y afectaciones en la salud de las personas que ingieren este tipo de agua, como resultado del tratamiento incompleto que se realiza al recurso.

Se sugiere un nuevo tren de tratamiento mediante el desarrollo del modelo SELTEC para el sistema, presentando tecnologías que deben ser tenidas en cuenta para la optimización de los sistemas y de los procesos que se hace necesario aplicar en el municipio de Pajarito Boyacá, ya



que estos, servirán de apoyo en el sistema de tratamiento de agua apta para consumo humano, mejorando las condiciones del agua tratada en la planta.

Se Implementó el modelo SELTEC para la selección de un sistema de tratamiento de agua potable acorde a las necesidades de la comunidad del municipio de Pajarito Boyacá, sugiriendo las tecnologías más óptimas para el debido funcionamiento.

### Referencias

- Aguas de Occidente. (2000). *Agua potable*. Recuperado de <https://www.grupo-epm.com/site/portals/23/documentos/Boletines/ABC-%20Calidad%20de%20Agua.pdf>.
- Alcaldía Municipal Pajarito Boyacá. (2015). *Plan de desarrollo Municipal*. Recuperado de <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/16465/19474-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Blog del Agua. (2012). *Mayor contaminante en agua*. Recuperado de [https://blogdelagua.com/actualidad/internacional/colombia-aguas-residuales-mayor-contaminante-de-fuentes- hídricas](https://blogdelagua.com/actualidad/internacional/colombia-aguas-residuales-mayor-contaminante-de-fuentes-hidricas)
- Corporinoquia. (2011). *Agenda Ambiental Pajarito*. Recuperado de [http://www.corporinoquia.gov.co/files/Agenda%20Boyaca/agenda\\_ambiental\\_pajarito\\_2011.pdf](http://www.corporinoquia.gov.co/files/Agenda%20Boyaca/agenda_ambiental_pajarito_2011.pdf).
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2017). *Censo poblacional municipio de Pajarito Boyacá*. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/files/censo2005/perfiles/boyaca/pajarito.pdf>
- Empresa de Servicios Públicos de Boyacá. (2019). *Construcción de la nueva planta de tratamiento de agua potable del municipio de Pajarito- Boyacá*. Recuperado de <http://www.pajarito-boyaca.gov.co/tema/contrato-condiciones-uniforme>
- Escamilla, M. (2006). *El servicio del agua en san pablo del Monte Tlaxcala (México) desde la perspectiva de la gestión hídrica integral*. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. Recuperado de [https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI\\_Presentaciones/licenciatura\\_en\\_mercadotecnia/fundamentos\\_de\\_metodologia\\_investigacion/PRES39.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Presentaciones/licenciatura_en_mercadotecnia/fundamentos_de_metodologia_investigacion/PRES39.pdf).
- ESE Unidad básica atención Pajarito. (2017). *Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud, municipio de Pajarito Boyacá*. Recuperado de [https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/asis2019/asis\\_pajarito\\_2019.pdf](https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/asis2019/asis_pajarito_2019.pdf).

- Galvis, V. (2000). *Modelo de selección de tecnologías y análisis de costos en el tratamiento de agua para consumo humano, SELTEC. Seminario Internacional la hidroinformática en la gestión integrada de los recursos hídricos*. Cali: Universidad del Valle Colombia.
- Galvis, A. (2001). *Proyecto de selección de tecnología y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua, niveles 0 y 1*. Santiago de Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.
- Gobernación de Boyacá. (2012). *Mapas*. Recuperado de [https://www.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2012/06/images\\_MenuMiBoyaca\\_PROVINCIAS.pdf](https://www.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2012/06/images_MenuMiBoyaca_PROVINCIAS.pdf)
- Gobernación de Boyacá. (2016). *Plan de desarrollo 2016-2019*. Recuperado de [https://www.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2016/06/images\\_planes\\_plan-de-desarrollo\\_pdd2016-09-T-Medio-Ambiente.pdf](https://www.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2016/06/images_planes_plan-de-desarrollo_pdd2016-09-T-Medio-Ambiente.pdf).
- Grisales, D. (2010). *Sistemas no convencionales de tratamiento de aguas superficiales para comunidades de desplazados en estado de emergencia (caso Villa – Clarin)*. Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/494/GrisalesPenagosDayana2010.pdf;jsessionid=15F827BEA0A35C77816097E6D5D42E94?sequence=2>
- Grupo EPM. (2019). *Informe de sostenibilidad*. Recuperado de <https://www.grupo-epm.com/site/Portals/1031/Informe%20de%20sostenibilidad%202019%20Aguas%20Regionales%20EPM.pdf?ver=2020-05-14-110931-317>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). *Cuencas hidrográficas*. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023890/EstadoMedioAmbiente.pdf>
- Instituto Nacional de Salud. (2020). *Boletín de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano*. Recuperado de <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/boletin-vigilancia-calidad-del-agua-octubre-2020.pdf>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2021). *Mapas nacionales*. Recuperado de <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/mapas-nacionales>
- Leal, M. (2006). *Tecnología del agua*. Recuperado de [https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/04\\_Capitulo\\_04.pdf](https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/04_Capitulo_04.pdf)

- Martinez, A. (2014). *Evaluación del agua para consumo humano en las veredas calabazas y san jose de la selva, riofrio\_ valle del cauca: Aplicación de la metodología radwq y análisis de los factores de riesgo en el agua para consumo humano en el área rural*. Recuperado de <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/flip/index.jsp?pdf=/bitstream/handle/10893/7702/3754-0446259.pdf?sequence=1&isAllowed=>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2008). *Estudio nacional del agua*. Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019252/ESTUDIONACION A LDELAGUA.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019252/ESTUDIONACION_A_LDELAGUA.pdf)
- Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2013). *Título C*. Recuperado de [https://www.catorce6.com/images/legal/Titulo\\_C\\_Potabilizacion.pdf](https://www.catorce6.com/images/legal/Titulo_C_Potabilizacion.pdf).
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Gestión integral del recurso hídrico*. Recuperado de [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n\\_del\\_agua/Resoluci%C3%B3n\\_2115.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf).
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 0330 de 2017*. Recuperado de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2019). *Informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: no dejar a nadie atrás*. Recuperado de <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Recuperado de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- Pérez. R. (2019). *Instalaciones hidrosanitarias, de gas y de aprovechamiento de aguas lluvias en edificaciones*. 8ª. ed. Bogotá: Ecoe Ediciones
- Secretaria del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2010). *Guía práctica para agua*. Recuperado de <https://www.cbd.int/development/doc/cbd-good-practice-guide-water-booklet-web-es.pdf>.
- Superintendencia delegada para acueducto, alcantarillado y aseo. (2013). *Informe Ejecutivo de Gestión Unidad de Servicios Públicos de Pajarito Boyacá ID-836*. Recuperado de

<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Acueducto%2C%20alcantaril%20lado%20y%20aseo/Peque%C3%B1os%20prestadores/2018/Sep/2013unidaddelosserviciospublicosd epajaritoesp.pdf>.

Unidad Básica de Atención Pajarito. (2015). *Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud, Pajarito Boyacá*. Recuperado de [https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/asis\\_2015/asis-pajarito-2015.pdf](https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/asis_2015/asis-pajarito-2015.pdf)

Universidad de Boyacá. (2021). *Guía presentación trabajo de grado. Normas APA*. Recuperado de <https://www.uniboyaca.edu.co/es/node/2928>.

Zamora, A. (2014). *Conferencia internacional usos múltiples del agua para la vida y el desarrollo sostenible*. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/confe2.pdf>