

DISEÑO DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES EN UNA COMUNIDAD DE KOKONUOCO



Universidad
del Cauca

DIANA CAROLINA ALVEAR CASTILLO
LEIDY MARCELA REALPE GÓMEZ

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2017

DISEÑO DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES EN UNA COMUNIDAD DE KOKONUOCO



Universidad
del Cauca

DIANA CAROLINA ALVEAR CASTILLO
LEIDY MARCELA REALPE GÓMEZ

Modalidad trabajo social

Ingeniero Mauricio Hernán Aguirre Gómez

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado modalidad trabajo social titulado “DISEÑO DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA COMUNIDAD DE KOKONUCO”, presentado por Diana Carolina Alvear Castillo y Leidy Marcela Realpe Gómez, cumple con los requisitos para optar por el título de ingenieras ambientales

Ing. Mauricio Hernán Aguirre Gómez
Director

Ing. María Elena Castro Caicedo
Jurado

Ing. Napoleón Zambrano Alfonso
Jurado

Fecha: _____

DEDICATORIA

Damos gracias a Dios por mostrarnos el camino a seguir, por permitirnos alcanzar nuestras metas en la vida.

Gracias a nuestros familiares por su apoyo incondicional, por todo su sacrificio para que alcancemos nuestros propósitos y por motivarnos e inspirarnos cada día a salir adelante y a triunfar en la vida.

Gracias a nuestros amigos por acompañarnos, por su apoyo y su compañía a lo largo de este trayecto.

Gracias a todos nuestros docentes por compartir sus conocimientos, por inspirarnos cada día y por permitirnos aspirar al título de ingenieras ambientales

Diana Carolina Alvear Castillo

Leidy Marcela Realpe Gómez

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Mauricio Hernán Aguirre, director del trabajo de grado para optar por el título de ingenieras ambientales de la Universidad del Cauca, por su asesoría y apoyo.

Al Departamento de Vías de la Facultad de Ingeniería Civil, al ingeniero Carlos Eduardo Oñate, su padre Jose Eduardo Oñate Garzón y al ingeniero Jhon Alexander Tascue Chilito por su apoyo en el levantamiento topográfico.

Al señor Herry Guañarita miembro de la comunidad los Kokonucos, por su interés y apoyo en el proyecto.

Al ingeniero Juan Carlos Casas Zapata por sus aportes.

A la comunidad los Kokonucos por darnos la oportunidad de realizar este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	13
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2. GENERALIDADES DE LA ZONA DEL PROYECTO	14
2.1 MUNICIPIO DE PURACÉ	14
2.1.1 Localización.....	14
2.1.2 Climatología	14
2.1.3 Tipo y usos de suelo	15
2.1.4 Cuerpos de agua.....	16
2.1.5 Acueducto.....	17
2.1.6 Alcantarillado.....	17
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO.....	17
2.2.1 Localización.....	17
2.2.2 Tipo y usos de suelo	18
2.2.3 Acueducto y alcantarillado	19
2.3 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PRELIMINAR	19
3. DISEÑO	25
3.1 DEFINICIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	25
3.1.1 Periodo de diseño	26
3.1.2 Población futura.....	27
3.2 OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA Y OBJETIVOS DE TRATAMIENTO	30
3.3 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO.....	33
3.3.1 Tipos de tratamiento de aguas residuales	33
3.3.3 Criterios de selección	40
3.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	41
3.5 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO	44

3.5.1	Primera alternativa de tratamiento (STAR única)	44
3.5.2	Segunda alternativa de tratamiento	54
3.5.2.1	Tratamiento in situ	55
3.5.2.2	Tratamiento conjunto	59
3.6	EFICIENCIAS DE TRATAMIENTO	63
4	ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS	65
4.1	PRIMERA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO	65
4.1.1	STAR única	65
4.2	SEGUNDA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO	65
4.2.1	Sistemas de tratamiento in situ	65
4.2.2	Tratamiento conjunto	66
5	INSTRUCCIONES DE MANEJO Y MANTENIMIENTO	67
6	CONCLUSIONES	68
7	RECOMENDACIONES	69
	BIBLIOGRAFÍA	70
	ANEXO A. Información de las viviendas y cabañas aledañas a las termales Agua Hirviendo	72
	ANEXO B. Carta de solicitud del proyecto por parte del Resguardo Indígena de Kokonuco.	74
	ANEXO C. Carta de solicitud al Departamento de Ingeniería Ambiental para el estudio del proyecto.	75
	ANEXO D. Carta de aceptación del presupuesto por parte del Resguardo.	76

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Cobertura y uso actual de la tierra. Municipio de Puracé. (Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial).....	16
Tabla 2. Información de las piscinas.....	22
Tabla 3. Datos de accesorios y aparatos sanitarios en las termales.....	23
Tabla 4. Asignación del nivel de complejidad. (Fuente: RAS 2000. Tabla A.3.1).....	25
Tabla 5. Proyección de la cabecera municipal (DANE 2005).....	26
Tabla 6. Periodo de diseño (tabla 10 Resolución 2320 de 2009).....	26
Tabla 7. Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad (Fuente RAS 2000).....	27
Tabla 8. Proyección de población de la cabecera municipal de Puracé utilizando los métodos geométrico, lineal y exponencial.	29
Tabla 9. Valores límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales (Artículo 8- Resolución 631 de 2015).....	31
Tabla 10. Eficiencias de remoción requerida según la Resolución 631 de 2015.....	32
Tabla 11. Eficiencia requerida de tratamiento.....	32
Tabla 12. Ventajas y desventajas de tratamientos preliminares (Fuente: Aguas Residuales Municipales- MMA).....	33
Tabla 13. Ventajas y desventajas de tratamientos primarios (Fuente: Aguas Residuales Municipales- MMA).....	35
Tabla 14. Ventajas y desventajas de tratamientos secundarios (Fuente: Aguas Residuales Municipales- MMA).....	37
Tabla 15. Ventajas y desventajas de tratamientos terciarios (Fuente: Aguas Residuales Municipales- MMA).....	39
Tabla 16. Distancias mínimas para la localización del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas con relación a puntos de referencia (Fuente: epm).....	40
Tabla 17. Calificación variable Vi.....	42
Tabla 18. Ponderaciones o importancia adoptadas para cada variable.....	43
Tabla 19. Calificación parcial.....	43
Tabla 20. Contribución de aguas residuales (tabla E.7.1- RAS 2000).....	44
Tabla 21. Contribución de aguas residuales de viviendas, restaurante, baños y cabañas de las termales.....	45
Tabla 22. Características de rejillas de barras (Fuente: Romero Rojas).....	46
Tabla 23. Coeficientes de pérdidas para rejillas (fuente: Tabla E.4.6 del RAS 2000).....	48
Tabla 24. Diseño de las rejillas circulares de limpieza manual.....	50
Tabla 25. Tiempos de retención (Tabla E.7.2- RAS 2000).....	51
Tabla 26. Valores de tasa de acumulación de lodos digeridos. (Tabla E.7.3- RAS 2000). 51	
Tabla 27. Valores de profundidad útil. (Tabla E.3.3- RAS 200).....	52

Tabla 28. Diseño de tanque séptico para la STAR única.....	52
Tabla 29. Diseño del filtro anaerobio	53
Tabla 30. Selección de modelos de tratamientos in situ.....	55
Tabla 31. Diseño del tanque séptico para el tratamiento in situ	57
Tabla 32. Diseño del filtro anaerobio para el tratamiento in situ.....	58
Tabla 33. Información de las viviendas y cabañas que se trataran conjuntamente.....	59
Tabla 34. Diseño de tanque séptico para el tratamiento conjunto	60
Tabla 35. Diseño del filtro anaerobio para tratamiento conjunto	61
Tabla 36. Capacidades y dimensiones del sistema séptico integrado	62
Tabla 37. Valores de las constantes a y b	63
Tabla 38. Eficiencias de remoción para los tratamientos	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Vertimientos de agua residual sobre la quebrada (fotografía Carlos Eduardo Oñate)	12
Figura 2. Localización espacial del municipio de Puracé. (Puracé, 2012).....	14
Figura 3. Tabla climática de Coconuco. (CLIMATE-DATA.ORG, 2012)	15
Figura 4: Imagen satelital sector agua hirviendo (fuente: Google Maps).....	18
Figura 5. Vía de acceso al sector de las termales Agua Hirviendo. (Fuente: primera imagen propia y segunda imagen fotografía tomada con Dron.)	19
Figura 6. Fotografía aérea Termales Agua Hirviendo (fotografía Carlos Eduardo Oñate). 20	
Figura 7. Quebrada (Fuente propia).....	20
Figura 8. Lote descartado para la implementación del STAR. (Fuente: propia)	21
Figura 9. Lote disponible para el STAR. (Fuente: propia)	22
Figura 10. Levantamiento con estación total de las termales Agua Hirviendo (Fotografía: Carlos Eduardo Oñate)	24
Figura 11. Lote disponible para STAR. (Fotografía Carlos Eduardo Oñate)	24
Figura 12 Tren de tratamiento de aguas residuales, alternativa 1.....	46
Figura 13. Sección transversal de las rejillas. Fuente: Propia	47
Figura 14. Vista en perfil de las rejillas. Fuente: Propia.....	47
Figura 15. Diferentes formas de rejillas (Figura E.4.1 del RAS 2000).....	48
Figura 16. Número de habitantes por vivienda.....	54
Figura 17. Tren de tratamiento.....	56
Figura 19. Sistema séptico integrado. Fuente: ROTOPLAST.....	62

DISEÑO DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA COMUNIDAD DE KOKONUUCO

INTRODUCCIÓN

La comunidad indígena de Coconuco solicitó mediante comunicado 09-02-2016 (ANEXO B) al Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad del Cauca el apoyo para realizar el diseño del alcantarillado sanitario y el sistema de tratamiento de aguas residuales para la vereda Chiliglo.

En la visita realizada el 14 de marzo de 2016, el gobernador del cabildo Joe Nilson Sauca, manifestó que para el cabildo era más importante solucionar el problema de vertimientos en la zona que se encuentran las termales Agua Hirviendo. Razón por la cual solicitó cambiar el lugar donde se realizará el proyecto.

Las aguas residuales de las termales y las domésticas de éste sector se vierten sin ningún tipo de tratamiento sobre un nacimiento de agua generando un problema de contaminación, Figura 1, por lo anterior se ve la necesidad de implementar un sistema de tratamiento que logre disminuir la contaminación sobre el nacimiento de agua y mitigar los impactos ambientales. Además aguas abajo de la quebrada hay una cascada en la cual se bañan los turistas.

Debido a que las casas aledañas a las termales están dispersas y alejadas entre sí, es recomendable realizar el diseño de sistemas de tratamientos individuales o colectivos entre viviendas cercanas, ya que sería muy costoso implementar un sistema de alcantarillado, porque requeriría grandes longitudes de tubería.

En el título E de la norma RAS 2000 recomiendan para lugares aislados donde no existan redes de alcantarillado y que tengan menos de 200 habitantes, tratamiento en el origen. Las tecnologías recomendadas para el tratamiento de las aguas residuales en el origen, de acuerdo a disponibilidad económica pueden ser trampas de grasas, tanques sépticos, filtros anaerobios, campos de infiltración, humedales artificiales de flujo sumergido y lagunas de oxidación o de estabilización.

En el sector de las termales Agua Hirviendo no cuentan con alcantarillado, ni sistemas de tratamiento de aguas residuales. Las aguas residuales domésticas y los efluentes de las piscinas termales de Agua Hirviendo, se vierten directamente sobre un nacimiento de agua, como lo muestra la Figura 1, generando contaminación del recurso hídrico e incumplimiento de la normatividad ambiental vigente. Por esta razón, al proyectar y poner en operación un sistema para tratar las

aguas residuales, mejoraría la calidad del agua en el cuerpo receptor, además de mejorar algunos aspectos ambientales, turísticos y sociales.



Figura 1. Vertimientos de agua residual sobre la quebrada (fotografía Carlos Eduardo Oñate)

El presente documento contiene información general del lugar del proyecto, el proceso que se llevó a cabo para la toma de datos, los tipos, análisis y diseño de las alternativas de tratamiento. El primer diseño abarca todas las aguas residuales del sector excepto la de las piscinas, ésta alternativa se descartó por la falta de área para su implementación; la segunda alternativa consta de tratamientos en el origen uniendo hasta dos viviendas y un tratamiento conjunto donde se incluyen las viviendas sin lote disponible y las aguas residuales generadas en las termas exceptuando las piscinas.

Las aguas residuales que se generan del lavado de las piscinas de las termas no se incluyeron en proyecto, debido a que no se cuenta con área disponible para el volumen generado por éstas y además no fue posible realizar la caracterización de aguas.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar el diseño del sistema de tratamiento para las aguas residuales domésticas generadas en el sector de las termales Agua Hirviendo para mejorar la calidad del agua en la fuente receptora y cumplir con la normatividad ambiental.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar alternativas para el tratamiento de las aguas residuales generadas en el sector de las termales Agua Hirviendo.
- Seleccionar la alternativa y tecnología apropiada para el sistema de tratamiento de aguas residuales con base en normatividad ambiental vigente.

2. GENERALIDADES DE LA ZONA DEL PROYECTO

2.1 MUNICIPIO DE PURACÉ

2.1.1 Localización

El municipio de Puracé se encuentra localizado en la zona centro del Departamento del Cauca, Macizo colombiano, hace parte del corredor ecológico del Parque Nacional Natural Puracé, dista 26 Kilómetros de la capital del Departamento del Cauca – Popayán, Figura 2. (Puracé, 2012)



Figura 2. Localización espacial del municipio de Puracé. (Puracé, 2012)

La cabecera municipal Coconuco está localizada a los 2^o, 20' de latitud norte y 76^o, 28' de longitud oeste. La altura sobre el nivel del mar es de 2 850 m (Puracé, 2012).

2.1.2 Climatología

“Purace posee una extensión de 707 Km², de los cuales 167 Km², corresponden a clima frío y 540 Km², a clima de páramo. La altura del Municipio sobre el nivel del mar comprende desde los 1 650 hasta los 4 700 m., la temperatura media es de 16°C, con precipitaciones anuales entre 1 600 y 2 500 mm.; regularmente las épocas de verano se presentan en los meses de junio, julio, agosto y parte de diciembre y enero; el resto del año es invierno intermitente”. (MUNICIPIO DE PURACÉ, 2001). En la Figura 3 se muestran los datos de temperatura mínima-máxima y las precipitaciones mensuales del año 2012.

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Avg. Temperature (°C)	13.9	14.1	14.2	14	14.1	13.9	13.7	14.1	14.1	13.8	13.6	13.7
Min. Temperature (°C)	8.5	8.8	8.9	9	9.1	8.7	8.2	8.3	8.3	8.6	8.7	8.6
Max. Temperature (°C)	19.4	19.5	19.5	19.1	19.2	19.1	19.3	19.9	19.9	19.1	18.6	18.9
Avg. Temperature (°F)	57.0	57.4	57.6	57.2	57.4	57.0	56.7	57.4	57.4	56.8	56.5	56.7
Min. Temperature (°F)	47.3	47.8	48.0	48.2	48.4	47.7	46.8	46.9	46.9	47.5	47.7	47.5
Max. Temperature (°F)	66.9	67.1	67.1	66.4	66.6	66.4	66.7	67.8	67.8	66.4	65.5	66.0
Precipitation / Rainfall (mm)	158	172	204	239	183	112	101	93	123	280	292	239

Figura 3. Tabla climática de Coconuco. (CLIMATE-DATA.ORG, 2012)

“La variación en la precipitación entre los meses más secos y más húmedos es de 199 mm. Durante el año, las temperaturas medias varían en 0,6°C. “ (CLIMATE-DATA.ORG, 2012)

2.1.3 Tipo y usos de suelo

Teniendo en cuenta la cobertura y uso actual del suelo del Municipio de Puracé tabla 1, se presentan los tipos de cobertura, las especies dominantes, el uso predominante y la extensión de las mismas.

Tabla 1. Cobertura y uso actual de la tierra. Municipio de Puracé. (Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial)

COBERTURA			ESPECIES DOMINANTES	USO PREDOMINANTE	EXTENSION
UNIDAD	CLASE	TIPO			
VEGETAL	BOSQUES	bosque denso nativo	pino colombiano, motilón, encenillo, amarillo, cuchara blanca, candelo, chaquiro, arrayán, higuérón	preservación estricta protección - conservación	24,740.72
		bosque nativo intervenido	carbonero, encenillo, jigua, colorado, tablero	protección -extracción	2,460.27
		bosque plantado	pino, eucalipto, acacias, especies nativas	productor - protector-productor	132.22
		ARBUSTALES	densos, semidensos, dispersos	chilco, chonto, lechero, mayo, sauco blanco, mortifo	protección - extracción pastoreo extensivo
	VEGETACION DE PARAMO	frailejona - pajonal pajonales	gramíneas perennes: cortadera, churunga, calamagrostis festuca y chusques - frailejones - musgos, líquenes, algas, hierbas como apio y pollo, cola de caballo, pacunga, guasca helechos y arbustos de páramo.	protección -producción conservación estricta	11,880.80 5,549.37
		humedales		protección - pastoreo extensivo	1,679.34
	PRADERAS EN GENERAL		grama, pasto orejuela, kikuyo, poa, trébol, ray - grans	pastoreo extensivo y semi - intensivo pastoreo extensivo y agrícola	20,457.21
	RASTROJOS		dormidera, guasca, paja, pacunga, cortadera y matorrales	recuperación pastoreo extensivo	3,881.15
	AREA CULTIVADA	CULTIVOS NO TECNIF	papa, ulluco, hortalizas, café, maíz, caña, yuca	transitorio	655.52
		CULTIV SEMITECNIFI Y TECNIFICADOS	papa, café, tomate de árbol, lulo, fresas.	permanente semipermanente	
DEGRADADA	TIERRAS ERIALES	AFLORAMIENTOS ROCOSOS		extracción minera	3,886.11
		SUELO EROSIONADO		sobrepastoreo	
		SUELO DESNUDO		recuperación	
HIDRICA	SISTEMAS LOTICOS	RIOS - QUEBRADAS CASCADAS		potencialmente generadoras de energía eléctrica (producción)	
	CUERPOS LENTICOS	LAGUNAS, ESTANQUES TERMALES		ecoturismo recreacional producción	
CONSTRUIDA	ZONA URBANA	CASCO URBANO		prestación de servicios, vivienda, comercio, institucional	24.41
		CENTROS POBLADOS			
	DISPERSAS	VIVIENDAS		residencial	
		INVERNADEROS		floricultura	
		OTROS		industria - turismo	
SISTEMA VIAL			transporte		

2.1.4 Cuerpos de agua

“En recursos hídricos presenta a escala municipal la gran cuenca del río Cauca y la sub cuenca del río Bedón, que hace parte de la gran cuenca del río Magdalena, e innumerables ríos y quebradas que atraviesan todo el territorio municipal potencial hídrico que puede ser aprovechado, para la implementación de Distritos de riego con el fin de aumentar la producción y productividad de los distintos sistemas de producción y que actualmente está siendo aprovechado por el consorcio GAMMA OBRESCA para generar 1,5 Megas de energía para el futuro y la Central Eléctrica de Coconuco que genera actualmente 2 MW.” (MUNICIPIO DE PURACÉ , 2001)

2.1.5 Acueducto

Las 1 030 viviendas existentes en el área urbana todas tienen servicio de acueducto que benefician a unos 4 326 usuarios. De las 2 570 viviendas del sector rural, el 81% de la población (2 081 viviendas) cuenta con sistemas de abastecimiento, el 15 % se abastece por otro sistema de mangueras y abastecimientos familiares y el 1% debe acarrear el agua.

Ninguno de los acueductos veredales cuenta con sistema de tratamiento de agua para el consumo humano, la totalidad de las familias potabiliza por medios físicos como, hervir el agua, filtración o decantación casera cuando se presenta turbidez. (COCONUCO, 2016)

2.1.6 Alcantarillado

El servicio de alcantarillado en la Cabecera Municipal Coconuco, el 98% está conectado a la red de alcantarillado, en el centro poblado de Puracé el 95%. En el sector rural las aguas residuales domésticas, prácticamente no tienen un manejo adecuado de disposición final. (COCONUCO, 2016)

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO

2.2.1 Localización

La zona del proyecto se encuentra ubicada en la vereda Cobaló del municipio de Puracé, específicamente el sector aledaño a las termales Agua Hirviendo. En la Figura 4 se muestra la imagen satelital del sector y las estrellas representan las viviendas y cabañas que se incluirán en el proyecto.



Figura 4: Imagen satelital sector agua hirviendo (fuente: Google Maps)

2.2.2 Tipo y usos de suelo

En zona de las termas Agua Hirviendo se presenta las siguientes unidades de suelo según la tabla 1.

a) Vegetal

- Pradera en general con la presencia predominante de pastos y uso predominante de pastoreo
- Área cultivada no tecnificada, donde puede apreciarse cultivos de fresa, mora, papa, mexicano, entre otros.

b) Hídrica

- Sistemas loticos: En el sector Agua hirviendo hay un nacimiento de agua y a más de 300 metro aguas abajo de las termas hay una cascada con un alto potencial turístico.

c) Construida

- Dispersas: hay presencia de viviendas rurales dispersas y las termas aguas hirviendo, el cual es un sitio turístico que ofrece servicios de piscina, restaurante, billar, bar, zonas recreativas y alojamiento.
- Sistema vial: hay una vía de acceso para llegar a las termas Agua Hirviendo

2.2.3 Acueducto y alcantarillado

El acueducto del cual se abastecen los habitantes de la zona de las termas Agua Hirviendo es el Acueducto veredal de Cobaló. El agua que llega a las viviendas no es potable, por lo que los usuarios deben hervirla.

La zona del proyecto no cuenta con el servicio de alcantarillado, lo anterior representa la principal fuente de contaminación de la quebrada, ya que las aguas residuales domésticas y de las piscinas de las termas son depositadas a dicha fuente hídrica mediante tuberías que salen de cada casa sin tratamiento alguno. Así mismo, las aguas residuales de las piscinas son depositadas posterior al lavado de las mismas a la quebrada.

2.3 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PRELIMINAR

El 14 de marzo del 2016 se realizó la primera visita técnica al sector de las termas Agua Hirviendo ubicado en el corregimiento de Coconuco, con el fin de realizar un reconocimiento preliminar del lugar donde se diseñara un sistema para tratar las aguas residuales domésticas y de las termas. Las personas que orientaron la visita fueron tres miembros del cabildo el gobernador Joe Nilson Sauca, Henry Guañarita y la señora Lucero Melinge, encargada del restaurante de las termas. Las figuras 5, 6 y 7 muestran la vía de acceso al sector, las termas Agua Hirviendo y la quebrada a la cual se depositan las aguas residuales de todo el sector, respectivamente.



Figura 5. Vía de acceso al sector de las termas Agua Hirviendo. (Fuente: primera imagen propia y segunda imagen fotografía tomada con Dron.)



Figura 6. Fotografía aérea Termales Agua Hirviendo (fotografía Carlos Eduardo Oñate)



Figura 7. Quebrada (Fuente propia)

El 3 de octubre del 2016 se realizó la segunda visita técnica en la cual se hizo un levantamiento con GPS de las viviendas y cabañas que se incluirán en el proyecto, los datos se resumen en el anexo 1. Además se descartó el posible lote que se tenía identificado para la implementación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR), debido a que es un área muy pequeña dentro de la zona de Ronda Hídrica de la Quebrada y además muy cercana a las piscinas. (Ver figura 8).



Figura 8. Lote descartado para la implementación del STAR. (Fuente: propia)

La tercera salida se realizó el 21 de octubre con el fin de complementar el levantamiento con GPS, levantando datos de la vía de acceso, la quebrada y un reconocimiento de otro posible lote donde se ubicaría el sistema de tratamiento de aguas residuales, el cual queda a una distancia de aproximadamente 300 m de las termas, aguas abajo de la quebrada, la figura 9 muestra el lote disponible. La información acerca del lavado y volumen de piscinas, se resume en la Tabla 2; los productos de limpieza que se usan en el lavado de piscinas son: límpido, detergente y ácido nítrico.

Información adicional: días pico del restaurante (fines de semana y vacaciones), cantidad de desayunos en temporada alta (200 diarios) y almuerzos (300 diarios),

Tabla 2. Información de las piscinas

Piscina	Frecuencia de lavado	Horario de lavado	Volumen aproximado de piscinas (m ³)
Pequeña	Todos los días de la semana	Mañana	12
Mediana	Tres días a la semana	Noche	126
Grande	Un día a la semana	Tarde	189



Figura 9. Lote disponible para el STAR. (Fuente: propia)

Se realizó un recorrido aguas abajo de la quebrada para identificar un posible lote para la implementación de la STAR única, pero los terrenos tienen pendientes muy inclinadas, el lote de la figura 9 se encontró a más de 300 metros de las termas, el lote cumple con las condiciones para la implementación de la STAR única, pero

se encuentra muy alejado de las viviendas y de las termales, lo cual incrementa los costos de implementación de alcantarillado. Por lo tanto la limitante del proyecto es la falta de un lote adecuado.

La cuarta salida se realizó el día 19 de febrero de 2017, cuyo objetivo fue hacer el levantamiento topográfico de las termales con estación total marca Topcom y con el apoyo del ingeniero Carlos Eduardo Oñate, su señor padre don Jose Eduardo Oñate Garzon y un miembro de la comunidad, por cuestiones de lluvia, no se pudo terminar el levantamiento topográfico, por lo cual quedó pendiente otra visita. También se recogieron los datos referentes a la cantidad de tasas sanitarias, lavamanos, lava traperos y lavaplatos de las termales, cuyos resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Datos de accesorios y aparatos sanitarios en las termales

Área	Tasas sanitarias	Orinales	Lavamanos	Lavaplatos	Lava traperos
Restaurante	3	1	2	2	0
Kiosco	0	0	0	1	0
Salón de juegos	0	1	1	1	0
Vestier	5	1	2	0	1
TOTAL	8	3	5	4	1

La quinta salida se realizó el 19 de marzo de 2017, con el propósito de terminar la topografía, contando de nuevo con el apoyo del ingeniero Carlos Eduardo Oñate, su padre José Eduardo Oñate Garzón y el ingeniero Jhon Alexander Tascue Chilito quien con ayuda del Dron de la universidad tomó imágenes aéreas del sector y de las termales. La figura 10 muestra el levantamiento con Estación Total de las termales.



*Figura 10. Levantamiento con estación total de las termales Agua Hirviendo
(Fotografía: Carlos Eduardo Oñate)*

Otra opción de lote para la implementación del sistema de tratamiento se muestra en la figura 11.



Figura 11. Lote disponible para STAR. (Fotografía Carlos Eduardo Oñate)

3. DISEÑO

3.1 DEFINICIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA

Para el nivel de complejidad de la zona del proyecto se asumió el mismo nivel de complejidad del municipio, se determinó utilizando la proyección de la población correspondiente a la cabecera municipal de Puracé, tabla 4 y 5.

Tabla 4. Asignación del nivel de complejidad. (Fuente: RAS 2000. Tabla A.3.1)

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

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

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

Tabla 5. Proyección de la cabecera municipal (DANE 2005)

AÑO	Proyección de población de la cabecera municipal de Puracé (DANE 2005)
2005	1 810
2006	1 794
2007	1 779
2008	1 765
2009	1 753
2010	1 742
2011	1 732
2012	1 724
2013	1 717
2014	1 711
2015	1 706
2016	1 703
2017	1 701
2018	1 700
2019	1 701
2020	1 703

3.1.1 Período de diseño

El periodo para el cual se va a diseñar es de 25 años, que corresponde a un nivel de complejidad bajo, medio y medio alto según la tabla 6. (Resolución 2320 de 2009)

Tabla 6. Período de diseño (tabla 10 Resolución 2320 de 2009)

Nivel de Complejidad del Sistema	Período de diseño máximo
Bajo, Medio y Medio alto	25 años
Alto	30 años

3.1.2 Población futura

La proyección de la población de la de la cabecera del municipio de Puracé, Tabla5 (DANE 2005), se realizará utilizando los métodos Geométrico, Lineal o aritmético y Exponencial, tabla 7. Las ecuaciones se describen a continuación.

Tabla 7. Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad (Fuente RAS 2000)

Método Por Emplear	Nivel de Complejidad del Sistema			
	Bajo	Medio	Medio Alto	Alto
Aritmético + Geométrico y Exponencial	X	X		
Aritmético + Geométrico + Exponencial + Otros			X	X
Por Componentes (Demográfico)			X	X
Detallar Por Zonas y Detallar Densidades			X	X

METODO GEOMÉTRICO

$$Pf = Puc * (1 + r)^{(Tf - Tuc)} \quad \text{EC.1}$$

$$r = \frac{Puc^{1/(Ti - Tuc)}}{Pi} - 1 \quad \text{EC.2}$$

Donde

Pf= Población final

Puc=Población último censo

r= tasa de crecimiento anual para el método geométrico

Pi= Población del censo inicial

Tf= Año final = 2017 + 25= 2042

Ti=Año del censo inicial

Tuc= Año del último censo

METODO LINEAL O ARITMÉTICO

$$Pf = Puc + ka(Tf - Tuc) \quad \text{EC.3}$$

$$Ka = \frac{Pi - Puc}{Ti - Tuc} \quad \text{EC.4}$$

Dónde:

Pf= Población final

Puc=Población último censo

Pi= Población del censo inicial

Tf= Año final = 2017 + 25= 2042

Ti=Año del censo inicial

Tuc= Año del último censo

Ka= Constante para el método lineal

MÉTODO EXPONENCIAL

$$Pf = Pci * e^{(Tf - Tci)} \quad \text{EC. 5}$$

$$K = \frac{\ln Pcp - \ln Pca}{Tcp - Tca} \quad \text{EC. 6}$$

Donde

Pf= Población final

Pci= Población del censo inicial

Tf= Año final = 2017 + 25= 2042

Tci=Año del censo inicial

K= tasa de crecimiento de la población

Pcp= Población censo posterior

Pca= Población censo anterior

Tcp= año censo posterior

Tca= año censo anterior

La proyección de la población de la cabecera municipal de Puracé se realizó para determinar el nivel de complejidad; utilizando tres métodos, Geométrico, Lineal y Exponencial, para un periodo de diseño de 25 años correspondiente a un nivel de complejidad bajo, medio y medio alto, tabla 6. La tabla 8 muestra los resultados de la proyección de la población para el año 2042

Tabla 8. Proyección de población de la cabecera municipal de Puracé utilizando los métodos geométrico, lineal y exponencial.

AÑO	POBLACIÓN (DANE 2005)	MÉTODO GEOMÉTRICO		MÉTODO LINEAL		METODO EXPONENCIAL	
		Rata de Crecimiento	POBLACIÓN FINAL PARA EL AÑO 2042	Ka	POBLACIÓN FINAL PARA EL AÑO 2042	K	POBLACIÓN FINAL PARA EL AÑO 2042
2005	1.810	-0,0041	1557	-7,13	1.546	-0,0089	1.303
2006	1.794	-0,0037	1569	-6,50	1.560	-0,0084	1.326
2007	1.779	-0,0034	1582	-5,85	1.574	-0,0079	1.349
2008	1.765	-0,0030	1595	-5,17	1.589	-0,0068	1.400
2009	1.753	-0,0026	1607	-4,55	1.603	-0,0063	1.424
2010	1.742	-0,0023	1620	-3,90	1.617	-0,0058	1.449
2011	1.732	-0,0019	1634	-3,22	1.632	-0,0046	1.500
2012	1.724	-0,0015	1647	-2,63	1.645	-0,0041	1.526
2013	1.717	-0,0012	1660	-2,00	1.659	-0,0035	1.551
2014	1.711	-0,0008	1674	-1,33	1.674	-0,0029	1.576
2015	1.706	-0,0004	1690	-0,60	1.690	-0,0018	1.627
2016	1.703	0,0000	1703	0,00	1.703	-0,0012	1.652
2017	1.701	0,0004	1718	0,67	1.718	-0,0006	1.676
2018	1.700	0,0009	1736	1,50	1.736	0,0006	1.724
2019	1.701	0,0012	1748	2,00	1.747	0,0012	1.748
2020	1.703						
	promedio	-0,0015	1648	-2,58	1646	-0,004	1.522

De acuerdo con la tabla A.3.1 del título A del RAS 2000 el nivel de complejidad para Puracé es bajo porque la población proyectada para un periodo de diseño de 25 años es aproximadamente de 1648 habitantes y es menor de 2500 habitantes. Según la proyección utilizando los métodos geométrico, lineal y exponencial, en la tabla 8 se observa un decrecimiento de la población correspondiente a la cabecera municipal; que puede deberse a los jóvenes que salen del municipio en busca de oportunidades educativas y laborales.

Para la población futura del sector de las termas Agua Hirviendo se utilizó el método Geométrico (EC. 1) y una tasa de crecimiento poblacional del 0,04% correspondiente al periodo comprendido entre 2015 y 2017 del municipio de Puracé. (DANE).

La población del sector de las termas Agua Hirviendo para el año 2017 es de 118 habitantes.

$$Pf = 118 * (1 + 0,04)^{(2042-2017)}$$

$$Pf = 315 \text{ habitantes}$$

Por lo tanto, la población futura del sector correspondiente al año 2042 es de 315 habitantes.

3.2 OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA Y OBJETIVOS DE TRATAMIENTO

3.2.1 OBJETIVOS DE CALIDAD DE LA FUENTE RECEPTORA

Los objetivos de calidad de agua en municipios propuesto por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) basada en el modelo de Streeter and Phelps para la concentración de OD, SST y DBO en los ríos para el municipio de Puracé son:

- La concentración de OD deberá ser >6,5 mg/L
- La concentración de DBO deberá ser <2,5 mg/L
- La concentración de Solidos Suspendidos Totales SST deberá ser <30 mg/L

3.2.2 OBJETIVOS DE TRATAMIENTO

Basado en los datos típicos para agua residual domestica del libro TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES de Jairo Alberto Romero Rojas y los límites permisibles exigidos por la Resolución 631 del 2015 (ARTICULO 8) del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, se estimaron las eficiencias de remoción necesarias para el proyecto. (Ver tablas 9 y 10). Los límites máximos permisibles para las aguas residuales domésticas son los siguientes:

- Concentración de Solidos suspendidos totales en el efluente de agua residual tratada debe ser menos de 180 mg/L
- Concentración de DBO en el efluente de agua residual tratada debe ser menor de 90 mg/L

Tabla 9. Valores límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales (Artículo 8- Resolución 631 de 2015)

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES O BIFAMILIARES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD - ARnD) DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES, CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625,00 Kg/día DBO ₅
Generales			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO) ²	mg/L O ₂	200,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DB ¹ / ₅)	mg/L O ₂		90,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,00	90,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	20,00
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L		Análisis y Reporte
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L		Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno			
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L		Análisis y Reporte

Tabla 10. Eficiencias de remoción requerida según la Resolución 631 de 2015

Parámetro	Composición típica. (Rojas, 2004) mg/L	Límite máximo permisible (Resolución 631 de 2015) mg/L	Eficiencia requerida (%)
Sólidos suspendidos totales	200	180	10
DBO	200	90	55

Para cumplir con los límites máximos permisibles que exige la Resolución 631 de 2015 en el efluente de la STAR, se debería tener un efluente con valores máximos de 90 mg/L para DBO y 180 mg/L para SST.

Estas concentraciones se consideran muy altas para ser vertidas a una pequeña corriente superficial, máxime cuando aguas abajo de dicha descarga, existen usos paisajísticos y de turismo, por lo que a criterio se establece diseñar con una concentración de salida en el efluente tratado de 30 mg/L para SST y DBO que corresponde a una eficiencia de remoción del 85% como se observa en la tabla 11.

Tabla 11. Eficiencia requerida de tratamiento

Parámetro	Composición típica (Rojas, 2004) mg/L	Concentración de salida mg/L	Eficiencia requerida (%)
Sólidos suspendidos totales	200	30	85
DBO	200	30	85

En conclusión el porcentaje de remoción necesario para el tratamiento del agua residual debe ser 85% o porcentajes mayores.

3.3 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO

3.3.1 Tipos de tratamiento de aguas residuales

- a) **Tratamientos preliminares:** Estos permiten aumentar la efectividad en los procesos posteriores, tienen como objetivo remover objetos grandes y abrasivos. Entre las estructuras de tratamiento preliminar se caracterizan las rejillas o tamices, desarenadores y tanques de igualación u homogenización. Algunos de estos tratamientos se especifican en la tabla 12.

Tabla 12. Ventajas y desventajas de tratamientos preliminares (Fuente: Aguas Residuales Municipales- MMA)

Pretratamiento	Ventajas	Desventajas
Rejillas	Retención de sólidos gruesos y abrasivos indeseables. Mayor vida útil y de mantenimiento en otras estructuras.	Las rejillas mecánicas requieren mayor mano de obra calificada, no son recomendadas en plantas de tratamiento pequeñas.
Desarenadores	Retención de arenas abrasivas Facilita la digestión anaeróbica que requiere mayor mantenimiento en presencia de arenas.	Un mal diseño puede generar malos olores por depósito de material orgánico.
Tanques de homogenización	Permite regular caudales Evita la construcción de unidades de tratamiento de mayor dimensión para caudales pico. Homogenizan la concentración de sustancias nocivas a procesos.	Mayor requerimiento de mantenimiento para evacuar los sólidos sedimentados.

- Trampas de grasa

Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie, y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior. No lleva partes mecánicas y el diseño es parecido al de un tanque séptico. Recibe nombres específicos según al tipo de material flotante que vaya a removerse.

1. Domiciliar: Normalmente recibe residuos de cocinas y está situada en la propia instalación predial del alcantarillado.
2. Colectiva: Son unidades de gran tamaño y pueden atender conjuntos de residencias e industrias
3. En Sedimentadores: Son unidades adaptadas en los sedimentadores (primarios en general), las cuales permiten recoger el material flotante en dispositivos convenientemente proyectados, para encaminarlo posteriormente a las unidades de tratamiento de lodos. (Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000)

b) **Tratamientos Primarios:** Estos permiten remover principalmente los contaminantes sedimentables, algunos sólidos suspendidos y flotantes a través de procesos físicos y en algunos casos químicos. Pueden remover desde 40 a 55 % de los sólidos en suspensión (SST) y de 25 a 35 % de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Entre las estructuras de tratamiento primario se caracterizan los sedimentadores, los tanques de flotación, tanques Imhoff y tanques de precipitación química. La tabla 13 indica algunos de los tratamientos primarios.

Tabla 13. Ventajas y desventajas de tratamientos primarios (Fuente: Aguas Residuales Municipales- MMA)

Tratamiento primario	Ventajas	Desventajas
Sedimentadores primarios	<p>Permiten la remoción de un importante porcentaje de sólidos sedimentables (45%-55%).</p> <p>Facilitan el funcionamiento de tratamientos biológicos de compuestos orgánicos disueltos.</p>	<p>Requieren de un control, manejo y disposición adecuada de lodos sedimentados.</p> <p>En Plantas grandes se requiere de dispositivos mecánicos y bombes para evacuar sobrenadantes y lodos.</p>
Tamices	<p>Permiten una aceptable remoción de sólidos sin necesidad de grandes infraestructuras.</p>	<p>Requieren mayores costos energéticos.</p> <p>Personal especializado para mantenimiento.</p>
Tanques Imhoff	<p>No tienen partes mecánicas, por lo que son de fácil operación.</p> <p>Sin consumo energético</p> <p>No requiere personal especializado</p>	<p>Requiere mayor mantenimiento.</p>

- Tanque séptico

Son tanques generalmente subterráneos, sellados, diseñados y construidos para el saneamiento rural. Deben llevar un sistema de postratamiento. Remueven principalmente los sólidos sedimentables presentes en el agua residual y parcialmente la fracción de la materia orgánica, por eso siempre requiere de un postratamiento. Se recomiendan solamente para:

- ✓ Áreas desprovistas de redes públicas de alcantarillados.
- ✓ Alternativa de tratamiento de aguas residuales en áreas que cuentan con redes de alcantarillado locales.
- ✓ Retención previa de los sólidos sedimentables, cuando la red de alcantarillado presenta diámetros reducidos.
- ✓ No está permitido que les entre:
- ✓ Aguas lluvias ni desechos capaces de causar interferencia negativa en cualquier fase del proceso de tratamiento.
- ✓ Los efluentes a tanques sépticos no deben ser dispuestos directamente en un cuerpo de agua superficial. Deben ser tratados adicionalmente para mejorar la calidad del vertimiento.

c) Tratamientos secundarios: Estos permiten remover la materia orgánica soluble y suspendida fundamentalmente mediante procesos Biológicos (acción de microorganismos). Pueden remover hasta 85% de la DBO y de los Sólidos Suspendidos, además de cantidades variables de nitrógeno, fósforo, metales pesados y bacterias patógenas. Las estructuras de tratamiento secundario más comunes son: Lagunas de estabilización, Lodos activados convencionales y modificados, filtros percoladores y anaeróbicos, Reactores anaeróbicos de flujo pistón, UASB, Biodiscos, entre otros. Los tratamientos secundarios se indican en la tabla 14.

Tabla 14. Ventajas y desventajas de tratamientos secundarios (Fuente: Aguas Residuales Municipales- MMA)

Tratamientos secundarios	Ventajas	Desventajas
Procesos de lodos activados	<p>Baja generación de malos olores.</p> <p>Es un sistema que permite controlar diferentes calidades del afluente.</p> <p>Las variables de operación son conocidas y controlables.</p> <p>Requieren áreas moderadamente pequeñas.</p> <p>En aireación extendida (zanjas de oxidación) se generan menos lodos y hay nitrificación.</p> <p>Requiere infraestructura adicional de sedimentación.</p>	<p>Mayores costos operativos por el requerimiento de energía para suministrar oxígeno.</p> <p>Se genera un alto volumen de lodos que requieren un adecuado manejo y disposición.</p> <p>Requiere profesional especializado para operación</p> <p>Cuando la aireación es extendida (zanjas de oxidación) se requiere mayor área.</p>
Filtros percoladores	<p>Es un sistema aeróbico que no requiere de aireación superficial.</p> <p>Es de fácil operación y mantenimiento.</p> <p>Es un sistema menos costoso porque no requiere equipos de aireación.</p> <p>Requiere de infraestructura adicional de sedimentación.</p>	<p>Se obtienen remociones orgánicas más bajas.</p> <p>Requiere áreas más grandes.</p> <p>Potencial generación de olores.</p> <p>Baja generación de lodos.</p>
Biodiscos	<p>Requieren menos energía que los lodos activados.</p> <p>Es un sistema costoso en la inversión.</p>	<p>Requiere de personal especializado y mayor mantenimiento.</p> <p>Requiere grandes áreas en relación con lodos activados.</p>

(Continuación tabla 14) Ventajas y desventajas de tratamientos secundarios
(Fuente: Aguas Residuales Municipales- MMA)

Tratamientos secundarios	Ventajas	Desventajas
Lagunas de estabilización	<p>Fácil operación y mantenimiento.</p> <p>Bajos costos de operación, no requieren energía.</p> <p>Baja producción de lodos.</p>	<p>Requieren de grandes áreas para el tratamiento.</p> <p>En lagunas anaeróbicas se tiene un alto potencial de producción de malos olores</p> <p>Se pueden generar procesos de eutroficación.</p>
UASB (reactor anaeróbico de manto de lodos y flujo ascendente)	<p>Bajos consumos de energía.</p> <p>Se genera gas metano aprovechable energéticamente.</p> <p>Baja producción de lodos.</p> <p>Requiere un área relativamente baja.</p>	<p>El arranque y operación es más complejo.</p> <p>El manto de lodos es muy sensible a cambios operativos.</p> <p>Potencial alto de generación de olores.</p> <p>Requiere de personal especializado.</p>
Reactores RAP (reactor anaeróbico de flujo pistón)	<p>Requieren áreas menores en comparación con otros sistemas.</p> <p>Las remociones orgánicas no son tan altas.</p> <p>Bajos consumos de energía.</p>	<p>Se pueden generar malos olores.</p> <p>No se aprovecha el gas generado.</p>
Filtros anaerobios	<p>Son de fácil operación y mantenimiento.</p> <p>Requieren áreas menores en comparación con otros sistemas.</p> <p>Las remociones orgánicas no son tan altas.</p> <p>Bajos consumos de energía.</p> <p>Baja producción de lodos.</p>	<p>Se pueden generar malos olores.</p>

- Humedales contruidos de flujo sumergido

Los humedales deben localizarse aguas abajo de un tanque séptico. Para esto, debe hacerse una evaluación de las características del suelo, localización de cuerpos de agua, topografía, localización geográfica, líneas de propiedad y vegetación existente para localizar adecuadamente el humedal. Generan efluentes de muy buena calidad, pero requieren mucha área

- d) Tratamientos terciarios o avanzados:** Este permite el refinamiento de los efluentes del tratamiento secundario por medio de procesos más complejos de carácter fisicoquímico y biológico. Se busca por lo general remover los remanentes de nitrógeno, fosforo, orgánicos e inorgánicos disueltos y acondicionar los lodos procedentes de los tratamientos para su aprovechamiento o disposición final. El tratamiento y disposición de los lodos generados en los sistemas de tratamiento, son actualmente una prioridad en los procesos de descontaminación por los altos riesgos para el ambiente y la salud, es por ello que un sistema integral debe considerar su manejo, aprovechamiento y disposición controlada. La tabla 15 muestra las ventajas y desventajas de los tratamientos terciarios.

Tabla 15. Ventajas y desventajas de tratamientos terciarios (Fuente: Aguas Residuales Municipales- MMA)

Tratamientos terciarios	Ventajas	Desventajas
Espesamiento deshidratado Digestión de lodos Secado Incineración Compostaje	La digestión y deshidratado permite reducir el volumen generado. Puede ser utilizado o aprovechado cuando es alto el contenido de nutrientes y orgánico.	Los sistemas de manejo requieren de personal especializado. Se requiere de energía para digestión y deshidratado. La incineración no es viable en altos volúmenes y genera subproductos indeseables Los costos de disposición final son relativamente altos.

3.3.3 Criterios de selección

- Localización

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales se deben instalar en sitios por donde no transiten vehículos y no haya tránsito normal de personas ni animales; las condiciones del suelo deben ser estables.

Los tanques deben quedar semi enterrados o enterrados pero dejando la tapa a la vista y con fácil acceso para su inspección y mantenimiento. No deben quedar totalmente enterrados sin ningún tipo de sistema a la vista.

- Distancias mínimas

Las distancias mínimas para la instalación de un sistema de tratamiento de agua residual se muestran en la tabla 16.

Tabla 16. Distancias mínimas para la localización del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas con relación a puntos de referencia (Fuente: epm)

Referencia	Distancia Horizontal (metros)
Nivel máximo de la superficie del agua de una represa o lago	25.0
Corriente de río o arroyo	25.0
Pozo de agua o su tubería de succión	15.0
Red pública de abastecimiento de agua	3.0
Casa o sus dependencias	3.5
Límites de propiedad y árboles	3.0
Líneas divisorias de lotes	0.6
Piscina o charco	7.6

- Área

Como se mencionó anteriormente, en el sector de las termales Agua Hirviendo existe una limitante que es la disponibilidad de un lote para implementar el sistema de tratamiento de aguas residuales, por lo cual las alternativas de tratamiento viables serán aquellas que requieran menos área.

- Costos

La capacidad económica del sector del proyecto es baja, por lo cual se tendrá en cuenta para la selección, las alternativas que menor costo de inversión y operación requieran.

- Impacto ambiental

Debido a que la zona del proyecto está dentro de un sector turístico, se tendrá en cuenta las alternativas que generen menor impacto ambiental, en cuanto a generación de olores y subproductos.

3.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Como tecnología de tratamiento primario se eligió el tanque séptico ya que está recomendado en la norma RAS 2000 como alternativa de tratamiento en el origen.

Se analizó como alternativas de postratamiento para las aguas residuales domésticas el filtro anaerobio, lagunas y humedales construidos, ya que están recomendadas en la RAS 2000 como postratamiento en el origen, utilizando un “Análisis típico de promedio ponderado”, para ver las ventajas y desventajas de acuerdo a características como: costo de inversión, costo de operación y mantenimiento, área disponible para la instalación del sistema conjunto de tratamiento de aguas residuales domésticas, complejidad de la tecnología, producción de olores, producción de lodos y subproductos e impacto ambiental.

La tecnología de tratamiento de las aguas residuales domésticas apropiada para el sector será aquella que sea de menor costo de inversión, de operación y mantenimiento, aquella que ocupe la menor área; ya que no se dispone de un terreno amplio para la construcción e instalación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, aquella tecnología que genere baja producción de lodos y genere menos olores ya que es un lugar turístico, por último que genere el menor impacto ambiental posible. Para seleccionar la mejor alternativa se realizara un “análisis típico de promedio ponderado en el cual cada variable (V_i) tiene una importancia relativa de acuerdo a las condiciones del municipio, por tal razón establece:

- Una ponderación (P_i) para cada variable V_i .

- P_i se encuentra entre 0-1 y $\sum P_i = 1$

Se establece un rango de calificación (0-100, 0-1) para calificar cada variable V_i en relación con las condiciones del Municipio, y generar un promedio ponderado:

$$\text{Calificación tecnología} = \sum (V_i * P_i) \quad \text{EC. 7}$$

El mayor puntaje permitirá identificar la tecnología con mayores probabilidades de implementación y adecuada operación.” (AMBIENTE, 2002)

La evaluación para escoger la mejor alternativa de tratamiento de agua residual doméstica utilizando el análisis típico de promedio ponderado se muestra en las tablas 17,18 y 19.

Tabla 17. Calificación variable V_i

TECNOLOGÍA	CALIFICACIÓN VARIABLE V_i (0-100)						
	COSTO DE INVERSIÓN	COSTO DE OPERACIÓN	AREA	COMPLEJIDAD	OLORES	LODOS	IMPACTO AMBIENTAL
FILTRO ANÁEROBIO	50	100	100	100	25	100	75
LAGUNAS	75	100	0	100	25	75	25
HUMEDALES	100	100	0	100	100	100	100

Calificación 0: No conviene la tecnología.

Calificación 100: Si conviene la tecnología.

Tabla 18. Ponderaciones o importancia adoptadas para cada variable

SUMA $\Sigma P_i=1$	PONDERACIONES P_i (0-1) PARA CADA VARIABLE V_i						
	COSTO DE INVERSIÓN	COSTO DE OPERACIÓN	AREA	COMPLEJIDAD	OLORES	LODOS	IMPACTO AMBIENTAL
1	0,25	0,15	0,10	0,10	0,15	0,15	0,10

Tabla 19. Calificación parcial

TECNOLOGÍA	CALIFICACIÓN PARCIAL ($V_i \cdot P_i$)							SUMA TOTAL $\Sigma (V_i \cdot P_i)$
	Costo De Inversión	Costo De Operación	Área	Complejidad	Olores	Lodos	Impacto Ambiental	
FILTRO ANÁEROBIO	12,5	15,0	10,0	10,0	3,8	15,0	7,5	63,8
LAGUNAS	18,8	15,0	0,0	10,0	3,8	11,3	2,5	61,3
HUMEDALES CONSTRUIDO	25,0	15,0	0,0	10,0	15,0	15,0	10,0	90,0

Como conclusión de la aplicación de método de análisis de promedio ponderado se tiene que la mejor alternativa de tratamiento para las aguas residuales domésticas del sector de las termas, que se adaptan a las condiciones de menor área, menor costo de inversión, de operación y mantenimiento, menor producción de lodos, de olores y menor impacto ambiental es el humedal; sin embargo, la mayor limitante de la vereda es el área, la implementación de un humedal requiere áreas grandes, por lo cual es inapropiado, por ésta razón, el humedal se descarta y se elegirá la segunda alternativa que mejor se adapta a las condiciones del lugar, es decir, el filtro anaerobio. El filtro anaerobio tiene varias ventajas entre ellas que es de fácil operación y mantenimiento, requieren áreas menores en comparación con otros sistemas, bajos consumos de energía y baja producción de lodos.

3.5 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

Para la elección del sistema de tratamiento de las aguas residuales de las termas y las generadas en las viviendas aledañas se evaluarán dos alternativas con base en la norma RAS 2000. En la primera alternativa se recolectarían todas las aguas residuales generadas en el sector exceptuando las aguas residuales de las piscinas para tratarlas en una sola PTAR y en la segunda alternativa se considerarán sistemas individuales y un tratamiento conjunto que incluye las viviendas que no tienen lote y las aguas generadas en las termas exceptuando las piscinas.

Para los efluentes de lavados de piscinas, en razón a la gran diferencia en las características de las aguas residuales, inicialmente se proyectaría un tratamiento aparte de las aguas residuales domésticas; sin embargo, no se cuenta con área disponible para tratar el volumen de agua generado y además no fue posible realizar la caracterización de aguas, por lo que dichas aguas no se incluyeron en el proyecto.

3.5.1 Primera alternativa de tratamiento (STAR única)

Se recolectarán todas las aguas residuales provenientes de las viviendas, las cabañas y las del restaurante y de los baños de las termas Agua Hirviendo, para realizar un único tratamiento. Utilizando la tabla 20 se hará el cálculo de la contribución de aguas residuales del restaurante de las termas, los baños y las cabañas pertenecientes a las termas Agua Hirviendo, cuya contribución se encuentra en la tabla 21.

Tabla 20. Contribución de aguas residuales (tabla E.7.1- RAS 2000)

Predio	Unidades	Contribución de aguas residuales (C) y lodo fresco L _f (L / día)	
		C	L _f
Ocupantes permanentes			
Residencia			
<i>Clase alta</i>	persona	160	1
<i>Clase media</i>	persona	130	1
<i>Clase baja</i>	persona	100	1
Hotel (excepto lavandería y cocina)	persona	100	1
Alojamiento provisional	persona	80	1
Ocupantes temporales			
Fábrica en general	persona	70	0.30
Oficinas temporales	persona	50	0.20
Edificios públicos o comerciales	persona	50	0.20
Escuelas	persona	50	0.20
Bares	persona	6	0.10
Restaurantes	comida	25	0.01
Cines, teatros o locales de corta permanencia	local	2	0.02
Baños públicos	tasa sanitaria	480	4.0

Tabla 21. Contribución de aguas residuales de viviendas, restaurante, baños y cabañas de las termas

Predio	Unidades	Valor	Contribución de aguas residuales (tabla E.7.1 RAS 2000) (L/Día)	Contribución de aguas residuales (L/Día)
Restaurante	Comida	300	25	7500
Baños	Tasa sanitaria	11	480	5280
7 Cabañas(alojamiento provisional)	Personas	42	80	3360
30 VIVIENDAS	Total personas (Población futura)	315	100	31500
Contribución Total				47640

El caudal de diseño del sistema de tratamiento corresponde a la contribución total de la tabla 21, cuyo valor es de 47640 L/día (0,55L/s)

- Tren de tratamiento

Para el tratamiento en conjunto se eligió un tren de tratamiento que consta de rejillas, tanque séptico, seguido de un filtro anaerobio de flujo ascendente, el diagrama se muestra en la figura 12.

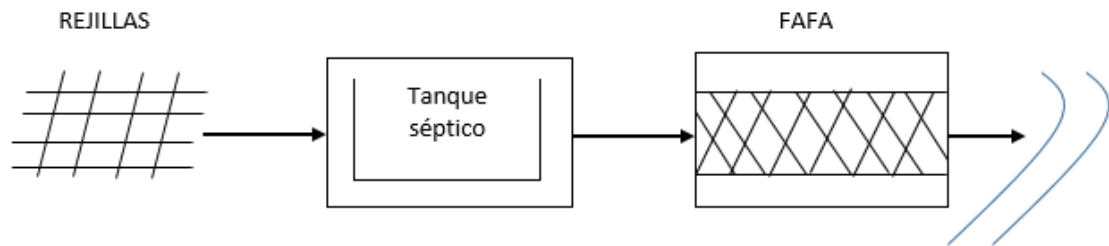


Figura 12 Tren de tratamiento de aguas residuales, alternativa 1.

- Diseño de rejillas

Para el diseño de rejillas se utilizaron las características de rejillas de barras del libro de Romero Rojas que se muestran en la tabla 22.

Tabla 22. Características de rejillas de barras (Fuente: Romero Rojas)

Característica	De limpieza manual	De limpieza mecánica
Ancho de barras	0,5 – 1,5 cm	0,5 – 1,5 cm
Profundidad de barras	2,5 – 7,5 cm	2,5 – 7,5 cm
Abertura o espaciamiento	2,5 – 5,0 cm	1,5 – 7,5 cm
Pendiente con la vertical	30° - 45°	0° - 30°
Velocidad de acercamiento	0,3 – 0,6 m/s	0,6 -1,0 m/S
Perdida de energía permisible	15 cm	15 cm

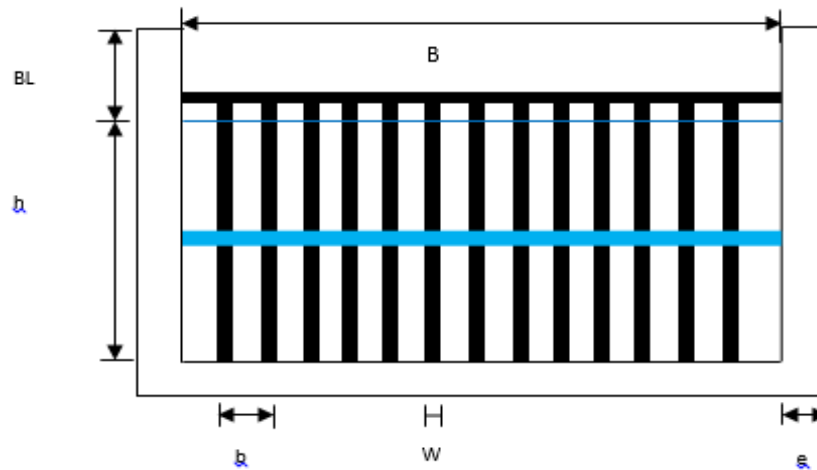


Figura 13. Sección transversal de las rejillas. Fuente: Propia

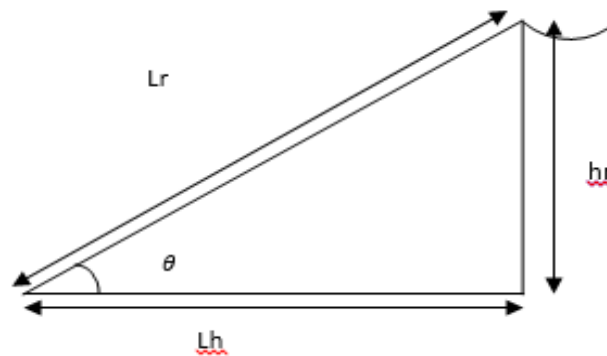


Figura 14. Vista en perfil de las rejillas. Fuente: Propia

Perdidas en rejillas

$$H = \beta (s/b)^{1,33} * \text{sen}\theta * \frac{v^2}{2g} \quad \text{EC. 8}$$

Dónde

H= Pérdida de energía (m)

β =Factor de forma de las barras

b=espaciamiento o separación mínimo entre barras (m)

s= ancho de las barras (m)

θ =ángulo de la rejillas con la horizontal.

V= velocidad de aproximación

La tabla 23 indica los coeficientes de pérdidas para rejillas, tomados de la norma RAS 2000.

Tabla 23. Coeficientes de pérdidas para rejillas (fuente: Tabla E.4.6 del RAS 2000)

Sección transversal							
Forma	A	B	C	D	E	F	G
β	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

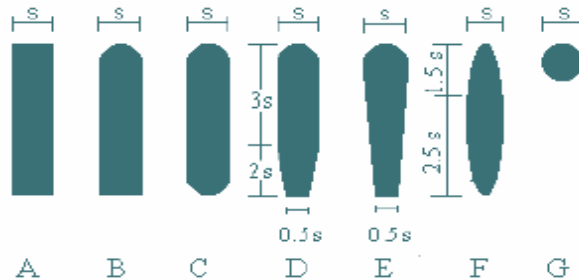


Figura 15. Diferentes formas de rejillas (Figura E.4.1 del RAS 2000)

Cálculo del área neta de flujo

$$A = \frac{Q}{V} \quad \text{EC. 9}$$

Dónde:

A= área neta de flujo (m²)

Q= Caudal (m³/s)

V= velocidad de acercamiento (m/s)

Cálculo de la altura de la lámina de agua

$$h = \frac{A}{B} \quad \text{EC. 10}$$

Dónde:

h = altura de la lámina de agua (m)

A = área neta de flujo (m^2)

B = ancho del canal (m)

Cálculo de la longitud de la rejilla

$$L = \frac{h}{\text{Sen}\theta} \quad \text{EC. 11}$$

Dónde:

L = longitud de la rejilla (m)

h = altura de la lámina de agua (m)

θ =pendiente con la vertical

Cálculo del número de barras

$$B = nb * w + (nb - 1) * b \quad \text{EC. 12}$$

Dónde

nb = número de barras

w = ancho de las barras (m)

b = espaciamiento entre barras (m)

B = ancho del canal (m)

La tabla 24 muestra el diseño de las rejillas.

Tabla 24. Diseño de las rejillas circulares de limpieza manual

Parámetro	Valor
Caudal (L/d)	47640
Caudal (m ³ /s)	5,51*10 ⁻⁴
Diámetro de barras (m)	0,02
W=Ancho de barras (m)	0,015
Profundidad de barras (m)	6
b= Abertura o espaciamiento (m)	0,04
θ =Pendiente con la vertical	45
V= Velocidad de acercamiento (m/s)	0,5
β	1,79
B= ancho del canal (m)	0,4
H=Perdida de energía (m)	4,4 *10 ⁻³
A= área (m ²)	1,1*10 ⁻³
h= Altura de la lámina de agua (m)	2,8*10 ⁻³
L= Longitud de la rejilla	3,9*10 ⁻³
nb=Número de barras	8
BL= borde libre (m)	0,15

- Diseño del tanque séptico

El diseño del tanque séptico se realizó utilizando la ecuación EC.13 y los valores de las tablas 25, 26 y 27 tomadas del RAS 2000. El diseño del tanque séptico para el tratamiento colectivo se muestra en la tabla 28.

$$Vu = 1000 + Nc (CT + KLf) \quad (\text{E.7.1 DEL RAS 2000}) \quad \text{EC.13}$$

Donde,

Nc: Número equivalente de contribuyentes= $47640/100=476$

C: contribución de aguas residuales (L/día)

T: Tiempo de retención (Día)

K: Tasa de acumulación de lodo

Lf: Contribución de lodo fresco (L/día)

Vu= Volumen útil del tanque séptico (L)

Debido a que la contribución diaria es de 47640 L, el tiempo de retención correspondiente según la tabla 25 es de 12 horas(0,5 días)

Tabla 25. Tiempos de retención (Tabla E.7.2- RAS 2000)

Contribución diaria (L)	Tiempo de retención (T)	
	días	horas
Hasta 1,500	1.00	24
De 1,501 a 3,000	0.92	22
De 3,000 a 4,500	0.83	20
4,501 a 6,000	0.75	18
6,001 a 7,500	0.67	16
7,501 a 9,000	0.58	14
mas de 9,000	0.50	12

En la tabla 26 se indican los valores de la tasa de acumulación de lodos, se asumió a criterio un intervalo de limpieza de 1 año, y debido a que la temperatura es de 16°C, la tasa de acumulación de lodos para el diseño es de 65.

Tabla 26. Valores de tasa de acumulación de lodos digeridos. (Tabla E.7.3- RAS 2000)

Intervalo de limpieza (años)	Valores de K por intervalo temperatura ambiente (t) en °C		
	$t \leq 10$	$10 \leq t \leq 20$	$t \geq 20$
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

La tabla 27 muestra los valores de profundidad útil, que se relacionan con el volumen útil de la unidad de tratamiento, para el tanque séptico el volumen útil fue 55,74 m³ (tabla 28), que es mayor a 10m³, por lo tanto, la profundidad útil es de 1,8.

Tabla 27. Valores de profundidad útil. (Tabla E.3.3- RAS 200)

Volumen útil (m ³)	Profundidad útil mínima (m)	Profundidad útil máxima (m)
Hasta 6	1.2	2.2
De 6 a 10	1.5	2.5
Más de 10	1.8	2.8

La tabla 28 muestra los resultados de diseño del tanque séptico.

Tabla 28. Diseño de tanque séptico para la STAR única.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Nc: Número de contribuyentes		476
Q: Caudal	L/día	47600
C: contribución de aguas residuales (tabla E.7.1)	L/día	100
T: Tiempo de retención (tabla E.7.2)	día	0,5
K: Tasa de acumulación de lodos (Tabla E.7.3)		65
Intervalo de limpieza	años	1
Temperatura	°C	16
Lf: Contribución de lodo fresco (tabla E.7.1)	L/día	1
Vu: Volumen útil del tanque Séptico	L	55740
Vu: Volumen útil del tanque Séptico	m ³	55,74
Hp: Profundidad útil (tabla E.3.3)	m	1,8
Área útil	m ²	31,0
Relación L/B		2,5
L: Longitud	m	8,80
B: ancho	m	3,52

- Diseño del filtro anaerobio

El diseño del filtro anaerobio se realizó utilizando la ecuación 14 y la profundidad útil de la tabla 27, el material de lecho filtrante a usar es el rosetón plástico, el cual “es un anillo con 20 cavidades fabricadas en polipropileno, material que garantiza la durabilidad y resistencia de hongos y bacterias, cuyo porcentaje de vacíos o porosidad de material es del 95%.” (TL INGEAMBIENTAL, Construcción y Consulta, 2017). Los datos del diseño del filtro se muestran en la tabla 29.

$$V = \frac{Q \cdot T}{n} \quad \text{EC. 14}$$

V= volumen del filtro anaerobio (L)

Q= caudal de aguas residuales (L/Día)

n= Porosidad del material

T= tiempo de retención (día)

Tabla 29. Diseño del filtro anaerobio

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Q: Caudal	L/día	47600
	m3/día	47,6
n (rosetón plástico)		0,95
Tiempo de retención	día	0,5
V: volumen filtro anaerobio	L	25052,63
	m3	25,05
Hp: Profundidad útil (tabla E.3.3)	m	1,8
Área útil	m2	13,92
Relación L/B		2,5
L: Longitud	m	5,90
B: Ancho	m	2,36

El área requerida por el tren de tratamiento sobrepasa el área del lote disponible, por lo cual se ve la necesidad de analizar otra alternativa para tratar las aguas residuales de éste sector. Es por ello que se diseña una segunda alternativa de tratamiento, que consta de tratamientos en el origen y un tratamiento conjunto.

3.5.2 Segunda alternativa de tratamiento

Se escogieron dos tipos de sistema para tratar las aguas residuales domésticas, tratamientos insitu y un tratamiento conjunto. Debido a la dispersión entre las viviendas aledañas a las Termas Agua Hirviendo, en la mayoría de las casas se diseñaron tratamientos insitu, es decir un sistema por cada vivienda y para algunas viviendas que tienen distancias cortas entre sí, se realizaron tratamientos insitu que agruparon hasta dos viviendas. Las viviendas que no tienen espacio para implementar un sistema de tratamiento, se trataron conjuntamente con las cabañas, los baños y el restaurante de las termas.

El número más común de habitantes por vivienda es de 1, 3 y 4 personas, como puede observarse en la figura 16. Teniendo en cuenta el número de habitantes por vivienda, se diseñaron dos modelos de tratamiento insitu, uno para viviendas con cuatro o menos habitantes, y el otro para viviendas con ocho o menos habitantes, para de esta manera asegurar una buena remoción de contaminantes.

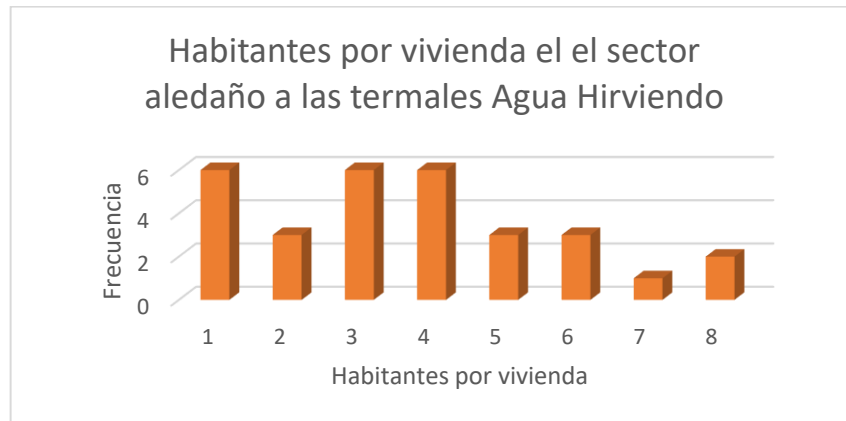


Figura 16. Número de habitantes por vivienda

3.5.2.1 Tratamiento in situ

Como se mencionó anteriormente el tratamiento in situ se diseñó para 4 o menos contribuyentes y para 8 y menos contribuyentes, la selección se indica en la tabla 30.

Tabla 30. Selección de modelos de tratamientos in situ

Nº de vivienda	Descripción	Nº de personas	modelo de tratamiento
1	Víctor Becerra	1	<=4
2	Pastora Melenje	1	<=4
3	No vive nadie,hacen quesos		<=4
4	Deisy Sauca	4	
5	Ismael Sauca	2	< = 8
6	William Sauca	5	<= 8
7	Rubén Bolaños	4	
8	Luz Ángela Sauca	1	<= 8
9	Ana Cacilla Becerra	8	<=8
10	Ana Patricia Becerra	4	<=4
11	Javier Avirama	3	<=4
12	Carlos Urrute	3	<=4
13	Venilda Urrute	3	<=4
17	Luz Avirama de Calambaz	1	<=4
19	Luz Avirama de Calambaz	1	
20	Dilmer Melenge Sauca	3	<=4
25	Hernando Sauca	7	<=8
29	Máximo Sauca	6	<=8
30	María Ángela Maca	2	<=4
31	José Bernal	4	
32	John Carlos Maca	3	<=8
33	Aida Lucia Sauca	8	<=8
34	Manuel Santos Hool	4	<=4
35	Hernando Mamian	2	<=4
15	Cabaña	6	
16	Cabaña	6	
18	Cabaña	6	<=8

*Nota: para la vivienda 3 (hacen quesos), como no vive nadie se asumirá el modelo de < = 4 habitantes, para las cabañas 15, 16 y 18 se asumió un modelo menor o igual a 8 personas debido a que son alojamientos temporales. Para un total de 12 modelos para <= 4 personas, y 9 para modelos <= 8 personas.

- Tren de tratamiento

Para el tratamiento in situ se diseñó un tanque séptico seguido de un filtro anaerobio, tal como se seleccionó anteriormente, la figura 17 muestra el tren de tratamiento.

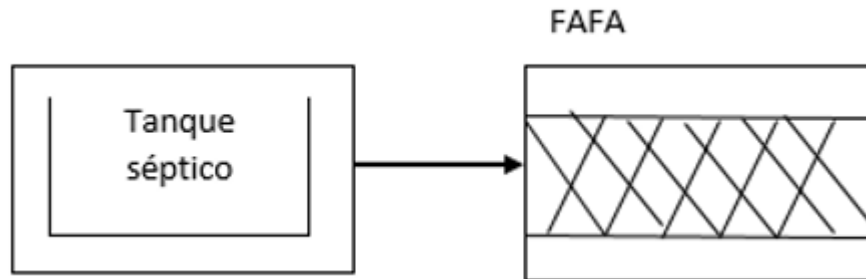


Figura 17. Tren de tratamiento

- Diseño del tratamiento in situ

- ✓ Tanque séptico

El diseño del tanque séptico se realizó utilizando la ecuación EC.13 y los valores de las tablas 21, 25, 26 y 27 . En la tabla 31 se muestra el diseño de un tanque séptico para los dos modelos del tratamiento in situ.

Tabla 31. Diseño del tanque séptico para el tratamiento in situ

PARÁMETRO	UNIDAD	Para 4 o menos contribuyentes	Para 8 o menos contribuyentes
		VALOR	VALOR
Nc: Número de contribuyentes		4	8
Q: Caudal	L/día	400	800
C: contribución de aguas residuales (tabla E.7.1)	L/día	100	100
T: Tiempo de retención (tabla E.7.2)	día	1	1
K: Tasa de acumulación de lodos (Tabla E.7.3)		65	65
Intervalo de limpieza	años	1	1
Temperatura	°C	16	16
Lf: Contribución de lodo fresco (tabla E.7.1)	L/día	1	1
Vu: Volumen útil del tanque Séptico	L	1660	2320
Vu: Volumen útil del tanque Séptico	m ³	1,66	2,32
Hp: Profundidad útil (tabla E.3.3)	m	1,2	1,2
Área útil	m ²	1,4	1,9
Relación L/B		2,5	2,5
L: Longitud	m	1,9	2,20
B: Ancho	m	0,74	0,88

✓ Filtro anaerobio

El diseño del filtro anaerobio se realizó utilizando la EC.14 y la profundidad útil de la tabla 27, el material filtrante es el rosetón plástico. En la tabla 32 se muestra el diseño de un filtro anaerobio para el tratamiento in situ

Tabla 32. Diseño del filtro anaerobio para el tratamiento in situ

PARÁMETROS	UNIDAD	Para 4 o menos contribuyentes	Para 8 o menos contribuyentes
		VALOR	VALOR
Contribución de agua residual		100	100
Número de contribuyentes	Personas	4	8
Q: Caudal	L/día	400	800
	m ³ /día	0,4	0,8
n% (rosetón plástico)		0,95	0,95
T: tiempo de retención hidráulico	Día	0,5	0,5
V: volumen filtro anaerobio	L	210,53	421,05
	m ³	0,21	0,42
Hp: Profundidad útil (tabla E.3.3)	M	1,2	1,2
Área útil	m ²	0,18	0,35
Relación L/B		2,5	2,5
L: Longitud	m	0,66	0,94
B: Ancho	m	0,26	0,37

3.5.2.2 Tratamiento conjunto

Debido a las limitaciones de espacio para construir el STAR, se diseñó un sistema de tratamiento conjunto, sólo para las viviendas cercanas a las termales, para las cuatro cabañas, los baños y el restaurante. La información correspondiente a las viviendas y cabañas que se trataran se muestra en la tabla 33.

Tabla 33. Información de las viviendas y cabañas que se trataran conjuntamente.

N.º de vivienda	Descripción	Nº de personas	Tipo de tratamiento
14	en construcción	4	Tratamiento conjunto
21	Emilse Martínez	5	
22	Higinio Martínez	3	
23	Jazmín Avirama	1	
24	Marta Elena Urrute	5	
26	Ana María Maca	6	
27	John Jairo Avirama	4	
28	Luis Bernal	6	
36	cabañas en las termales	6	
37	cabañas en las termales	6	
38	cabañas en las termales	6	
39	cabañas en las termales	6	
	Restaurante	*	
	Baños de las termales	*	
	TOTAL PERSONAS EXCEPTO LAS CABAÑAS	34	

*La contribución de aguas residuales para restaurantes y baños se muestra en la tabla 21

- Tren de tratamiento

Se eligió el mismo tren de tratamiento de la figura 17 para tratar las aguas residuales conjuntas.

- Diseño del tanque séptico

El diseño del tanque séptico se realizó utilizando la ecuación EC.13 y los valores de las tablas 21, 25, 26 y 27. El diseño del tanque séptico para el tratamiento conjunto se muestra en la tabla 34.

Tabla 34. Diseño de tanque séptico para el tratamiento conjunto

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Caudal de baños, restaurante y 4 cabañas Q1 (tabla 22)	L/día	14700
P1: personas incluidas en el tratamiento colectivo	Persona	34
Caudal de la P1	L/día	3400
P2: Población equivalente del Q1	L/día	147
Nec: Número equivalente de contribuyentes		181
Q: Caudal	L/día	18100
C: contribución de aguas residuales (tabla E.7.1)	L/día	100
T: Tiempo de retención (tabla E.7.2)	Día	0,5
K: Tasa de acumulación de lodos (Tabla E.7.3)		65
Intervalo de limpieza	Años	1
Temperatura	°C	16
Lf: Contribución de lodo fresco (tabla E.7.1)	L/día	1
Vu: Volumen útil del tanque Séptico	L	21815
Vu: Volumen útil del tanque Séptico	m ³	21,82
Hp: Profundidad útil (tabla E.3.3)	m	1,8
Área útil	m ²	12,1
Relación L/B		2,5
L: Longitud	m	5,50
B: Ancho	m	2,20

- Diseño del filtro anaerobio

El diseño del filtro anaerobio se realizó utilizando la EC.14, la profundidad útil de la tabla 27, el material filtrante usado fue rosetón plástico y se calculó el caudal total producido por las viviendas, cabañas, restaurante y baños de las termas, ver tabla 35.

Tabla 35. Diseño del filtro anaerobio para tratamiento conjunto

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
QT: Caudal total=(Q1+Q2)	L/día	18100
	m3/día	18,1
n% (rosetón plástico)		0,95
T: tiempo de retención hidráulico	día	0,5
V: volumen filtro anaerobio	L	9526,32
	m3	9,53
Hp: Profundidad útil (tabla E.3.3)	m	1,5
Área útil	m2	6,35
Relación L/B		2,5
L: Longitud	m	3,98
B: Ancho	m	1,59

Para la segunda alternativa de tratamiento se recomienda la instalación de sistemas integrados prefabricados, en la figura 19, se observa el esquema de un sistema séptico integrado y la tabla 36 indica las dimensiones y capacidades equivalentes para el diseño.

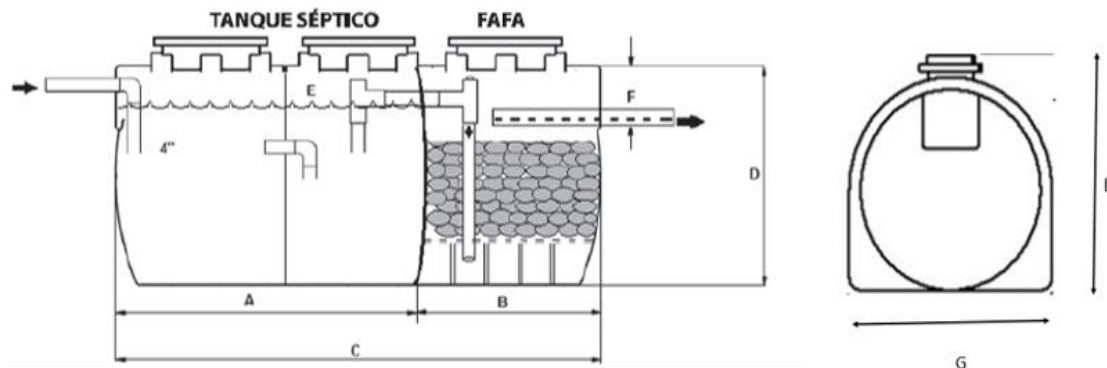


Figura 18. Sistema séptico integrado. Fuente: ROTOPLAST

Tabla 36. Capacidades y dimensiones del sistema séptico integrado

Número de contribuyentes	Volumen total del diseño (litros)	Volumen equivalente para el sistema integrado (litros)	Longitud total (cm) C	A (cm)	B (cm)	D (cm)	E (cm)	F (cm)	G(cm)
cuatro o menos	1871	2000	210	140	70	125	20	25	110
ocho o menos	2741	3000	230	139	91	150	20	25	135
conjunto	31341,3	35000	880	620	260	240	20	30	240

3.6 EFICIENCIAS DE TRATAMIENTO

Para el cálculo de la eficiencia de remoción del tanque séptico se utilizó la ecuación de Crites y Tchobanoglous y los valores de la tabla 37. (Tchobanoglous, 2000)

$$R = \frac{t}{a+bt} \quad \text{EC. 15}$$

R: % de remoción DBO y SST

t: tiempo de retención

a, b: constantes empírica

Tabla 37. Valores de las constantes a y b

PARAMETRO	a	B
DBO	0,018	0,020
SST	0,0075	0,014

Para el cálculo de la eficiencia de remoción de DBO del filtro anaerobio se utilizó la fórmula de Van Haandel y Lettinga (Comisión Nacional del Agua- MEXICO)

$$E = 100 * (1 - 0.87 * TRH^{-0.5}) \quad \text{EC. 16}$$

Dónde:

E = eficiencia de un filtro anaerobio, en por ciento

TRH = tiempo de residencia hidráulica, en horas

0.87 = coeficiente empírico del sistema

0.50 = exponente empírico del medio filtrante

Concentración de DBO esperada en el efluente

$$DBO e = DBO a - \frac{E \cdot DBO a}{100} \quad \text{EC. 17}$$

Dónde:

DBO e = DBO del efluente (mg/L)

DBO a = DBO del afluente (mg/L)

E: eficiencia de remoción (%)

Utilizando las ecuaciones 15, 16 y 17 se calcularon las eficiencias de remoción para los diferentes tratamientos, ver tabla 38

Tabla 38. Eficiencias de remoción para los tratamientos

EFICIENCIAS DE REMOCIÓN						
Tratamiento	Unidad De Tratamiento	Parámetro	Tiempo De Retención (Día)	Eficiencia De Remoción (%)	Concentración De Salida (Mg/L)	Eficiencia De Tren De Tratamiento (%)
TRATAMIENTO UNICO						
STAR UNICA	Tanque séptico	DBO	12	46,5	107	87
		SST		68,4	63,2	
	Filtro anaerobio	DBO	12	75	26,75	
TRATAMIENTOS IN SITU						
Tratamiento para 4 o menos contribuyentes	Tanque séptico	DBO	24	48,2	103,6	87
		SST		70	60	
	Filtro anaerobio	DBO	12	75	25,9	
Tratamiento para 8 o menos contribuyentes	Tanque séptico	DBO	24	48,2	103,6	87
		SST		70	60	
	Filtro anaerobio	DBO	12	75	25,9	
TRATAMIENTO CONJUNTO						
conjunto	Tanque séptico	DBO	12	46,5	107	87
		SST		68,4	63,2	
	Filtro anaerobio	DBO	12	75	26,75	

Como se indicó en la tabla 11, las eficiencias de remoción requerida para los Sólidos Suspendidos Totales y la DBO deben ser mayores o iguales al 85%, en contraste con las eficiencias de remoción calculadas para los sistemas diseñados se concluye que cumple con los porcentajes de remoción requeridos, ya que éstas arrojaron valores del 87% como se muestra en la tabla 38.

4 ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS

4.1 PRIMERA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO

4.1.1 STAR única

El sistema único de tratamiento de agua residual trataría todas las aguas producidas por las viviendas incluidas en el proyecto y aguas residuales de las termas Agua Hirviendo exceptuando las piscinas. Este sistema no se puede realizar porque no hay un lote disponible con el área y características necesarias.

4.2 SEGUNDA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO

4.2.1 Sistemas de tratamiento in situ

Los sistemas de tratamiento individual se diseñaron para cuatro o menos contribuyentes y para ocho o menos contribuyentes. Estos sistemas de tratamiento pueden ayudar a disminuir un poco la contaminación sobre la quebrada y pueden instalarse en las viviendas especificadas en la tabla 30. Se recomienda el uso de unidades prefabricadas.

4.2.2 Tratamiento conjunto

En el tratamiento conjunto se tratarían las aguas residuales provenientes de los baños, restaurante y cabañas de las termas, y las aguas residuales de las viviendas que no cuentan con área para instalar un sistema de tratamiento.

El lote disponible para la instalación de este sistema de tratamiento se muestra en la figura 11. Este lote no cuenta con las condiciones necesarias para implementar este sistema ya que es un lote por el que transitan personas debido a que es un lugar turístico, además de que no cumple con las distancias mínimas especificadas en la tabla 16. El lote está aproximadamente de 3 a 4 metros de la quebrada, cerca de árboles y de límites de propiedad, además de la cercanía a las piscinas. Este lugar no es adecuado porque podría generarse malos olores durante el proceso de tratamiento, cuando se le realice limpieza y se haga extracción de lodos, además de que no se cuenta con un lugar para secar o disponer de forma correcta los lodos generados y lo anterior podría ser molesto para los turistas y visitantes de las termas.

Por lo anterior esta no es una alternativa viable y se recomienda estudiar otras alternativas como la del lote a 300 m aguas abajo, para solucionar este problema de vertimientos.

5 INSTRUCCIONES DE MANEJO Y MANTENIMIENTO

Las instrucciones de manejo y mantenimiento de los sistemas integrados de tratamiento de agua residual están especificadas en los manuales del fabricante.

Algunos aspectos importantes para el manejo y mantenimiento se describen a continuación:

- Algunas de las opciones para disposición del efluente final son el riego, la infiltración en el terreno la cual se realiza por medio de pozos de absorción o campos de infiltración y también se pueden verter sobre un cuerpo de agua siempre y cuando no haya captaciones cercanas.
- Los sistemas integrados son diseñados para ser instalados enterrados o semi enterrados, dejando sólo por fuera del hueco la parte del tanque que queda sin agua y con la tapa a la vista o con fácil acceso para su inspección y mantenimiento. El tubo de salida del agua, no debe quedar en ningún momento de funcionamiento o de mantenimiento por debajo del nivel freático, pues esto puede hacer flotar el tanque o deformarlo, además el agua freática se devuelve por el tubo de salida y diluye el agua del sistema séptico bajando su eficiencia
- Para el mantenimiento se deben seguir las especificaciones del fabricante.

6 CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño para tratar las aguas residuales provenientes de las viviendas y de las termales; exceptuando la de las piscinas, con el fin de disminuir la contaminación sobre la quebrada. El sistema que se propuso consta de un tanque séptico y un filtro anaerobio.
- Por la ubicación y dispersión de las casas, se diseñaron sistemas de tratamiento en el origen para 24 viviendas y 3 cabañas ubicadas aguas arriba de la Quebrada antes de las Termales. Para el sector aledaño a las Termales, que comprende 4 cabañas, 8 viviendas, el restaurante, vestiers y salón de juegos se diseñó un sistema de tratamiento conjunto.
- La tecnología seleccionada consistió en un tratamiento primario con tanque séptico y tratamiento secundario con Filtro Anaerobio, diseñados bien sea en concreto, con geometría rectangular o alternativamente en sistemas prefabricados disponibles en el comercio.
- Los objetivos de tratamiento adoptados, no fueron los de la norma Resolución 631 del 2015, si no unos mucho más exigentes, debido al entorno paisajístico y ambiental del lugar, además del uso del agua recreativo, que surte la Hostería Confandi, ubicada aguas debajo de la descarga de las termales.
- Se propuso una alternativa de tratamiento de agua residual en el origen para las viviendas más alejadas y con disponibilidad de terreno para la implementación de un sistema de tratamiento individual y entre dos viviendas.
- No se pudo disponer de información de monitoreo de calidad del agua en la fuente receptora, como tampoco de los vertimientos de lavados de piscinas ni domésticos, porque el Cabildo de Kokonuco, nunca respondió a la solicitud de los pasantes, para pagar por los servicios de laboratorio de la CRC. Por esta razón, sólo se pudo completar los diseños de las PTAR Domésticas, con base en cargas presuntivas.
- En el lote de las Termales, existen grandes limitantes de espacio, que obligan a pensar en la reubicación de la PTAR diseñada. No se recomienda la instalación del sistema de tratamiento conjunto porque quedaría muy cerca a las piscinas y puede generar malos olores y la extracción de lodos sería molesta para los visitantes de este lugar turístico.

7 RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar la reubicación de la PTAR diseñada, al predio ubicado aguas abajo, para no generar molestias en la zona recreativa.
- Se recomienda también, caracterizar efluentes de las piscinas y diseñar algún sistema de control de contaminación independiente a las aguas residuales domésticas.

BIBLIOGRAFÍA

- AMBIENTE, M. D. (2002). *GESTIÓN PARA EL MANEJO, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES*. COLOMBIA: FOTOLITO AMERICA LTDA.
- CLIMATE-DATA.ORG. (2012). *DATOS CLIMATICOS GLOBALES*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/location/463096/>
- COCONUCO, A. M. (2016). *PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL DE PURACÉ*. COCONUCO.
- Comisión Nacional del Agua- MEXICO . (s.f.). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente*. MÉXICO DF.
- CONSEJO MUNICIPAL PARA LA GESTION DEL RIESGO DE DESASTRES CMGRD. (2012). *PLAN MUNICIPAL DE GESTION DEL RIESGO DE DESASTRES*. COCONUCO- PURACÉ .
- DANE . (2005). *COLOMBIA.PROYECCIONES DE POBLACIÓN DEPARTAMENTALES POR ÁREA (2005-2020)*.
- DANE . (2005). *RESULTADOS CENSO GENERAL 2005*. COLOMBIA .
- EPM. (2014). *NORMAS Y ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN- TANQUES SÉPTICOS CON FILTRO ANAEROBIO PREFABRICADOS CON POLIETILENO*.
- (2001). *ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE PURACÉ- COCONUCO*. PURACÉ- COCONUCO.
- Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico . (2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENYO BÁSICO- RAS 2000. TÍTULO A- ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO* . BOGOTÁ .
- Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS-2000. TÍTULO E - TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. CUNDINAMARCA, BOGOTÁ.
- Ministerio de Medio Ambiente . (2002). *Gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales* .
- Ministerio de Medio Ambiente. (2002). *Guía ambiental para la formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales* . Colombia .

- MONTES, R. R. (2009). DISMINUCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE ORGÁNICA DEL EFLUENTE DE LAS CÁMARAS SÉPTICAS UTILIZADAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LA CIUDAD DE SANTA CRUZ DE LA SIERRA. *SCIELO*, 7, 14- 23.
- MUNICIPIO DE PURACÉ . (2001). *ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE PURACÉ- COCONUCO*. PURACÉ- COCONUCO.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD- ÁREA DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL . (2005). *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TANQUE SÉPTICO, TANQUE IMHOFF Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN*. LIMA- PERÚ .
- Puracé, M. d. (2012). *CONSEJO MUNICIPAL PARA LA GESTION DEL RIESGO DE*. CAUCA.
- Rojas, J. A. (2004). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: TEORÍA Y PRINCIPIOS DE DISEÑO* . BOGOTÁ: ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA .
- Suematsu, I. G. (1995). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES; OBJETIVOS Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS* .
- Tchobanoglous, C. y. (2000). *Tratamiento de aguas residuales* .
- TL INGEAMBIENTAL, Construcción y Consulta. (2017). Obtenido de www.tlingeambiente.com/servicios/roseton-para-tratamiento-de-aguas-residuales

ANEXO A. Información de las viviendas y cabañas aledañas a las termales Agua Hirviendo

Información de las viviendas y cabañas aledañas a las termales Agua Hirviendo

N°	N	W	ALTURA (msnm)	Descripción	N° de personas
1	2°19' 42,2"	076° 29' 18,1"	2638	Víctor Becerra	1
2	2°19' 40,6"	076° 29' 18,4"	2646	Pastora Melenje	1
3	2°19' 38,7"	076° 29' 17,5"	2681	No vive nadie, hacen quesos	4
4	2°19' 39,2"	076° 29' 20,1"	2668	Deisy Sauca	4
5	2°19' 39,4"	076° 29' 20,4"	2666	Ismael Sauca	2
6	2°19' 39,1"	076° 29' 19,1"	2669	William Sauca	5
7	2°19' 42,9"	076° 29' 19,9"	2646	Rubén Bolaños	4
8	2°19' 43,1"	076° 29' 20,2"	2650	Luz Ángela Sauca	1
9	2°19' 43,2"	076° 29' 18,5"	2649	Ana Cacilia Becerra	8
10	2°19' 43,8"	076° 29' 18,5"	2642	Ana Patricia Becerra	4
11	2°19' 43,7"	076° 29' 17,5"	2645	Javier Avirama	3
12	2°19' 42,2"	076° 29' 16,9"	2661	Carlos Urrute	3
13	2°19' 41,4"	076° 29' 14,7"	2668	Venilda Urrute	3
14	2°19' 45,4"	076° 29' 19,7"	2630	en construcción	4
15	2°19' 44,2"	076° 29' 21,8"	2637	Cabaña	6
16	2°19' 43,9"	076° 29' 21,7"	2637	Cabaña	6
17	2°19' 42,8"	076° 29' 21,8"	2652	Luz Avirama de Calambaz	1
18	2°19' 43,7"	076° 29' 21,0"	2651	Cabaña	6
19	2°19' 45,4"	076° 29' 22,3"	2631	Luz Avirama de Calambaz	1
20	2°19' 47,0"	076° 29' 25,0"	2629	Dilmer Melenge Sauca	3
21	2°19' 46,2"	076° 29' 22,3"	2628	Emilse Martínez	5
22	2°19' 46,0"	076° 29' 22,0"	2626	Higinio Martínez	3
23	2°19' 45,8"	076° 29' 21,7"	2626	Jazmín Avirama	1
24	2°19' 45,7"	076° 29' 18,5"	2622	Marta Elena Urrute	5
25	2°19' 45,3"	076° 29' 17,9"	2628	Hernando Sauca	7
26	2°19' 46,1"	076° 29' 19,6"	2630	Ana María Maca	6
27	2°19' 47,8"	076° 29' 20,0"	2629	John Jairo Avirama	4
28	2°19' 49,8"	076° 29' 23,3"	2623	Luis Bernal	6
29	2°19' 51,0"	076° 29' 23,0"	2627	Máximo Sauca	6

N°	N	W	ALTURA (msnm)	Descripción	N° de personas
30	2°19' 54,4"	076° 29' 26,1"	2638	María Ángela Maca	2
31	2°19' 55,5"	076° 29' 27,5"	2642	José Bernal	4
32	2°19' 56,4"	076° 29' 27,4"	2641	John Carlos Maca	3
33	2°19' 56,2"	076° 29' 30,2"	2635	Aida Lucia Sauca	8
34	2°19' 53,8"	076° 29' 27,7"	2628	Manuel Santos Hool	4
35	2°19' 49,6"	076° 29' 27,1"	2628	Hernando Mamian	2
36	02°19'46.7"	076°29'20.8"	2624	cabañas en las termales	6
37	02°19'46.3"	076°29'20.5"	2623	cabañas en las termales	6
38	02°19'46.5"	076°29'20.7"	2623	cabañas en las termales	6
39			2623	Cabaña en las termales	6
				Total habitantes excepto las cabañas	118

Nota: Se asumirá 6 personas por cabaña que corresponde al máximo de visitantes que se hospedan en ellas y 4 personas para la vivienda en construcción y donde hacen quesos, debido a que en ésta vivienda no habitan personas; sin embargo hay baterías sanitarias con servicio de acueducto. Por lo anterior se tendrá en cuenta para el proyecto la vivienda donde hacen quesos.

ANEXO B. Carta de solicitud del proyecto por parte del Resguardo Indígena de Kokonuco.

ANEXO C. Carta de solicitud al Departamento de Ingeniería Ambiental para el estudio del proyecto.

ANEXO D. Carta de aceptación del presupuesto por parte del Resguardo.

