

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del catálogo en línea, página web y Repositorio Institucional del CRAI-USTA, así como en las redes sociales y demás sitios web de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

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

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

Diseño de un sistema de captación, almacenamiento y readecuación de las aguas pluviales para
el Hotel Alejandría Resort, en el municipio de San Gil, Santander

Diego Andrés Calderón Bautista

Lizandro Rivera Quintero

Trabajo de grado para optar por el título de Magíster en Ciencias y Tecnologías Ambientales

Director

David Gutiérrez Serrano. MBA, ing.

Docente Facultad de Ingeniería Civil

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Química Ambiental

2019

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen.....	11
Abstract	12
1. Introducción	13
1.1 Justificación	17
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo General.....	19
1.2.2 Objetivos específicos	20
2. Marco referencial	20
2.1 Marco Teórico.....	24
2.1.1 Parámetros de seguimiento al agua potable.	24
2.1.2 Procesos para la potabilización del agua.	25
2.1.3 Cálculo de las variables que intervienen en el dimensionamiento de las estructuras físicas del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias.	29
2.2 Marco Conceptual	39
2.2.1 Aprovechamiento de aguas lluvias.	39
2.2.2 Sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias.	40
2.2.3 Ventajas del aprovechamiento de aguas lluvias.	41
2.2.4 Desventajas del aprovechamiento de aguas lluvias.	42
2.2.5 Calidad de las aguas lluvias.	43
2.3 Marco Legal	43

3. Método	44
3.1 Cálculo del área potencial de captación y oferta de agua	45
3.2 Recolección de los datos de registro de las estaciones pluviométricas	46
3.3 Caracterización Fisicoquímica y Microbiológica de las muestras de agua pluvial	47
3.4 Pruebas de tratabilidad del agua pluvial colectada	49
3.4.1 Adecuación de pH y alcalinidad para floculación, sedimentación y filtración.....	50
3.4.2 Mezcla con agua fluyente empleada en el Hotel Alejandría Resort.	50
3.5 Dimensionamiento del sistema de captación, manejo y aprovechamiento de aguas lluvias ..	51
4. Resultados	51
4.1 Cálculo del área potencial de captación de las estructuras encontradas en el Hotel Alejandría Resort	51
4.2 Cálculo de la oferta de agua pluvial a partir de la información reportada en las estaciones pluviométricas.....	54
4.3 Análisis de propiedades fisicoquímica y microbiológica las muestras de agua pluvial para establecer su nivel de IRCA.....	56
4.4 Ensayos de tratabilidad del agua pluvial colectada para definir los procesos requeridos según lo estipulado en la Resolución 2115 de 2007.....	61
4.5 Dimensionamiento del sistema de captación, manejo y aprovechamiento de aguas lluvias del Hotel Alejandría Resort	69
4.5.1 Estimación de la línea de conducción y de impulsión de agua lluvia.....	70
4.5.2 Tanque de lavado de primeras aguas.	71
4.5.3 Tanque de almacenamiento primario TKM.	73
4.5.4 Dimensionamiento del sistema de bombeo.....	84

4.5.5 Dimensionamiento del floculador Alabama.	84
4.5.6 Dimensionamiento de un sedimentador de placas paralelas.	87
5. Conclusiones.....	88
Referencias bibliográficas.....	90
Apéndices.....	101

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Parámetros mínimos y frecuencias mínimas de seguimiento de calidad de agua</i>	25
Tabla 2. <i>Tipos de medición de caudal</i>	25
Tabla 3. <i>Tipos de mezcladores</i>	26
Tabla 4. <i>Tipos dosificadores para coagulación</i>	26
Tabla 5. <i>Tipos de Unidades de Floculación</i>	27
Tabla 6. <i>Caudal unitario y diámetro para dimensionamiento de aportes de caudal</i>	32
Tabla 7. <i>Marco legal aplicable</i>	44
Tabla 8. <i>Parámetros sujeto de caracterización de agua pluvial</i>	48
Tabla 9. <i>Puntos de toma de muestra de agua pluvial en el municipio de San Gil</i>	49
Tabla 10. <i>Resumen de áreas correspondientes a las torres útiles para el Proyecto</i>	53
Tabla 11. <i>Caracterización Fisicoquímica de las muestras de agua pluvial recolectadas en los puntos concertados</i>	58
Tabla 12. <i>Cálculo del índice de riesgo asociado a la calidad del agua IRCA</i>	59
Tabla 13. <i>Ensayos de clarificación de agua lluvia captada en el hotel Alejandría resort mediante dosificación de sulfato de aluminio tipo B en agua 100% pluvial sin corrección previa de pH.</i> 65	
Tabla 14. <i>Ensayos de clarificación de agua lluvia mezclada con agua superficial empleada en el hotel a razón de 1:5 en el hotel Alejandría resort mediante dosificación de sulfato de aluminio tipo B en agua 100% pluvial sin corrección previa de pH</i>	66
Tabla 15. <i>Ensayos de clarificación de agua lluvia mezclada con agua superficial empleada en el hotel a razón de 1:5 en el hotel Alejandría resort mediante dosificación de sulfato de aluminio</i>	

<i>tipo B en agua 100% pluvial con corrección previa de pH mediante la adición de 35mg/l de CaCO_3</i>	67
Tabla 16. <i>Ensayos de clarificación y filtración mediante dosificación de sulfato de aluminio tipo B en muestra compuesta por 20% agua pluvial y 80% agua de escorrentía superficial natural y arrastre por filtro de tamaño efectivo (Te) 35 mm compuesto por arena y grava 65/35, con corrección previa de pH</i>	68
Tabla 17. <i>Tramos longitudes y accesorios de las líneas de conducción e impulsión de aguas lluvias</i>	71
Tabla 18. <i>Relación de variables para el cálculo de la demanda de agua en el hotel Alejandría</i>	74
Tabla 19. <i>Relación de precipitación, oferta, oferta acumulada, demanda meta parcial y demanda meta acumulada</i>	74
Tabla 20. <i>Cálculo de volumen teórico de almacenamiento de agua lluvia definido y ahorro</i>	75
Tabla 21. <i>Cálculo de volumen real de almacenamiento de agua lluvia y su % de cobertura de demanda</i>	76
Tabla 22. <i>Relación de variables y cálculos teóricos de un sistema almacenamiento de agua lluvia con la condiciones de oferta y demanda total del Hotel Alejandría Resort</i>	77
Tabla 23. <i>Relación de variables y cálculos teóricos de un sistema almacenamiento de agua lluvia con la condiciones de oferta y demanda meta del hotel Alejandría resort.</i>	78
Tabla 24. <i>Relación de variables y cálculos reales de un sistema almacenamiento de agua lluvia con la condiciones de oferta y demanda meta del hotel Alejandría resort</i>	79
Tabla 25. <i>Resumen de variables de dimensionamiento del sistema de bombeo</i>	84
Tabla 26. <i>Resumen parámetros de diseño floculador Alabama</i>	85
Tabla 27. <i>Resumen parámetros de diseño sedimentador rectangular de alta tasa</i>	87

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Proceso ilustrativo del inicio floculación.....	27
<i>Figura 2.</i> Esquema de un sedimentador mantos pulsantes	28
<i>Figura 3.</i> Filtración de lecho	29
<i>Figura 4.</i> Etapas del Sistema de aprovechamiento de aguas lluvias	40
<i>Figura 5.</i> Esquematzación de las etapas de un SAAL.....	41
<i>Figura 6.</i> Estructura metodológica secuencial.....	45
<i>Figura 7.</i> Áreas de captación para tres tipos diferentes de techos.....	45
<i>Figura 8.</i> Algoritmo de depuración de datos pluviométricos de las estaciones y 24027010 y 24027040.....	47
<i>Figura 9.</i> Mapa de vista satelital de la ubicación del Hotel Alejandría Resort respecto al municipio de San Gil.....	52
<i>Figura 10.</i> Fotografía aérea del Hotel Alejandría Resort	53
<i>Figura 11.</i> Esquema y vistas de un techo a dos aguas	54
<i>Figura 12.</i> Precipitación promedio durante el intervalo de tiempo estudiado en el área de influencia (mm de H ₂ O/mes).....	55
<i>Figura 13.</i> Fotografía satelital de San Gil con sus respectivas marcas en los puntos de muestreo	57
<i>Figura 14.</i> Procesos en la planta de tratamiento de agua del Hotel Alejandría Resort	63
<i>Figura 15.</i> Caseta de almacenamiento de agua tratada y agua cruda	63
<i>Figura 16.</i> Sistema primario de filtración multipunto	64

<i>Figura 17. Sistema de preparación y dosificación de floculante.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 18. Vista general de la PTAP del Hotel Alejandría Resort. Filtración multipunto (A) Sistema de sedimentación de flujo ascendente (B) Tanque de preparación de solución desinfectante (C)</i>	<i>64</i>
<i>Figura 19. Esquema de composición de estructuras del SAAL para el Hotel Alejandría Resort</i>	<i>69</i>
<i>Figura 20. Plano de vistas generales del Hotel Alejandría Resort Fuente: Autores.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 21. Esquema interceptor de primeras aguas.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 22. Comportamiento de la oferta total vs la demanda total en el Proyecto de SAAL para el hotel Alejandría resort.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 23. Comportamiento de la oferta total vs la demanda Meta en el Proyecto de SAAL para el Hotel Alejandría Resort</i>	<i>81</i>
<i>Figura 24. Comportamiento del potencial teórico de ahorro de agua sobre la demanda total PPWS en un periodo anual para el Proyecto de SAAL para el Hotel Alejandría Resort.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 25. Comportamiento del potencial de ahorro real de agua sobre la meta total PPWSr en un periodo anual para el Proyecto de SAAL para el Hotel Alejandría Resort</i>	<i>83</i>
<i>Figura 26. Vista de perfil longitudinal del floculador Alabama propuesto para el tratamiento...</i>	<i>85</i>
<i>Figura 27. Vista superior de planta del floculador Alabama propuesto para el tratamiento</i>	<i>86</i>
<i>Figura 28. Vista frontal de las cámaras del floculador Alabama propuesto para el tratamiento .</i>	<i>86</i>
<i>Figura 29. Vista superior de planta del sedimentador propuesto para el tratamiento</i>	<i>87</i>
<i>Figura 30. Vista de perfil longitudinal del sedimentador propuesto para el tratamiento</i>	<i>88</i>

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Cálculos sistema de bombeo.....	101
Apéndice B. Determinación de pH en el laboratorio y campo SM-4500H+B	112
Apéndice C. Determinación de color aparente SM-2120 B	115
Apéndice D. Determinación de turbidez SM 2130 B	119
Apéndice E. Determinación de aluminio (cianuro ericromo R) SM 3500Al B.....	121
Apéndice F. Determinación de sulfatos en agua por el método nefelométrico TP0095-IDEAM	127
Apéndice G. Determinación de Escherichia coli y coliformes totales en agua por el método de filtración por membrana en agar Chromocult- TP0314-IDEAM	131
Apéndice H. Plano vistas generales del Hotel Alejandría Resort.....	139
Apéndice I. Procedimiento del diseño hidráulico	139
Apéndice J. Plano de vistas y detalle del floculador Alabama	152
Apéndice K. Cálculo y dimensionamiento del sedimentador de alta tasa.	152
Apéndice L. Plano de vistas y detalle del sedimentador de flujo	154

Resumen

Los sistemas de aprovechamiento del agua lluvia (SAAL) se emplean como una alternativa sostenible para mejorar el balance de agua, la huella hídrica y disminuir los costos económicos asociados al gasto del líquido en un sistema definido. En este proyecto se presenta el diseño de un SAAL para el hotel Alejandría Resort localizado en el municipio de San Gil, Santander, con el fin de suplir el déficit de agua potable en dicho establecimiento. Para ello, se empleó la metodología del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS, compuesta de tres frentes de trabajo; 1) Cálculo de áreas útiles de captación, 2) Cálculo de la oferta de agua pluvial y 3) Dimensionamiento de unidades volumétricas de almacenamiento. Adicionalmente, se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua empleando métodos estandarizados para análisis de agua, con el objetivo de calcular el índice de riesgo asociado a la calidad del agua - IRCA. Este procedimiento, permitió establecer los resultados que, según los mecanismos de análisis, se requiere de la implementación de un tratamiento adicional de adecuación y seguridad para el consumo humano, en cumplimiento con la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. El diagnóstico de estructuras físicas permitió definir que el Hotel cuenta con un área total de 2066.34 m² aprovechable para la captación del agua y mediante estadística pluviométrica, se consolidó una oferta pluvial promedio anual para la zona de interés de 1185.5 mm de lluvia/m², condición que justifica la implementación del SAAL y dar la solución que requiere dicho establecimiento.

Palabras Clave: Captación de agua lluvia, balance hídrico, esorrentía de techo, calidad del agua lluvia.

Abstract

Rainwater harvesting systems (RHS) are used as a sustainable alternative to improve the water balance, the water footprint and reduce the economic costs associated with the expenditure of the liquid in the system. This document presents the design of RHS on the Alejandría Resort hotel, placed on San Gil, Santander, to supply the drinking water deficit. For it, the methodology of the Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS was used, which implements three work fronts: the calculation of useful catchment areas, calculation of the supply of rainwater and the dimensioning of volumetric storage units. Additionally, a physicochemical and microbiological characterization was carried out using standardized methods for water analysis in order to calculate the risk index associated with RWQ water quality. The results suggest that the efficiency of the RHS will depend directly on the potential catchment areas, the rain supply and the storage capacity at the collection site, in addition, the characterization of the properties point to the need for an appropriate treatment to consider it safe for human consumption in compliance with resolution 2115 of 2007 of the Ministry of Environment and Sustainable Development.

Keywords: Rainwater harvesting, water balance, roof runoff, rainwater properties, rainwater quality.

1. Introducción

El agua se encuentra presente en diferentes estados físicos de la materia en el planeta, sin embargo, solo el 2,5% de este recurso es agua dulce y, alrededor del 0,4% del agua dulce está disponible para su aprovechamiento (Shiklomanov & Rodda, 2003). Ahora bien, la oferta de agua y su capacidad de uso-tratamiento juega un papel fundamental para el desarrollo de las sociedades, debido a que el recurso hídrico es un elemento esencial para la vida y adicional a esto, es una fuente principal para diferentes cadenas productivas (Falkenmark, 1990; Brown & Lall, 2006). Estudios han evidenciado que en el siglo XVII la sociedad consumía alrededor de 50 a 80 litros por habitante/día; este consumo aumentó a un promedio de 200 litros por habitante/día en regiones altamente pobladas como Estados Unidos, Europa occidental y China entre los siglos XVIII y la primera mitad del siglo XX gracias al cambio en el modelo económico generado por la revolución industrial. (Kummu, Guillaume, Moel, Eisner, Flörke, Porkka, Siebert, Veldkamp & Ward, 2016). Es evidente que el recurso hídrico es inherente al desarrollo, sin embargo, el incremento poblacional, aumento de uso per cápita aunado al uso irracional y el cambio climático puede llevar a su agotamiento; bajo esas condiciones si bien es considerado como un recurso renovable, puede constituirse como un recurso no renovable.

Para el caso de América Latina, son evidentes las consecuencias del cambio climático asociadas a la actividad humana. La región experimenta situaciones de desabastecimiento del recurso hídrico, lo que ha generado disminución de la oferta de agua en zonas generadoras como páramos y cuencas hidrográficas. En consecuencia, se han visto afectadas las poblaciones rurales y urbanas

Millones de personas en la región carecen aún de una fuente adecuada de agua potable, mientras que un número aún mayor sufre la carencia de instalaciones seguras y dignas para la eliminación

de las heces. Muchas personas sin acceso a servicios se concentran en áreas periurbanas, principalmente en los cinturones de pobreza que surgen en la periferia de muchas de las ciudades de la región. Ha resultado difícil proporcionarles servicios de calidad aceptable a estas áreas marginales. (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2019)

En muchos países, la descentralización ha dejado al sector de abastecimiento de agua y saneamiento con una estructura altamente fragmentada formada por numerosos proveedores de servicios, sin posibilidades reales de lograr economías de escala o viabilidad económica, y bajo la responsabilidad de ayuntamientos que carecen de los recursos e incentivos necesarios para hacer frente con eficacia a la complejidad de los procesos involucrados en la prestación de servicios. La descentralización también ha reducido las dimensiones de las áreas de servicio y las ha hecho más homogéneas, limitando de esta forma las posibilidades de subvenciones cruzadas y facilitando el “descremado” que margina a los grupos de bajos ingresos de la prestación de servicios. (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2019)

En lo que respecta al manejo del recurso hídrico en Colombia, la población que se encuentre por fuera del perímetro de servicios públicos urbanos adolecen de agua de calidad y cantidad, situación que desemboca en conflictos entre poblaciones vecinas por la misma zona oferente del recurso (Camargo & Camacho, 2019; Amézquita, Pérez & Torres, 2014). La competencia por el recurso hídrico es más evidente en áreas rurales, pues, de acuerdo con el Estudio Nacional del Agua, presentado en 2019, “solo el 66% de las zonas rurales cuentan con acceso al agua de forma segura y con calidad en comparación con el 98% de las urbes”. El mismo estudio sitúa al departamento de Santander con un porcentaje de riesgo por desabastecimiento del 58%, encabezando con el mayor número de municipios en peligro, 50 municipios. (IDEAM, 2018).

Indudablemente, la baja oferta de agua tanto cruda como potable y sus intermitencias generan inestabilidades socioeconómicas lo que promueve indicadores de desarrollo y sostenibilidad poco alentadores, con rendimientos respectivos del 4% y el 2%, los cuales están por debajo del porcentaje mínimo necesario para considerarse aceptable ($\leq 10\%$) (Vallejo, Pérez & Martínez, 2011). Estos comportamientos influyen en todos los sectores económicos y el turismo no es la excepción. El Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) muestra que la participación del sector en el PIB ha sido en promedio de 6,9% en los últimos 6 años, (CITUR, 2019), lo que lo ubica por debajo de las participaciones de grandes polos turísticos como Estados Unidos y China, cuyos aportes en su PIB son del 7.8% y del 8.8% respectivamente (Aratuo & Etienne, 2019). Dichos datos están acordes con la tendencia global de crecimiento económico a través del turismo (Chien, & Chun, 2008). Si bien no se puede atribuir toda la responsabilidad al desabastecimiento de agua, es evidente que si no se cuenta con este importante servicio el sector del turismo no ve incremento en su desarrollo, como se reflejada en algunas regiones del país.

Particularmente, Santander cuenta con un corredor turístico (Corredor Nororiental), establecido por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo el cual conecta principalmente los Santanderes y el Distrito Capital Colombiano; dicho pasaje aporta en promedio el 2.0% de PIB del departamento de Santander, viendo limitado su crecimiento principalmente por las restricciones de garantías de servicios básicos como acueducto, centros médicos de tercer nivel y rutas de acceso confiables (DANE, 2016). Municipios de importancia turística como Barichara, Socorro, Zapatoca, Los Santos, entre otros, durante cortos periodos de estiaje, por años han afrontado problemas de desabastecimiento y como consecuencia prolongados racionamientos como única estrategia de suministro.

En países como Colombia, donde la oferta pluvial anual promedia los 3240 mm de lluvia/metro es posible explorar alternativas como el reúso de aguas lluvias para fines domésticos y de consumo, instalando sistemas de aprovechamiento de agua pluvial que cuenten principalmente con: Sistema de captación en cubiertas, conducciones a través de canaletas y almacenamiento para su posterior transporte y reúso; las aguas captadas podrán ser usadas principalmente para riego, limpieza y consumo (Banco Mundial, 2014). Investigaciones previas en donde se han implementado este tipo de sistemas han reportado rendimientos en términos de ahorro de agua en un 19% (Domènecha & Sauriáb, 2011); 12% (Domènecha & Sauriáb, 2011; Zhang, Chen, Chen & Ashbolt, 2009) y 11% (Domènecha & Sauriáb, 2011), en España, Australia, Sudáfrica y China, respectivamente.

La cantidad y calidad del agua disponible juegan un papel fundamental dentro de los modelos que relacionan oferta hídrica y el desarrollo, pues no se puede proyectar el mejoramiento continuo de la calidad de vida si las comunidades no disponen de agua segura. Es decir, disponer de agua sin la calidad apropiada es tan perjudicial como no tener acceso a ella (Sorenson, Morssink & Campos, 2011), en este orden de ideas, asegurar la calidad del agua destinada a consumo es prioritario, ya que su consumo, incluso si es de origen pluvial, puede provocar perjuicios directos sobre la salud, dado que existen precedentes de riesgos asociados a la ingesta de microorganismos patógenos como coliformes fecales, totales, nemátodos y parásitos adquiridos cuando la esorrentía de los techos hace contacto con heces de aves (Clark, Jamal, & Weidhaas, 2019). Éstas condiciones obligan a que estas aguas se sometan a alguna clase de tratamiento para la remoción de impurezas y eliminación de microorganismos patógenos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Económico, 2000). Con el fin de cumplir con este propósito, se debe garantizar las condiciones mínimas para que el fluido soporte el proceso de clarificación mediante la acción del floculante sin que este afecte sus propiedades, tales como el pH y el contenido de sales minerales,

representadas en alcalinidad y dureza, las cuales deben mantenerse en rangos establecidos conforme a las normas de sanidad, de lo contrario pueden representar un riesgo asociado a la salud (Kwaadsteniet, Dobrowsky, Deventer, Khan, & Cloete, 2013). En efecto suministrar a una comunidad agua en óptimas condiciones es de gran responsabilidad, con la cual deben cumplir sectores económicos tales como el turismo y específicamente establecimientos de hospedaje como el Hotel Alejandría Resort.

El Hotel Alejandría Resort ubicado en el Km 5 de la vía que comunica a los municipios de San Gil y Barichara (provincia Guanentá), cuenta con 95 habitaciones, zonas de recreación, cafetería y áreas húmedas. En este establecimiento se captan 30 m³/día de agua proveniente de fuentes superficiales, valor que se encuentra por debajo del requerido diariamente para realizar todas sus actividades (46 m³/día). Adicionalmente, el hotel no dispone de un sistema de tratamiento que garantice la calidad del agua conforme a los parámetros exigidos mediante la Resolución 2115 del 2007 emitida por el Ministerio de Medio Ambiente.

De acuerdo con el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio San Gil, las precipitaciones promedio en la región son de 1280 mm de agua/m² al año; el área techada del hotel supera los 2000 m². Estos importantes parámetros son tenidos en cuenta por la administración del hotel para proyectar el diseño de un sistema de captación y tratamiento de agua pluvial, proyecto que se desarrolla en el presente documento.

1.1 Justificación

En consideración a la creciente demanda de los servicios que ofrece el hotel, y al potencial turístico y paisajístico de la región, se aumentó su capacidad instalada en el año 2016 en un 47.5% para ofrecer un total de 95 habitaciones. Sin embargo, el incremento de la capacidad instalada,

representa necesariamente aumento del volumen de agua requerida y cubrir la operación diaria. Como medida de solución, se ha previsto la adquisición del servicio de llenado con carro-tanque, para el abastecimiento de un promedio de 24 m³ adicionales diarios, lo que representa un déficit de agua del 19% en promedio. Como información adicional, cabe mencionar que el financiamiento de esta nueva condición para el abastecimiento de agua, está valorado en un gasto promedio de 300 USD/diarios, que en caso de no hacerse esta inversión, implica disminuir la ocupación del hotel, lo que representa pérdidas calculadas en 1800 USD/día. El hotel se beneficia de 3 puntos de suministro de agua, de los cuales dos se derivan de acueductos rurales, conocidos como “La Flora” y “Corpojayas”. Debido al bajo caudal presente en las fuentes de abastecimiento y al gran número de usuarios en cada acueducto, no es posible acceder a un aumento del caudal aprovechable. El otro punto de suministro corresponde a una concesión otorgada por la Corporación Autónoma Regional de Santander de la corriente “La Laja”, ubicada 300 metros bajo la cota del hotel, lo cual implica realizar bombeo para su aprovechamiento, no obstante, durante periodos de estiaje esta corriente reduce ostensiblemente su caudal, a tal nivel que en algunas épocas del año se torna intermitente.

la extracción de agua subterránea fue analizada en el año 2014 por los propietarios del Hotel Alejndría Resort, el cual conto con un estudio un estudio geo eléctrico el cual concluye con la alternativa obtener agua a más de 40 metros de profundidad. Sin embargo, este proyecto fue descartado debido a los costos de su ejecución el cual implicaría una inversión del orden de los 23.000 USD, sin tener en cuenta la incertidumbre sobre la calidad del agua, la gestión para legalización de su uso y los costos de operación para bombeo del recurso hídrico.

Paralelamente, el hotel atraviesa por un proceso de renovación del Registro Nacional de Turismo – RNT, para el cual debe implementar la Norma Técnica Sectorial de Turismo Sostenible

NTS-TS 002, en cumplimiento de la Resolución 3860 de 2015 expedida por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, en las cuales exigen la implantación de estrategias de uso eficiente y ahorro de recursos naturales.

Tomando en cuenta todos estos condicionantes, en el presente estudio se plantea el diseño de un sistema de captación, manejo y uso de aguas lluvias como alternativa que contribuirá con la reducción del déficit hídrico del hotel, además del eventual ahorro de costos operativos por bombeo desde la corriente hídrica la Laja. Por otra parte, constituye una estrategia para el cumplimiento de la normatividad legal vigente, Resolución 3860 de 2015 y Resolución 2115 de 2007, reflejándose en beneficios para el medio ambiente y su actividad económica. Es importante mencionar que en la zona no se encuentran más fuentes hídricas superficiales. Sin embargo, el hotel tiene un gran potencial para la implementación de este proyecto ya que cuenta con aproximadamente 2000 m² de área de captación y está ubicado en una zona donde la precipitación promedio es de 1280 mm.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de captación, almacenamiento y tratamiento de las aguas lluvias recolectadas en el Hotel Alejandría Resort, con el fin de atender de manera sostenible, la demanda de agua para usos blancos en las instalaciones del hotel.

1.2.2 Objetivos específicos

- Calcular el área apta para captación de agua lluvia de las estructuras encontradas del Hotel Alejandría Resort
- Calcular la oferta de agua pluvial a partir de la información reportada en las estaciones pluviométricas del IDEAM, 24020150 y 24040050, localizadas en la zona Guanentína del Departamento Santander entre los años 1981 y 2016.
- Desarrollar análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua pluvial recolectada para establecer su nivel de índice de riesgo asociado a la calidad del agua (IRCA).
- Realizar pruebas de tratabilidad al agua pluvial colectada para definir los procesos de tratamiento requeridos, que permitan cumplir los parámetros de calidad contemplados en la Resolución 2115 de 2007.
- Dimensionar el sistema de captación, manejo, aprovechamiento y tratamiento de aguas lluvias del hotel Alejandría Resort.

2. Marco referencial

A nivel mundial la ingeniería verde ha tomado gran fuerza desde casi todas las ramas. Se ha comprobado que la síntesis de procesos industriales o civiles son la suma del esfuerzo de diversas áreas hacia la conservación de los recursos (Hatt, Deletic, & Fletcher, 2006). Sudamérica es pionero en sistemas de aprovechamiento de lluvias para usos grises, generalmente aprovechando los elevados índices de precipitación en el continente siendo Chile, Brasil, Colombia y Perú los mayores emprendedores con 118 proyectos de uso de aguas lluvias registrados (Ghisi, Montibeller & Schmidt, 2006). Sin embargo, la captación de este recurso no se originó donde hay mayor

precipitación, todo lo contrario, países de la península arábiga, el medio oriente y el Sahara practicaban estos medios de aprovechamiento de agua debido al déficit del líquido vital en estas zonas, pero sin realizarle previo tratamiento, era simplemente su almacenamiento para aprovechamiento (Pedroza, Chávez, Trejo & Ruiz, 2012) A raíz de los fuertes impactos en el ciclo natural de agua ocasionados por el cambio climático las poblaciones se han interesado por procesos de aprovechamiento de las precipitaciones como una alternativa para solucionar algunos problemas de déficit para el consumo humano, abrevadero o agrícolas (Tovar, Anaya, Livera, Muñoz & Martínez, 2001). El aprovechamiento de agua lluvia se practica generalmente con propósitos agrícolas, no obstante, las adecuaciones empleadas no son refinadas desde el punto de vista ingenieril y solo se hace como prevención ante temporadas secas (Veenhuizen & Prieto, 2000).

En los desiertos de Negev, en Israel y Jordania se han desarrollado sistemas de aprovechamiento del agua lluvia (SAAL), estos sistemas se componen principalmente por estructuras artificiales (barreras, montículos o taludes) que buscan derivar una parte de la corriente a terrenos agrícolas más bajos donde se almacenan (Villa, 2014). El imperio romano conformado por una arquitectura familiar y paisajista tenía derivaciones de agua en los techos y atrios que dirigían el agua hacia jardines ubicados en el patio central de la vivienda. (López, 2013) En Centroamérica el Imperio Maya al sur de la ciudad Oxkutzcab (estado de Yucatán) se abastecía de agua pluvial para la población y el riego de los cultivos, dadas las condiciones geográficas y meteorológicas de sus ciudades que las hacían propensas a sequías y vientos deshidratantes (López, 2013).

Los SAAL provienen de la necesidad que evidencian los asentamientos humanos en torno a abastecimiento de agua para consumo y uso laboral; actualmente existen zonas de pluviosidad elevada como África occidental y Asia donde se presenta los monzones (Galarza, Torres, Lara,

Méndez, Solarte, & González, 2015). De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) a pesar de los adelantos tecnologías y la intercomunicación de bienes y servicios se siguen presentando muertes por consumo deficiente de agua (UNEP, 2000). Actualmente se promueve el consumo racional de agua, tecnologías ahorradoras y se propicia al agua lluvia como una materia prima y no como un desecho, incluso en Colombia (Villa, 2014). P&G ejemplifica la responsabilidad social corporativa entregando gratis y a comunidades que los requieren productos para la depuración, almacenamiento y aprovechamiento de agua en zonas africanas como: Botsuana, costa de marfil, Etiopia, Argelia (P&G, 2017).

A nivel mundial han surgido diferentes modelos de infraestructura que generalmente constan de cuatro componentes primarios: captación, tratamiento, almacenamiento y distribución, siguiendo los tradicionales procesos de suministro de agua, teniendo en cuenta que actúan de acuerdo a los índices de carga contaminante que trae consigo el fluido (Boers & Ben-Asher, 1982; Bratieres, Fletcher, Deletic, & Zinger, 2008; Zhang, et al., 2009, Estupiñan & Zapata, 2010).

Diversos estudios que han tratado de concebir un nuevo modelo que establezca el volumen ideal de la estructura de almacenamiento, a través de metodologías regidas por análisis estadísticos de series de precipitación ajustados a periodos de retorno y días consecutivos sin lluvia (Kobiyama & Hansen, 2002), coeficientes de esorrentía regionales (Fendrich, 2004), métodos de determinación de volúmenes de embalses (May, 2004), continuidad de los volúmenes almacenados en relación con el tiempo de vacío (Silva & Tassi, 2005), análisis mediante superficies impermeabilizas, coeficientes de escurrimiento de techos, días secos y precipitaciones, calibración mediante variables aleatorias (Viana & Cerqueira, 2005), y criterios hidrológicos y financieros, en un análisis general, el tiempo de cálculo estimado resulta ser relativamente grande para los niveles de complejidad de los proyectos. Además, no se tienen en cuenta los parámetros financieros que

permitan equilibrar el dimensionamiento del tanque con su factibilidad para ser construido (Gomes, et al., 2010), con lo cual aún se sigue utilizando el método que indica el volumen de la estructura de almacenamiento producto de la diferencia entre oferta y demanda mensuales acumuladas en un año hidrológico promedio estimado (Palacio, 2010; May, 2004; Mitchell, McCarthy, Fletcher, & Deletic, 2005; Estupiñan & Zapata, 2010).

El concepto de una economía-ambiente globalizado e interconectado ha despertado el interés de minorías para el cuidado de recursos naturales en países como, Canada, Colombia, Brasil y Perú promueven a través de incentivos tributarios, y leyes estatales que reglamentan la implementación de los SAAL para evitar la sobre carga a los sistemas de alcantarillado haciendo uso de un producto gratuito y benéfico que se trata como desecho (Ghisi et al, 2006).

Brasil propició y materializó la puesta en marcha de un millón de tanques para SAAL 5 años, beneficiando 5 millones de personas. Los sistemas SAAL están documentados en territorio estado unidense en los estados: Alaska, Hawaii, Washington, Oregon, Arizona, Nuevo México, Texas, Kentucky, Ohio, Pennsylvania, Tennessee, North Carolina, Virginia, West Virginia y las Islas Vírgenes (Ghisi et al, 2006). De igual forma, los sectores emergentes generadores de recursos, como la hotelera y el turismo, han implementado estrategias de manejo integral del recurso hídrico motivado en la disminución del uso de los recursos naturales, pues el huésped turístico consume hasta 200 litros/habitante*día (Budeanu, 2007). Las iniciativas de gestión ambiental hotelera han guiado a países como Portugal y España en la programación constructiva hacia estructuras amigables que demanden menos recursos y se provean de forma autónoma en la mayor medida posible (Gómez, & Silva, 2019), respaldados por históricos de rendimientos acumulados ente el 18% y 41% de SAAL en establecimientos comerciales (Avelar, Sánchez, Domínguez, Lobato & Mancilla, 2019). Existen algunas edificaciones de tipo institucional o comercial, donde se

realizaron puestas en marcha de sistemas para el aprovechamiento del agua lluvia cubriendo parcialmente la demanda como los siguientes: el almacén Alkosto Venecia (Bogotá), 6.000 m² de cubierta para captar alrededor de 4.820 m³ de agua lluvia al año, con lo cual se satisface el 75% de la demanda actual de agua potable de la edificación; almacén Alkosto de Villavicencio, 1.061 m² de cubierta capta el agua lluvia para ser almacenada en un tanque de 150 m³; El edificio de Postgrados de Ciencias Humanas de la sede Bogotá de la Universidad Nacional, cuenta con un sistema en el cual en su cubierta protegida con grava se capta agua lluvia que es llevada a un tanque subterráneo, desde el que se bombea agua para la descarga de los inodoros, y alimentar las fuentes y los espejos de agua (Sarmiento & Garavito, 2016).

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Parámetros de seguimiento al agua potable. En Colombia, La calidad del agua se rige bajo la Resolución 2115 de 2007 emitida por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, en donde se contemplan los parámetros y frecuencias mínimas de seguimiento de la calidad del agua (Art. 13).

La tabla mostrada a continuación relaciona los parámetros contemplados en la normatividad nacional vigente aplicable, la cual se tuvo en cuenta en el desarrollo de este proyecto.

Tabla 1. *Parámetros mínimos y frecuencias mínimas de seguimiento de calidad de agua.*

Parámetro	Unidades	Rango de permisividad	Frecuencia
Cloro residual mg/l Cl₂	mg Cl ₂ /l	0.3-2	Cada 2 horas
Turbiedad	UNT	0-2	Diario
Color	U- PtCo	0-15	Diario
pH	UND	6.5-9	Diario
Alcalinidad total	mg/l CaCO ₃	0-200	Diario
Dureza total	mg/l CaCO ₃	0-300	Diario
Cloruros	mg/l Cl ⁻	0-250	Semanal
Nitratos	mg/l NO ₃	0-10	Semanal
Nitritos	mg/l NO ₂	0-0.1	Semanal
Hierro Total	mg/l Fe ₂	0.3	Semanal
Sulfatos	mg/l SO ₄	250	Semanal
Fosfatos	mg/l pO ₄	0.5	Semanal
Aluminio mg/l	mg/l Al ₂	0.2	Semanal
Coliformes totales	UFC/100ml	0	Quincenal
E.coli	UFC/100ml	0	Quincenal
Mesófilos	UFC/100ml	100	Quincenal

Fuente: Adaptada de la Resolución 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano (22 de junio de 2007).

Autor: Elaboración propia

2.1.2 Procesos para la potabilización del agua.

2.1.2.1 Aforo.

Comprende principalmente la acción de medir de forma precisa el caudal de ingreso a la estación de tratamiento, efectuándose de forma directa a través de método volumétricos o indirecta efectuando métodos de ecuación de velocidad (Jiménez, 2010).

Tabla 2. *Tipos de medición de caudal.*

Medición directa	Medición indirecta
Caudalímetros analógicos y digitales	Ecuación de vertedero
Rotámetros de flujo constante	Aforo volumétrico extrapolado
Sondas de ultrasonido	

Adaptada de Jiménez, J. (2010). *Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario* [Tesis pregrado]. Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

2.1.2.2 Mezcla Rápida. Es el proceso en el cual se produce un régimen turbulento de flujo en el fluido empleando un resalto, una caída o un sistema mecánico que realice las veces de agitar para diseminar adecuadamente los insumos de tratamiento (Jiménez, 2010). En la siguiente tabla se identifican y clasifican los mezcladores empleados en un sistema convencional de tratamiento.

Tabla 3. *Tipos de mezcladores.*

Mecánicos	Hidráulicos
Retro mezclador en línea	Canaleta Parshall Canal de fondo inclinado Vertedero rectangular Vertederos triangulares

Adaptada de Mayorga, E. (2018). *Propuesta de mejora de la prestación de servicio de acueducto Cabrerana servicios públicos S.A.E.S.P* [Monografía de Especialización]. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

2.1.2.3 Coagulación, Dosificación de Insumos. Consiste en el proceso de dosificar un floculante directamente sobre el resalto hidráulico con el propósito de garantizar la homogenización del agente en el agua. Dependiendo de la calidad del agua cruda requiere la dosificación de agentes estabilizantes o coadyuvantes junto al floculante. Las principales propiedades químicas que afectan el proceso son: la cantidad de floculante, el potencial de hidrógeno, la conductividad y el oxígeno disuelto.

En la siguiente tabla se presentan los tipos de dosificadores empleados para el proceso de coagulación.

Tabla 4. *Tipos dosificadores para coagulación*

Dosificadores no eléctricos	Dosificadores eléctricos y electrónicos
Tanque de dosificación de cabeza constante	Bombas de diagrama de posición móvil y fija
Goterros de caudal y concentración variable	Bombas peristálticas de flujo variable
Tanque de dosificación de cabeza variable	

Adaptada de Jiménez, J. (2010). *Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario* [Tesis pregrado]. Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

2.1.2.4 Mezcla Lenta y Floculación. Proceso posterior a la mezcla rápida y la coagulación, se basa en controlar la velocidad angular del flujo en un rango de 60 a 80 revoluciones por minuto, con la finalidad entregar tiempo suficiente al agua para que el agente floculante genere puntos críticos a partir de los cuales se genera un flock en crecimiento hasta obtener el peso crítico necesario para obtener una densidad mayor a la del agua (Jiménez, 2010).

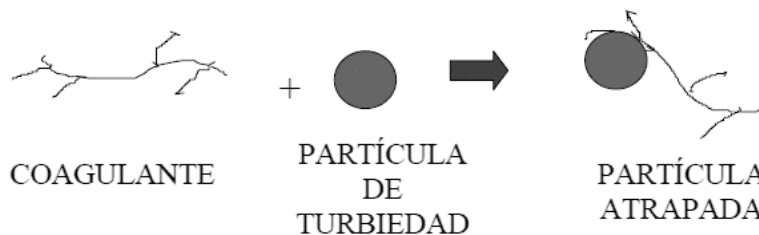


Figura 1. Proceso ilustrativo del inicio floculación

Adaptado de “Propuesta de mejora de la prestación de servicio de acueducto Cabrerana servicios públicos S.A.E.S.P”, por Mayorga, 2018.

2.1.2.4.1 Tipos de Unidades de Floculación. Los floculadores pueden clasificarse en mecánicos e hidráulicos, según el origen del movimiento en ralentí del agua. La siguiente tabla permite clasificar e identificar el principio activo de los floculadores (Mayorga, 2018).

Tabla 5. Tipos de Unidades de Floculación

Tipo de floculación.	Objetivo y principio activo
Floculadores de contacto de sólidos o de manto de lodos:	Su objeto de funcionamiento es la aglomeración de mantos de lodos en su parte inferior para generar una trampa activa del mismo material que desea remover.
Floculadores de potencia o disipación de energía	Acentuados principalmente en la velocidad del fluido y su cambio de numero de Reynolds para determinar la dosis y la velocidad optima a la cual se aprovechan los gradientes de concentración de solidos los cuales se establecen durante la etapa de diseño. De acuerdo con la forma de disipación de energía, se pueden clasificar en hidráulicos y mecánicos.
Hidráulicos	Utilizan la energía hidráulica disponible a través de una pérdida de carga general o específica. Estos pueden ser de diferentes tipos como son de pantallas, Cox y Alabama, helicoidal de medio poroso, de mallas.
Mecánicos	Utilizan energía de una fuente externa, normalmente un motor eléctrico acoplado a un intercambiador de velocidades, que hace posible la pronta variación de la intensidad de agitación. Estos pueden ser de diferentes tipos como son de paletas, de turbina y alternativos.

Adaptada de Mayorga, E. (2018). *Propuesta de mejora de la prestación de servicio de acueducto Cabrerana servicios públicos S.A.E.S.P* [Monografía de Especialización]. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

2.1.2.5 Sedimentación. Con la velocidad del agua en un orden de 0.001m/s el flóculo ha tenido tiempo suficiente de aglomerarse y obtener un peso que le facilite depositarse en el fondo de la unidad gracias a la diferencia de densidades. Se inicia por el ingreso del flujo, este debe hacerse sobre la mitad inferior de la unidad y debe garantizarse que se mantenga el régimen de flujo para no destruir los flóculos formados durante la mezcla lenta. Después del ingreso el agua inicia el proceso de separación por diferencia de densidades originando la clarificación y separando las fases volumen de lodos y volumen de sobrenadante (Randle, 1965).

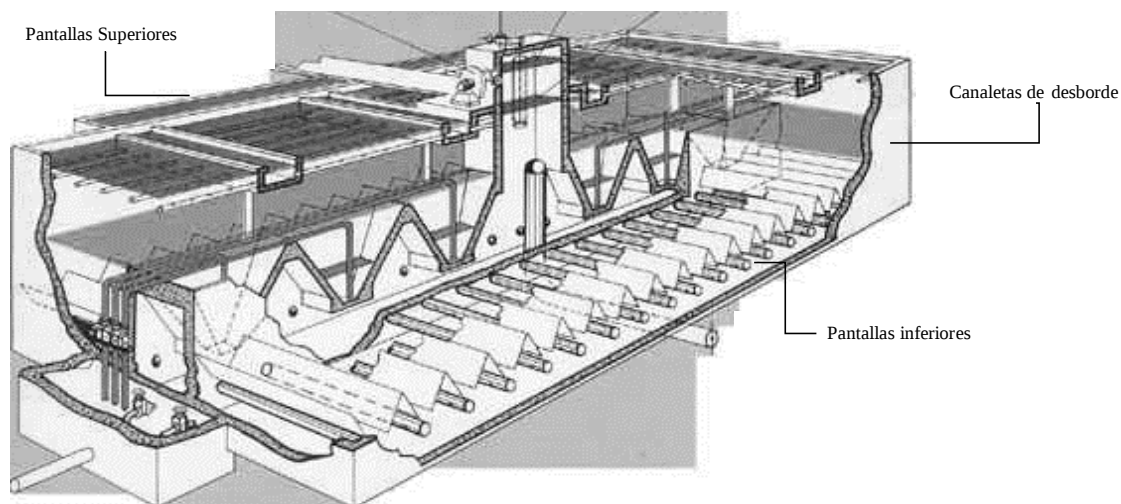


Figura 2. Esquema de un sedimentador mantos pulsantes
Adaptado de “Propuesta de mejora de la prestación de servicio de acueducto Cabrerana servicios públicos S.A.E.S.P”, por Mayorga, 2018.

2.1.2.6 Filtración. En este proceso se obliga a pasar el fluido a través de un lecho fáltante compuesto por diferentes materiales con diferentes diámetros efectivos, con un promedio medio de $0.45\mu\text{m}$, que fungirán como retenedor de material suspendido de diferentes tamaños, el sistema puede ser de tipo ascendente o descendente (Wegelin, Castaño & Latorre, 1997).

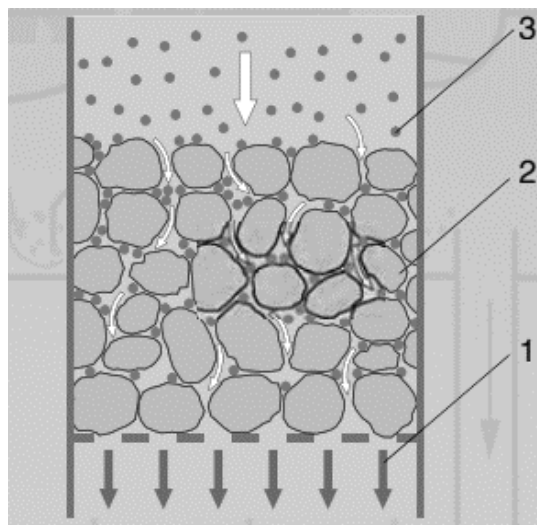


Figura 3. Filtración de lecho

Adaptada de “Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario”, por Jiménez, 2010. (1. Agua filtrada, 2. Gravas, 3. Material en suspensión)

2.1.2.7 Desinfección. Una vez clarificada el agua se emplean agentes oxidantes como hipoclorito de sodio, cloro gaseoso o luz ultravioleta para generar un ambiente hostil para los microorganismos y reducir su conteo hasta en un 99,9% eliminando cualquier colonia sensible a los agentes aplicados en la solución (Mayorga, 2018)

2.1.3 Cálculo de las variables que intervienen en el dimensionamiento de las estructuras físicas del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias. De acuerdo con la metodología implementada por la Organización Panamericana de la salud, se deben definir los aspectos fundamentales los cuales se describen a continuación (Organización Panamericana de la Salud, 2004).

2.1.3.1 Precipitación promedio mensual (PPI). La determinación de la precipitación promedio mensual se realiza a partir de la relación entre los datos de precipitación mensual (P_i

mm/m^2 *periodo de tiempo) durante el periodo evaluado y el número de los intervalos de tiempo evaluados (n), de acuerdo con la ecuación 1 (Palacio, 2010).

$$PPi = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{Pi}{n} \quad (1)$$

2.1.3.2 Demanda total. Se calcula por medio de la ecuación 2, la cual se expresa como el producto entre el número de usuarios a abastecer (Nu), la dotación para cada persona (Dot), según el Departamento Nacional de Planeación, y el número de días al mes (Nd) (Palacio, 2010).

$$Di = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000} \quad (2)$$

2.1.3.3 Oferta total. Medida en unidades de volúmen, se obtiene de multiplicar la precipitación promedio (Ppi), el coeficiente de escorrentía (Ce) y el área a captar (Ac) (ecuaciones 3 y 4). Adicionalmente se estimó un porcentaje del 20% anual en pérdidas debidas a la evaporación, y a la misma captación y recolección del agua (Abdulla y AlShareef, 2006), por lo tanto, la oferta total se obtiene a partir de la ecuación 4.

$$Ai = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000} \quad (3)$$

$$Ai' = Ai - Ai * \frac{0.2}{12} \quad (4)$$

2.1.3.4 Demanda y oferta acumuladas. Se define como la sumatoria del valor de oferta (Ai) o demanda (Di) y sus valores de la vigencia inmediatamente anterior (A_{i-1}) o (D_{i-1}) (ecuaciones 5 y 6) (Palacio, 2010).

$$Dai = Da_{(i-1)} + Di \quad (5)$$

$$Aai = Aa_{(i-1)} + Ai \quad (6)$$

2.1.3.5 Volumen de almacenamiento. Es la diferencia entre la oferta acumulada (Aai) y la demanda acumulada (Dai), como se muestra en la ecuación 7 (Palacio, 2010).

$$Vi = Aai - Dai \quad (7)$$

Donde,

Vi : volumen de almacenamiento del mes “i” (m^3)

Aai : oferta acumulada al mes “i” (m^3)

Dai : demanda acumulada al mes “i” (m^3)

2.1.3.6 Interceptor de primeras aguas. Se calcula para designar un valor volumétrico a unidad que almacenará las aguas que lavan los techos, es decir, es la unidad que retiene la mayor parte de los contaminantes (Palacio, 2010). La organización Panamericana de la Salud designa 1 litro por metro cuadrado como agua de lavado, sintetizando en la ecuación 8:

$$V_{int} = \left(1 \frac{\text{litro}}{m^2} * \frac{Area_{captación}}{1000} \right) \quad (8)$$

2.1.3.7 Potencial de ahorro de agua potable. Se define como el porcentaje de ahorro de agua proveniente de fuentes convencionales (PPWS) y, se calcula mediante la relación entre el volumen de agua recolectado (VR) y la demanda mensual de agua potable (PWD , por medio de la ecuación 9 (Palacio, 2010).

$$PPWS = 100 * \frac{VR}{PWD} \quad (9)$$

2.1.3.8 Red de distribución de agua lluvia. Se establece conforme al principio de máximo gasto posible sumando los requerimientos de las instalaciones beneficiadas por el Sistema de abastecimiento de aguas lluvias. Donde (Q_i) es el caudal instantáneo de cada aparato sanitario medido en L/s y N es el número de aparatos comunes según su clasificación. Los caudales y los diámetros se consignan en la tabla a continuación.

$$QGMP = Q_i * n_i \quad (10)$$

Tabla 6. *Caudal unitario y diámetro para dimensionamiento de aportes de caudal*

Aparato	Caudal (l/s)	Diámetro (pulgadas)
Bañera	0.30	$\frac{3}{4}$
Calentador	0.30	$\frac{3}{4}$
Ducha	0.25	$\frac{1}{2}$
Inodoro tanque	0.15	$\frac{1}{2}$
Inodoro fluxómetro	2.50	1 $\frac{1}{2}$
Lavadero	0.20	$\frac{1}{2}$
Lava Escobas	0.30	$\frac{1}{2}$
Lava patos	0.10	$\frac{1}{2}$
Lavadora	0.25	$\frac{1}{2}$
Orinal Sencillo	0.10	$\frac{1}{2}$
Orinal Fluxómetro	1.5	$\frac{3}{4}$

Adaptada de Palacio, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia [Monografía de especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

2.1.3.9 Sistema de Bombeo. Representa el cálculo hidráulico de la bomba necesaria para el transporte del volumen almacenado de agua lluvia. Para cumplir con los requisitos de diseño se tienen en cuenta los siguientes factores (Sarmiento & Garavito, 2016):

- Cotas entre puntos de inicio y llegada (Δm)
- Caudal a bombear (Q_b)
- Tiempo de bombeo diario
- Temperatura media del agua (T)

- Aceleración de la gravedad (g)
- Número de bombas
- Coeficiente de Hazen Williams (C)
- Altura sobre el nivel del mar de la bomba (H_{snm})
- Densidad del agua a la temperatura indicada (ρ)
- Densidad del agua a 4°C (ρ_r)
- Tipo de bomba

2.1.3.10 Cálculo de la tubería de succión. Para calcular la tubería de succión, se selecciona un diámetro de conveniencia según la bomba, el volumen de transporte, las diferencias de cota y el tiempo estimado de funcionamiento del equipo, definiendo los máximos y mínimos de operación, de tal modo que (Sarmiento & Garavito, 2016):

$$A = \frac{\pi * \varphi^2}{4} \quad (11)$$

Donde:

A = área transversal de la sección de tubería en metros cuadrados (m²)

Φ = diámetro de la tubería en metros (m)

Teniendo en cuenta que;

$$QGMP = V * A \quad (12)$$

Donde;

V = velocidad del fluido (m/s)

Q_i = Diámetro de la tubería en metros (m)

A = área transversal de la sección de la tubería en metros cuadrados (m²)

Se recomienda emplear como velocidad mínima 0.45m/s y máxima 1.5 m/s (Castañeda, 2010). El valor obtenido para la velocidad de impulsión debe cumplir el rango establecido en el literal B.8.5.6.2 del RAS 2000, $1 > V_i > 3 \text{ m/s}$.

2.1.3.11 Tubería de impulsión. El cálculo de la tubería de impulsión para sistemas que trabajan continuamente se puede definir empleado la fórmula de Bresse:

$$D_i = K \sqrt{Q} \quad (13)$$

Donde:

D= Diámetro económico, m.

K = Coeficiente entre 0.7 y 1.6

Q = Caudal de bombeo, m³/s

Para instalaciones que son operadas de manera intermitente se tiene:

$$D(m) = 1.3 \cdot \left(\frac{n}{24}\right)^{\frac{1}{4}} * \sqrt{Q \left(\frac{m^3}{s}\right)}$$

Donde n son las horas de bombeo en el día.

2.1.3.12 Altura dinámica de succión. Corresponde a la sumatoria de las Alturas estáticas de succión (h), considerando las pérdidas por succión y fricción. La altura estática equivale a el delta entre el nivel del agua en el tanque de almacenamiento y el equipo de bombeo (Lasheras, 2012). La pérdida de carga unitaria J se calcula de acuerdo a la ecuación 14.

$$Q = 0.2785 * C * \Phi^{2.63} * J^{0.54} \quad (14)$$

Donde:

Q= Caudal (m³ /s)

C= Coeficiente de Hazen Williams

ϕ = Diámetro de la tubería (m)

J= Pérdida de carga unitaria (m/m)

2.1.3.13 Pérdidas totales de succión. Se establece Como la sumatoria de las pérdidas totales de la succión (Δh). Los accesorios para la succión son (Apéndice A) (Lasheras, 2012):

- Válvula de retención liviana
- Codo de 90°

2.1.3.14 Pérdidas de succión por fricción. Se establece como la pérdida de energía por el contacto del fluido con las paredes de los conductos y se calcula de acuerdo a la ecuación 15:

$$K = \frac{v^2}{2g} \quad (15)$$

Donde:

K= Pérdidas por fricción (m)

V= Velocidad (m/s)

g= Aceleración de la gravedad (m/s^2)

Conforme a la ecuación 16 se calcula entonces la altura dinámica de succión:

$$H_d = h + (J * \Delta h) + k \quad (16)$$

Donde:

H_d: Altura dinámica total (m).

h: Altura estática (m).

J: Pérdida de carga unitaria (m/m).

Δh : Sumatoria de las pérdidas totales (m).

K: Pérdidas por fricción (m).

2.1.3.15 Altura dinámica total en la impulsión. Es la adicción de la cota estática de succión (h), las pérdidas totales en la impulsión y las pérdidas por fricción en la impulsión. El valor de la altura estática de impulsión corresponde al delta de altura entre el equipo de bombeo y la cota máxima del tanque de almacenamiento. (Lasheras, 2012). Para determinar la pérdida de carga unitaria (J) se utiliza la ecuación 14.

2.1.3.16 Pérdidas totales en la impulsión. Son pérdidas energéticas establecidas a la composición geométrica y de material de cada unidad, se relacionan como longitud equivalente, y su adición total compone el valor de pérdidas totales de la succión (Δh) (Lasheras, 2012). Los accesorios para la impulsión son:

- Válvula de compuerta
- Válvula de retención liviana
- Codo de 90° de radio corto
- Reducción
- Salida de tubería
- Longitud recta de tubería

2.1.3.17 Pérdidas por fricción en la impulsión. Se establece mediante la siguiente ecuación:

$$H_d = H_{ds} + H_{di} \quad (17)$$

Donde:

Hd: Altura dinámica total en la succión e impulsión (m) 35

Hd,s: Altura dinámica en la succión (m)

Hd,i: Altura dinámica en la impulsión (m)

Se debe aplicar un factor de seguridad del 20% (Palacio, 2010).

2.1.3.18 Características de la bomba. Para el correcto funcionamiento del sistema se debe establecer el tipo de bomba y sus características a fin de prever fenómenos que puedan arriesgar la longevidad del sistema como la cavitación, el cual se origina por presencia de vapor de la sustancia en impulsión dentro de las estructuras, derivando en desgaste de los componentes de la máquina. Con el propósito de evitar o minimizar los impactos producto de la cavitación en un sistema de bombeo se establecerá la "Cabeza Neta de Succión Positiva Disponible" (NPSHd), parámetro que define la altura máxima de succión-impulsión del sistema; estando en concordancia con los parámetros de fabricación como la "Cabeza Neta de Succión Positiva Requerida" (NPSHr), cuyo valor debe ser menor que el NPSHd, si se quiere minimizar la posibilidad de presentar cavitación (Sarmiento & Garavito, 2016).

El cálculo del NPSHd se debe hacer aplicando correcciones a la presión barométrica y su presión de vapor de acuerdo a:

Corrección de la presión barométrica:

$$\frac{P_a}{r} = 10.33 - \left(\frac{1.2 * H_{snm}}{1000} \right) \quad (18)$$

Corrección de la presión de vapor:

$$\frac{P_v}{r} = ((6 * 10^{-7} * T^4) + (1 * 10^{-5} * T^3) + (1.6 * 10^{-3} * T^2) + (4.34 * 10^{-2} * T^1) + 0.6102) * \left(\frac{1000}{\frac{P}{g}} \right) \quad (19)$$

Donde:

Pa / γ: Presión barométrica corregida en el sitio (m)

H_{snm}: Altura sobre el nivel del mar de la bomba (m)

P_v / γ : Presión de vapor a la temperatura indicada (m)

T: Temperatura media del agua en el sitio de bombeo (°C)

p Densidad del agua a la temperatura indicada (Kg/m³)

g: Valor de la aceleración de la gravedad (m/s²)

De tal modo que la magnitud del NPSH_d se establece mediante siguiente ecuación:

$$NPSH_d = \left(\frac{P_a}{\gamma} \right) + \left(\frac{P_v}{\gamma} \right) - H_{d,s} - M - N \quad (20)$$

Donde:

NPSH_d: Cabeza neta de succión positiva disponible (m)

P_a / γ : Presión barométrica corregida en el sitio (m)

P_v / γ : Presión de vapor a la temperatura indicada (m)

H_{d,s} : Altura dinámica de la succión (m)

M: Corrección por posibles depresiones barométricas (m)

N: Corrección por vacío imperfecto de las bombas (m)

2.1.3.19 Potencia del motor de la bomba. Se establece primero la densidad relativa del agua:

$$\gamma = \frac{\rho}{\rho_r} \quad (21)$$

Donde:

γ= Densidad relativa del agua

ρ= Densidad del agua a la temperatura indicada (°C)

ρ_r= Densidad del agua a 4°C

De igual forma con las fichas técnicas de fabricante se obtiene la eficiencia de la bomba (η).

Una vez conocidos estos dos factores se calcula a potencia empleando a ecuación 22:

$$P = \left(\frac{g * Qi * Hd}{\frac{n}{100} * 75} \right) \quad (22)$$

Donde:

P= Potencia del motor (HP)

g= Aceleración de la gravedad (m/s²)

Qi= Caudal en la impulsión (l/s)

Hd=Altura dinámica total (m)

η= Eficiencia de la bomba (%)

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Aprovechamiento de aguas lluvias. Los problemas hidrológicos están relacionados con el crecimiento demográfico, así lo confirman diversas organizaciones como la FAO, la UNESCO y la ONU, quienes promueven la sostenibilidad del recurso hídrico a través de estrategias como el aprovechamiento de las aguas lluvias junto a la reutilización de las aguas grises y negras en los centros urbanos (Montt, Rivera, Fernández & Valenzuela, 2003). Es evidente la escasez de agua causada por desequilibrios del ciclo hidrológico (Duarte & Echeverry, 2004; Eriksson, Auffarth, Henze & Ledin, A, 2002; Fletcher, Deletic, Mitchell & Hatt, 2008), pero también es alarmante la magnitud de población que no tiene acceso al recurso en óptimas condiciones (Helmreich, & Horn, 2009).

2.2.2 Sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias. Los SAAL, son un conjunto de adecuaciones físicas que permiten direccionar el agua pluvial para un posterior aprovechamiento. Mientras se ejecuta un SAAL el agua recolectada generalmente es usada para labores grises como: jardinería, aseo de pisos, fachadas o baños. Para dar cumplimiento al proceso es necesario incorporar, bajantes, colectores, tanque de primeras aguas, tanques de almacenamiento transitorio y de almacenamiento final, siendo generalmente necesario una bomba para el desplazamiento del agua (Palacio 2010). A continuación, se muestran las figuras 4 y 5 donde se evidencian las etapas de un SAAL y un esquema SAAL respectivamente.

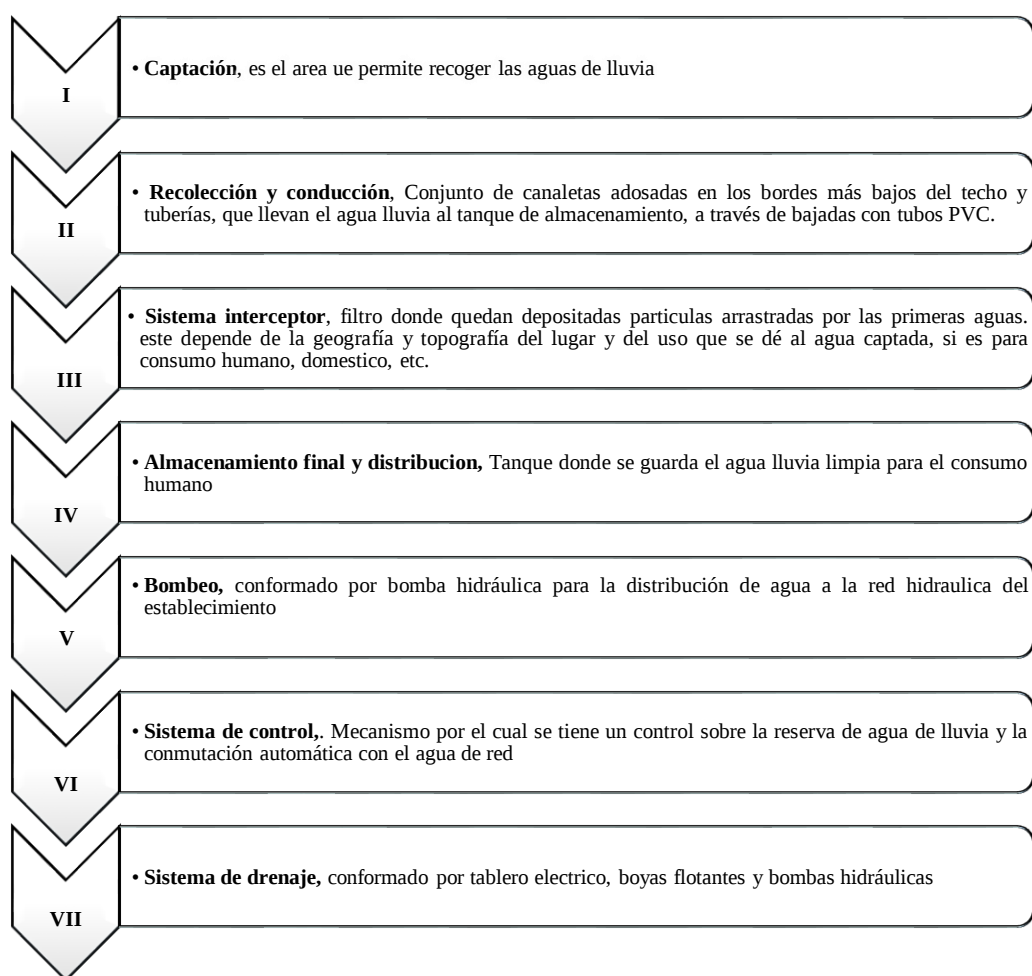
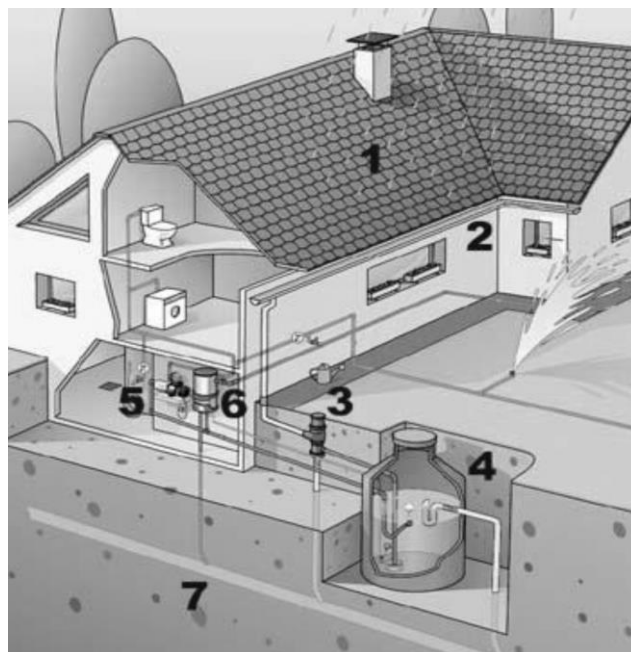


Figura 4. Etapas del Sistema de aprovechamiento de aguas lluvias

Adaptado de “Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia”, por Palacio, 2010.



1. Cubierta, 2. Canalón, 3. Filtro, 4. Depósito, 5. Bomba, 6. Sistema de Gestión, 7. Sistema de drenaje.

Figura 5. Esquematzación de las etapas de un SAAL

Adaptado de “Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia”, por Palacio, 2010.

2.2.3 Ventajas del aprovechamiento de aguas lluvias. Actualmente el aprovechamiento de aguas tiene 2 ejes fundamentales, el primero es el medioambiental, soportado en que puede reducir demanda de recurso hídrico de los microsistemas superficiales, fomentando el uso eficiente del agua y la conservación del mismo, al tiempo disminuyendo los impactos de contaminantes a las cargas de nutrientes en los ríos (Booth, Attwater, Derry, & Simmons, 2003; Duan, Attwater, & Min, 2008). Como segundo eje se encuentra el componente financiero, pues las construcciones multipropósito aprovechan la extensión para la recolección de agua lluvia, de forma análoga a como los paneles solares aprovechan energía solar a situarse en áreas que no cumplían fungían como sectores productivos como los techos, de igual manera al contar con un aporte en la oferta

de agua de forma alternativa se requieren infraestructuras más pequeñas que intervengan fuentes fluyentes y de este modo se consume menos cantidad de material reduciendo costos de planeación, operación y tratamiento (Eriksson, et al., 2002; Fletcher, et al., 2008).

Dentro de las ventajas generadas por la captación del agua pluvial se encuentra, *i)* la reducción de la reducción de escorrentías sobre zonas inestables, taludes en cotas inferiores y terrenos que puedan afectarse por el exceso de humedad, resultando en una técnica desagüe dirigido y controlado, principalmente en ubicaciones rurales (Coombes, Argue, & Kuczera, 2000; Fletcher, Mitchell, Deletic, Ladson & Séven, 2007; Zhang, et al., 2009) y, *ii)* la reducción de la demanda de agua potable, de acuerdo con las condiciones de infraestructura, calidad de las aguas, y precipitación en cada experiencia (Hatt, et al., 2006; Helmreich & Horn, 2009, Estupiñan & Zapata, 2010).

2.2.4 Desventajas del aprovechamiento de aguas lluvias. Como desventajas generales asociadas al aprovechamiento de aguas lluvias se encuentra; *i)* la dependencia del nivel de precipitaciones de la zona de adaptación, *ii)* los altos costos iniciales de construcción (especialmente por los volúmenes de almacenamiento), *iii)* el empleo de tecnología insuficiente para satisfacer los consumos y *iv)* en los tanques de almacenamiento no se realizan adecuadas labores de mantenimiento y operación, y en algunos países resulta ser una práctica ilegal, si se aplica estrictamente la legislación (Palacio, 2010; Evans, Coombes, Dunstan, & Harrison, 2009; Helmreich & Horn, 2009; Estupiñan & Zapata, 2010).

La mayoría de investigadores emplean los sistemas de captación de aguas lluvia para satisfacer usos no potables, debido a la constante variación de la calidad del agua. Incluso, diversos autores no recomiendan su uso para consumo humano y otros usos de contacto directo, argumentando

razones de salud, en lugar de insuficiencia de este recurso (Boers & Ben-Asher, 1982; Coombes, et al., 2000; Ghisi, et al., 2009; Gomes et al., 2010; Hatt et al., 2006; May, 2004; Mwenge et al., 2007; Estupiñan & Zapata, 2010).

2.2.5 Calidad de las aguas lluvias. El agua lluvia posee un nivel de contaminación dependiente de los componentes presentes en la atmósfera local, debido a que durante el proceso de condensación puede arrastrarse material particulado y sustancias presentes en el aire, los cuales se precipitan inmersos en las gotas de lluvia, adicionalmente al entrar en contacto con las superficies puede arrastrar sólidos allí presentes, microorganismos, metales y sustancias orgánicas (Estupiñan & Zapata, 2010). Así mismo, otros tipos de contaminación son; *i)* la generada por heces fecales de las aves, mamíferos y reptiles que tienen acceso a zonas de captación de aguas pluviales y tanques de almacenamiento, generando la reproducción de bacterias, virus y protozoos y, *ii)* la presencia de indicadores microbianos y patógenos ha sido tradicionalmente uno de los aspectos que más varía (Helmreich & Horn, 2009; Estupiñan & Zapata, 2010).

Aunque existen grandes avances en la generación de tecnologías para el tratamiento de las aguas lluvias, existen baches frente a eficiencias de remoción de contaminantes y directrices locales, con lo cual existe la necesidad de ahondar más en el tema (Fletcher, et al., 2008; Mwenge, et al., 2007).

2.3 Marco Legal

A continuación, se enuncian, decretos, normas, resoluciones y leyes que apliquen al sistema de gestión integral de recursos naturales, uso eficiente del agua, gestión y aprovechamiento de aguas lluvias, adopción de políticas de reducción de consumos y vertidos líquidos para edificaciones

abiertas al público como lo es el Hotel Alejandría Resort, el cual opera bajo la normatividad legal colombiana para realizar su actividad comercial.

Tabla 7. *Marco legal aplicable*

NORMA	DESCRIPCIÓN
Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua (<i>Ley 373 de 1997</i>).
Ley 48 de 2017	Por medio del cual se dictan normas para implementar e incentivar sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y de captación de energía solar y se dictan otras disposiciones. (<i>Ley 48 de 2017</i>)
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. (<i>Ley 142 de 1994</i>).
RAS 2000 Título B Capítulo 4.5.12.1	Contiene los aspectos generales de los sistemas de acueductos —
Resolución No. 1096 de 2000	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico Para el sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.
Decreto No. 1575 de 2007	Por el cual se establece el sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
Resolución No. 2115 de 2007	Por el cual se establecen los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de cumplimiento para el control de la calidad de agua para consumo humano, toda entidad que suministre, trate, compre, o preste una actividad comercial en el que se incluya agua para consumo humano debe garantizar su cumplimiento.

Fuente: Elaboración propia

3. Método

En la siguiente figura se indican las etapas metodológicas para el desarrollo del presente proyecto.

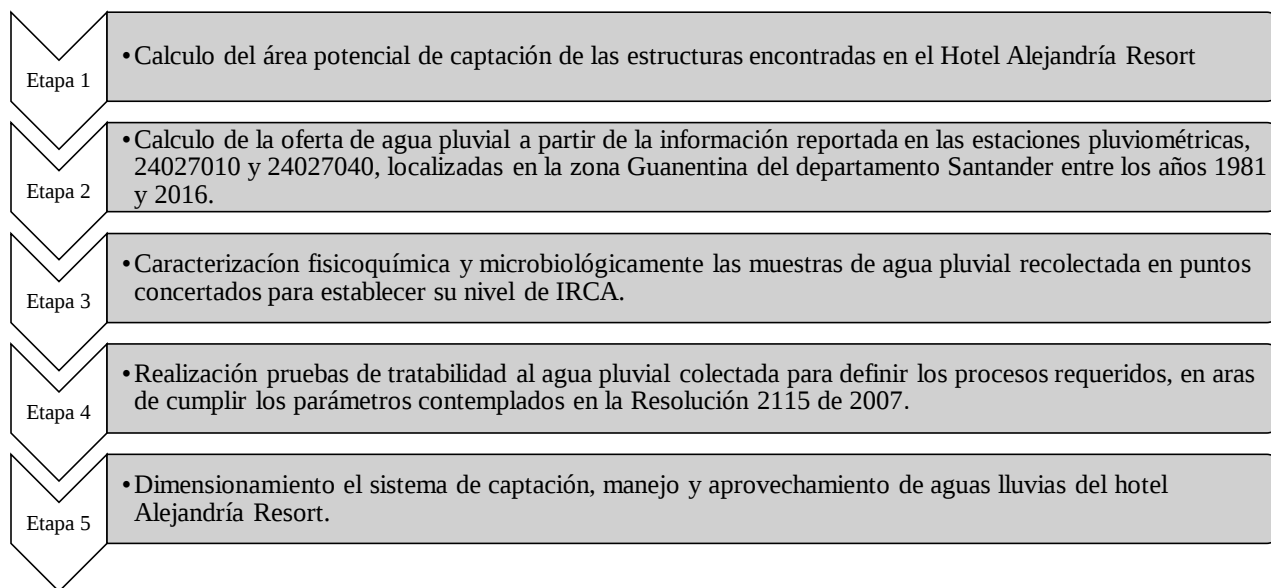


Figura 6. Estructura metodológica secuencial

Fuente: Elaboración propia

3.1 Cálculo del área potencial de captación y oferta de agua

Para calcular el total de la extensión útil para el SAAL se realizó la medición perimetral de los techos de cada torre y de las áreas de escorrentía. Por lo tanto, inicialmente se determinaron los sujetos de cálculo de acuerdo a su disposición constructiva. Una vez registrados los perímetros, se realizó el cálculo de las áreas mediante descomposición geométrica de vista superior, con el fin de obtener un valor real del área que compone el sistema de captación de agua lluvia, de acuerdo con la siguiente figura.

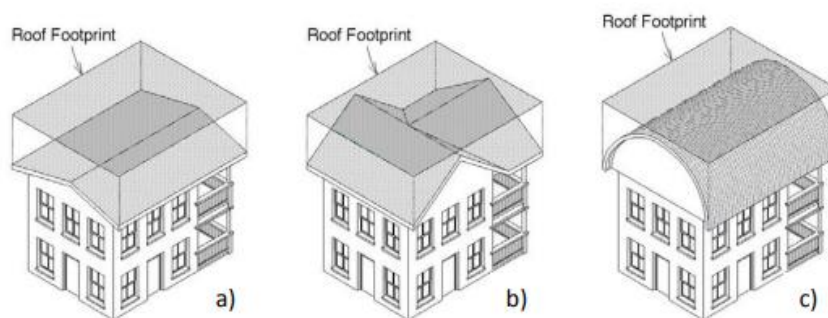


Figura 7. Áreas de captación para tres tipos diferentes de techos

Adaptado de “Gestión y política pública ambiental, para el manejo sostenible y uso ecoeficiente del patrimonio natural en Colombia”. Por Álvarez, González & Duque, 2016.

3.2 Recolección de los datos de registro de las estaciones pluviométricas

Con el área superficial de captación de aguas lluvias, se recolectaron los datos de registro de las estaciones pluviométricas 24027010 y 24027040 localizadas el municipio de San Gil. Para la unificación de los datos en solo una tendencia anual se hicieron consideraciones con el fin de eliminar datos inconsistentes. La primera consideración fue eliminar los años que contienen la totalidad de sus datos en 0.0 mm, la segunda consideración fue eliminar los años que no tuvieran registros numéricos, es decir, aquellos con la etiqueta ¿iERROR o ¿iVALOR. Finalmente se estableció un promedio aritmético entre los valores de los días y los meses para unificar los datos de pluviosidad de las dos estaciones, se consideró que la distancia entre el sitio de estudio y la localización de las estaciones era despreciable. Se construyó el algoritmo mostrado a continuación, con el fin de presentar la información de forma gráfica.

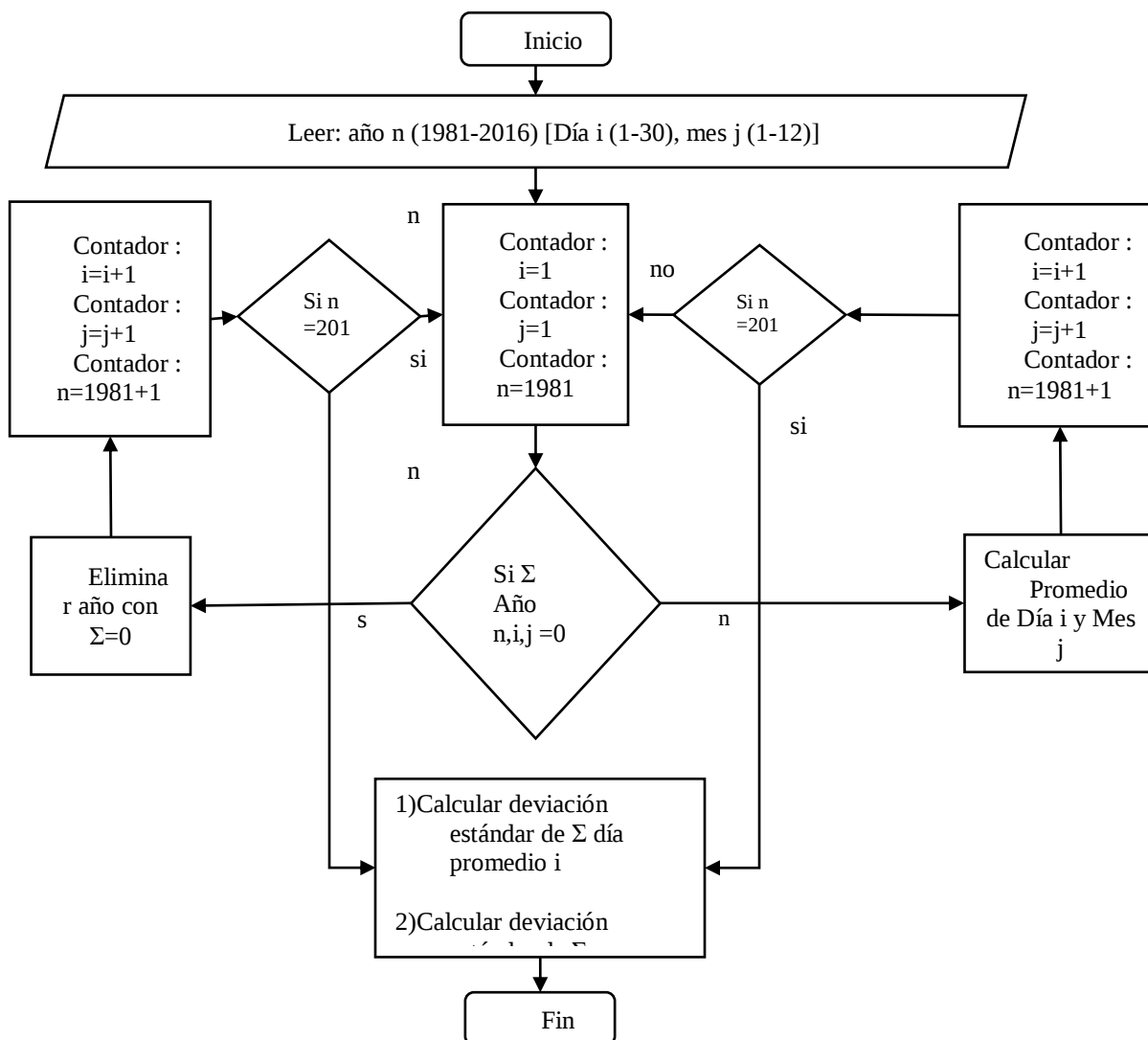


Figura 8. Algoritmo de depuración de datos pluviométricos de las estaciones y 24027010 y 24027040

Fuente: Elaboración propia

3.3 Caracterización Fisicoquímica y Microbiológica de las muestras de agua pluvial

La caracterización del agua pluvial obedece a la necesidad de calcular el IRCA. Como se define en el artículo 13 de la norma 2115 de 2007, los hoteles tienen la obligación de contar con certificados semestrales IRCA en los que este índice no debe superior al 0,5%, calificado como “Sin Riesgo”, en caso contrario podrá ser sujeto de requerimientos o sanciones por parte de la autoridad Sanitaria, acorde con el decreto 1575 de 2007. Para la caracterización se establece como

mínimo de seguridad el establecimiento de 11 parámetros que se describen a continuación, su método de medición, su rango de aceptabilidad y su pontaje de riesgo.

Tabla 8. *Parámetros sujeto de caracterización de agua pluvial*

Parámetro	Unidades de Medida	Método	Rango	Puntaje de Riesgo
pH	(UND)	Electrometría TP0080	6.5-9	1.5
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Volumétrico TP0341	0-300	1
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Volumétrico TP0341	0-250	1
Turbidez	NTU	Nefelómetro	0-2	15
Color Aparente	UPtCo	Fotométrico	0-15	6
Nitritos	mg/L NO ₂	TP 0093	0-0.01	3
Sulfatos	mg/L SO ₄	TP0095	≤ 250	1
Hierro	mg/L Fe	SM 3500-Fe B	0-0.3	1.5
Aluminio	mg/L Al	SM-3500-Al B	0-0.2	3
Coliformes Totales	UFC/100 ml	SM 9222 B	0	25
E-Coli	UFC/100 ml	SM 9222 B	0	25
Total puntaje del riesgo				80

Adaptada de Resolución 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano (22 de junio de 2007).

Para la recolección de muestras se definieron 16 puntos alrededor del municipio de San Gil, Estos puntos se equiparon con accesorios de fontanería que permitieran la recolección de agua pluvial simulando el proceso de captación en el Hotel Alejandría Resort. Los puntos coincidieron con zonas estudiantiles, hoteleras, industriales y residenciales, como muestra la Tabla 9.

Tabla 9. *Puntos de toma de muestra de agua pluvial en el municipio de San Gil*

Punto	Lugar	Zona
1	Colegio Guanentá	Residencial
2	Palacio Municipal	Comercial
3	Hidroeléctrica la cascada	Industrial
4	Complejo vacacional San Carlos	Hotelera
5	Complejo vacacional Comfenalco	Hotelera
6	Parque Natural el Gallineral	Rural
7	Hotel la Colina	Hotelera
8	Hotel Bella Isla	Hotelera
9	Casa de Mercado	Comercial
10	Hilanderías del Fonce	Industrial
11	SENA	Industrial
12	Planta procesadora de Pétreos	Industrial
13	British tabaco Company	Industrial
14	Colegio San Vicente de Paul	Residencial
15	Hotel Alejandría Resort	Hotelera
16	Vivero la Flora	Rural

Fuente: Elaboración propia

3.4 Pruebas de tratabilidad del agua pluvial colectada

Una vez caracterizadas las muestras de aguas lluvias, se procedió a realizar ensayos de tratabilidad empleando tres estrategias comparativas, con el fin de dar cumplimiento a los parámetros contemplados en la Resolución 2115 del 2007:

- Filtración directa del agua pluvial recolectada.
- Adecuación de pH y alcalinidad para floculación, sedimentación y filtración.
- Mezcla con agua fluyente empleada en el Hotel Alejandría.

3.4.1 Adecuación de pH y alcalinidad para floculación, sedimentación y filtración.

Mediante la adición de alcalinizantes como carbonato (CaCO_3) y bicarbonato de calcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) se ajustó el pH a un valor de 7,4 UND. Durante el ensayo de floculación se adicionó de 5 a 10 ppm de sulfato de aluminio tipo A y se empleó un equipo de jarras E&C 1121 con la siguiente discriminación de tiempo para la simulación de la mezcla rápida y la mezcla lenta:

- 5 minutos a 100 *rpm*.
- 2 minutos a 60 *rpm*.
- 2 minutos a 10 *rpm*.
- 10 minutos en reposo.

Una vez finalizado los 20 minutos de la prueba de floculación se tomó el sobrenadante y se circuló por el filtro piloto de tamaño medio de poro de 0.45mm con una composición másica de 65% grava de grano 20-30 mm, un 25% de arena 35-40 mm y un 10% de 0.45mm, se hicieron circular las muestras de agua colectadas directamente y se evaluaron las variables de color, turbidez, pH y contenido microbiológico en el ingreso y la salida del proceso.

3.4.2 Mezcla con agua fluyente empleada en el Hotel Alejandría Resort. Para evaluar la posibilidad de no generar un pretratamiento con aditivos químicos se mezclaron en partes iguales una muestra de agua pluvial con una muestra del agua cruda que arriba al Hotel Alejandría Resort. El ensayo de floculación se realizó siguiendo el procedimiento descrito en el anterior numeral (2.4.1 Adecuación de pH y alcalinidad para floculación, sedimentación y filtración).

3.5 Dimensionamiento del sistema de captación, manejo y aprovechamiento de aguas lluvias

Para el dimensionamiento del sistema se realizó un inventario de unidades sanitarias y habitaciones para establecer el caudal máximo requerido. Una vez determinado el inventario se emplearon las ecuaciones 1-16 las cuales arrojaran la información técnica necesaria para el diseño del sistema.

4. Resultados

4.1 Cálculo del área potencial de captación de las estructuras encontradas en el Hotel Alejandría Resort

El Hotel Alejandría Resort se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas geográficas: 6°35'01.98'', 73°09'26.90''. Actualmente el hotel cuenta con 4 torres ubicadas a manera de “U” identificadas en orden alfabético A, B, C y D. Al interior de la “U” está ubicada la piscina, de 150 m³ de capacidad, para la recreación de sus huéspedes. Las torres cuentan con techos a dos aguas conformados por láminas metálicas termo-acústicas y están diferenciadas de acuerdo con la figura 9. El área techada total de las torres es de 1600.35 m² de los cuales 1376.5m² conducen aguas lluvias por tubos bajantes en PVC de 3 pulgadas hasta un imbornal construido perimetralmente al área circundante a la piscina, zona que también drena al mismo. El imbornal principal cuenta con dos salidas independientes, una que recibe flujo de las torres A y B y otra receptora de las torres C y D. Una de las salidas del imbornal se comunica a través de tuberías de concreto y descarga a un canal natural localizado en el sector norte del hotel.



Figura 9. Mapa de vista satelital de la ubicación del Hotel Alejandría Resort respecto al municipio de San Gil

Adaptada de *Google Earth*.

Los 223.5 m² restantes hacen parte de pequeñas áreas techadas de las torres A y B drenando por tuberías bajantes en PVC de 3 pulgadas a otro canal natural ubicado en el sector sur; esta área no se contempla dentro del proyecto, sin embargo, si se suma el área de ocio circundante a la piscina que es de 689.84 m², de modo que el proyecto contará con **2066.94 m²** para captación de aguas lluvias.

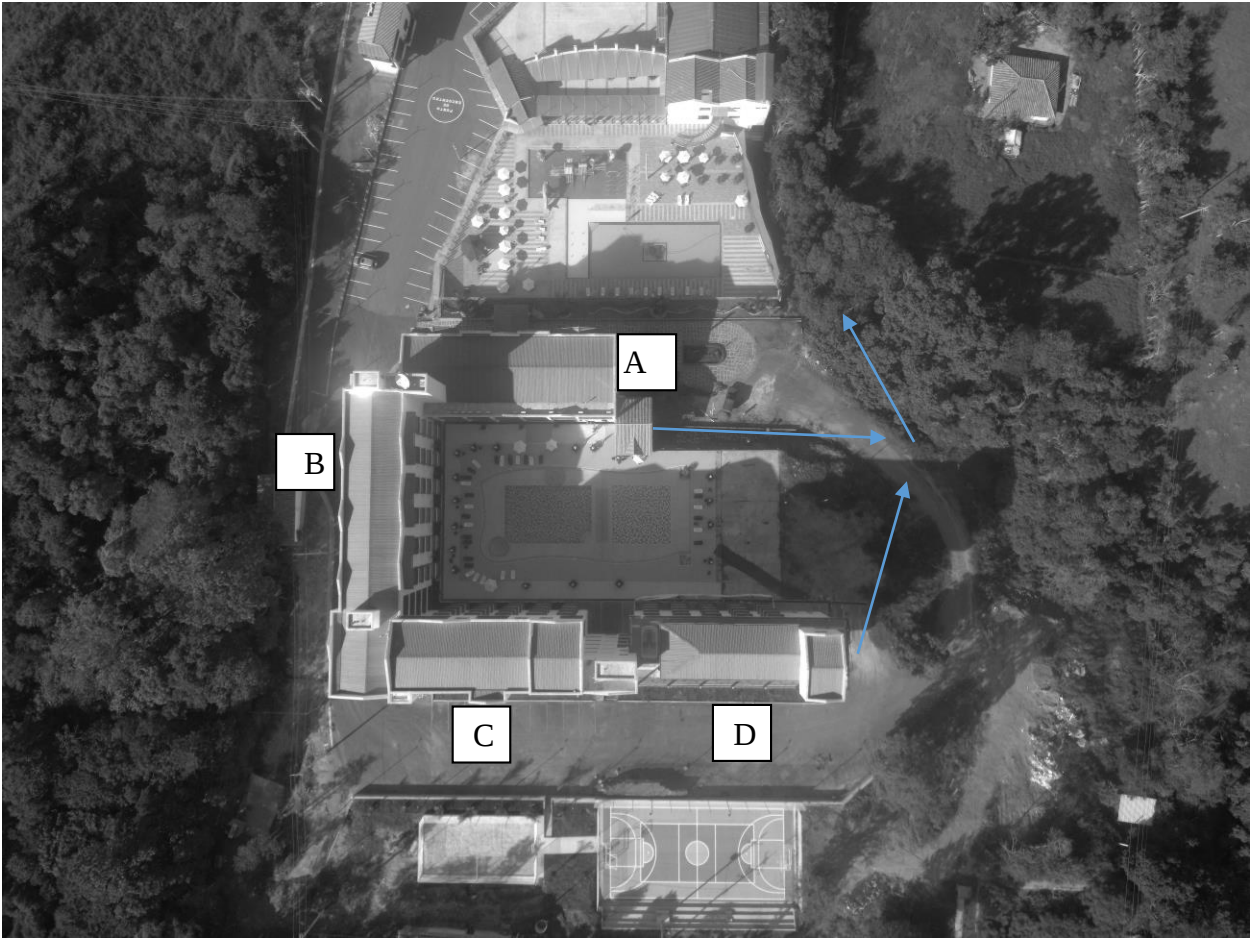


Figura 10. Fotografía aérea del Hotel Alejandría Resort
Fuente: Autores

Tabla 10. Resumen de áreas correspondientes a las torres útiles para el Proyecto

TORRE	ÁREA (m ²)
A	414
B	451,85
C	434,5
D	300
Área de ocio	689,84
Área parcial descartada de las torres A-B	223,5
Área total de captación	2066,94

Fuente: Elaboración propia

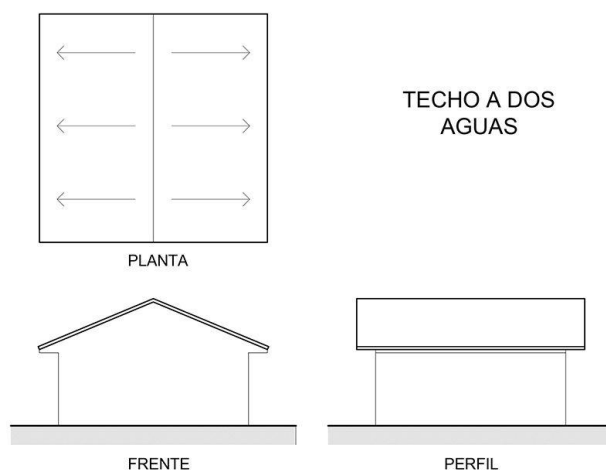


Figura 11. Esquema y vistas de un techo a dos aguas
Fuente: Elaboración propia

4.2 Cálculo de la oferta de agua pluvial a partir de la información reportada en las estaciones pluviométricas.

Para el desarrollo del SAAL se calculó la oferta de precipitaciones mensuales sobre el área comprendida entre las estaciones pluviométricas de la región Guanentína 24027010 y 24027040 administradas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), cuyos datos comprenden el periodo de tiempo entre los años 1981 y 2016. Entre los datos obtenidos, se observó que las estaciones no operaron de forma continua en el periodo de tiempo mencionado, dado que se encontraron años completos con valores de 0 mm de H₂O precipitada.

Para unificar el tratamiento de los datos se empleó una depuración sencilla, la cual se basó en el descarte de los años en los que no se reportó información. Al finalizar la selección de la información se obtuvo un conjunto de 20 y realizó un promedio aritmético entre ellos conforme a la ecuación 1.

La Figura 12, muestra la precipitación promedio durante el intervalo de tiempo estudiado en el área de influencia, en ella se identifica claramente el comportamiento característico del territorio

colombiano de dos periodos de lluvias bien marcadas, comprendidas entre abril-junio y agosto-octubre, sucedido de periodos de disminución de lluvias, acotando finalmente en la época de estiaje que abarca los meses de diciembre, enero y febrero. Los meses de transición son: marzo, julio y noviembre, en los cuales las lluvias empiezan a aumentar y disminuir respectivamente alcanzando valores de 161,741 y 150,696 mm agua al mes; el mes con menor precipitación fue enero.

El acumulado total es de 1185.558 mm/m² por año, representando un aporte significativo respecto a los 3240 mm de precipitaciones totales al año en el departamento (IDEAM, 2018). La variación de las precipitaciones afectará la funcionalidad de los SAAL, dependiendo de la presencia del fenómeno de niño o de la niña, según sea el caso.

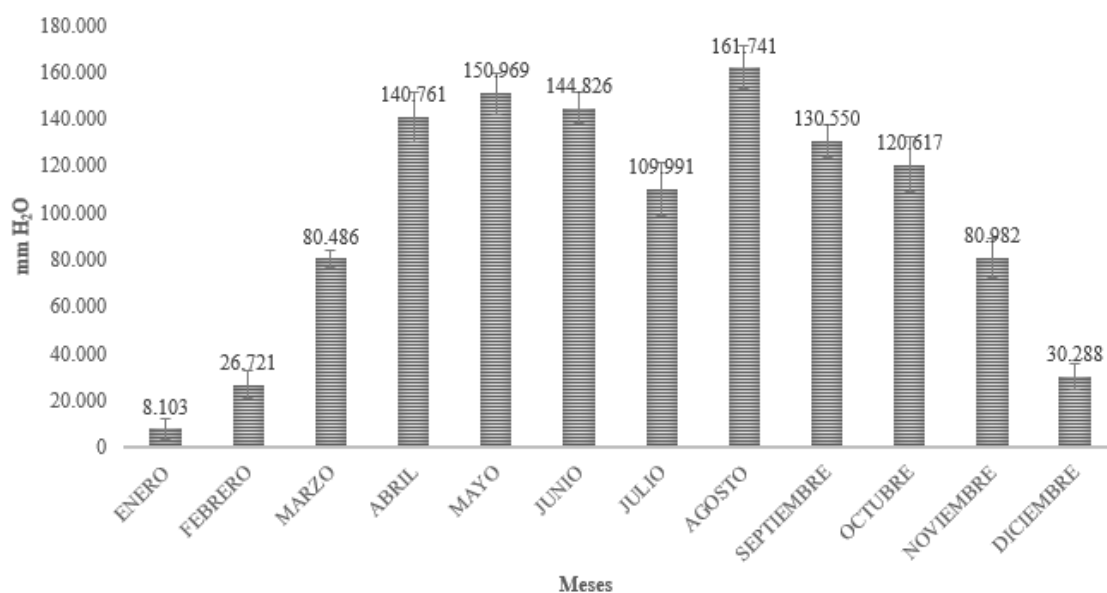


Figura 12. Precipitación promedio durante el intervalo de tiempo estudiado en el área de influencia (mm de H₂O/mes)

Fuente: Elaboración propia

4.3 Análisis de propiedades fisicoquímica y microbiológica las muestras de agua pluvial para establecer su nivel de IRCA

Para el correcto desarrollo del SAAL propuesto para el hotel Alejandría Resort se efectuó la medición de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las muestras, con el propósito de definir su nivel de riesgo asociado a su calidad. Durante los primeros 8 ejercicios de caracterización fisicoquímica y microbiológica, se encontraron valores de pH bajo y contenido microbiológico no acorde con los estándares mínimos de calidad de agua potable, razón por la cual se efectuaron caracterizaciones fisicoquímicas en diferentes sectores del municipio de San Gil a fin de establecer si existía variación significativa en los resultados de las propiedades.

Se tomaron 48 muestras de 16 ubicaciones en el municipio de San Gil presentadas en la tabla 8, incluyendo el hotel, áreas céntricas, áreas residenciales, áreas de parques y zonas industriales descartando alteraciones. El principal propósito fue determinar las propiedades del agua lluvia y ver su posible variación de acuerdo a sector y a los tipos de superficie de cubierta.

La metodología empleada para la toma de muestra fue la siguiente: Se utilizaron frascos de vidrio boro silicato de 1 litro de volumen previamente esterilizado, lavados con soluciones de ácido nítrico 0.02N y ácido sulfúrico 0.02N, posteriormente se enjuagaron con agua destilada y desionizada se procedió a almacenar la muestra para análisis fisicoquímico. En frascos de 500 ml de polietileno estéril y sin abrir se realizó la toma de muestra para análisis microbiológico llenando dicho volumen hasta un 50% de capacidad. Cada muestra fue procesada en menos de 24 horas de custodia, se emplearon métodos estandarizados referentes al Standard Methods of Water and Waste Water ed 21, contenidos en los apéndices del B al G en el presente documento. A continuación, se presenta la figura 13, la cual muestra los puntos de muestreo.



Figura 13. Fotografía satelital de San Gil con sus respectivas marcas en los puntos de muestreo Adaptada de Google Earth

También se presentan los resultados de las caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas realizadas a las muestras de agua pluvial tomadas en diferentes sectores del municipio (Tabla 11). De igual forma, se presenta el IRCA asociado a cada parámetro que se caracterizó por muestra y su respectiva sumatoria que representa la calificación final basada en la metodología descrita en el artículo 13° de la norma 2115 de 2007.

Tabla 11. *Caracterización Fisicoquímica de las muestras de agua pluvial recolectadas en los puntos concertados*

Muestra	pH (UND)	Alcalinidad Total (mg/l CaCO ₃)	Dureza Total (mg/l CaCO ₃)	Turbidez NTU	Color Real UPtCo	Nitritos mg de NO ₂ /l	Sulfatos mg de SO ₄ /l	Hierro mg Fe/ litro	Aluminio mg Al/ litro	Coliformes Total (UFC/100ml) x 10 ³	E-COLI (UFC/100ml)
Método	Electrometría TP0080	Titrimétrico	Volumétrico TP0341	Nefelométrico	Fotométrico	TP 0093	TP0095	SM 3500-FE B	SM-3500-AL B	SM 9222 B	SM 9222 B
Rango	6,5-9	0-300	0-250	0-2	0-15	0-0.01	≤ 250	0-0-3	0-0.2	0,0	0,0
1	6,44	5,2	7,0	1,44	10	0,002	2,415	0,000	0,004	4	1
2	6,0	3,5	8,0	2,05	25	0,002	2,147	0,000	0,009	4	2
3	5,58	6,2	8,0	3,2	25	0,002	2,000	0,000	0,011	2	1
4	6,2	3,3	10,0	3,3	20	0,002	1,978	0,019	0,008	1	0
5	5,8	4,2	8,0	3	15	0,002	1,824	0,023	0,009	1	0
6	6,23	6	11,0	2,5	25	0,002	2,325	0,022	0,005	4	1
7	6,21	4,2	8,0	2,58	20	0,002	2,845	0,024	0,009	5	2
8	6,23	6,5	10,0	1,41	10	0,002	2,471	0,041	0,004	4	2
9	6,01	4,1	8,0	1,98	10	0,002	2,197	0,019	0,003	4	1
10	5,89	5,8	8,0	2,41	25	0,002	1,847	0,023	0,003	5	1
11	6,52	6,0	12,0	2,77	30	0,002	1,545	0,029	0,004	5	1
12	5,69	4,2	12,0	3	35	0,002	2,48	0,014	0,004	4	2
13	6,11	3,8	10,0	3,2	30	0,002	2,848	0,014	0,002	3	1
14	6,08	6,6	8,0	2,2	15	0,002	2,178	0,017	0,002	3	2
15	6,21	4,0	7,0	1,5	10	0,002	2,497	0,016	0,002	2	1
16	6,23	4,6	7,0	1,1	10	0,002	3,145	0,019	0,002	1	0
PROM	6,089	4,888	8,875	2,353	19,125	0,002	2,296	0,018	0,005	3	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. *Cálculo del índice de riesgo asociado a la calidad del agua IRCA*

Muestra	pH (UND)	Alcalinidad Total (mg/L CaCO ₃)	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	Turbidez NTU	Color Real UPtCo	Nitritos mg de NO ₂ /L	Sulfatos mg de SO ₄ /L	Hierro mg Fe/ L	Aluminio mg Al/ L	Coliformes Totales (UFC/100ml) x 10 ³	E-COLI (UFC/100ml)	ΣIRCA (0- 100%)
1	1,5	0	0	15	6	0	0	0	0	15	15	35,39
2	1,5	0	0	15	6	0	0	0	0	15	15	58,99
3	1,5	0	0	15	6	0	0	0	0	15	15	58,99
4	1,5	0	0	15	6	0	0	0	0	15	15	58,99
5	1,5	0	0	15	6	0	0	0	0	15	15	58,99
6	1,5	0	0	15	6	0	0	0	0	15	15	58,99
7	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	58,99
8	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	35,39
9	1,5	0	0	15	6	0	0	0	0	15	15	35,39
10	0	0	0	15	6	0	0	0	0	15	15	58,99
11	1,5	0	0	15	6	0	0	0	0	15	15	57,30
12	1,5	0	0	15	6	0	0	0	0	15	15	58,99
13	1,5	0	0	15	6	0	0	0	0	15	15	58,99
14	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	58,99
15	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	35,39
16	1,5	0	0	15	6	0	0	0	0	15	15	35,39
PROM	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	58,99

Fuente: Elaboración propia

Nominalmente, los valores se encuentran de acuerdo con estudios similares de caracterización de aguas ofreciendo valores de pH, turbidez, nitrato y sulfato comparables con los presentados en la tabla 10, el conjunto es: 6.21 a 7.13 (pH), 0.42 a 1.51 (turbidez) y 0,0 para conteo microbiológico tanto de coliformes totales como de E-coli (Payus & Meng, 2015). Si bien el autor no reporta contenido microbiológico, los valores de pH y turbidez están en rangos similares a los encontrados en las muestras caracterizadas en el municipio San Gil. Existen precedentes del uso de agua lluvia para suplir necesidades básicas de comunidades, pero es esencial analizar la calidad del agua desde el punto de vista cuantitativo y establecer la seguridad de su consumo, pues las características generales en la literatura se ubican en rangos de coliformes totales de 0-10 UFC, pH de 3.6 a 11.4, alcalinidad de 0–21.5 mg CaCO_3/l , nitrito de 0–246 mg/l, sulfato de 0–0.5 mg/l y metales como hierro en contenidos de 0.01–0.18 mg/l (Melidis, Akratos, Tsihrintzis, Trikilidou, 2007). La calidad del agua de lluvia captada puede variar dependiendo la ubicación y/o las actividades que realicen directamente en la zona, de igual forma el material sobre el cual el fluido circule puede generar variaciones considerables, esto es soportado en la diversidad resultados en la medición de propiedades del agua, las cuales varían entre condiciones aceptables hasta las no aceptables, con valores de: turbiedades (0-0.5 NTU), pH de 6,55 A 6,6 y contenido microbiológico que no siempre igual a cero (0-8 UFC/100ml), confirmando que siempre es necesario determinar la calidad del agua captada de techos para definir si es necesario un tratamiento previo a su consumo o no (Selala, Thenga, Jewitt & Chaplot, 2018).

Los valores de tabla 11, indican un bajo contenido de sales medidos en alcalinidad total y Dureza total en rangos de 4.2 a 6.6 mg/l y 7 a 12 mg de CaCO_3 respectivamente. Las turbiedades oscilan en valores aceptables y no aceptables de 1.41 a 3.3 (NTU), el potencial de hidrogeno es particularmente bajo y no cumple con el estándar mínimo de 6.5 unidades. De igual forma el color,

que se adquiere principalmente por la escorrentía sobre las superficies es oscilante entre valores aceptables y no aceptables, sin embargo, su promedio se encuentra en un valor de 19 unidades de platino cobalto, superior al límite permitido por la normatividad colombiana que lo sitúa en un máximo de 10 UPtCo.

Finalmente observando los resultados microbiológicos es evidente que existe contaminación por coliformes totales y fecales, provenientes principalmente de las heces de las aves, restos dejados por aves de carroña y el arrastre de material particulado de las zonas circundantes.

Para obtener un avalúo general de la calidad de las muestras de agua caracterizadas se empleó la metodología descrita en el artículo 13° de la resolución 2115 de 2007, calculando el índice de riesgo asociado a la calidad del agua IRCA, en el cual se destaca su incompatibilidad para consumo humano, con valores entre los 35.39 y 58.99 puntos porcentuales. Vale la pena aclarar que el máximo índice permitido en suministro de agua considerada apta para consumo, o potable, es de 5 puntos porcentuales tal y como lo define la resolución 2115 de 2007 en su artículo 14°, asegurándose también por parte del hotel de tener una certificación del valor del IRCA con una frecuencia mínima de 6 meses, de acuerdo a la norma 1575 de 2007, fijado en su artículo 10°.

4.4 Ensayos de tratabilidad del agua pluvial colectada para definir los procesos requeridos según lo estipulado en la Resolución 2115 de 2007

Una vez evaluada la calidad de agua conforme a los lineamientos contenidos en la Resolución 2115 de 2007, es necesario aplicar un tratamiento para hacerla apta para consumo humano. Las pruebas de tratabilidad se efectuaron teniendo como premisa hacer uso de la estructura de potabilización existente. La planta de tratamiento de agua potable del hotel Alejandría Resort está compuesta por un tanque de recepción de agua cruda (TAC) de 50m³, posteriormente se bombea

el agua a un sistema de filtración multipunto, a través de una tubería de dos pulgadas mediante empleo de un equipo de 0.55 HP. Durante el transporte del fluido se realizó la inyección de sulfato de aluminio tipo A, sin embargo esta sustancia no tiene más de 7 segundos para estar en contacto con la masa de agua y tampoco posee la turbulencia suficiente para mezclarse homogéneamente, incumpliendo todos los lineamientos técnicos del RAS 2000 contenidos en el título A, en cuanto a un tiempo de retención mínimo de 20 minutos y emplear un resalto hidráulico para dosificación de insumos, es decir, no posee unidad de floculación, ocasionando que la carga de remoción de turbidez recaiga sobre el sistema de filtración multipunto, hecho que representa el cambio de lecho filtrante cada 4 meses.

Posterior a la clarificación mediante filtración multipunto se envió el agua hacia tres (3) sedimentadores circulares de 2.2 m de alto y un diámetro de 1.5 m, se sedimentaron las impurezas que no se retiraron durante la primera filtración. En este punto ya no había presencia de sal oxácida (floculante) en el agua, debido a que esta se remueve durante la primera filtración, lo que ocasiona una baja eficiencia de las unidades en mención. Aunque su flujo ascendente permite la disminución de la concentración de impurezas a la altura de la lámina de agua, se evidencia presencia de color y turbidez. Finalmente, el agua es bombeada de los sedimentadores circulares hacia un tanque de almacenamiento de agua tratada, adyacente al tanque de TAC. Una vez el agua este en el tanque de almacenamiento se adicionaron 45 g de Hipoclorito de Calcio al volumen total del tanque lleno y se reforzó con la adición de 7g adicionales. A continuación, se presenta el esquema de la planta del tratamiento y el registro fotográfico de las unidades de la PTAP de Alejandría Resort.

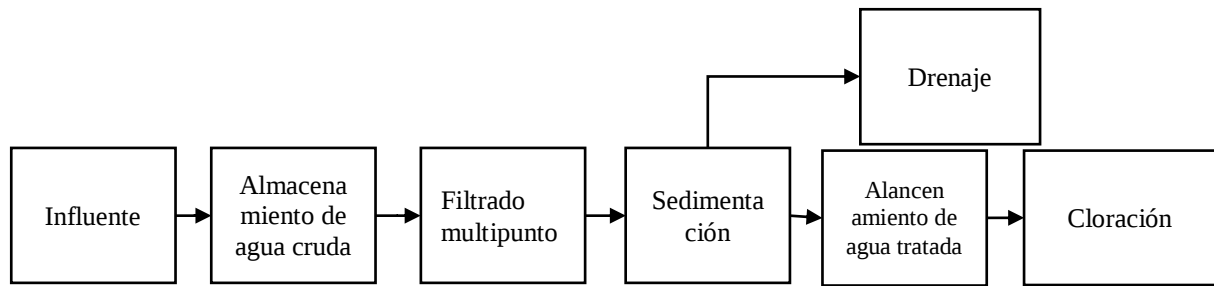


Figura 14. Procesos en la planta de tratamiento de agua del Hotel Alejandría Resort
Fuente: Elaboración propia.



Figura 15. Caseta de almacenamiento de agua tratada y agua cruda
Fuente: Autores.

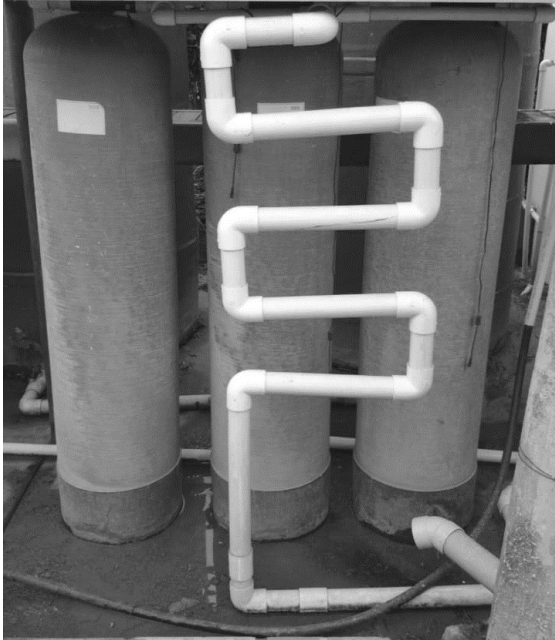


Figura 16. Sistema primario de filtración multipunto
Fuente: Autores.

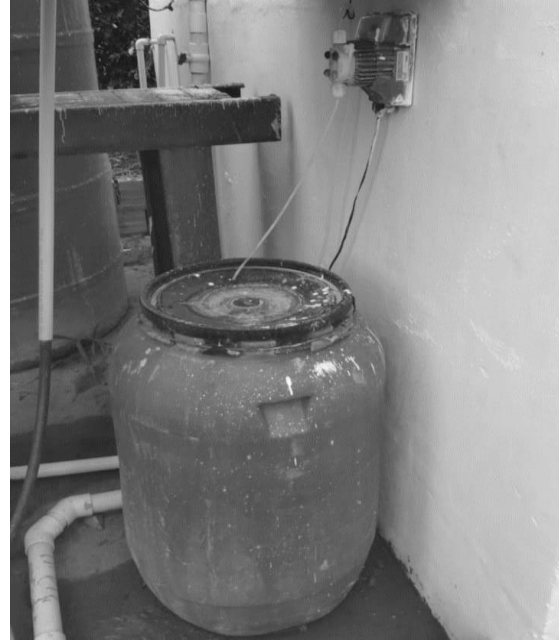


Figura 17. Sistema de preparación y dosificación de floculante
Fuente: Autores.



Figura 18. Vista general de la PTAP del Hotel Alejandría Resort. Filtración multipunto (A) Sistema de sedimentación de flujo ascendente (B) Tanque de preparación de solución desinfectante (C)

La figura 18 permite ver de forma general la estación de tratamiento de agua potable, en donde el flujo es de derecha a izquierda y está compuesta por las siguientes partes; i) el sistema primario de filtración multipunto (A), ii) el conjunto de tanques cilíndricos conectados en serie los cuales son empleados como sistemas de sedimentación de flujo ascendente (B), y iii) el tanque de preparación de solución desinfectante en a una concentración del 5% p/v de hipoclorito de calcio. Una vez el flujo volumétrico de agua circula a través de las unidades A y B se bombea mediante un equipo sumergible a los tanques de almacenamiento de agua tratada mostrados en la figura 15.

La literatura recomienda que las pruebas de clarificación del agua pluvial mediante la floculación se realicen a una alcalinidad mínima, con el fin de soportar el proceso de floculación cuando se emplea sulfato de aluminio tipo A o B de 35 mg/l CaCO_3 . El sulfato impacta directamente las propiedades del agua como el pH y la alcalinidad total por su método de obtención mediante digestión acida Saritha, Srinivas, & Vuppala, 2015; Renaut, Sancey, Badot, & Crini, 2009), de tal modo que se debe garantizar las propiedades mínimas del agua previa al proceso Organización Panamericana de la Salud, 2004). A continuación, se muestran los resultados de los ensayos de tratamiento de agua al emplear sulfato de aluminio tipo B en agua pluvial y mezcla de agua pluvial con esorrentía natural de proporción 1:5. La primera prueba de floculación se efectuó sin la corrección previa de pH, con el fin de comprobar la necesidad de emplear alcalinizante.

Tabla 13. *Ensayos de clarificación de agua lluvia captada en el hotel Alejandría resort mediante dosificación de sulfato de aluminio tipo B en agua 100% pluvial sin corrección previa de pH.*

Punto	pH inicial	Alcalinidad-inicial mg/l CaCO_3	T-inicial (NTU)	pH final	Alcalinidad-final mg/l CaCO_3	T-final (NTU)	Dosis ppm/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
1	6,14	5,2	2.04	6.10	< 3.00	1.25	2.00
2	5,58	4,2	3.45	5.50	< 3.00	2,27	3.30
3	6,22	4,3	2.85	5.75	< 3.00	2,14	3.30
4	6.0	4,2	3.55	5.72	< 3.00	2,44	3.00
5	6,13	4.0	3.8	5.87	< 3.00	1,95	2.75
6	6,01	4,4	3,58	5.75	< 3.00	2.41	2.85
7	6,21	4,4	2,91	5.42	< 3.00	1,69	2.50
8	6,42	4.2	2,88	6.05	< 3.00	2.11	2.95

Fuente: Autores.

Puede apreciarse de la Tabla 13 que el *pH* y la alcalinidad presentan resultados bajos, considerando que el *pH* recomendado antes de efectuar la floculación, definido en un punto isoeléctrico es como mínimo 7.2 und y 35 mg/l de CaCO_3 (Lorenzo, 2006). De igual forma, la literatura recomienda un procedimiento que incremente el *pH* mediante la adición de alcalinizante (NaOH , CaCO_3 o NaHCO_3), con el fin de remover las impurezas presentes en el agua a tratar (Blondeel, Depuydt, Cornelis, Chys, Verliefde, & Henk, 2015). Los resultados obtenidos en disminución de la turbidez solo fueron efectivos en el 50% de los ensayos y además el *pH* se mantuvo por fuera del valor reglamentado (6.5) en el 100% de los ensayos, de modo que se confirma el comportamiento esperado. Se procedió a realizar ensayos de floculación para remoción de la turbidez en una muestra de agua con la siguiente proporción de mezcla 1:5 agua lluvia: agua superficial, mediante el empleo de la mezcla como método de mitigación de impacto de *pH* y alcalinidad.

Tabla 14. *Ensayos de clarificación de agua lluvia mezclada con agua superficial empleada en el hotel a razón de 1:5 en el hotel Alejandría resort mediante dosificación de sulfato de aluminio tipo B en agua 100% pluvial sin corrección previa de pH*

Punto	pH inicial	Alcalinidad-inicial mg/l CaCO_3	T-inicial (NTU)	pH final	Alcalinidad-final mg/l CaCO_3	T-final (NTU)	Dosis ppm/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
1	6,82	15	18,8	6.10	5.8	1.75	10.05
2	6,72	17.2	17,2	5.50	6	2,58	9.00
3	6,82	15.8	14,3	5.75	6	1,74	8.50
4	6.78	15.2	18,6	5.72	5.2	3.15	8.50
5	6,73	17.4	12,4	5.87	6.2	1,05	9.00
6	6,81	17.8	18,3	5.75	6	2.41	9.00
7	7,01	16.8	13,85	5.42	6.5	1,69	9.00
8	7,12	18.8	16,24	6.05	7	2.11	10.05

Fuente: Autores.

La tabla 14 presenta un rendimiento de la a remoción de turbidez, reportando una eficiencia del 62,5%, es decir éxito en 5 de 8 ejercicios de clarificación, también se evidencia mejor clarificación que en el ejercicio efectuado con masa de agua lluvia 100%. Es válido aclarar que la turbidez debe mantenerse en el nivel *bajo* en el 100% de los casos, para demostrar que la técnica es confiable y que cumple con los parámetros consignados en la resolución 2115 de 2007, Art. 13. Se realizaron nuevamente los ensayos de floculación, con el fin de adecuar la corrección previa de pH mediante la adición de un alcalinizante. En estos ensayos se añadió una cantidad de 35 mg/l de CaCO_3 ; los resultados se presentan a continuación.

Tabla 15. *Ensayos de clarificación de agua lluvia mezclada con agua superficial empleada en el hotel a razón de 1:5 en el hotel Alejandría resort mediante dosificación de sulfato de aluminio tipo B en agua 100% pluvial con corrección previa de pH mediante la adición de 35mg/l de CaCO_3*

Punto	pH inicial	Alcalinidad- inicial mg/l CaCO_3	T- inicial (NTU)	pH final	Alcalinidad- final mg/l CaCO_3	T-final (NTU)	Dosis ppm/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
1	7,14	50	18,8	7.1	21,1	0.85	10.05
2	7,16	52,2	17,2	7.0	18,6	1.18	9.00
3	7,18	50,8	14,3	7.0	14,9	0.91	8.50
4	7,15	50,2	18,6	7.05	17,4	1.17	8.50
5	7.18	52,4	12,4	7.13	13,6	1.22	9.00
6	7,14	52,8	18,3	7.10	22,3	1.14	9.00
7	7,18	51,8	13.85	7.05	18,6	1.12	9.00
8	7,15	53,8	16,24	7.10	18,6	1.00	10.05

Fuente: Autores.

En los valores presentados en la tabla 15, se puede evidenciar que una vez añadido el contenido de alcalinizante en 35 ppm, el potencial de hidrógeno aumenta levemente su valor, sin embargo, no alcanza el valor de 7,2 mínimo requerido. Por otro lado, la alcalinidad aumentó

proporcionalmente a la adición de CaCO_3 y estos dos factores en conjunto permitieron mejorar el rendimiento de la clarificación del agua hasta en el 100% de los ensayos.

Se concluye que la adición 35 ppm de CaCO_3 permite mantener el pH en el rango de cumplimiento con la Norma 2115 de 2007 (6,5-9) y que la turbiedad se reduce a valores aceptables dentro del margen de 2 NTU en la totalidad de los ensayos. Se confirma así que la adecuación de las propiedades como la alcalinidad y el pH incrementan la capacidad buffer del agua y garantizan que la afección de las propiedades en mención posterior a la adición de un sal oxácido metálica se mantengan en rangos aceptables (Amorocho, 2013). Una vez efectuado con éxito el procedimiento de clarificación, se filtró el agua a través de un lecho piloto de arena, grava y antracita en proporciones 65%, 15% y 20%, respectivamente, esto con el fin de eliminar sólidos de menor tamaño suspendidos en la solución.

Tabla 16. *Ensayos de clarificación y filtración mediante dosificación de sulfato de aluminio tipo B en muestra compuesta por 20% agua pluvial y 80% agua de escorrentía superficial natural y arrastre por filtro de tamaño efectivo (Te) 35 mm compuesto por arena y grava 65/35, con corrección previa de pH*

Punto	pH inicial	Alcalinidad-inicial mg/l CaCO_3	T-inicial (NTU)	pH final	Alcalinidad-final mg/l CaCO_3	T-final (NTU)	Dosis ppm/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
1	7,14	15	53,8	7.1	19,8	0,22	10.05
2	7,16	17.2	52,2	7.0	18,0	0,24	9.00
3	7,18	15.8	49,3	7.0	19,8	0,38	8.50
4	7,15	15.2	53,6	7.05	21,6	0,49	8.50
5	7.18	17.4	47,4	7.13	27,0	0,56	9.00
6	7,14	17.8	53,3	7.10	25,2	0.55	9.00
7	7,11	16.8	48,85	7.05	27,0	0,32	9.00
8	7,15	18.8	51,24	7.10	29.8	0.49	10.05

Fuente: Autores.

Finalmente la filtración del líquido permite reducir aún más la turbidez en el 100% de los casos y de este modo evitar interacciones de sólidos o partículas con el desinfectante una vez concluya el proceso pues, según lo reportado en la literatura, la presencia de turbidez se asocia a partículas,

o sólidos en suspensión sobre los cuales pueden permanecer bacterias y parásitos, lo que aumenta la demanda de cloro libre residual al momento de iniciar la etapa de contacto de cloro (desinfección) (Jiménez, 2010).

4.5 Dimensionamiento del sistema de captación, manejo y aprovechamiento de aguas lluvias del Hotel Alejandría Resort

El Diseño del SAAL propuesto para el Hotel Alejandría resort abarca dos propósitos: El primero de ellos, orientado al dimensionamiento de estructuras para el aprovechamiento de los volúmenes de agua pluvial ofertada en la zona. El segundo, al dimensionamiento de estructuras que permitan el mejoramiento de la calidad de agua previamente captada para aprovechamiento. A continuación, se presenta la figura 19, la cual esquematiza los dos frentes de acción para el dimensionamiento del sistema de captación, manejo y aprovechamiento de aguas lluvias.

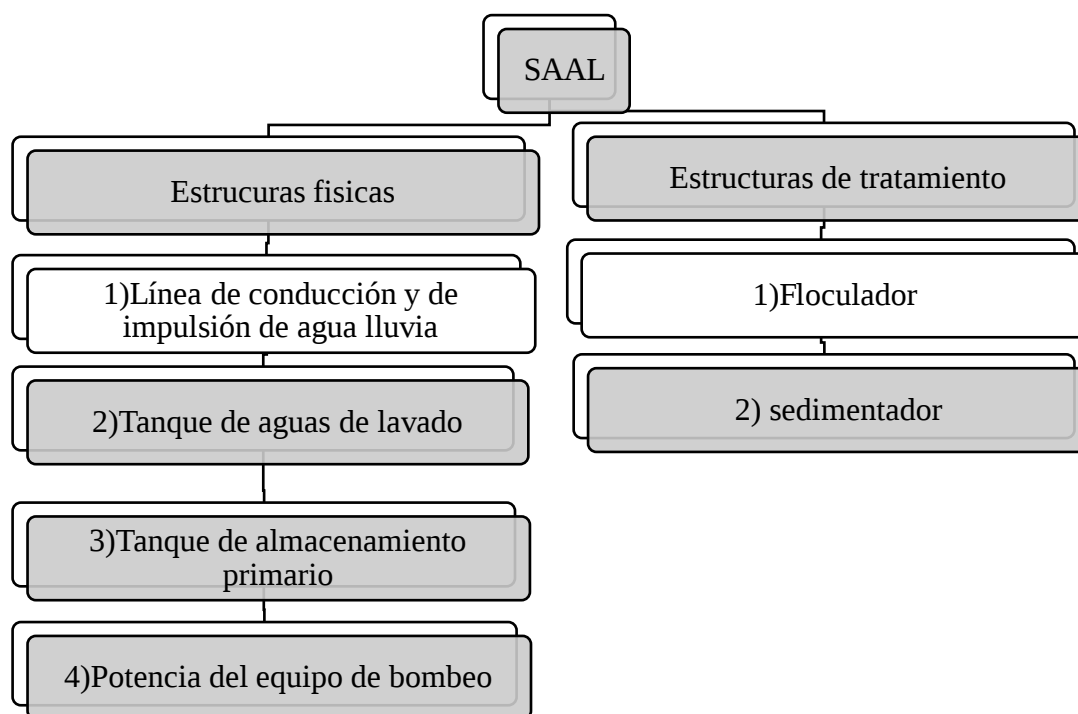


Figura 19. Esquema de composición de estructuras del SAAL para el Hotel Alejandría Resort
Fuente: Autores.

4.5.1 Estimación de la línea de conducción y de impulsión de agua lluvia. A continuación, se presenta la figura 20, en la cual se puede apreciar una vista general del plano arquitectónico del hotel Alejandría resort. Para observar con más profundidad los detalles de cotas y medidas se recomienda revisar el Apéndice H.

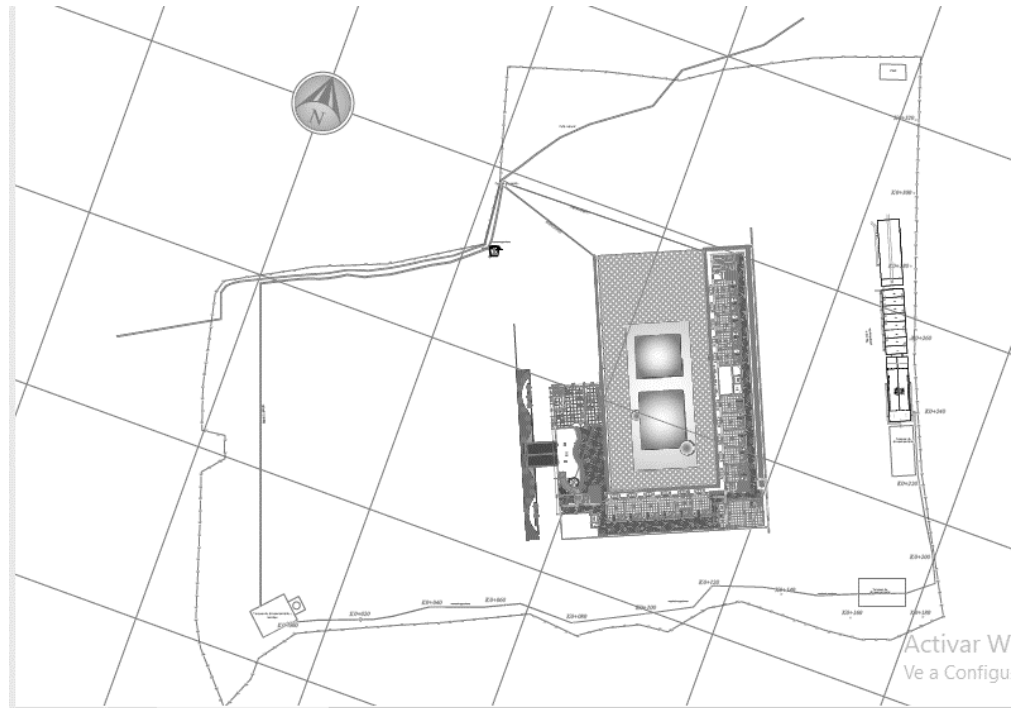


Figura 20. Plano de vistas generales del Hotel Alejandría Resort Fuente: Autores.

Como se mencionó anteriormente, las aguas lluvias en el hotel Alejandría Resort son recolectadas por tuberías y bajantes de 3 pulgadas y conducidas al imbornal que rodea el área de la piscina, allí se conectan a través de tuberías de concreto de 12 pulgadas de diámetro en los puntos TC1 (provenientes de las torres A y B) y TC2 (provenientes de las torres C y D) respectivamente. A partir de los puntos TC 1 y 2 propone una estructura tipo imbornal que transporte las aguas lluvias hasta una caja de inspección en el punto ICC, situado en el canal natural norte, las longitudes de los tamos TC1-ICC y TC2-ICC son: 48 metros y 35 metros

respectivamente. En el punto ICC la caja de inspección tendrá dimensiones de 1 metro de alto por 1 metro de ancho y 0.6 metros de profundidad. Posteriormente se transportará el agua pluvial hasta el tanque de primeras aguas, a una distancia de 10 metros metros. Después de recolectadas las aguas de trabajo se seguirá conduciendo el fluido hasta el tanque de almacenamiento primario en el sector sur del hotel identificado como TKM, la distancia recorrida desde el punto ICC es de 110 metros metros. Una vez almacenada el agua en el tanque receptor primario se debe bombear hacia el tanque TKMZ, ubicado a 112 metros, donde el agua lluvia entrara en contacto con el agua cruda superficial para mezclarse en una proporción 1:5. Finalmente el agua mezclada y adecuada será bombeada hacia la planta de tratamiento de agua potable situada a 32 metros donde se someterá a tratamiento convencional. En la línea de conducción existen tres accesorios de cambio de dirección y en la línea de impulsión 8.

La siguiente tabla resume las longitudes por tramo y sus respectivos accesorios.

Tabla 17. *Tramos longitudes y accesorios de las líneas de conducción e impulsión de aguas lluvias*

Tramo	Longitud (m)	Conducción/ impulsión	Accesorio
TC1-ICC	35	Conducción	Unión
TC2-ICC	48	Conducción	4 codos de 90°
ICC-TK1	10	Conducción	3 codos de 90°
TK1-TKM	100	Conducción	6 codos de 90° y un codo de 45°
TKM-TKMZ	162	Impulsión	3 codos de 90° y 2 codos de 45°
TKMZ-PTAP	32	Impulsión	
Total	387		

Fuente: Autores.

4.5.2 Tanque de lavado de primeras aguas. Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado natural del techo o superficie de captación; en esta unidad quedan retenidos sedimentos o sustancias contaminantes y evita el ingreso al tanque de

almacenamiento, de este modo se minimiza la contaminación del agua captada para uso. En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en un litro por m^2 de techo (Organización panamericana de la salud, 2004).

$$V_{\text{int}} = \left(1 \frac{\text{litro}}{m^2} * \frac{\text{Area}_{\text{Captación}}}{1000} \right) \quad (8)$$

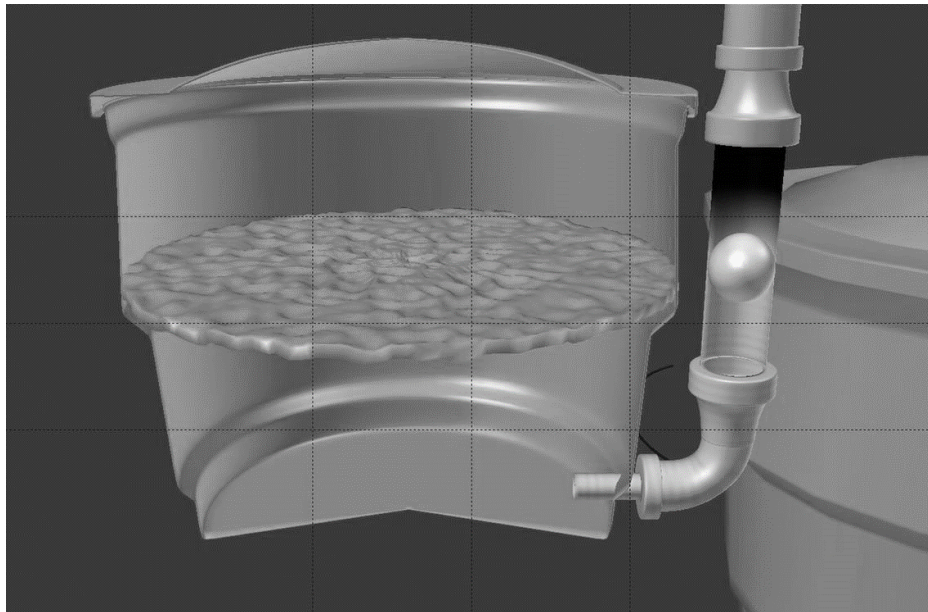


Figura 21. Esquema interceptor de primeras aguas
Adaptado de “Tecnologías apropiadas para el suministro de agua en situaciones de emergencia” por Sánchez & Casas, 2010.

El área total de captación con la que cuenta el hotel es de **2066.34 m^2** por lo tanto se podrá instalar un tanque con capacidad para 2000 litros, teniendo en cuenta la aproximación con el parámetro descrito y su fácil adquisición comercial.

$$V_{\text{int}} = \left(1 \frac{\text{litro}}{m^2} * \frac{2066.34 m^2}{1000} \right) = 2.06634 m^2$$

La entrada de agua al tanque interceptor se realiza por la parte inferior. Tal como se puede apreciar en la figura anterior a la entrada se construye un dispositivo con tubería PVC el cual contiene en su interior un flotador que por efectos de vasos comunicantes va ascendiendo en la medida que el tanque se va llenando hasta alcanzar su nivel. El flotador sella la entrada de agua y

da paso al llenado del tanque de almacenamiento. El tanque interceptor debe ser drenado periódicamente con el fin de dar espacio al agua de posteriores precipitaciones. Este puede ser usado para riego de zonas verdes o actividades de aseo.

4.5.3 Tanque de almacenamiento primario TKM. Para especificar el sistema almacenamiento primario de aguas lluvias (SAAL) se deben considerar las siguientes variables para su cálculo:

1. La oferta de agua pluvial: Permitió establecer con claridad la cantidad de agua precipitada disponibles por mes.
2. El área de captación disponible: Permitió estimar el volumen captado por mes en función de las precipitaciones.
3. La demanda de agua por parte del hotel Alejandría resort (método de dotación): Permitió establecer el total de requerimiento de agua en función de la unidad de tiempo escogida y de este modo definir una base sobre la cual se generará el aporte mediante agua pluvial.

Las consideraciones que se tuvieron en cuenta para el cálculo de la demanda de agua fueron: se estableció una dotación acumulada de:

550 l/habitación*día (500 litros/habitación*día de dotación por cada unidad de hospedaje y 50 litros/habitación*día de los empleados del establecimiento).

La administración del hotel reportó Según información previa del hotel, se registró un promedio de ocupación entre 360 y 380 personas por día (huéspedes, visitantes, personal de trabajo y población flotante). Así mismo, se definió un periodo activo mensual promedio de 25 días, debido a que los días martes y miércoles no existe demanda por el servicio prestado por el centro hotelero.

Tabla 18. *Relación de variables para el cálculo de la demanda de agua en el hotel Alejandría*

Usuarios beneficiados	Dotación	Días de demanda por mes
95 habitaciones	550 L/habitación*día	25

Fuente: Autores.

- El porcentaje de ocupación: al no existir micromedidores y macromedidores en el predio en cuestión, el porcentaje de ocupación definió de forma relativa la demanda o requerimiento de agua en función del porcentaje de llenado del Hotel.
- Los días operantes del mes: De igual forma que el porcentaje de ocupación, los días promedio de operación del mes permitieron acotar el requerimiento de agua en el hotel en función de la unidad de tiempo escogida.
- Demanda meta: Como se ha establecido por parte de la dirección comercial y de compras del hotel Alejandría resort, el establecimiento requirió el suministro de 2250 m³ de agua durante el año 2018, estimado en un 21,45% de la demanda total, fijándose este último porcentaje en la meta a satisfacer.

$$Demanda_{agua\ lluvia} = 0.2145 * Demanda\ del\ hotel_{dotación} \quad (23)$$

Tabla 19. *Relación de precipitación, oferta, oferta acumulada, demanda meta parcial y demanda meta acumulada*

Mes	Precipitación promedio mm H ₂ O/m ²	Días /mes	Oferta mes m ³	Oferta total m ³	Demanda mensual m ³	Oferta acumulada m ³	Demanda acumulada m ³
	PPi	Nd	Ai	Ai	Di	Aai	Dai
May	150,969	31	311,95	306,75	98,07	827,06	679,25
Jun	144,826	30	299,26	294,27	184,93	1121,34	864,18
Jul	109,991	31	227,28	223,49	266,18	1344,83	1130,36
Ago	161,741	31	334,21	328,64	123,28	1673,47	1253,64
Sep	130,55	30	269,76	265,26	162,51	1938,73	1416,15
Oct	120,17	31	248,31	244,17	226,95	2182,91	1643,11
Nov	80,982	30	167,34	164,55	280,19	2347,46	1923,30
Dic	30,288	31	62,59	61,54	280,19	2409,00	2203,49
Ene	8,103	31	16,74	16,46	280,19	2425,46	2483,68
Feb	26,721	28	55,21	54,29	126,09	2479,76	2609,76
Mar	80,486	31	166,31	163,54	89,66	2643,30	2699,42
Abr	140,761	30	290,86	286,01	134,49	2929,31	2833,92

Fuente: Autores.

Tabla 20. *Cálculo de volumen teórico de almacenamiento de agua lluvia definido y ahorro*

Mes	Volumen de almacenamiento m ³ <i>Vi=Aai-Dai</i>	Potencial de suplencia de agua lluvia <i>PPWS=Ai/Di</i>
May	147,81	312,80%
Jun	257,16	159,13%
Jul	214,47	83,96%
Ago	419,83	266,57%
Sep	522,58	163,23%
Oct	539,80	107,59%
Nov	424,16	58,73%
Dic	205,51	21,96%
Ene	-58,22	5,88%
Feb	-130,01	43,06%
Mar	-56,13	182,40%
Abr	95,39	212,66%

Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta el requerimiento de agua pluvial del Hotel Alejandría Resort, se debería disponer de un tanque de 540 m³ para aprovisionarse de suficiente agua durante los meses pluviales (demanda baja) y, usar esta reserva en los meses de verano (demanda alta). La necesidad de este tanque se corrobora en la tabla 20, en donde se evidencia que los volúmenes calculados para los tres primeros meses del año (enero, febrero y marzo) están precedidos de un signo negativo, el cual representa la falta de oferta para cubrir adecuadamente la demanda solicitada. No obstante, el hotel actualmente cuenta con un área de 75m² en la cual se encuentran situadas las seis (6) estructuras de almacenamiento agua, con una capacidad de 35m³ cada una (225 m³ en total). El área se encuentra cercada y techada lo que garantizará la durabilidad de las estructuras instaladas.

De acuerdo con la información suministrada por el Hotel Alejandría Resort, no se permite cambiar el uso del suelo de las demás instalaciones, debido a que no se cuentan con las obras de cimentación necesarias para que el terreno soporte el peso ejercido por el volumen de agua a contener sumado al peso de la estructura. Además, el terreno se encuentra ubicado por debajo de la cota del tanque de lavado de primeras aguas, lo que permite el transporte del fluido por gravedad.

Teniendo en cuenta lo anterior, fue necesario recalcular el porcentaje de cobertura de agua demandada en función de los máximos almacenables en las condiciones actuales (225 m^3), los cuales se presentan a continuación.

Tabla 21. *Cálculo de volumen real de almacenamiento de agua lluvia y su % de cobertura de demanda*

Mes	Volumen de almacenamiento m^3 Vi	Potencial de suplencia de agua lluvia PPWS
May	147,81	312,80%
Jun	225,00	141,74%
Jul	214,47	87,92%
Ago	225,00	108,54%
Sep	225,00	-19,89%
Oct	225,00	-31,12%
Nov	225,00	-12,35%
Dic	205,51	28,92%
Ene	-58,22	5,88%
Feb	-130,01	43,06%
Mar	-56,13	182,40%
Abr	95,39	141,73%

Fuente: Autores.

Los resultados obtenidos evidencian que durante los tres primeros meses del año (enero, febrero y marzo) el hotel tendría un déficit de agua lluvia para suplir la demanda. Por otro lado, debido a que el almacenamiento máximo es de 225 m^3 , los porcentajes de cobertura de la demanda varían afectando así el rendimiento del sistema. Así mismo, los valores negativos obtenidos evidencian el déficit de almacenamiento atribuido a la incapacidad de almacenar más agua, sobre todo en meses donde la oferta de lluvias es baja y la demanda es elevada.

A continuación, se presenta el consolidado de los datos tabulados para el SAAL conforme a la demanda total de agua del hotel Alejandría Resort y la demanda neta definida como la fracción de agua faltante para el funcionamiento autónomo del establecimiento.

Tabla 22. *Relación de variables y cálculos teóricos de un sistema almacenamiento de agua lluvia con la condiciones de oferta y demanda total del Hotel Alejandría Resort*

Mes	Precipitación promedio L/m ²	Días /Mes	Oferta mes m ³ <i>Ai</i>	Oferta total mes m ³ <i>A'i</i>	Demanda mensual m ³ <i>Di</i>	Oferta acumulada m ³ <i>Aai</i>	Demanda acumulada m ³ <i>Dai</i>	Volumen de almacenamiento m ³ <i>Vi</i>	Potencial de suplencia de agua lluvia PPWS	Ocupación
May	150,969	31	312	306,75	457,19	306,75	457,19	-150,43	68,23%	35%
Jun	144,826	30	299	294,27	862,13	601,03	1319,31	-718,29	34,71%	66%
Jul	109,991	31	227	223,49	1240,94	824,52	2560,25	-1735,73	18,32%	95%
Ago	161,741	31	334	328,64	574,75	1153,16	3135,00	-1981,84	58,15%	44%
Sep	130,55	30	270	265,26	757,63	1418,42	3892,63	-2474, 0	35,61%	58%
Oct	120,17	31	248	244,17	1058,06	1662,60	4950,69	-3288,09	23,47%	81%
Nov	80,982	30	167	164,55	1306,25	1827,14	6256,94	-4429,79	12,81%	100%
Dic	30,288	31	63	61,54	1306,25	1888,69	7563,19	-5674,50	4,79%	100%
Ene	8,103	31	17	16,46	1306,25	1905,15	8869,44	-6964,29	1,28%	100%
Feb	26,721	28	55	54,29	587,81	1959,45	9457,25	-7497,80	9,39%	45%
Mar	80,486	31	166	163,54	418,00	2122,99	9875,25	-7752,26	39,79%	32%
Abr	140,761	30	291	286,01	627,00	2409,00	10502,25	-8093,25	46,39%	48%

Fuente: Autores.

Tabla 23. *Relación de variables y cálculos teóricos de un sistema almacenamiento de agua lluvia con la condiciones de oferta y demanda meta del hotel Alejandría resort.*

Mes	Precipitación promedio L/m ²	Días /Mes	Oferta mes m ³ <i>Ai</i>	Oferta total mes m ³ <i>A'i</i>	Demanda mensual m ³ <i>Di</i>	Oferta acumulada m ³ <i>Aai</i>	Demanda acumulada m ³ <i>Dai</i>	Volumen de almacenamiento teórico m ³ <i>Vi</i>	Potencial de suplencia de agua lluvia <i>PPWS</i>	Ocupación
May	150,969	31	312	306,75	98,07	306,75	679,25	257,16	312,80%	35%
Jun	144,826	30	299	294,27	184,93	601,03	864,18	214,47	159,13%	66%
Jul	109,991	31	227	223,49	266,18	824,52	1130,36	419,83	83,96%	95%
Ago	161,741	31	334	328,64	123,28	1153,16	1253,64	522,58	266,57%	44%
Sep	130,55	30	270	265,26	162,51	1418,42	1416,15	539,80	163,23%	58%
Oct	120,17	31	248	244,17	226,95	1662,60	1643,11	424,16	107,59%	81%
Nov	80,982	30	167	164,55	280,19	1827,14	1923,30	205,51	58,73%	100%
Dic	30,288	31	63	61,54	280,19	1888,69	2203,49	-58,22	21,96%	100%
Ene	8,103	31	17	16,46	280,19	1905,15	2483,68	-130,01	5,88%	100%
Feb	26,721	28	55	54,29	126,09	1959,45	2609,76	-56,13	43,06%	45%
Mar	80,486	31	166	163,54	89,66	2122,99	2699,42	95,39	182,40%	32%
Abr	140,761	30	291	286,01	134,49	2409,00	2833,92	257,16	212,66%	48%

Fuente: Autores.

Tabla 24. *Relación de variables y cálculos reales de un sistema almacenamiento de agua lluvia con la condiciones de oferta y demanda meta del hotel Alejandría resort*

Mes	Precipitación promedio L/m ²	Días /Mes	Oferta mes m ³ <i>Ai</i>	Oferta total mes m ³ <i>A'i</i>	Demanda mensual m ³ <i>Di</i>	Oferta acumulada m ³ <i>Aai</i>	Demanda acumulada m ³ <i>Dai</i>	Volumen de almacenamiento teórico m ³ <i>Vi</i>	Potencial de suplencia de agua lluvia <i>PPWS</i>	Ocupación
May	150,969	31	312	306,75	98,07	306,75	679,25	147,81	312,80%	35%
Jun	144,826	30	299	294,27	184,93	601,03	864,18	225,00	141,74%	66%
Jul	109,991	31	227	223,49	266,18	824,52	1130,36	225,00	87,92%	95%
Ago	161,741	31	334	328,64	123,28	1153,16	1253,64	225,00	108,54%	44%
Sep	130,55	30	270	265,26	162,51	1418,42	1416,15	225,00	-19,89%	58%
Oct	120,17	31	248	244,17	226,95	1662,60	1643,11	225,00	-31,12%	81%
Nov	80,982	30	167	164,55	280,19	1827,14	1923,30	225,00	-12,35%	100%
Dic	30,288	31	63	61,54	280,19	1888,69	2203,49	225,00	28,92%	100%
Ene	8,103	31	17	16,46	280,19	1905,15	2483,68	-58,22	5,88%	100%
Feb	26,721	28	55	54,29	126,09	1959,45	2609,76	-130,01	43,06%	45%
Mar	80,486	31	166	163,54	89,66	2122,99	2699,42	-56,13	182,40%	32%
Abr	140,761	30	291	286,01	134,49	2409,00	2833,92	95,39	212,66%	48%

Es importante mencionar que los proyectos realizados en Colombia en donde se define el volumen de almacenamiento como la diferencia entre la oferta total mensual acumulada y la demanda mensual total acumulada presentan valores reducidos en comparación con la disponibilidad de agua pluvial. Un ejemplo de esto es el proyecto realizado en la Fundación Universitaria de San Gil, en donde se planteó un volumen de almacenamiento de 200 m^3 , cuando se tenía una oferta máxima de 900 m^3 (Sarmiento & Garavito, 2016). Así mismo, en la Institución Educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia, se definió un volumen de almacenamiento de agua pluvial de 192 m^3 con respecto a una oferta máxima de 391 m^3 (Palacio, 2010). Esta interpretación ocurre porque se ha definido que la captación de agua pluvial ingresa directamente a las redes de distribución sin tratamiento previo, dirigido principalmente a usos como baterías de baño, lava escobas y jardinería.

Descrito desde un punto de vista simple, en los casos mencionados anteriormente se busca almacenar el exceso de la oferta sobre demanda para emplearla a futuro, sin embargo, no se destina el recuso para consumo en ninguna de las situaciones. Por otro lado, las demandas son relativamente más bajas en comparación con las adoptadas para el hotel Alejandría Resort, lo que permite obtener excesos de oferta, postura que solo cumpliría en este estudio de caso si la demanda se fija con el requerimiento de agua externa, es decir, compras de agua en bloque. A continuación, se presentan las figuras 22 y 23, las cuales relacionan las variables que permiten evidenciar el comportamiento de oferta y demanda de agua pluvial en el Hotel Alejandría Resort.

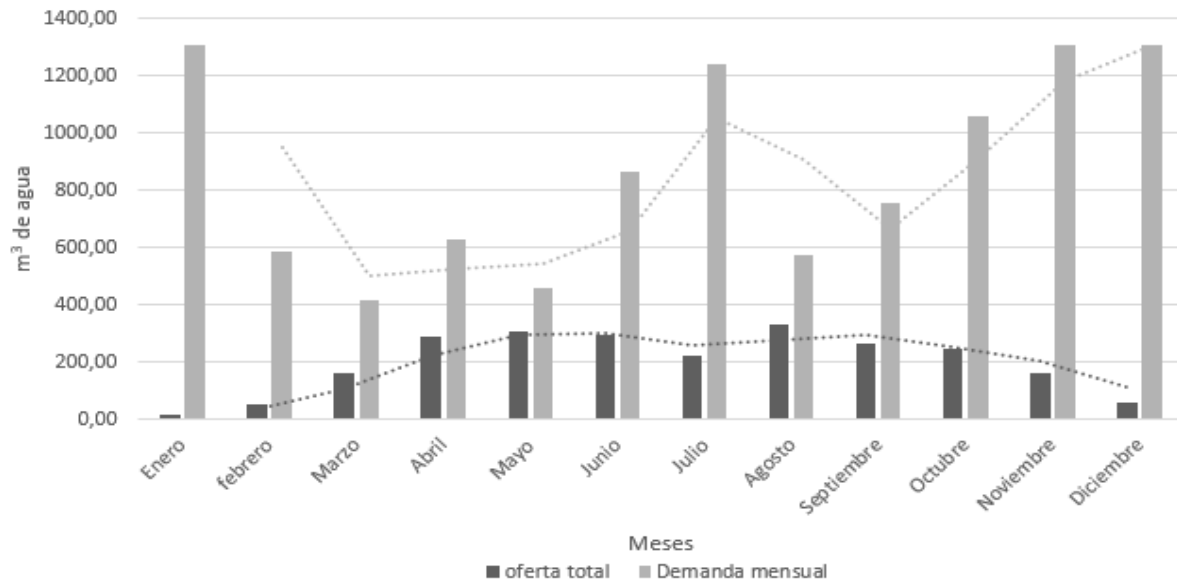


Figura 22. Comportamiento de la oferta total vs la demanda total en el Proyecto de SAAL para el hotel Alejandría resort
Fuente: Autores.

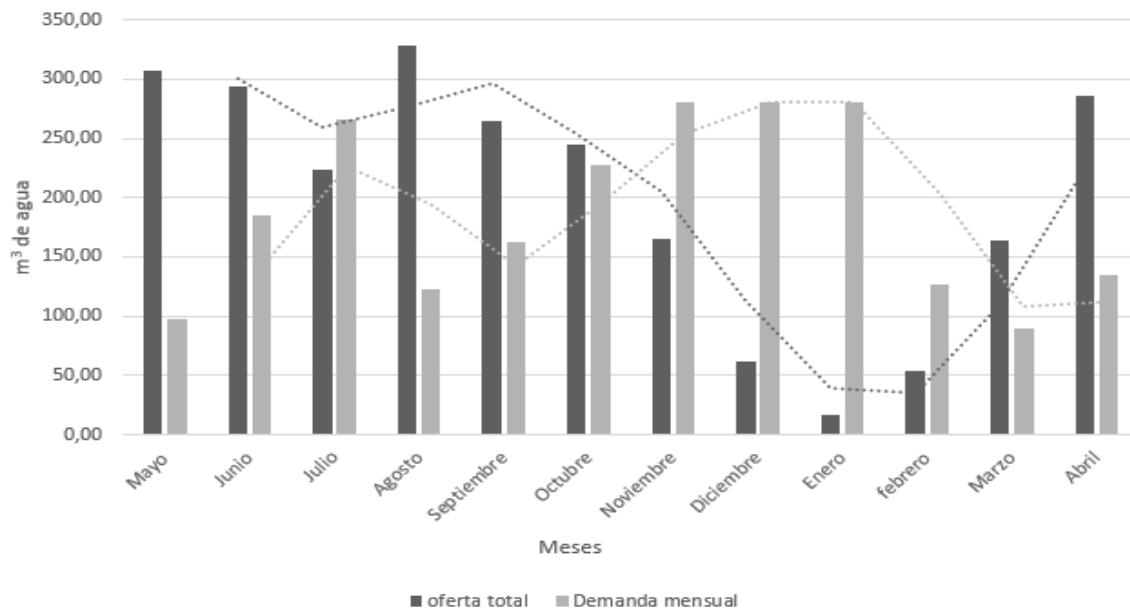


Figura 23. Comportamiento de la oferta total vs la demanda Meta en el Proyecto de SAAL para el Hotel Alejandría Resort
Fuente: Autores.

Puede apreciarse que los periodos de ocurrencia se encuentran en posiciones inversas, es decir, cuando más alta es la oferta pluvial, más baja es la ocupación, por tanto, menor demanda. Este

comportamiento se debe a que las épocas vacacionales generalmente se dan en los meses de diciembre-enero y junio-julio, que se confirma al momento de evaluar la demanda meta definida como el porcentaje de requerimiento de agua lluvia que permite al Hotel Alejandría Resort no recurrir a compra de agua potable. El efecto en mención reduce la eficiencia del sistema y afecta directamente el índice de evaluación de potencial de ahorro de agua.

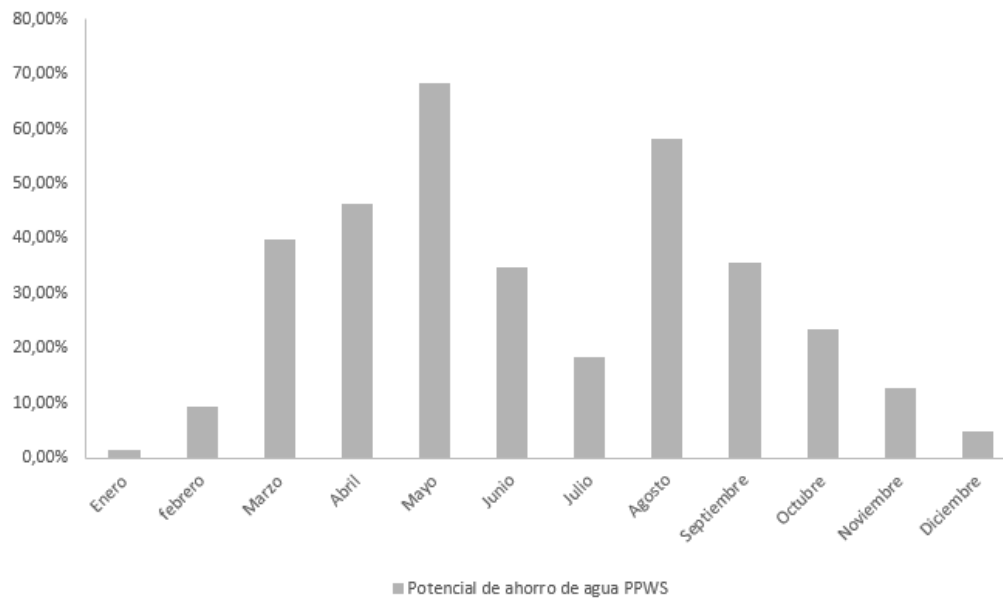


Figura 24. Comportamiento del potencial teórico de ahorro de agua sobre la demanda total PPWS en un periodo anual para el Proyecto de SAAL para el Hotel Alejandría Resort
Fuente: Autores.

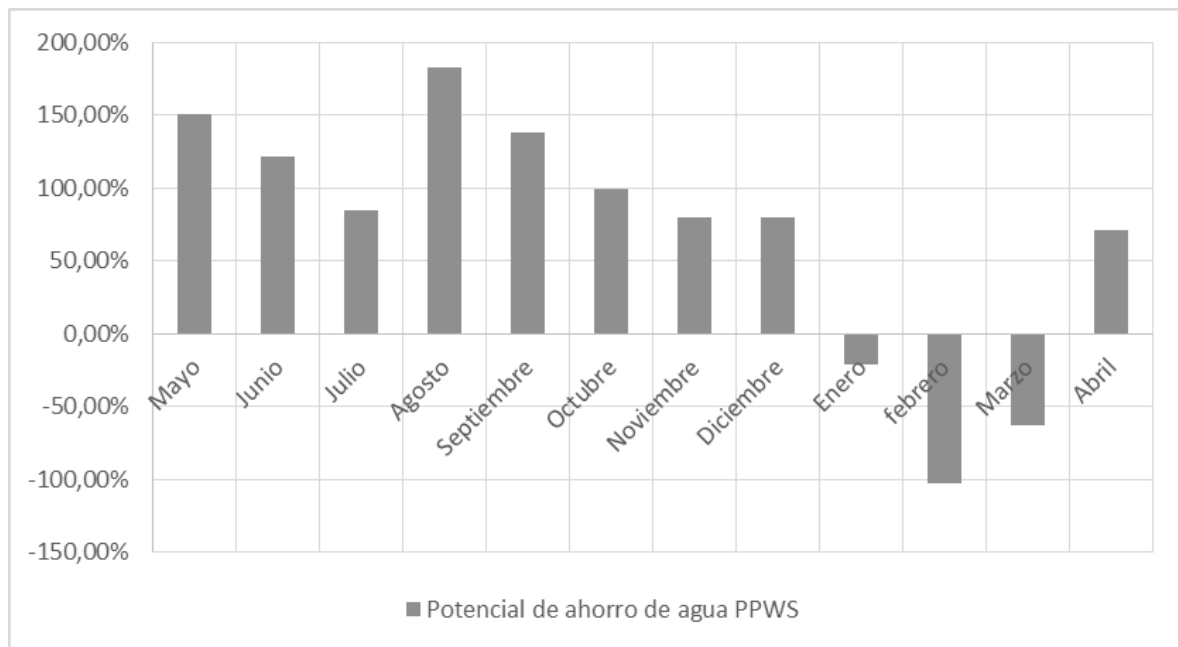


Figura 25. Comportamiento del potencial de ahorro real de agua sobre la meta total PPWSr en un periodo anual para el Proyecto de SAAL para el Hotel Alejandría Resort

Fuente: Autores.

Como se puede apreciar en la figura 25, los mayores potenciales se presentan en los meses de mayo con un 68% y en agosto con un 58%, justo en los meses donde la ocupación es del 35% para mayo y del 44% para agosto. Esto genera un incremento del indicador de evaluación, en función de la demanda total del hotel. Este comportamiento se acentúa de forma más drástica cuando se evalúa el mismo indicador en función de la demanda neta, como se evidencia la figura 25, la cual busca suplir únicamente el agua que es comprada por el hotel para funcionar cuando se requiere, allí los volúmenes antecidos de un signo menos (enero febrero y marzo) alertan sobre meses en los cuales no se presentará ningún aporte al requerimiento de la compra de agua en bloque por parte de la oferta pluvial; sin embargo los valores positivos representan meses sobre los cuales se tendrá un aporte significativo que se verá traducido en la disminución de costos por adquisición carros cisternas con líquido.

4.5.4 Dimensionamiento del sistema de bombeo.

Tabla 25. *Resumen de variables de dimensionamiento del sistema de bombeo*

Descripción	Valor
Tipo de bomba	Succión negativa
Caudal de bombeo	2 L/s
Diámetro de succión	2 pulgadas
Diámetro de impulsión	1 pulgadas
Material de tubería succión	PVC
Coeficiente de rugosidad	140
Material de tubería impulsión	PVC
Velocidad de bombeo	0,88 m/s
Altura estática de succión	4 m
Altura estática de impulsión	8 m
Altura dinámica total	11,42 m
Potencia de la bomba	0.6 HP
Cavitación	4.53 m
Eficiencia teórica de la bomba	84%
Golpe de ariete	540,53 m

Fuente: Autores.

El procedimiento de calculo para la obtencion de resultados presentados en la tabla 25 se encuentra consignado detalladamente en el Apéndice A.

4.5.5 Dimensionamiento del floculador Alabama. El floculador Alabama es un tipo de unidad de tipo hidráulico que combina movimiento horizontal con movimiento vertical para proporcionar la mezcla lenta suficiente que requiere el fluido para desarrollar floculos o suficientemente grandes y pesados para que sedimenten. El titulo C del RAS 2000 en el numeral C.5.5.1.2 floculador

Alabama exige que al diseñar esta unidad de procesos se cuente con un mínimo 8 cámaras en cada floculador.

El procedimiento de diseño hidráulico del sistema de floculación se encuentra consignado en el Apéndice I y los planos de detalles arquitectónicos se plasman en el Apéndice J.

Tabla 26. Resumen parámetros de diseño floculador Alabama

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
diseño	Q_d	0.0025	(m ³ /s)
Borde libre		0.35	(m)
Tiempo de retención hidráulico de cada cámara	TRHc	180	(s)
Numero de cámaras	#	8	(unidad)
Volumen de cada cámara	V_c	0.45	(m ³)
Área de cada cámara	A_c	0.375	(m ²)
ancho de cada cámara	A_c	1	(m)
largo de cada cámara	L_c	0.375	
Altura H		1.4	(m)
Longitud del floculador	L	3.0	(m)
dispositivos de entrada y salida del flujo	Φ	4	(pulg)
Diámetro del orificio de desagüe	Φ	3	(pulg)

Fuente: Autores.

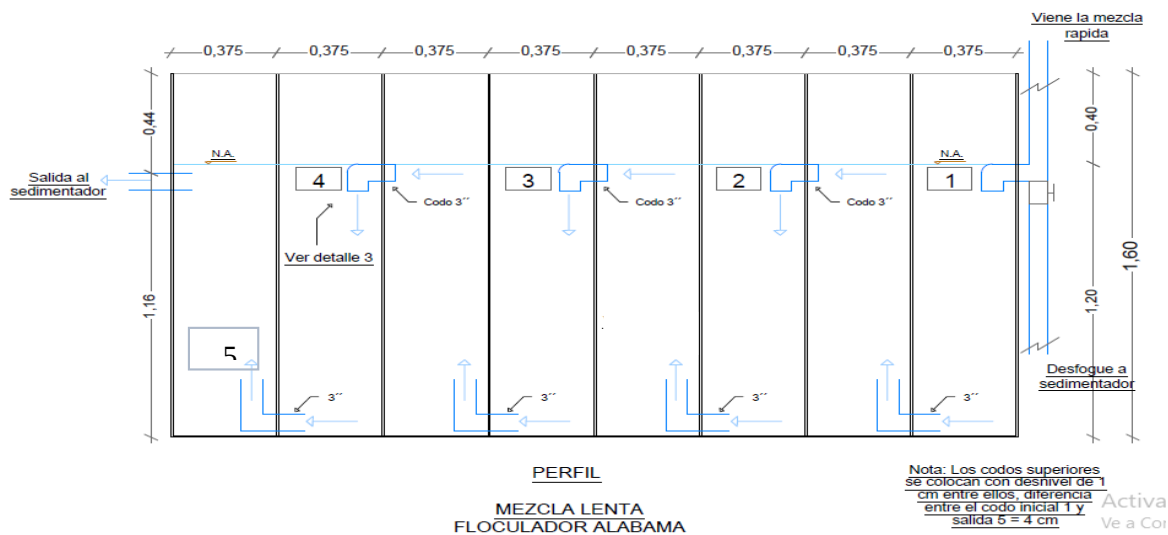


Figura 26. Vista de perfil longitudinal del floculador Alabama propuesto para el tratamiento

Fuente: Autores.

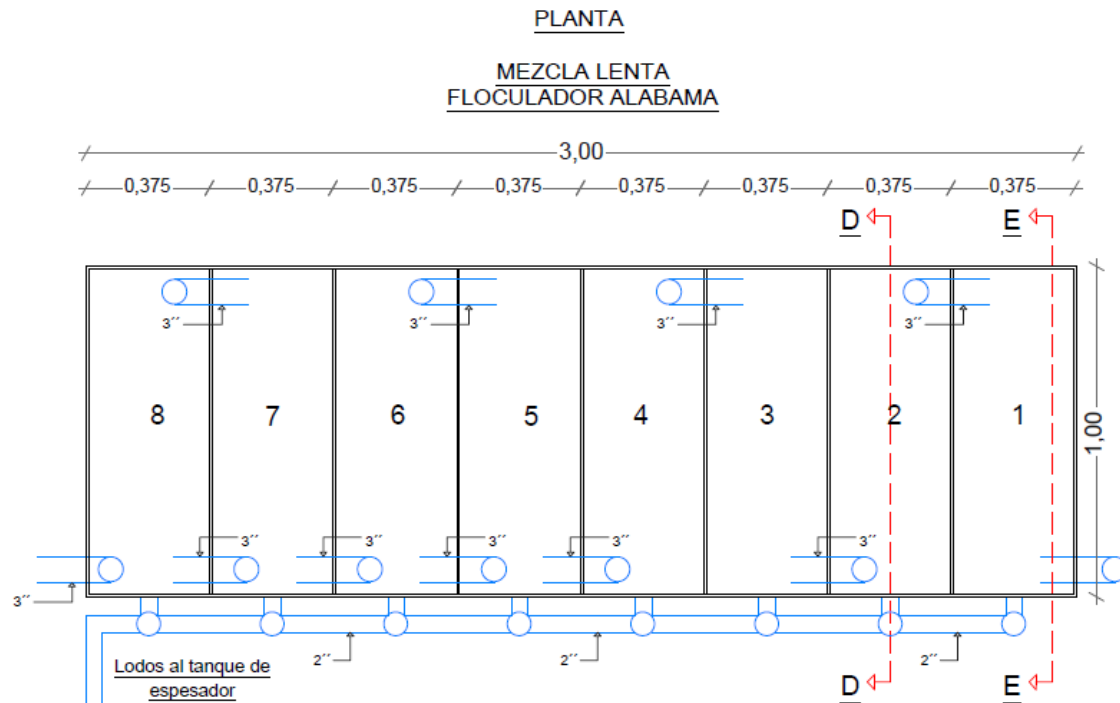


Figura 27. Vista superior de planta del floculador Alabama propuesto para el tratamiento
Fuente: Autores.

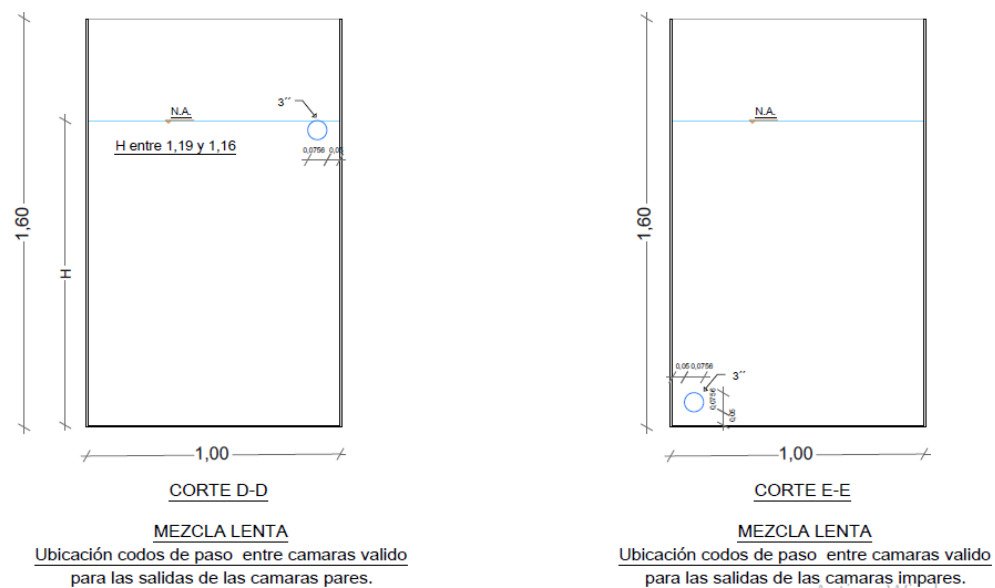


Figura 28. Vista frontal de las cámaras del floculador Alabama propuesto para el tratamiento
Fuente: Autores.

4.5.6 Dimensionamiento de un sedimentador de placas paralelas. Para dimensionar un sedimentador de placas paralelas hay que tener en cuenta las siguientes variables:

- Tiempo de retención hidráulico THR
- Caudal de operación máximo

Tabla 27. *Resumen parámetros de diseño sedimentador rectangular de alta tasa*

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
diseño	Qd	0.0025	(m ³ /s)
Borde libre		0.35	(m)
Tiempo de retención hidráulico de cada cámara	TRHc	1260	(s)
Volumen de sedimentación	V	4.05	(m ³)
Largo del sedimentador	L	2.7	(m)
Ancho del sedimentador	Ach	1.0	(m)
Alto de la película de agua	Hw	1.5	(m)

Fuente: Autores.

El diseño hidráulico del sedimentador rectángula se encentra detallado en el Apéndice L y los planos de vistas, cortes y detalles arquitectónicos se encuentran en el Apéndice A3.

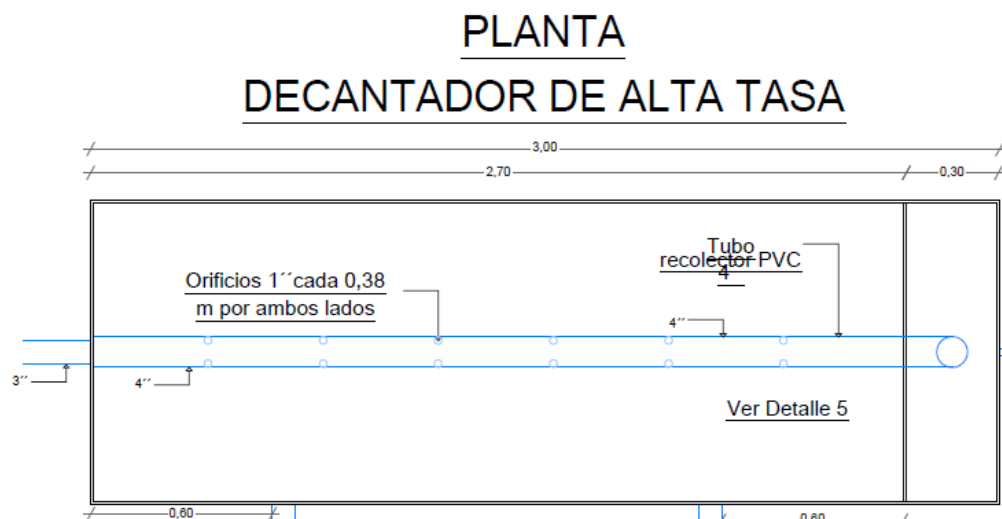


Figura 29. Vista superior de planta del sedimentador propuesto para el tratamiento

Fuente: Autores.

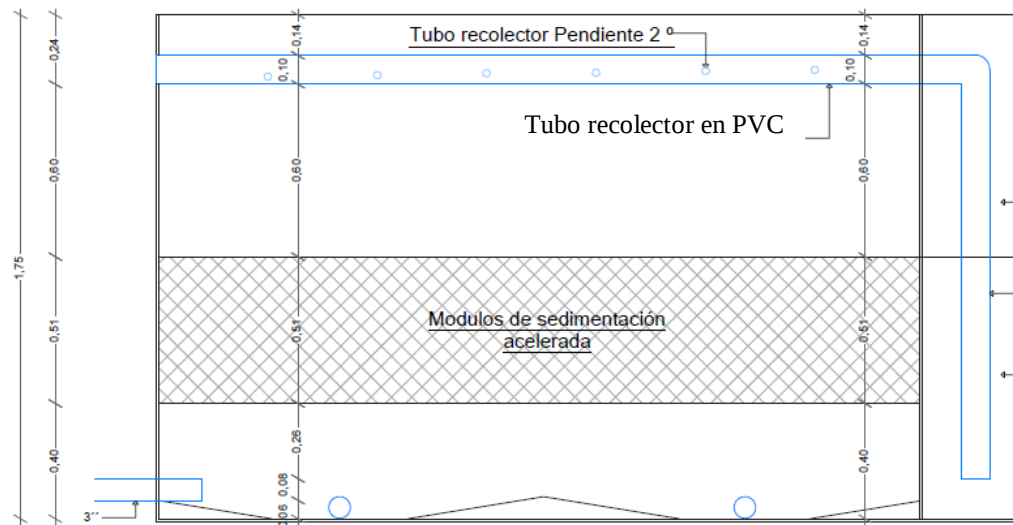


Figura 30. Vista de perfil longitudinal del sedimentador propuesto para el tratamiento
Fuente: Autores.

5. Conclusiones

El diagnóstico de estructuras físicas del Hotel Alejandría Resort permitió definir las cubiertas de las torres A, B, C y D y el perímetro de infiltración de la zona de la piscina como áreas útiles de captación de agua lluvia para su aprovechamiento. Estas zonas abarcan un total de 2066.34 m^2 . Como dichas superficies están elaboradas en materiales lisos, impermeables y en buen estado, se contempló un coeficiente de escorrentía de 0.9 para la estimación del caudal aprovechable.

A través del tratamiento estadístico de las series de tiempo pluviométricas obtenidas de las estaciones hidrométricas, se consolidó una oferta pluvial anual promedio de 1185.5 mm de lluvia/ m^2 para la zona de interés. Dicha oferta está distribuida en un ciclo bimodal, con dos periodos de lluvias bien diferenciados entre marzo-junio y agosto-octubre, con picos en mayo ($150.99 \text{ mm}/\text{m}^2$) y agosto ($161.741 \text{ mm}/\text{m}^2$).

Debido a la correlación negativa entre los picos de demanda hotelera, la oferta pluvial y a la escasa disponibilidad de espacio para la construcción unidades adicionales de almacenamiento de

agua lluvia, no es posible aprovechar al 100% el potencial pluvial de captación del hotel. Sin embargo, utilizando la capacidad instalada de almacenamiento (225 m^3) es posible satisfacer el 20% de la compra en bloque durante el 75% del año, exceptuando los meses de diciembre enero y febrero debido a la baja oferta de agua lluvia en el periodo de estiaje, de modo que el SAAL representa beneficios económicos como fuente alternativa de suministro.

De acuerdo con la caracterización fisicoquímica y microbiológica desarrollada, se estableció que en las muestras recolectadas en el Hotel Alejandría Resort y en los puntos de control, existe un alto riesgo asociado a la calidad del agua, con porcentajes de IRCA de entre el 35% y 58.6%, excediendo el máximo permitido definido en 5%, en consecuencia, se plantearon estrategias de tratamiento como la mezcla con agua fluyente, la adición de 35 mg/litro de mezcla de CaCO_3 y la adición de sulfato de aluminio tipo B, que mitigaron dicho riesgo de manera exitosa, reduciendo el IRCA hasta un 0.0%, conforme a la nueva evaluación de turbidez, color y pH.

Una vez revisado el cumplimiento de los requerimientos cuantitativos y cualitativos del agua de origen pluvial para la zona, completado el diagnóstico de las zonas de captación y del espacio disponible para el almacenamiento, se diseñó un Sistema de Aprovechamiento de Aguas Lluvias – SAAL para el Hotel Alejandría Resort, que comprende el arreglo y dimensionamiento de los siguientes componentes: Una captación conformada por las cubiertas de las torres A, B, C, D y el área de infiltración de la piscina, que mediante imbornales y sistemas de tubería conduce el agua pluvial hasta un canal natural noreste, que a su vez la transporta hasta un tanque de lavado de primeras aguas, para posteriormente entrar a un tanque de almacenamiento de agua pluvial primario. Desde allí, por bombeo, se conduce a un tanque de mezcla, y en este punto se realiza una solución 1:5 con agua de fuente fluyente y la adición de 35mg/l de CaCO_3 , para que finalmente, pueda ser conducida hasta la estación de tratamiento.

Referencias bibliográficas

- Abdulla, F., & Al-Shareef, A. (2006). Assessment of rainwater roof harvesting systems for household water supply in Jordan. En: P. Hlavinek et al. (Eds.), Integrated Urban Water Resources Management. (pp., 291-300). Países Bajos: Springer.
- Álvarez, R., González, H., & Duque, G. (2016). Gestión y política pública ambiental, para el manejo sostenible y uso ecoeficiente del patrimonio natural en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.
- Amézquita, C., Pérez, A., & Torres, P. (2014). Evaluación del riesgo en sistemas de distribución de agua potable en el marco de un plan de seguridad del agua. Revista EIA, 11(21), 157-169
- Amorocho, M. (2013). Optimización de la coagulación-floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre-Cajasan [Tesis Pregrado]. Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia.
- Aratuo, D., & Etienne, X. (2019). Industry level analysis of tourism-economic growth in the United States. Tourism Management, 70, 333-340.
- Avelar, J., Sánchez, J., Domínguez, A., Lobato, C., & Mancilla, O. (2019). Validación de un prototipo de sistema captación de agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano. IDESIA, 37(1), 53-59.
- Banco Mundial (2014). Grupo Banco Mundial. Recuperado el 25 de enero de 2019, de <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.PRCP.MM?view=map>
- Blondeel, E., Depuydt, V., Cornelis, J., Chys, M., Verliefde, A., & Henk, S. (2015). Physical-chemical treatment of rainwater runoff in recovery and recycling companies: Pilot-Scale

- optimization. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 50(11), 1083-1098.
- Booth, C., Attwater, R., Derry, C., & Simmons, B. (2003). The Hawkesbury Water Reuse Scheme. *Water (Australia)*, 30(5), 42-44.
- Bratieres, K., Fletcher, T., Deletic, A., & Zinger, Y. (2008). Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters: A large-scale desing optimisation study. *Water Research*, 42(14), 3930-3940.
- Brown, C., & Lall, U. (2006). Water and economic development: The role of variability and framework for resilience. *Natural Resources Forum*, 30(1), 306-317.
- Boers, T., & Ben-Asher, J. (1982) A review of rainwater harvesting. *Agriculture Water Managem*, 5, 145-158.
- Budeanu, A. (2007). Sustainable tourist behaviour – a discussion of opportunities for change. *International Journal Of Consumer Studies*, 31(5), 499-508.
- Camargo, A., Camacho, J. (2019). Convivir con agua. *Revista Colombiana de Antropología*, 55(1), 7-25
- Castañeda, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa Maria Auxiliadora de Caldas, Antioquia. *Gestión y Ambiente*, 13(2), 25-40.
- Centro de información turística de Colombia (CITUR), (2019). Mapa de indicadores turísticos del país. Centro de información turística de Colombia. Recuperado el 12 de marzo de 2019, de <http://www.citur.gov.co/>
- Chien, C., & Chun, P. (2008). Tourism development and economic growth: A closer look at panels. *Tourism Management*. 29(2), 180-192.

- Clark, G., Jamal, R., & Weidhaas, J. (2019). Roofing material and irrigation frequency influence microbial risk from consuming homegrown lettuce irrigated with harvested rainwater. *Science of The Total Environment*, 651(1), 1011-1019.
- Coombes, P., Argue, J., & Kuczera, G. (2000). Figtree Place: a case study in water sensitive urban development (WSUD). *Urban Water*, 1(4), 335-343.
- Decreto No. 1575 de 2007. Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano. (9 de Mayo de 2007).
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2016). Informe de coyuntura económica regional. Recuperado el 25 de enero de 2019, de https://www.dane.gov.co/files/icer/2015/ICER_Santander2015.pdf
- Domènecha, L., & Sauriáb, D. (2011). A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. *Journal of Cleaner Production*, 19(6–7), 598-608.
- Duan, C., Attawater, R., & Min, L. (2008). Introduction to rainwater management in Australia and suggestions for China's water problems. *Journal of Chongqing University (English Edition)*[ISSN, 1671, 8224].
- Duarte, L., & Echeverry, J. (2004). Estudio para la reutilización de las aguas lluvias en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana [Tesis Pregrado]. Pontificia Universidad Javeriana sede Bogotá. , Bogotá - Colombia.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 4(1), 85-104.

- Estupiñan, J., & Zapata, H. (2010). Requerimiento de infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua lluvia en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. [Tesis de Maestría]. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Evans, C., Coombes, P., Dunstan, R., & Harrison, T. (2009). Extensive bacterial diversity indicates the potential operation of a dynamic micro-ecology within domestic rainwater storage systems. *Science of The Total Environment*, 407(19), 5206-5215.
- Falkenmark, M. (1990). Global Water Issues Confronting Humanity. *Journal of Peace Research*, 27(2), 177-190.
- Fendrich, R. (2004). Dimensionamento de reservatórios de detenção e utilização das águas pluviais. Curitiba, Brasil. 28p.
- Fletcher, T., Mitchell, V., Deletic, A., Ladson, T., & Séven, A. (2007). Is stormwater harvesting beneficial to urban waterway environmental flows? *Water science and technology. Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 55(4), 265.
- Fletcher, T., Deletic, A., Mitchell, V., & Hatt, B. (2008). Reuse of Urban Runoff in Australia: A Review of Recent Advances and Remaining Challenges. *J. Environ. Qual.*, 37(5_Supplement), S-116-S-127.
- Galarza, S., Torres, A., Lara, J., Méndez, S., Solarte, L., & González, L. (2015). Towards a Constructed-Wetland/Reservoir-Tank System for Rainwater Harvesting in an Experimental Catchment in Colombia. *Ing. Unv.*, 19(2), 415-421.
- Ghisi, E., Montibeller, A., & Schmidt, R. (2006). Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. *Building and Environment*, 41(2), 204-210.

- Gilboy, E. (1967). La demanda como factor en la revolución industrial. En Hartwell, R. Las causas de la revolución industrial en Inglaterra. (pp. 121 -138). Londres: Methuen.
- Gomes, J., Weber, D., & Delong, C. (2010). Dimensionamento de Reservatórios de Armazenamento de Águas Pluviais, usando um Critério Financeiro. Diretoria da ABRH, 89.
- Gómez, M., & Silva, M. (2019). Propuesta de tecnologías para el tratamiento de aguas lluvias, como opción para su aprovechamiento en viviendas unifamiliares. Caso de estudio: Bucaramanga (Colombia) [Tesis Pregrado]. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Gómez, M., & Tejeida, R. (2008). El agua, los hoteles gran turismo y la ciencia de sistemas. Teoría y Praxis, 5(1), 9-16.
- Hatt, B., Deletic, A., & Fletcher, T. (2006). Integrated treatment and recycling of stormwater: a review of Australian practice. Journal of environmental management, 79(1), 102-113.
- Helmreich, B., & Horn, H. (2009). Opportunities in rainwater harvesting. Desalination, 248(1-3), 118-124.
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM). (2018). Estudio Nacional del Agua (Libro en línea). Consultado el día 5 de enero de 2019, de http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM). (2018). Promedios Precipitación y Temperatura media. Promedio de los años 1981-2010. Consultado el día 25 de febrero de 2019, de <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Promedios-Precipitaci-n-y-Temperatura-media-Promed/nsxu-h2dh>

- Jiménez, J. (2010). Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario [Tesis pregrado]. Universidad Veracruzana, Veracruz, México.
- Kobiyama, M., & Hansen, S., (2002). Vantagens da utilização do sistema de coleta da água da chuva sob o ponto de vista dos aspectos hidrológicos e econômicos: Estudo de caso em Florianópolis/SC. En Kobiyama, M., Ushiwata, C. Alfonso, M. (Eds) *Aproveitamento da água da chuva*. (pp. 169-181). Curitiba, Brasil: Group Raindrops
- Kummu, M., Guillaume, J., Moel, H., Eisner, S., Flörke, M., Porkka, M., Siebert, S., Veldkamp, T., & Ward, P. (2016). The world's road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability. *Scientific Reports*, 6(1), 1-16
- Kwaadsteniet, M., Dobrowsky, P., Deventer, A., Khan, W., & Cloete, T. (2013). Domestic Rainwater Harvesting: Microbial and Chemical Water Quality and Point-of-Use Treatment Systems. *Water, Air, & Soil Pollution*, 224(7), 1629 – 1648
- Lasheras, A. (2012). Cálculo y diseño de un sistema de bombeo para una EDARU [Tesis de pregrado]. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España.
- Ley 142 de 1994. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones (11 de julio de 1994). *Diario Oficial* No. 41.433
- Ley 373 de 1997. Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua (6 de junio de 1997). *Diario Oficial* No. 43.058
- Ley 48 de 2017. Por medio de la cual se dictan normas para implementar e incentivar sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y de captación de energía solar y se dictan otras disposiciones (26 de julio de 2017).
- López, J. (2013). Aprovechamiento del agua en el municipio de Mula (Región de Murcia). *Papeles de geografía*, 57-58, 145-159.

- Lorenzo, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de agua por floculación-coagulación. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, XL(2), 10-17.
- Mayorga, E. (2018). Propuesta de mejora de la prestación de servicio de acueducto Cabrerana servicios públicos S.A.E.S.P [Monografía de Especialización]. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- May, S. (2004). Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações [Tesis Maestría]. Universidad de sao paulo, Sao Paulo, Brasil.
- Melidis, P., Akratos, C., Tsihrintzis, V., Trikilidou, E. (2007). Characterization of rain and roof drainage water quality in Xanthi, Greece. Environmental Monitoring and Assessment, 127(1-3), 15-27.
- Montt, J., Rivera, P., Fernández, B., & Valenzuela, Y. (2003). Caracterización de la calidad de las aguas lluvias urbanas de Santiago. Paper presented at the Xvi congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Económico. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá, Colombia.
- Mitchell, G., McCarthy, D., Fletcher, T., & Deletic, A. (2005). Optimising storage capacity for stormwater utilisation. En Eriksson, E. (Ed.), International Conference on Urban Drainage 2005, (pp. 1 - 8) Copenhagen, Denmark.
- Murtinho, F. (2016). What facilitates adaptation? An analysis of community-based adaptation to environmental change in the Andes. International Journal of the Commons, 10(1), 119-141.

- Mwenge, J., Taigbenu, A., & Boroto, J. (2007). Domestic rainwater harvesting to improve water supply in rural South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 32(15–18), 1050-1057.
- Organización Panamericana de la Salud (2004). Guía de diseño para la captación del agua de lluvia. Recuperado el día 26 de junio de 2019, de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/cd47/lluvia.pdf>
- Palacio, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia [Monografía de especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Payus, C., & Meng, K. J. (2015). Consumption of rainwater harvesting in terms of water quality. *International. Journal. of Geomate*, 9(2), 1515-1522
- Pedroza, A., Chàvez, J., Trejo, R., & Ruíz, J. (2012). Captación, uso y manejo de agua de lluvia en comunidades marginadas de zonas áridas. *Memoria del XIV foro de servicio universitario*, 1, 1-10.
- P&G. (2017). Sustentabilidad. Recuperado el día 5 de junio de 2019, de <https://latam.pg.com/sustentabilidad-ambiental/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP). (2000). Agua dulce. Recuperado el día 12 de agosto de 2019 de <https://web.unep.org/environmentassembly/es/agua-dulce>
- Randle, P. (1965). El tema del tiempo. Cambio y movimiento en el espacio geográfico [Tesis Maestría]. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. p. 21-40.

- Renaut, F., Sancey, B., Badot, P., & Crini, G. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation processes - An eco-friendly approach. *European Polymer Journal*, 45(5), 1337-1348.
- Resolución 1096 de 2000. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. (17 de noviembre de 2000).
- Resolución 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano (22 de junio de 2007).
- Resolución 3860 de 2015. Por medio de la cual se reglamenta el cumplimiento de las Normas Técnicas Sectoriales expedidas por las Unidades Sectoriales de Normalización para las actividades del denominado Turismo de Aventura y la Sostenibilidad Turística. (28 de diciembre de 2015).
- Sánchez, P., & Casas, H. (2010). Tecnologías apropiadas para el suministro de agua en situaciones de emergencia. Organización Panamericana de la salud- Colombia. ISBN: 978-958-8472-15-7
- Saritha, V., Srinivas, N., & Vuppala, S. (2015). Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. *Applied Water Science*, 7(1), 451-460
- Sarmiento, E., & Garavito, L. (2016). Diseño de un sistema para el manejo de aguas lluvias de unisangil [Tesis de pregrado]. Fundación universitaria de san gil – unisangil, San Gil, Colombia.
- Selala, M., Thenga, H., Jewitt, G., & Chaplot, V. (2018). Comparación de la calidad química del agua de lluvia recolectada de los sistemas de escorrentía de techos y superficies. *Water SA*, 44(2), 223-231.

- Shiklomanov, I.A., & Rodda, J.C. (2003). World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century. New York, USA: International Hidrology Series. p. 1-25.
- Silva, A., & Tassi, R. (2005). Dimensionamento y simulación del comportamiento de un reservorio para aprovechamiento de agua lluvia: Resultados preliminares. Paper presented at the XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa.
- Sorenson, S., Morssink, C., & Campos, P. (2011). Safe access to safe water in low income countries: Water fetching in current times. *Social Science & Medicine*, 72(9), 1522-1526.
- Thomas, T. (2010). Domestic water supply using rainwater harvesting. *Building Research & Information*, 26(2), 94-101.
- Tovar, J., Anaya, M., Livera, M., Muñoz, A., & Martínez, A. (2001). Eficiencia del uso de agua de lluvia en la producción de maíz (*Zea mays* L.) con sistemas de captación in situ [Tesis Doctoral]. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Vallejo, C., Pérez, M., & Martínez, J. (2011). Metabolic Profile of the Colombian Economy from 1970 to 2007. *Journal of Industrial Ecology*, 15(2), 245-267
- Veenhuizen, R., & Prieto, M. (2000). Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, experiencias en América Latina. Serie: zonas áridas y semiáridas. Oficina regional de la FAO (Food and Agriculture Organization) para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile.
- Viana, A., & Cerqueira, R. (2005). Captación de água lluvia para aproveitamiento no potável: una propuesta de modelo en residencias en la ciudad de Itajubá. Paper presented at the XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa.

- Villa, C. (2014). Diques para el almacenamiento de agua de lluvia. Recuperado el día 12 de agosto de 2019 de <http://noticiasambientalescordoba.blogspot.com/2014/02/punilla-quiere-su-propio-dique.html>
- Wegelin, M., Castaño, G., & Latorre, J. (1997). Filtración gruesa en el tratamiento de agua de fuentes superficiales. London, 183p.
- Zhang, Y., Chen, D., Chen, L., & Ashbolt, S. (2009). Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 222-226.

Apéndices

Apéndice A. Cálculos sistema de bombeo.

$$\text{caudal de bombeo } (Q) = \frac{\text{volumen de llenado (l)}}{\text{tiempo de llenado (s)}}$$

$$\text{caudal de bombeo } (Q) = \frac{49600 \text{ (l)}}{25200 \text{ (s)}}$$

$$\text{caudal de bombeo } (Q) = 1.96 \text{ l/s} \approx 2 \text{ l/s}$$

Tabla A1. Criterios de diseño, sistema de bombeo

Caudal Máximo Diario (QMD)	2,0 L/s
Número de Horas de Bombeo	7 horas
Cota Bomba	1444 msnm
Cota Nivel Tanque de Succión	1440 msnm
Cota Nivel Tanque de Impulsión	1448 msnm
Temperatura del Agua	18° C

Cáculo de los diámetros

Tubería de impulsión

El cálculo de la tubería de impulsión para sistemas que trabajan continuamente se puede definir empleado la fórmula de Bresse:

$$D_i = K\sqrt{Q}$$

Dónde:

D = Diámetro económico, m.

K = Coeficiente entre 0.7 a 1.6.

Q = Caudal de bombeo, m^3/s .

Para instalaciones que son operadas de manera intermitente se tiene:

$$D(m) = 1.3. \left(\frac{n}{24}\right)^{\frac{1}{4}} * \sqrt{Q \left(\frac{m^3}{s}\right)}$$

Donde n son las horas de bombeo en el día.

$$n = \frac{\text{Horas de bombeo en el día}}{24} = \frac{7}{24} = 0.2916 \text{ hora de bombeo en día}$$

Reemplazando obtenemos el diámetro de la tubería:

$$D(m) = 1.3. \left(\frac{7}{24}\right)^{\frac{1}{4}} * \sqrt{0.002 \left(\frac{m^3}{s}\right)}$$

$$D(m) = .0427 \text{ m}$$

El diámetro teórico se encuentra cercano al valor comercial de 1 ½ pulgadas, es decir, 0.0045

Ahora conociendo el diámetro de la tubería procedemos al cálculo velocidad en la tubería

$$\text{Caudal } Q = \text{Velocidad } (V) * \text{Area } (A)$$

$$\frac{\text{Caudal } Q}{\text{Area } (A)} = \text{Velocidad } (V)$$

$$\frac{0.002 \frac{m^3}{s}}{0.0045 m^2} = \text{Velocidad } (V)$$

$$0.44 \text{ m/s} = \text{Velocidad } (V)$$

Se recomienda emplear como velocidad mínima 0.45m/s y máxima 1.5 m/s (Castañeda, 2010).

El valor obtenido para la velocidad de impulsión debe cumplir el rango establecido en el literal B.8.5.6.2 del RAS 2000, $1 > V_i > 3 \text{ m/s}$.

Recalculado velocidad reduciendo el diámetro:

$$\frac{0.002 \frac{m^3}{s}}{0.0020 m^2} = Velocidad (V)$$

$$0.98 m/s = Velocidad (V)$$

Con el diámetro de 1 pulgada se cumple el requerimiento establecido por el RAS

Tubería de succión

Se calculó teniendo en cuenta que el diámetro de succión nunca debe ser inferior al diámetro de la tubería de impulsión ni tampoco inferior al diámetro del orificio de la entrada de la tubería de succión de la bomba, y que Comercialmente el diámetro inmediatamente superior es 1 ¼ pulgadas (0.031 m), se fija el diámetro de succión en 3 pulgadas y se procede a calcular la velocidad de succión:

$$\frac{Caudal Q}{Area (A)} = Velocidad (V)$$

$$\frac{0.002 \frac{m^3}{s}}{0.0031 m^2} = Velocidad (V)$$

$$0.63 m/s = Velocidad (V)$$

Cumpliendo con la recomendación del título B.8.5.6.2 del RAS 2000 donde se recomienda que la velocidad mínima 0.45m/s.

Sumergencia (S)

La coladera debe tener una sumergencia adecuada de manera que se evite la entrada de aire a la tubería de succión cuando el nivel del agua en el pozo húmedo se encuentre en su punto más bajo. La sumergencia recomendada es:

$$S = 2.5 * D_s + 0.1$$

$$S = 2.5 * 0.076 m + 0.1$$

$$S = 0.29 m$$

Donde

S= Sumergencia (m)

Ds= Diámetro de la tubería de succión

Altura estática total (Hest)

$$he = \text{altura estatica de succión } Hs + \text{atura estatica de impusion } Hi$$

Altura estática de succión (Hs)

$$hs = \text{cota del eje de la bomba} - \text{conta minima del nivel del agu en el pozo}$$

Entonces y considerando la cota del eje de la bomba = 1444 la altura estática de succión será:

$$hs = 1444 \text{ m} - 1440 \text{ m} = 4 \text{ m}$$

Altura estática de impulsión (Hi)

Es la diferencia entre el nivel de descarga de la bomba y el eje rotor

$$hi = 1444 \text{ m} - 1440 \text{ m} = 4 \text{ m}$$

$$ht = hs + hi = 8 \text{ m}$$

- Perdidas en la succión ($Ds=1 \frac{1}{4} \text{ in} = 0.0031 \text{ m}$)

—

Se calculó por longitudes equivalentes utilizando las longitudes dadas en la tabla 7.5 del libro Elementos de Diseño para acueductos y alcantarillados de Ricardo Alfredo López Cualla.

- Válvula de Coladera L.E. = 20.00 m
- Longitud recta= $0.29+4+0.5$ 4.79 m

- Codo 90° Radio Medio 2.1 m
- Entrada de Borda Válvula 2.2 m
- Longitud equivalente total 29.09 m

Utilizando la ecuación de Hazen Williams calculamos las pérdidas (J) C

$$J = \left(\frac{Q}{0.2785 * C * D^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}}$$

$$J = \left(\frac{0.002 \frac{m^3}{s}}{0.2785 * 150 * 0.0031 * 2^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}}$$

$$J = 0.006 \text{ m/m}$$

De modo que las pérdidas en la succión son:

$$0.06 * 29.09 \text{ m} = 0.017454 \text{ m}$$

Pérdidas en la impulsión (Ds=2in = 0.051 m)

- Expansión concéntrica 12(D) 0.612 m
- Válvula de retención horizontal 12.50 m
- Codos de radio largo (4) 4.4 m
- Te con cambio de dirección 5.2 m
- Tubería= 137+1.0+4 142.00 m

Longitud equivalente total 164.71 m

Utilizando la ecuación de Hazen - Williams calculamos las pérdidas (J) C

$$J = \left(\frac{Q}{0.2785 * C * D^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}}$$

$$J = \left(\frac{0.002 \frac{m^3}{s}}{0.2785 * 150 * 0.0020 * 2^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}}$$

$$J = 0.020 \text{ m/m}$$

De modo que las pérdidas en la succión son:

$$0.02 * 164.71 \text{ m} = 3.29 \text{ m}$$

$$\textbf{Altura dinámica total} = \textbf{Hest} + \textbf{hms} + \textbf{hmi}$$

Donde:

Hest = Altura estática total

hms = Alturas de perdida menores de succión

hmi = altura de perdidas en la impulsión

$$\textbf{Altura dinámica total} = 11.42$$

Con los valores del caudal y la altura dinámica de elevación, se puede seleccionar la bomba a partir de las curvas características suministradas por los fabricantes.

Potencia de la bomba

$$Pb = \frac{\gamma * Q * H_T}{e}$$

- Donde:
- γ = densidad * gravedad = 9810 kg*m/m³*s
- e = eficiencia = 84%
- Q = caudal en m/s = 0.002 m/s
- Ht= Altura dinámica total = 11,42 m

—

$$P_b = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.002 \frac{m^3}{s} * 11.42 * m}{0.6} = 373.434 w = 0.5 HP$$

Se recomienda usar motores con una potencia de 1.15 a 1.20 veces la potencia de la bomba para evitar el recalentamiento de este y tener en cuenta las pérdidas mecánicas de transmisión de energía. Por lo tanto, la potencia del motor requerido será de:

$$P_b = 0.5 HP * 1.2 = 0.6 HP$$

Revisión de potencial de cavitación.

$$CNPSd = \left[\text{Altura.Bar} - \left(H_{est} + \text{Perd. fricción} + \frac{v^2}{2g} \right) \text{Succión} \right] - P_{vapor}$$

Donde:

CNPSd = Altura Neta Positiva de Succión disponible

HB = Altura Barométrica

hs = Pérdidas en la Succión

HVel = Altura de Velocidad ($Vs^2/2g$)

Hest = Altura Estática de Succión

Temp = Temperatura del agua

PVAT = Pérdida por Evaporación agua a °T

A.S.N.M. = Altura sobre el nivel del mar

Altura Barométrica (HB)

Al nivel del mar la altura máxima de succión es de 760 mm Hg equivalente a 10.33 m de agua.

Este valor debe ser corregido teniendo en cuenta la elevación sobre el nivel del mar a razón de 1.2 m por cada 1000 metros de nivel. Por lo tanto:

$$Altura\ barometrica = 10.33 - \frac{1.2 * 1440}{1000} = 8.602m$$

Altura estática de Succión (Hest) = **4.0m**

Perdidas en la Succión (**hs**)

Utilizando la ecuación de Hazen Williams calculamos las pérdidas (J) C

$$J = \left(\frac{Q}{0.2785 * C * D^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}}$$

$$J = \left(\frac{0.002 \frac{m^3}{s}}{0.2785 * 150 * 0.0031 * 2^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}}$$

$$J = 0.006\ m/m$$

De modo que las pérdidas en la succión son:

$$0.06 * 29.09\ m = 0.0174\ m$$

Altura de velocidad ($V_s^2/2g$):

$$V_s = \frac{0.002 * 4}{\pi * (0.0254)^2} = 0.020m$$

$$\frac{V_s^2}{2g} = \frac{0.020}{2 * 9.81} = 0.000020m$$

Presión de vapor: Para una temperatura de 15°C, según las tablas se tiene una presión de vapor de 0.18m

$$CNPSd = \left[8.60 - (4 + 0.032 + 0.000020) \right] - 0.18 = 3.76m$$

$$CNPSd = 3.76 \text{ m}$$

Para evitar el riesgo de la cavitación por presión de succión, se debe cumplir que:

$$CNPSd > CNPSr$$

NOTA: En caso de no cumplirse esta condición, se debe disminuir la altura estática, aumentar el diámetro o utilizar un material más liso.

Tipo De Bomba

Bomba:

Bomba AURORA Por tablas

Modelo 3L

r.p.m. : 1750

Potencia : 1 H.P.

Ø Rotor m

NPSHR 2,5 : NO CAVITA

Golpe De Ariete

$$a = \frac{1420}{0(1 + ((kxd)/(Ext)))} = 540,53 \text{ m/seg}$$

Donde:

1420	= Velocidad del sonido en el agua
k= módulo de elasticidad del agua	= 20670 kg/cm ²
d= diámetro de la tubería (cm)	= 2.54 cm
E= módulo de elasticidad del material	= 1 31400 kg/cm ² PVC
t= espesor de la pared del tubo	= 0,85 cm por tabla

Altura de Sobrepresión (h)

$$h = \frac{a*Vi}{g} = 48,33 \text{ m}$$

Donde:

$$\begin{aligned} a &= \text{velocidad de sobrepresión} &= 540,53 \text{ m/seg} \\ V_i &= \text{Velocidad de la Línea de Impulsión} &= 0,88 \text{ m/seg} \\ g &= \text{Aceleración de la gravedad} &= 9,81 \text{ m/seg}^2 \end{aligned}$$

Altura Total De Columna De Agua

$$HCA = h + H_{di}$$

$$HCA = 53,85 \text{ m}$$

Tipo De Tubería

1 Línea de succión tubería pvc o 3 rde 21 200 psi

2 Línea de impulsión tubería pvc o 2 rde 21 200 psi

Volumen del pozo:

Parámetros de diseño

$$\text{Tiempo de retención} = 5 \text{ min.}$$

$$\text{Caudal} = 2,00 \text{ lps}$$

$$\text{Vol.} = 1,20 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Área mínima} &= 5 \times D_s \\ A_{\text{min.}} &= 0,38 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sumergencia

$$\text{Sum.} = 2.5 D_s + 0.1$$

$$\text{Sum.} = 0,29 \text{ m}$$

Altura de la Valvula de Coladera

$$\text{Diam.} = 2 \text{ pulg}$$

$$\text{Altura} = 35 \text{ cm}$$

$$\text{Dist. del fondo a la coladera} = 50 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Altura del pozo} &= (N_{\text{max}} - N_{\text{min}}) + \text{Sumer.} + \text{Alt} + \text{Dist} + B.L \\ AP &= 2,34 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabla A2. *Resumen de variables de dimensionamiento del Sistema de bombeo*

Descripción	valor
Tipo de bomba	Succión negativa
Caudal de bombeo	2 l/s
Diámetro de succión	2 pulgadas
Diámetro de impulsión	1 pulgadas
Material de tubería succión	PVC
Coeficiente de rugosidad	140
Material de tubería impulsión	PVC
Velocidad de bombeo	0.88 m/s
Altura estática de succión	4 m
Altura estática de impulsión	8 m
Altura dinámica total	11.42m
Potencia de la bomba	0.6 HP
Cavitación	4.53 m
Eficiencia teórica de la bomba	84%
Golpe de ariete	540,53 m

Apéndice B. Determinación de pH en el laboratorio y campo SM-4500H+B

Objetivo: Establecer un procedimiento para la determinación de pH en muestras de agua.

Alcance: Este método es aplicable para aguas potables y crudas.

Soporte Normativo: Instructivos de los equipos.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22th Edition 2012. Método 4500H+ B

Terminología y definiciones

pH: Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.

Principio del método: El pH es una de las medidas más importantes y su determinación es la prueba más usada en química del agua.

La mayoría de las fases de tratamiento de agua de consumo y de las aguas de desecho, por ejemplo neutralización ácido-base, precipitación, coagulación, desinfección, control de corrosión y ablandamiento de aguas, son dependientes del pH. Una temperatura dada la intensidad del carácter ácido o básico de la solución es indicada por el pH o actividad del ion hidrogeno. Sorenson define el pH como $-\text{Log} [H^+]$, es el factor “intensidad” o acidez. El agua pura está ligeramente ionizada y en equilibrio.

El producto iónico es:

$$[H^+] [OH^-] = K_w = 1,01 \times 10^{-14} \text{ a } 25^\circ C$$

$$[H^+] [OH^-] = 1,005 \times 10^{-7}$$

Donde

$[H^+]$ = Concentración ion de hidrógeno, moles/L.

$[OH^-]$ = Concentración del ion hidroxilo, moles/L.

K_w = Producto iónico del agua.

El principio básico de la medida electrométrica del pH es la determinación de la actividad de los iones hidrógeno con medidas potenciométricas mediante un electrodo estándar de hidrógeno y un electrodo de referencia.

Utilizar un electrodo estándar de hidrógeno para la determinación rutinaria del pH no es práctico; en su defecto el electrodo más frecuente empleado es el de vidrio. La fuerza electromotriz (FEM) producida en el sistema de electrodo de vidrio varía linealmente con el pH.

En aguas naturales usualmente se encuentran valores de pH en el rango de 4 a 9 unidades y muchas altamente básicas por la presencia de bicarbonatos y carbonatos de metales alcalinos y alcalinotérreos.

Con el electrodo de vidrio, un electrodo de referencia y un compensador de temperatura se logran mediciones más confiables del pH.

Equipos: Potenciómetro con resolución mínima de 0,1 unidades de pH con un rango de 0 a 14 y equipado con un ajuste de compensación de temperatura.

Varilla de vidrio o agitador magnético.

Plancha de agitación

Reactivos: Soluciones Buffer de pH de 4,0, 7,0 y 10,0 con certificado.

Descripción del procedimiento:

Tabla A3. Descripción del método

ETAPAS	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	RESPONSABLE	REGISTRO	PUNTO DE CONTROL
1.	Medición de la muestra: Después de haber sido calibrado el equipo según las especificaciones del fabricante y el instructivo de cada equipo, introducir la sonda de pH a la muestra homogénea (agitar con varilla de vidrio si es necesario) para determinarle el pH de esta.	Analista de laboratorio Auxiliar de campo	LB-FR-07 Verificación de pH-metro LB-FR-09 Verificación de equipos en campo	N/A
2.	Lectura: Oprimir la tecla específica (según equipo y si amerita) para que inicie la lectura del pH, esperar que se estabilice la medida.	Analista de laboratorio Auxiliar de campo	N/A	N/A
3.	Registrar el resultado obtenido en los formatos para pH medidos en el laboratorio y campo respectivamente. <u>Nota 1:</u> Antes de realizar la medición de las muestras o patrones, extraiga las mismas de la nevera y espere a que la temperatura de la muestra se estabilice en relación a la temperatura del ambiente de laboratorio.	Analista de laboratorio Auxiliar de campo	LB-FR-01 Bitácora de muestreo LB-FR-04 Resultados Análisis Electrométricos	Realizar un duplicado cada 10% de total de las muestras a analizar. Los duplicados deben estar dentro del 1% del valor promedio.

Apéndice C. Determinación de color aparente SM-2120 B

Objetivo: Establecer un procedimiento para la determinación Color Aparente en muestras de aguas

Alcance: Este método es aplicable para aguas potables y crudas.

Soporte Normativo: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22th 2012. Method 2130 B.

Principio del método: El color en aguas superficiales y subterráneas se debe principalmente a la presencia de materia orgánica natural, materia húmica particularmente acuática. La materia húmica consiste en ácidos húmicos y fúlvicos; ambos causan un color amarillo-marrón, los ácidos húmicos dan un color más intenso, y la presencia de hierro intensifica el color a través de la formación de humatos férricos solubles. Las partículas en suspensión, especialmente partículas de tamaño coloidal, tales como arcillas, algas, hierro y óxidos de manganeso, dan una aparición de color en aguas; que deben ser eliminados antes de la medición. Aguas residuales industriales puede contener lignina, taninos, colorantes, y otros productos químicos orgánicos e inorgánicos que producen color.

El término “color aparente” incluye no sólo a las sustancias en solución, sino también que, es debido a la materia en suspensión. Color aparente se determina en la muestra original sin filtración. En algunas aguas y aguas residuales, color aparente es aportado principalmente por el material coloidal y en suspensión.

El color se determina por comparación visual de la muestra con concentraciones conocidas de soluciones coloreadas. La comparación también se puede hacer con los discos especiales, debidamente calibrados de vidrio de color. El método de platinocobalto para medir el color es el método estándar, la unidad de color que produce 1 mg de platino / L en forma de ion

cloroplatinato. La proporción de cobalto a platino dado (2120B .4) coincide con el color de las aguas naturales.

Interferencias: incluso una ligera turbidez hace que el color aparente sea notablemente más alto que el color verdadero; por lo tanto, eliminar la turbidez por el procedimiento de filtración descrito en el Método C.

El valor de color de agua es extremadamente dependiente del pH y aumenta invariablemente a medida que se eleva el pH del agua. Al reportar un valor de color, especifique el pH en el que se determina el color. Para fines de investigación, o cuando los valores de color se van de comparar entre los laboratorios, determinar la respuesta de color de un agua dado en un amplio intervalo de valores de pH.

Equipos: Tubos Nessler, adaptado, 50mL, forma alta.

pH metro , para la determinación de pH de la muestra

filtro y conjunto de filtración (para mediciones de color verdadero). Utilice una membrana de celulosa de 0,45 μm poros de diámetro de 22 o 4 mm de diámetro. Enjuague filtros antes de su uso y supervisar los espacios en blanco del filtro. Pueden ser necesarios filtros de menor poro de 0,2 o 0,22 μm o incluso de ultrafiltración para eliminar las partículas coloidales para ciertas muestras, tales como óxidos de Mn o Fe u otros coloides. Utilizar un vidrio, TFE, o montaje de acero inoxidable para mantener los filtros seleccionados.

Reactivos: Agua orgánica-libre: Tipo I de agua reactiva

Patrón de color (500 unidades de pt-Co)

Preparación de los estándares: Disolver 1.246g de cloroplatinato de potasio y 1.00g cloruro de cobalto cristalizado en agua con 100mL de HCl conc y diluir hasta 1000 mL (se reemplaza en por una solución ya diluida y certificada de 500 unidades de color). Esta solución madre tiene un color

de 500 unidades de color (CU). Estándar de platino-cobalto de 500 CU están disponibles comercialmente, y son adecuados para uso como el patrón primario. Preparar estándares que tienen CU de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 50, y 100 mediante la dilución 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0, y 20.0 mL de estándar de color madre con agua en 100 ml de matraces aforados. Transferir a tubos de Nessler para su uso como estándares. Proteger estándares contra la evaporación y la contaminación cuando no esté en uso. Guardar en la oscuridad cuando no esté en uso, y guardar sólo por 1 mes.

Recolección de la muestra: Recoger muestras en botellas de vidrio lavados con ácido o botellas de plástico cubiertas para impedir la entrada de luz. Enjuagar una vez con muestra las botellas antes de llenar la botella con la muestra. Preferentemente tomar una muestra de al menos 100 mL. Analizar la muestra con 24 h de la colección. Mantener las muestras en frío hasta su análisis, y calentarlas a la temperatura ambiente antes de la medición.

Descripción del procedimiento

Tabla A4. Descripción del método

ETAPAS	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	RESPONSABLE	REGISTRO	PUNTO DE CONTROL
1.	Preparación de la muestra: Verificar el pH de la muestra. Si fuera del rango de 4 a 10, preferiblemente ajustar la muestra a pH 7 y tenga en cuenta el ajuste. Reportar pH de la muestra	Analista de Laboratorio	LB-FR-05 Resultados Análisis Fotométricos	N/A
2.	Medición de la muestra: observar el color de la muestra llenando un tubo nessler emperejando a la marca de 50 ml con la muestra y comparándola con los estándares. Mirar verticalmente hacia abajo a través de tubos hacia una superficie blanca o especular colocado	Analista de Laboratorio	LB-FR-05 Resultados Análisis Fotométricos	Realizar un duplicado diario o uno por cada 10 muestras.

en un ángulo tal que la luz se refleja hacia arriba a través de las columnas de líquido. Si la turbidez está presente y no se ha eliminado, reportar como color aparente. Si el color es superior a 100 unidades, diluir la muestra en proporciones conocidas hasta que el color este dentro del intervalo de los estándares.

Apéndice D. Determinación de turbidez SM 2130 B

Objetivo: Establecer un procedimiento para la determinación turbidez en muestras de aguas

Alcance: Este método es aplicable para aguas potables y crudas.

Soporte Normativo: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22th 2012. Method 2130 B.

Terminología y definiciones:

Turbiedad: Es una expresión de la propiedad óptica de una muestra, que origina que al pasar un haz de luz a través de ella, la luz se disperse y se absorba en vez de transmitirse en línea recta.

Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT): Son las unidades en que se expresa la turbiedad cuando ha sido determinada por el método nefelométrico. La turbiedad de una suspensión de formacina de concentración específica se define como el equivalente a 40 unidades nefelométricas.

Principio del método: Este método se basa en la comparación entre la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas y la intensidad de luz dispersada por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones; a mayor dispersión de luz corresponde una mayor turbiedad. Las lecturas son realizadas empleando un turbidímetro calibrado con una suspensión de referencia de formacina preparada bajo condiciones específicas. El polímero de formacina ha sido elegido como referencia debido a que es fácil de preparar y en cuanto a sus propiedades de dispersión de luz es más reproducible que otros como arcilla o agua turbia natural.

La turbiedad de una suspensión de concentración específica de formacina se define como el equivalente a 40 UNT, esta suspensión tiene una turbiedad aproximada de 40 unidades Jackson si se determina en el turbidímetro de bujía, por lo tanto, las unidades nefelométricas basadas en el

empleo de formacina se aproximarán a las unidades del turbidímetro de bujía pero no serán idénticas.

El aparato empleado en esta determinación consiste en un nefelómetro con una fuente de luz para iluminar la muestra y uno o varios detectores fotoeléctricos con un dispositivo de lectura exterior para indicar la intensidad de la luz dispersada a 90° de la dirección del haz de luz incidente.

Equipos: Turbidímetro y Celdas de muestras

Reactivos: Agua de dilución. Agua de alta pureza, para tener baja turbiedad, el agua de dilución debe tener un valor nominal de 0,02 NTU, para lograr esto, el laboratorio puede filtrar el agua grado reactivos, con filtros de poro lo suficientemente pequeños para lograr la calidad del agua, igualmente, se puede conseguir botellas de agua desmineralizada cuando el laboratorio no pueda preparar un agua de la calidad exigida.

Suspensión patrón de formacina de 400 o más UNT. Haga diluciones a partir de esta suspensión, la solución es estable por un año si está bien almacenada.

Descripción del procedimiento

Tabla A5. Descripción del método

ETAPAS	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	RESPONSABLE	REGISTRO	PUNTO DE CONTROL
1.	Preparación y acondicionamiento de la muestra: Analizar la muestra en un periodo no mayor de 24 h. Si la muestra se encuentra en refrigeración, sacarla y permitir que alcance la temperatura ambiente antes de que se realice el análisis.	Analista de Laboratorio	N/A	N/A
2.	Encender el equipo, estabilizar, calibrar y verificar con estándares dentro del intervalo de trabajo según se relaciona en el respectivo instructivo.	Analista de Laboratorio	LB-FR-11 Verificación de Turbidímetro	N/A

Apéndice E. Determinación de aluminio (cianuro ericromo R) SM 3500Al B

Objetivo: Establecer un procedimiento que permita analizar y establecer el nivel de aluminio en el agua potable y cruda.

Alcance: Este método es aplicable para aguas potables y superficiales.

Soporte Normativo: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22th 2012. Method 3500-AL B.

Terminología y definiciones: Aluminio. Elemento químico de número atómico 13, masa atómica 26,99 y símbolo *Al*; es un metal plateado, muy ligero, buen conductor y resistente a la oxidación, que no se encuentra nunca libre en la naturaleza y se extrae principalmente de la bauxita

Espectrofotómetro: instrumento usado en el análisis químico que sirve para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones y la concentración o reacciones químicas que se miden en una muestra.

Principio del método: Al diluir una solución de aluminio con R Cianuro Eriocromo tamponada a un pH de 6.0, produce un complejo de color rojo a rosado, que presenta una máxima absorción a 535nm. La intensidad del desarrollo del color está influenciada por la concentración de aluminio, tiempo de reacción, temperatura, pH, alcalinidad y concentración de otros iones en la muestra. Para compensar el color y la turbidez del aluminio, una porción de muestra se mezcla con EDTA para proporcionar un blanco, las interferencias de Fe y Mn, dos elementos comúnmente encontrados en el agua, se elimina por la adición de ácido ascórbico, el rango óptimo de lectura del aluminio, está entre 20 y 300 µg/L, pero puede ser extendido hacia arriba por una simple dilución.

Interferencias: Pueden causar errores negativos Fluoruros y Poli fosfatos, cuando la concentración de fluoruro es constante, el % porcentaje de error disminuye con el aumento de la concentración de Aluminio, ya que la concentración de Fluoruros frecuentemente es conocida o puede ser determinada directamente, ajustándose a resultados que pueden ser obtenidos por adición de una cantidad conocida de fluoruros a un grupo de estándares.

Una simple corrección puedes ser determinada desde la familia de curva en la figura 3500-Al:

1. Para la eliminación de la interferencia de los complejos de polifosfato está dado el siguiente procedimiento. Los orto fosfatos en concentración menores de 10 mg/L no causan interferencias, las interferencias ocasionadas por un nivel de pequeñas cantidades de alcalinidad es eliminada precisamente por la acidificación de la muestra, después del punto de neutralización del metil naranja. Los sulfatos no interfieren hasta una concentración de 200mg/L.

Mínima concentración detectable: La mínima concentración detectable de aluminio por este método en ausencia de fluoruros y complejos de fosfatos es aproximadamente 6 µg/L.

Manipulación de la Muestra: Las muestras son colectadas en limpio en frascos lavados con ácido, preferiblemente plásticos, los cuales son examinados tanto como sea posible, antes de la colección, si se va a detectar únicamente el Aluminio soluble, filtrar una porción de la muestra a través de un filtro de membrana de 0.45µm, desechas los primeros 50 ml de filtrado y utilizar el filtrado sucesivo para la determinación. No se debe utilizar filtros de papel, algodón adsorbente o vasos de vidrio para filtrar cualquier solución que puede estar contaminada con Aluminio, porque ellos removerán parte del aluminio soluble.

Equipos: Espectrofotómetro, para ser utilizado a 535nm, con un haz de luz de de 1cm de longitud.

Filtro fotométrico, que proporciona un haz de luz de 1 cm de largo y equipado con un filtro verde con una máxima transmitancia a 535 nm.

Cristalería: tratar toda la cristalería calentando 1+1 HCL, y enjuague con agua destilada libre de Aluminio para evitar errores debido al material absorbido en el vidrio, enjuague suficientemente para remover todo el ácido.

Reactivos: Utilizar reactivos bajos en Aluminio y agua destilada libre de Aluminio.

Solución Stock de Aluminio: Utilizar cualquiera de los dos, el metal (1) o la sal (2), para preparar una solución stock: 1.00ml = 500µg Al. Disolver 500 mg de aluminio metálico en 10 ml de HCL concentrado con calentamiento suave. Diluir a 1000 ml con H₂O destilada, o disolver 8.791g de sulfato potásico de aluminio (también llamado Aluminio potásico), $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, en agua y diluir a 1000ml. Corregir este peso por la división de la fracción decimal de la aleación $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, en el reactivo utilizado.

Solución estándar de Aluminio: Diluir 10ml de solución stock de aluminio a 1000ml con agua destilada: 1.00ml = 5.00 µg Al. Prepara diariamente.

Solución de ácido ascórbico: disolver 0.1 g de ácido ascórbico en agua y aforar a 10ml en un frasco volumétrico.

Reactivo Buffer: disolver 136g de acetato de sodio, $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada, añadir 40 ml 1N de ácido acético y diluir a un litro.

Solución stock de color: Utilizar cualquiera de los siguientes productos:

Cianuro solocromo R-200 o cianuro eriocromo: Disolver 100mg en agua y diluir a 100 ml en un frasco volumétrico. Esta solución debe tener un pH cerca de 2,9.

Cianuro de Eriocromo R: disolver 300mg de colorante en aproximadamente 50ml de agua destilada. Ajustar pH desde 9 hasta 2.9 con una proporción de 1+1 ácido acético (aproximadamente 3ml serán requeridos). Diluir con agua destilada a 100ml.

Esta solución stock tiene una estabilidad excelente y puede ser almacenada por un año.

Solución coloreada de trabajo: Diluir 10 ml de la solución stock coloreada seleccionada a 100 ml en un frasco volumétrico con agua destilada. Las soluciones de trabajo son estables por al menos 6 meses.

Ácido sulfúrico estándar, 0,1 N: Coloque un vaso de 600 mL con unos 300 mL de agua desionizada, Agregue muy lentamente 2,8 mL de ácido sulfúrico concentrado del 98%, cuando este a temperatura ambiente complete a 1 Litro en un balón aforado.

Ácido sulfúrico 0,02 N: Coloque un vaso de 600 mL con unos 300 mL de agua desionizada, adicione 200 mL de ácido sulfúrico 0,1 N y en un balón aforado y complete a 1000 mL.

EDTA

Solución sódica de ácido etilendiamin-tetraacetato dihidrato. 0.01 M: Disolver 3.7 g en agua destilada y diluir a 1 Litro.

Hidróxido de sodio: NaOH, 1N y 0.1N

Descripción del procedimiento:

Tabla A6. *Descripción del método*

ETAPAS	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	RESPONSABLE	REGISTRO	PUNTO DE CONTROL
--------	-----------------------------	-------------	----------	------------------

1.	Verificación de espectrofotómetro: Encender el equipo, estabilizar, calibrar y verificar con estándares dentro del intervalo de trabajo según se relaciona en el respectivo instructivo.	Analista laboratorio	LB-FR-10 Verificación de espectrofotómetro	N/A
2.	Preparación de curva de calibración: Preparar una serie de estándares de Aluminio desde 0 a 7 µg (o hasta 280 µg/L basado en una muestra de 25 ml) midiendo exactamente los volúmenes calculados de la solución estándar de aluminio en un frasco volumétrico de 50ml. Agregar agua hasta un volumen total de aproximadamente 25 ml. Agregar 1 ml 0.02N de H ₂ SO ₄ a cada estándar y mezclar. Añadir 1 ml de solución de ácido ascórbico y mezclar. Añadir 10 ml de solución buffer y mezclar. Con una pipeta volumétrica, adicionar 5ml del reactivo colorante de trabajo y mezclar. Inmediatamente aforar hasta 50 ml con agua destilada. Mezclar y dejar reposar desde 5 hasta 10 min. El color iniciara hasta desaparecer después de 15 min. Leer transmitancia o absorbancia utilizando una longitud de onda de 535nm. Ajustar el instrumento a cero absorbancia con un estándar que no contiene aluminio (microgramos Al en 50 ml de	Analista Laboratorio	LB-FR-05 Resultados Análisis Fotométricos	N/A

volumen final) vs absorvancia obtenida.

3.	Tratamiento de la muestra en ausencia de fluoruro y complejos fosforados: Medir 25 ml de muestra, o diluir una porción a 25 ml, en una capsula o frasco de porcelana, añadir unas cuantas gotas de indicador de metilnaranja y titular con H_2SO_4 0.02N hasta un ligero color rosado. Registrar la lectura, y descartar la muestra. Para dos muestras similares a la misma temperatura ambiente, añadir la misma cantidad de H_2SO_4 0.02N para eliminar HCO_3 utilizando la titulación mas 1 ml de exceso. A una muestra, agregar 1 ml de solución de EDTA. Esta servirá como un blanco para cualquier complejo de aluminio presente y compensar la turbidez y el color. Para ambas muestras agregar	Analista Laboratorio	LB-FR-05 Resultados Análisis Fotométricos	Realizar un patrón establecido, muestra adicionada y duplicado de muestra adicionada cada 10% de total de las muestras a analizar.
4.	Eliminación de las interferencias de Fosfatos: Agregar 1.7 ml de H_2SO_4 6N para 100ml de muestras en un erlenmeyer de 200 ml. Calentar en un plato caliente por un periodo de 90 min cuidando que la temperatura de la solución este justamente por debajo del punto de ebullición. Al finalizar el	Analista Laboratorio	N/A	N/A

periodo de calentamiento el volumen de la solución debe estar cerca de 25 ml. Agregar agua si es necesario para completar el volumen.

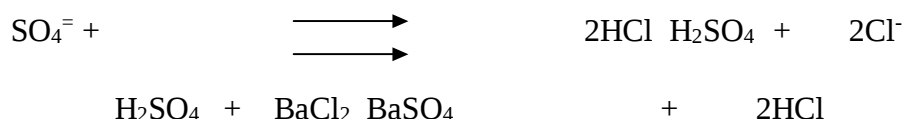
Apéndice F. Determinación de sulfatos en agua por el método nefelométrico TP0095-IDEAM

El sulfato (SO_4^{2-}) se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y puede estar presente en aguas naturales en concentraciones que van desde unos pocos miligramos por litro hasta algunos gramos por litro. Algunos drenajes de minería pueden contribuir con grandes cantidades de sulfatos a través de la oxidación de piritas.

Como los sulfatos de sodio y de magnesio tienen un efecto purgante, especialmente entre los niños, se recomienda un límite superior en aguas potables de 250 mg/L de sulfatos. El contenido es también importante, porque las aguas con alto contenido de sulfatos tienden a formar incrustaciones en las calderas y en los intercambiadores de calor.

El ion SO_4^{2-} forma una suspensión con cloruro de bario (BaCl_2) en presencia de ácido acético para formar cristales de sulfato de bario (BaSO_4) de tamaño uniforme. Se mide la dispersión de luz de la suspensión de BaSO_4 con un turbidímetro, y la concentración de SO_4^{2-} se determina por comparación de la lectura contra una curva estándar.

Reacción:



El intervalo de aplicación de este método va de 3 a 40 mg SO_4^{2-} /L. Para muestras con concentraciones superiores, use una alícuota que contenga menos de 40 mg SO_4^{2-} /L.

Este método es aplicable a aguas potables, lluvia, superficiales, y efluentes domésticos e industriales.

Limitaciones e interferencias: El color o la materia en suspensión en grandes cantidades pueden interferir con la determinación; esta última se puede remover por filtración. Si ambas son pequeñas en comparación con la concentración de SO_4^{2-} , se corrige la interferencia mediante un blanco de muestra en el que se omite la adición de BaCl_2 .

La sílice en cantidad superior a 500 mg/L interfiere. Realizar dilución o muestra adicionada para observar la interferencia por matriz.

En aguas con grandes cantidades de materia orgánica puede ser imposible precipitar el BaSO_4 satisfactoriamente. Diluir o adicionar muestra para observar interferencia por matriz.

En aguas potables no hay otros iones diferentes del SO_4^{2-} que formen compuestos insolubles con bario bajo condiciones fuertemente ácidas.

En presencia de materia orgánica algunas bacterias reducen el SO_4^{2-} a S^{2-} , lo que se evita por refrigeración de la muestra.

Hacer las determinaciones a temperatura ambiente; variaciones de temperatura en un intervalo de 10°C no causa un error apreciable. Tener en cuenta que la muestra no esté muy fría, esto causa nubosidad en la celda en el momento de la lectura.

Toma y preservación de las muestras: Para realizar el análisis de sulfatos debe recogerse una alícuota de al menos 250 mL de muestra, ya que es necesario leer un duplicado como se indica en el procedimiento TP0100. La muestra puede tomarse en recipiente plástico o de vidrio y debe ser preservada mediante refrigeración a 4°C. El análisis debe ser realizado dentro de los 28 días posteriores a la toma de la muestra. Se puede tomar muestra de la recibida para fósforo soluble siempre y cuando la alícuota sea suficiente para los dos analitos.

Filtre la muestra utilizando filtro de membrana de acetato de celulosa de 0.45 μm antes de realizar el análisis.

Equipos: Agitador magnético con control de velocidad. Emplee una velocidad de agitación constante que evite salpicaduras; la velocidad exacta de agitación no es crítica, pero debe mantenerse constante para cada grupo de muestras y estándares. Use barras agitadoras de forma y tamaño idénticos.

Turbidímetro digital. Marca Orbeco-Hellige. Modelo 965-10. Siga el instructivo para el manejo del turbidímetro TI0381

Cronómetro o temporizador digital.

Reactivos: Solución tampón: Disuelva 30 g de cloruro de magnesio r.a., cristales, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 5 g de acetato de sodio r.a., $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 1,0 g de nitrato de potasio, KNO_3 r.a., y 20 mL de ácido acético glacial, CH_3COOH en 500 mL de agua destilada y diluir a 1000 mL. Prepare la cantidad suficiente de solución, almacene a temperatura ambiente en frasco rotulado.

Cloruro de bario R.A., $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Merck o de una calidad similar.

Solución estándar de sulfato de 1,00 mL = 1000 $\mu\text{g SO}_4^{2-}$: Secar de 2 a 3 g de Na_2SO_4 estándar a 105 °C durante dos horas y enfriar en desecador, pesar y disolver 1,4841 g de Na_2SO_4 anhidro R.A. en agua desionizada y diluya a 1000 mL en balón aforado clase “A”. Almacene esta solución en frasco rotulado y refrigere en la nevera de almacenamiento de reactivos.

Diluya 100 mL de Na_2SO_4 trazable (1000 mg SO_4/L) o del estándar preparado en el punto anterior en agua desionizada y afore a 1000 mL en balón aforado clase “A”. 1,00 mL = 100 $\mu\text{g SO}_4^{2-}$. Almacene esta solución en frasco rotulado y refrigere en la nevera de almacenamiento de reactivos.

Análisis: Tome 100 mL de alícuota de las muestras, blanco de reactivo y estándares de control, los cuales deben encontrarse a temperatura ambiente.

Adicione 20 mL de solución buffer A, con pipeta aforada a cada muestra, blanco de reactivo y estándar de control.

Coloque la barra agitadora en el blanco de reactivo, permitiendo que se homogenice la solución.

Adicione el blanco de reactivos a la celda perfectamente limpia y escurrida. Consulte el Instructivo para el Manejo del Turbidímetro Orbeco Hellige TI0381.

Realice la lectura inicial en el turbidímetro y devuelva al erlenmeyer la porción utilizada en el turbidímetro Orbeco Hellige, registre la lectura en el formato de TF0349 Formato de Captura de datos – Turbidimetría (Espacio Lectura Inicial).

Lea el tiempo en el cronómetro en el instante de adición del Cloruro de Bario.

Adicione una cucharada de cristales de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e inicie a cronometrar inmediatamente.

Agite por 60 ± 2 segundos a velocidad constante, la cual puede variar dependiendo del agitador empleado, por lo tanto se debe regular a una velocidad que no produzca salpicaduras.

Retire el vaso que contiene la muestra del agitador magnético y deje en reposo durante 5 minutos +/- 30 segundos.

Purgue la celda varias veces con la suspensión obtenida y realice la medición.

Registre los datos de turbidez final tras adición de BaCl_2 y maduración del precipitado en el formato de TF0349 Formato de Captura de datos – Turbidimetría (Campo Lectura Final)

Nota: El procedimiento se describió para el tratamiento que se realiza a una muestra, pero de acuerdo a la pericia del analista se puede leer simultáneamente varias muestras, garantizando en todo momento que se cumpla con los tiempos requeridos descritos en los numerales 10.6 y 10.7.

Si la turbiedad de la muestra corresponde a un valor superior al registrado para una concentración de 40 mg SO₄/L en la curva de calibración, es necesario diluir la muestra original y repetir todo el proceso de análisis. Para concentraciones entre 48 y 70, diluir 50 a 100, para concentraciones entre 70 y 150 diluir 25 a 100, para concentraciones mayores, diluir evitando que la turbiedad final tras la adición de cloruro de bario sea inferior a 100.

Apéndice G. Determinación de Escherichia coli y coliformes totales en agua por el método de filtración por membrana en agar Chromocult- TP0314-IDEAM

La presencia de Escherichia coli indica contaminación fecal en agua, ya que este microorganismo es habitante normal del tracto digestivo de animales de sangre caliente y rara vez se encuentra en agua o suelo que no haya sufrido algún tipo de contaminación fecal, por ello se considera como indicador universal. Este microorganismo genera una alerta a cualquier sistema de suministro de agua ya que su presencia por si sola puede generar gastroenteritis y causar la muerte como el caso de la cepa E coli O157:H7 o puede sugerir la presencia de otros microorganismos altamente patógenos como son la Salmonella, Shigella, Klebsiella, Listeria etc.

La identificación de Coliformes totales es más difícil ya que estos pueden provenir de suelo, y de superficies de agua dulce por lo que no siempre son intestinales. La presencia de Coliformes sugiere fallas en la eficacia del tratamiento y la integridad del sistema de distribución. La identificación de las cepas aisladas puede a veces dar una indicación sobre el origen.

La filtración por membrana es el mecanismo mediante el cual se atrapan en la superficie de la membrana microorganismos cuyo tamaño es mayor que el tamaño del poro 0.45 um, esto gracias a que una bomba eléctrica ejerce una presión diferencial sobre la muestra de agua haciendo que se filtre. Los contaminantes de tamaño menor que el específico del poro atraviesan la membrana o se quedan retenidos en su interior, las bacterias quedan en la superficie de la membrana y luego está

es llevada a un medio de enriquecimiento selectivo, en el IDEAM se utiliza el medio de cultivo Chromocult el cual promueve el crecimiento y la identificación.

El medio de cultivo contiene el sustrato Salmon GAL – 6 cloro – 3 indol y β D galactopiranosido es un sustrato cromogénico que es usado para la detección de la enzima galactosidasa de colonias bacterianas en un ensayo colorimétrico; que da como resultado el cambio de la colonia a un color rojo salmón. Esta reacción se observa cuando hay coliformes totales.

Para diferenciar la *E.coli* de los coliformes totales se hace por medio del sustrato cromogénico X-Glucorósido, que reacciona con la enzima glucoronidasa pero estas también reaccionan con el Sustrato Salmón- GAL produciendo un color azul - violeta en la colonia.

El método es aplicable a aguas superficiales y residuales en el IDEAM en un rango de 1 a 200000 UFC/100mL. Según el Decreto número 1575 de 2007 “Por el cual se expiden normas técnicas de calidad de agua potable”. ARTICULO 25. El agua para consumo humano debe cumplir con los siguientes valores admisibles desde el punto de vista microbiológico. FILTRACION POR MEMBRANA: Coliformes totales. 0 UFC/100mL y *E. coli*, 0 UFC/100mL

Limitaciones e interferencias

Las interferencias en análisis microbiológico se refieren a posibles falsos positivos o negativos, que se pueden presentar por las siguientes causas:

- Lavado de material ineficiente.
- Fallas en el proceso de esterilización de material.
- Ambientes contaminados que afecten las muestras.
- Procedimientos inadecuados de la siembra.
- Fallas en la toma y transporte de la muestra.
- Estas interferencias se eliminan con procedimientos de calidad como son:

- Estandarizando las operaciones, y dando el entrenamiento necesario al personal que realiza los análisis y operaciones en el área de microbiología.
- Garantizando el ambiente de trabajo con equipos y técnicas adecuadas.
- Llevando un estricto programa de control de calidad analítico el cual incluye el análisis de blancos, blancos de reactivos, controles con cepas certificadas y duplicados de muestras.

Toma y preservación de las muestras: Recipiente y volumen de muestra: El recipiente requerido es botellas de vidrio, esterilizables con capacidad no menor a 100 mL con preservante (tiosulfato de sodio y/o EDTA) si lo requiere. El volumen mínimo para análisis microbiológico es de 100 mL.

Toma de muestra: Para análisis bacteriológico se toma la muestra directamente sin realizar purga del recipiente, teniendo en cuenta **no** llenar el recipiente completamente, con la precaución de dejar una cámara de aire dentro de él; el recipiente bacteriológico y su tapa, no deben tocar ninguna superficie contaminada, ya que esto podría alterar el resultado. Se llena el recipiente hasta la cantidad deseada, se tapa y se coloca el material protector de la tapa (papel o tela) ajustado con la pita.

Cuando se hagan tomas de ríos, corrientes, lagos, pantanos, fuentes o pozos se obtendrán muestras representativas, no es conveniente tomar muestras demasiado cerca de la orilla o demasiado lejos del punto de extracción ni a una profundidad superior o inferior a la de dicho punto, en estos puntos se puede hacer uso de una cuerda o un nylon que se amarre a la botella y se descargue con la boca hacia abajo.

Preservación y Transporte: La preservación de muestras es relativamente limitada y son generalmente para retardar la acción biológica, retardar la hidrólisis de compuestos químicos y

complejos, y reducir la volatilidad de sus constituyentes. La mejor técnica de preservación es únicamente el retardar los cambios químicos y biológicos inevitables después de la recolección de las muestras. La conservación de las muestras depende de sus características, el análisis a realizar y las condiciones de almacenamiento.

Después de recolectadas las muestras deben ser llevadas al laboratorio lo más rápido posible. Si no es posible el análisis en el lapso de **24** horas después del muestreo, se debe refrigerar a una temperatura entre **2°C**. Se reduce al mínimo la posibilidad de cambio durante el almacenamiento y transporte de las muestras. Se evita la exposición a la luz solar directa. Es conveniente asegurar que los recipientes se mantengan en posición vertical y que el líquido de muestra no se derrame, igualmente el instrumento que se emplea como refrigerante no debe entrar en contacto con la muestra para evitar su posible contaminación. La nevera de transporte debe contener hielos que mantengan la temperatura de refrigeración, estas deben estar limpias y en lo posible desinfectadas para evitar una fuente de contaminación.

Equipos: Incubadora. Marca: JENCONS. Inventario 4971.

Balanza. Marca: METTLER TOLEDO. Modelo AG 204. Con aproximación de 0.0001 g.

Incubadora Marca: Binder. Modelo Digital. Serial BD53- ul 03-46606 □ Plancha
Marca: Cimarec 2 Modelo: Termolyne.

Autoclave Electrico. Marca All American. Modelo: 50X. Serial: 0000-200. Calibrado en temperatura, presión y tiempo.

Bomba de vacío. Marca: GAST. Modelo Mufflers–Gast. Serial: 1081LR39793

Equipo completo de filtración por membrana que incluye: Bomba de vacío (105/60), soporte para embudo, embudo, portafiltros, trampas para vacío y base manifold de 6 puestos.

Reactivos: EDTA al 15 %.(Acido etilendiamino tetracético)

Tiosulfato de sodio al 0.025 N.

Alcohol Antiséptico y alcohol industrial

Agua ultrapura

Agar Chromocult con fecha de vencimiento vigente.

Análisis: Fase Pre-analítica: Se prepara una cantidad de agua peptonada al 1% dependiendo del volumen que se va a utilizar.

Se esterilizan los frascos Schott y las cajas de petri 121°C por 15 minutos y 15 psi

Se esterilizan embudos, frizas, pinzas a 121°C por 15 minutos.

Se prepara el medio de cultivo Chromocult.

Fase Analítica: Desinfectar completamente el área de trabajo.

Verificar que todo el material a utilizar este completamente estéril.

Coloque el portafiltro estéril sobre la base del manifold, poniendo primero la goma de caucho de color azul luego va la friza, la membrana y por último el embudo el cual debe ser bien enroscado para no se salga la muestra cuando la introduzca.

Con las pinzas estériles (pasada por alcohol anticéptico y un segundo por el mechero coloca la membrana de celulosa estéril con la cuadrícula hacia arriba sobre la friza.

Con mucho cuidado coloque el embudo sobre la friza fíjelo.

Llene el embudo con los 100 mL de la dilución escogida según el cuadro (Serie de diluciones para aguas)

Se alistan dos frascos Schott con 100 mL de agua de peptona tamponada estéril al 1% como mínimo para cada muestra. De acuerdo a las diluciones que vaya a realizar, extraiga del frasco que contiene el agua de peptona un volumen igual al determinado de acuerdo a la dilución.

Mezcle bien la muestra y restituye el volumen original con la alícuota de la muestra, utilice pipeta automática y punta estéril, mezcle muy bien antes de realizar la siguiente dilución.

Realice las diluciones de acuerdo con el siguiente cuadro.

CUADRO SERIES DE DILUCIÓN PARA AGUAS			
Tipo de Dilución	Volumen de muestra (mL)	Volumen final (mL)	Dilución
I	10	100	-1
II	1	100	-2 
	0.1	100	-5 
	0.1	100	-8 
III	0.1	100	-3 
	0.1	100	-6
	0.1	100	-9 
IV	1	100	-2 
	1	100	-4 
	0.1	100	-7 

Fuente: Procedimientos estandarizados de análisis de agua potable, IDEAM, 2010.

Filtre a través de la membrana. Cuando haya pasado todo el líquido adicione más agua de peptona para hacer un enjuague de las paredes del embudo y aplique vacío de nuevo.

Cuando termine de filtrar cierre las llaves del manifold, apague la bomba de vacío, retire el embudo, tome la membrana con las pinzas estériles y colóquela sobre una caja de petri que haya marcado con anterioridad (código de la muestra, y la dilución correspondiente).

Incube la caja en posición invertida y déjela 24 horas a 36°C al cabo de este tiempo lea el número de colonias resultantes.

Fase Post-analítica: Se realiza la lectura de acuerdo con la siguiente tabla:

Tipos de Colonias	Color de colonias
Coliformes Totales	Rojo salmón
E. coli	Azul oscuro

Se cuentan las colonias de acuerdo con el color cuando el medio posee menos de 200 UFC/100 mL.

Recuento para Coliformes totales: Contar todas las colonias, las de color rojo salmón más las azules oscura. El resultado se obtiene por la multiplicación del número total de colonias de la caja más representativa por el inverso de la dilución utilizada. El resultado debe ser presentado con dos cifras significativas.

Cuéntense como colonias **individuales** aquellas que poseen aspecto de colonias y crecen muy cerca unas de otras, sin tocarse, siempre que la distancia entre ellas sea al menos igual al diámetro de la colonia más pequeña. Cuéntense como **una unidad**, las cadenas de colonias que parezcan ser consecuencia de la desintegración de un grupo de bacterias. Las colonias que se forman como una película entre el agua y el borde de la superficie del agar cuando no se filtra bien, se deben contar como una sola

El recuento para E. **coli**: Se cuenta solamente las colonias que presenten color azul oscuro-violeta sin tener en cuenta las de Coliformes totales (rojo salmón)

Se confirman las colonias de E. **coli** dudosas realizando la prueba del indol, agregando 2 gotas de reactivo de Kovacs, el cual produce un halo rojo

alrededor de la colonia. También se puede confirmar con la prueba de Bactident E. **coli**.

Apéndice H. Plano vistas generales del Hotel Alejandría Resort

Ver documento en PDF

Apéndice I. Procedimiento del diseño hidráulico

Dimensionamiento del floculador Alabama. El floculador Alabama es un tipo de unidad de tipo hidráulico que combina movimiento horizontal con movimiento vertical para proporcionar la mezcla lenta suficiente que requiere el fluido para desarrollar floculos o suficientemente grandes y pesados para que sedimenten. El título C del RAS 2000 en el numeral C.5.5.1.2 floculador Alabama exige que al diseñar esta unidad de procesos se cuente con un mínimo 8 cámaras en cada floculador.

Ecuación A1: Número de cámaras

$$\text{Numero de camaras } (Ndc) = 8 \text{ unidades}$$

Posteriormente a la definición del número de compartimentos se debe fijar el tiempo de retención hidráulico en la cámara de floculación, el cual de acuerdo con el título C del RAS 2000 debe oscilar entre 10 y 30 minutos para garantizar la estabilidad de los flóculos y del fluido. Para este caso de estudio definiremos el tiempo de retención hidráulico TRHc en 24 minutos. De modo que el tiempo de retención parcial en cada compartimento es definido por la siguiente ecuación.

Ecuación A2: Tiempo de retención hidraulico.

$$TRHc = \frac{TRH}{Nc}$$

Donde;

TRHc: Tiempo de retención hidráulico en cada cámara.

THR: Tiempo de retención hidráulico en el floculador.

Nc: Número de cámaras.

$$TRHc = \frac{1440 \text{ s}}{8}$$

$$TRHc = 180 \text{ s}$$

El volumen de la cámara se calcula con la siguiente expresión.

Ecuación A3: Volumen de cada cámara.

$$Vc = Qd * TRHc$$

Donde;

Vc: es el volumen de cada cámara en m³

Qd: caudal de diseño en m³/s

TRHc: es el tiempo de retención en cada cámara

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente se halla el valor del volumen de cada cámara del floculado

$$Vc = 0.0025 \frac{m^3}{s} * 180 \text{ s}$$

$$Vc = 0.45 \text{ m}^3$$

Con la relación del volumen de la cámara y estableciendo el borde libre en 0.2m se puede calcular el área de la cámara del floculador con la siguiente relación:

Ecuación A4: Area de la cámara.

$$Ac = \frac{Vc}{Hc - \text{borde libre}}$$

Donde;

Ac: Área de cada cámara

Hc: Altura de cada cámara

V_c : Volúmen de cada cámara

$$A_c = \frac{0.45 \text{ m}^3}{1.4 \text{ m} - 0.2 \text{ m}}$$

$$A_c = 0.375 \text{ m}^2$$

Con el área de la cámara se puede descomponer el valor en las longitudes perimetrales que lo componen y obtener las dimensiones de cada lado de las cámaras:

Donde;

$$A_c = \text{largo}(A) * \text{Ancho}(B)$$

Fijando el ancho del floculador en 1 metro obtenemos el largo de cada cámara

$$A = \frac{A_c}{B}$$

$$A = \frac{0.375 \text{ m}^2}{1 \text{ m}}$$

$$A = 0.375 \text{ m}$$

Tabla A7. *Resumen de dimensiones de cada cámara del floculador Alabama1*

Ancho de cámara (Ancho)	1 m
Largo de cámara (Lc)	0.375 m
Altura de cámara (H)	1,4 m

Por lo tanto el volumen de la cámara se define como:

Ecuación A5: Volument total del flocuador Alabama.

$$V = \text{Ancho} * L_c * H$$

$$V = (1 \text{ m}) * (0.375 \text{ m}) * (1.4 \text{ m})$$

$$V = 3.6 \text{ m}^3$$

Una vez definida la geometría de la unidad de floculación tipo Alabama se procede a determinar el diámetro de los codos, con base en el caudal y el rango de velocidad admitido. De acuerdo con el RAS 2000: en los codos la velocidad debe estar entre 0.4 y 0.2 m/s, para lo cual se emplean

accesorios de reducción de área transversal para aumento de a pérdida de energía en el flujo de agua, de ser requerida.

Se van a encontrar un número de 5 diferentes codos debido a que los cambios de velocidad pueden llevar la velocidad a un valor de entre 0,2 hasta 0,4m/s. De modo que se aplica la misma relación de caudal, velocidad y área para estimar el área de cada codo de acuerdo con la siguiente ecuación.

Ecuación A6: Área del codo:

$$A.codo = \frac{Qd}{Vel.codo}$$

Donde;

A.codo: Área del codo en m²

Qd: Caudal de diseño en m³/s

Vel.Codo: Velocidad de flujo a través del accesorio

–

$$- A.codo = \frac{0.0025 m^3/s}{0.20 m/s} = 0.125 m^2$$

$$- A.codo = \frac{0.0025 m^3/s}{0.25 m/s} = 0.01 m^2$$

$$- A.codo = \frac{0.0025 m^3/s}{0.3 m/s} = 0.0083 m^2$$

$$- A.codo = \frac{0.0025 m^3/s}{0.35 m/s} = 0.00714285714 m^2$$

$$- A.codo = \frac{0.0025 m^3/s}{0.40 m/s} = 0.00625 m^2$$

Encontrando el diámetro de cada codo.

Ecuación A7: Diámetro de cada codo:

$$D_{codo} = \sqrt{\frac{4 * A_{codo}}{\pi}} * (39.3701) \text{ factor para convertir a pulgada.}$$

$$D_{codo\ 1} = \sqrt{\frac{4 * 0.0125 m^2}{\pi}} * (39.3701)$$

$$D_{codo\ 2} = \sqrt{\frac{4 * 0.01 m^2}{\pi}} * (39.3701)$$

$$D_{codo\ 3} = \sqrt{\frac{4 * 0.0083 m^2}{\pi}} * (39.3701)$$

$$D_{codo\ 4} = \sqrt{\frac{4 * 0.00714285 m^2}{\pi}} * (39.3701)$$

$$D_{codo\ 5} = \sqrt{\frac{4 * 0.00625 m^2}{\pi}} * (39.3701)$$

Tabla A7. Resumen de la velocidad del accesorio conforme su diámetro, área y caudal

Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Área codo (m ²)	D-codo (pulgada)
0,0025	0,20	0,0125	5
0,0025	0,25	0,01	4
0,0025	0,30	0,008	4
0,0025	0,35	0,007	4
0,0025	0,40	0,006	4

Una vez definida la geometría, la velocidad y el caudal del fluido a través de los diferentes accesorios se procede a calcular las diferentes pérdidas que se presentan por la utilización de los codos de 90 °.

Ecuación A8. Pérdida de accesorios

$$h_1 = \left(\frac{Qd}{Cd * A_{codo}} \right)^2 * \left(\frac{1}{2g} \right)$$

Donde;

C_d : Coeficiente de perdidas

h_1 : Perdidas de energía en la entrada del codo

Q_d : Caudal del floculador en m^3/s

A_{codo} : Área de codo

g : Gravedad

$$h_1 = \left(\frac{0.0025 m^3/s}{0.7 * 0.0125 m^2} \right)^2 * \left(\frac{1}{2 * 9.81 m/s^2} \right)$$

$$h_1 = \left(\frac{0.0025 m^3/s}{0.7 * 0.01 m^2} \right)^2 * \left(\frac{1}{2 * 9.81 m/s^2} \right)$$

$$h_1 = \left(\frac{0.0025 m^3/s}{0.7 * 0.008 m^2} \right)^2 * \left(\frac{1}{2 * 9.81 m/s^2} \right)$$

$$h_1 = \left(\frac{0.0025 m^3/s}{0.7 * 0.007 m^2} \right)^2 * \left(\frac{1}{2 * 9.81 m/s^2} \right)$$

$$h_1 = \left(\frac{0.0025 m^3/s}{0.7 * 0.006 m^2} \right)^2 * \left(\frac{1}{2 * 9.81 m/s^2} \right)$$

Tabla A9. Resumen de la perdida de velocidad del accesorio conforme su diámetro, área y caudal

h1	Caudal(m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)
0,00416069	0,0025	0,20	0,0125
0,00650107	0,0025	0,25	0,01
0,00936154	0,0025	0,30	0,008
0,01274210	0,0025	0,35	0,007
0,01664274	0,0025	0,40	0,006

Fuentes: Los autores

Ecuación A9. Pérdidas de energía en el cambio de dirección

—

$$h_2 = K * \frac{Vel.codo^2}{2g}$$

Donde:

k : Coeficiente de pérdidas

$Vel.codo$: Velocidad en los codos

g : Gravedad

$$h_2 = 0.9 * \frac{(0.20 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_2 = 0.9 * \frac{(0.25 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_2 = 0.9 * \frac{(0.30 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_2 = 0.9 * \frac{(0.35 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_2 = 0.9 * \frac{(0.40 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.018$$

Tabla A10. Resumen de la pérdida de energía por cambio de dirección del accesorio conforme su diámetro, área y caudal

h_2 (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Área (m ²)
0,00183486	0,003	0,20	0,0125
0,00286697	0,003	0,25	0,01
0,00412844	0,003	0,30	0,008
0,00561927	0,003	0,35	0,007

0,00733945	0,003	0,40	0,006
------------	-------	------	-------

Tabla A11. Resumen de coeficientes de pérdidas Ks de acuerdo al accesorio

Accesorio	Coeficiente Ks
Válvula esférica totalmente abierta	10
Válvula de Angulo totalmente abierta	5
Válvula de retención de clapeta	2.5
Válvula de pie con colador	0.8
Válvula de compuerta totalmente abierta	0.19
Codo de retroceso	2.20
Empalme T normal	1.8
Codo de 90° normal	0.90
Codo de 90 ° de radio medio	0.75
Codo de 90° de radio grande	0.60
Codo de 45	0.42

Fuente: RAS 2000

Ecuación A10. Pérdidas de energía en la salida de los codos:

$$h_3 = \left(\frac{Q_d}{C_d * A_{codo}} \right)^2 * \left(\frac{1}{2g} \right)$$

Donde;

Qd: Caudal de diseño

Cd: Coeficiente de pérdida

Acodo: Área de codo

g: Gravedad

$$h_3 = \left(\frac{0.0025 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 * 0.0125 \text{ m}^2} \right)^2 * \left(\frac{1}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$h3 = \left(\frac{0.0025 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 * 0.01 \text{ m}^2} \right)^2 * \left(\frac{1}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$h3 = \left(\frac{0.0025 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 * 0.008 \text{ m}^2} \right)^2 * \left(\frac{1}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$h3 = \left(\frac{0.0025 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 * 0.007 \text{ m}^2} \right)^2 * \left(\frac{1}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$h3 = \left(\frac{0.0025 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 * 0.006 \text{ m}^2} \right)^2 * \left(\frac{1}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) = 0.013$$

Tabla A12. *Tabla de resumen de pérdidas en la salida de cada codo del floculador*

h3 (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Área (m ²)
0,00318552	0,003	0,20	0,0125
0,00497738	0,003	0,25	0,01
0,00716743	0,003	0,30	0,008
0,00975567	0,003	0,35	0,007
0,01274210	0,003	0,40	0,006

Perdidas de energía total:

$$hf = h1 + h2 + h3$$

Tabla A13. *Resumen de pérdidas de energía total en el floculador*

hf (m)	Velocidad (m/s)
0,00918107	0,20
0,01434543	0,25
0,02065741	0,30
0,02811704	0,35
0,03672429	0,40

Comprobación de gradiente de velocidad. De acuerdo con el RAS 2000, a la salida del floculador se recomienda tener un gradiente de velocidad de entre 20 s^{-1} y 70 s^{-1} , de acuerdo con la obtenida en la prueba de jarras, además con un tiempo de retención de entre 20 y 40 minutos de acuerdo con las pérdidas hidráulicas.

Ecuación 1A11: Gradiente de velocidad en el floculador Alabama.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * hf}{\mu * TRHc}}$$

Donde;

γ : Peso específico del agua

hf : Pérdidas de energías totales

μ : Viscosidad absoluta

$TRHc$: Tiempo de retención en cada cámara

$$G = \sqrt{\frac{996.2 \text{ kg/m}^3 * 0,00918107 \text{ m}}{0.000854 \text{ N} * \text{s/m}^2 * 180 \text{ s}}}$$

$$G = \sqrt{\frac{996.2 \text{ kg/m}^3 * 0,01434543 \text{ m}}{0.000854 \text{ N} * \text{s/m}^2 * 180 \text{ s}}}$$

$$G = \sqrt{\frac{996.2 \text{ kg/m}^3 * 0,02065741 \text{ m}}{0.000854 \text{ N} * \text{s/m}^2 * 180 \text{ s}}}$$

$$G = \sqrt{\frac{996.2 \text{ kg/m}^3 * 0,02811704 \text{ m}}{0.000854 \text{ N} * \text{s/m}^2 * 180 \text{ s}}}$$

$$G = \sqrt{\frac{996.2 \text{ kg/m}^3 * 0,03672429 \text{ m}}{0.000854 \text{ N} * \text{s/m}^2 * 180 \text{ s}}}$$

Tabla A14. *Resumen de cálculos de gradiente de velocidad en las diferentes cámaras del floculador*

Velocidad (m/s)	G (s ⁻¹)	Observación
0,20	7,713558934	NO CUMPLE
0,25	9,64194867	NO CUMPLE
0,30	11,5703384	NO CUMPLE
0,35	13,49872814	NO CUMPLE
0,40	15,42711787	NO CUMPLE

De modo que se hace necesaria la intrusión de una pantalla reguladora de flujo más conocida como placa de orificio para permitir que el gradiente de velocidad este en el rango optimo que permite la operación adecuada del equipo. Generalmente se emplean placas con orificios de 2 pulgadas de diámetro, por tanto se efectuará la verificación en la perdida h3 correspondiente a la salida del accesorio.

$$Diametro = 2 \text{ pulgadas}$$

$$Diametro = 0.0508 \text{ m}$$

$$Area \text{ del orificio} = \pi * \frac{diametro^2}{4}$$

$$Area \text{ del orificio} = \pi * \frac{0.0508m^2}{4}$$

$$Area \text{ del orificio} = 0,002026835$$

Reemplazando nuevamente en las pérdidas de energía a la salida del codo:

Ecuación A12. Perdidas de energía en la salida de los codos:

$$h3 = \left(\frac{Qd}{Cd * Acodo} \right)^2 * \left(\frac{1}{2g} \right)$$

Donde;

Qd: Caudal de diseño

Cd: Coeficiente de perdida

Acodo: Área de codo

g: Gravedad

$$h_3 = \left(\frac{0.0025 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 * 0.002 \text{ m}^2} \right)^2 * \left(\frac{1}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right) = 0,12443457$$

$$h_3 = \left(\frac{0.0025 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 * 0.002 \text{ m}^2} \right)^2 * \left(\frac{1}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right) 0,12443457$$

$$h_3 = \left(\frac{0.0025 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 * 0.002 \text{ m}^2} \right)^2 * \left(\frac{1}{2 * \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2}} \right) 0,12443457 \text{ m}$$

$$h_3 = \left(\frac{0.0025 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 * 0.002 \text{ m}^2} \right)^2 * \left(\frac{1}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right) 0,12443457 \text{ m}$$

$$h_3 = \left(\frac{0.0025 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 * 0.002 \text{ m}^2} \right)^2 * \left(\frac{1}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right) 0,12443457 \text{ m}$$

Se resume la corrección de la pérdida total y del gradiente de velocidad en las siguientes tablas:

Tabla A15. *Resumen de pérdidas de energía total en el floculador*

hf (m)	Velocidad (m/s)
0,13043012	0,20
0,13380261	0,25
0,13792455	0,30
0,14279594	0,35
0,14841676	0,40

Tabla A16. *Resumen de cálculos de gradiente de velocidad en las diferentes cámaras del floculador*

Velocidad (m/s)	G (s⁻¹)	Observación
0,20	31,848402	CUMPLE
0,25	32,25752195	CUMPLE

0,30	32,7506177	CUMPLE
0,35	33,32396169	CUMPLE
0,40	33,97349128	CUMPLE

Se diseñaron los dispositivos de entrada y salida del flujo con diámetros de 4 y tres pulgadas, respectivamente.

Tabla A17. Resumen parámetros de diseño floculador Alabama

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
diseño	Qd	0.0025	(m ³ /s)
Borde libre		0.35	(m)
Tiempo de retención hidráulico de cada cámara	TRHc	180	(s)
Numero de cámaras	#	8	(unidad)
Volumen de cada cámara	Vc	0.45	(m ³)
Área de cada cámara	Ac	0.375	(m ²)
ancho de cada cámara	Ac	1	(m)
largo de cada cámara	Lc	0.375	(m)
Altura H		1.4	(m)
Longitud del floculador	L	3.0	(m)
dispositivos de entrada y salida del flujo	φ	4	(pulg)
Diámetro del orificio de desagüe	φ	2	(pulg)
Gradiente de Velocidad	G	33,97	(s ⁻¹)
Diámetro de tubería de desagüe	φ	2	(pulg)

Apéndice J. Plano de vistas y detalle del floculador Alabama

Ver documento PDF

Apéndice K. Cálculo y dimensionamiento del sedimentador de alta tasa.

De acuerdo con el título A del reglamento tenido del sector agua potable y saneamiento básico el tiempo de retención de la unidad de sedimentación se establece con los ensayos de jarras, en los cuales la mejor clarificación para este caso de estudio se dieron entre 15 y 20 minutos, por tanto admitiendo un factor de seguridad del Ksg de 0.35, se emplea el tiempo máximo de clarificación mediante ensayo se añade el factor, obtenido como resultado un tiempo de sedimentación de 27 minutos. Remplazando en la relación de volumen, caudal y tiempo hidráulico de retención se obtiene:

Ecuación A13. Volumen de la unidad de sedimentación:

$$\text{caudal maximo de operación} \left(Q_o \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = \frac{\text{Volmen de la unidad} (V_u \text{ m}^3)}{\text{tiempo de retencion hidraulico THRC (s)}}$$

$$Q_o \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) * \text{THRC (s)} = V_u (\text{m}^3)$$

$$0.0025 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) * 1620 (\text{s}) = 4.05 (\text{m}^3)$$

Definición de las dimensiones

Ecuación A14. Relación de dimensiones del sedimentador.

$$\text{Volmen del sedimentador} = \text{Altura} * \text{ancho} * \text{larg}$$

Definiendo el ancho en 1 m y la película de agua a 1.5 el largo se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Largo} = \frac{\text{volumen del sedimentador}}{\text{ancho} * \text{alto}}$$

$$\text{Largo} = \frac{4.05 \text{ m}^3}{1 \text{ m} * 1.5 \text{ m}}$$

$$\text{Largo} = \frac{4.05 \text{ m}^3}{1 \text{ m} * 1.5 \text{ m}}$$

$$\text{Largo} = 2.7 \text{ m}$$

Apéndice L. Plano de vistas y detalle del sedimentador de flujo

[Ver documento PDF](#)