

Trabajo de grado en modalidad de aplicación

Diseño de captación y purificación de aguas lluvias para la fábrica de lácteos Belén

Juan Guillermo González Castaño^{a,c}, Cristian Camilo Gutiérrez Luque^{a,c}
Ivon Estefany de Pedrealba Rey Becerra^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Abstract

Water is a vital resource for human beings, which undoubtedly makes it a determinant element for the development of life. In the industry, water is used for the production or cleaning in order to give an adequate functioning and operation of the factories. However, this resource is highly wasted and not properly used. Specifically, the Colombian food industry demands a large amount of water resources, which must have minimum drinking water standards for its operation within the legal and regulatory framework. For this reason, alternative sources of water and its purification are sought, which maintain established legal standards, minimize waste and contribute to the reuse of it.

This is the case of Fabrica de Lacteos Belen, where 100% of the water consumption originates directly from the Public Aqueduct of Belen in Boyacá. Lacteos Belen is committed to the environment and is in the process of accreditation and certification of Good Manufacturing Practices, reason why it is urgent to implement an alternative system for obtaining and purifying water.

The present work exposes a design proposal and feasibility study for the collection and purification of rainwater, with the intent of generating an alternative source of water for the services of hygiene and cleanliness of Fabrica de Lacteos Belen. Multiple physical & chemical studies of water were elaborated in order to measure levels standardized by the Colombian drinking water law and determine the appropriate process for its purification and continuous use. Likewise, the climatological situation of the region, its antecedents and current behavior to determine the viability of the project were reviewed and analyzed. In addition, fieldwork was carried out to measure facilities to ensure the feasibility of construction of the alternative water design.

The proposal seeks to provide environment improvements and reduce the water consumption costs of the company. Likewise, to minimize the use of water coming from the public company providing the service and generate the quality standards established by law for a good manufacturing practice.



Figura 1. Modelo de Simulación del sistema de purificación de aguas lluvias. Fuente: Flexsim.

1. Justificación y planteamiento del problema

En Colombia, el 5,9% del agua es usada para la industria como se muestra en la Ilustración 2 (Estudio Nacional de Agua, 2014, 2015). Parte de este recurso hídrico proviene de los Andes Colombianos, especialmente de las Cordilleras Occidental y Oriental, lo que convierte a esta zona geográfica de Colombia en la principal fuente de agua del país. Sin embargo, la gran dependencia que tienen los recursos naturales en el desarrollo económico de los diversos sectores de la sociedad, ha influido para que se planteen nuevas alternativas respecto al uso adecuado de estos.

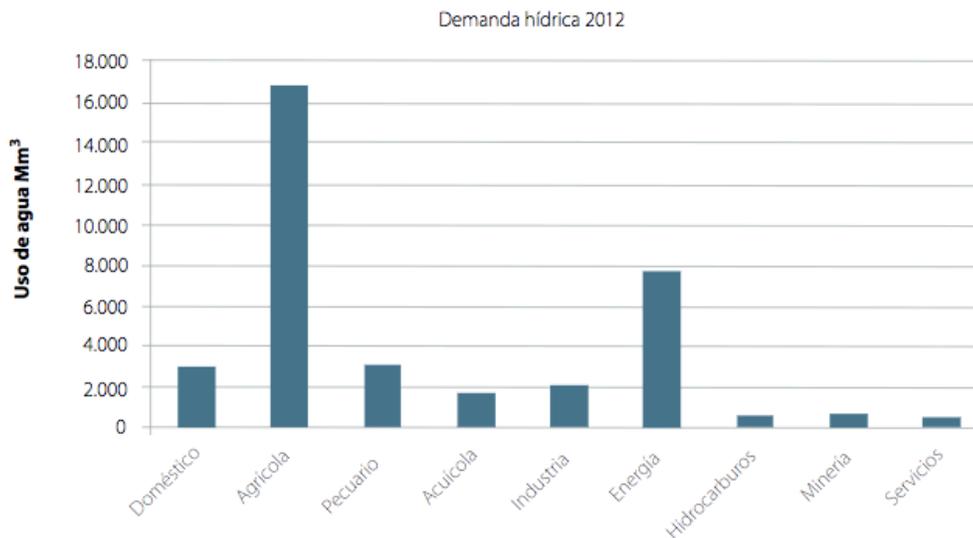


Figura 2. Uso total de agua en Colombia. Fuente: IDEAM, 2014

En el caso de las industrias, el uso racional de recursos naturales y las buenas prácticas por preservar el medio ambiente, han determinado el nivel de competitividad de las mismas. Especialmente, en el sector de producción de alimentos, debido al impacto que tiene este sector sobre el medio ambiente. En el caso industrial de producción de lácteos, se ha replanteado un modelo que permita mejoras para el cuidado y la preservación del medio ambiente. Al mismo tiempo, se busca la implementación de métodos alternativos con el fin de reducir los costos adquiridos por el acceso y el abastecimiento de determinados recursos naturales como el agua.

Partiendo de lo anterior, la Fábrica de Lácteos Belén, una industria de producción láctea ubicada en el municipio de Belén, en el departamento de Boyacá, consume actualmente alrededor de 125 metros cúbicos (m^3) de agua mensuales, tal como se evidencia en la tabla 1 (SERVIBELEN E.S.P, 2016), (Ver Anexo 1 & Anexo 2). Además, el 100% del agua utilizada en Lácteos Belén, proviene directamente del Acueducto Público del municipio y su uso está destinado en su totalidad al aseo de la fábrica y sus herramientas. Por esta razón, Lácteos Belén desea buscar una alternativa para la obtención de este recurso, debido a varios factores.

En primer lugar, el municipio de Belén se encuentra localizado en la Cordillera Oriental, un factor que sin lugar a duda determina e influye en las condiciones climáticas de la zona, especialmente en lo relacionado a las fuertes variaciones climáticas de fenómenos como el de la niña y el del niño. Cuando se sostienen temperaturas por debajo de $0,5^{\circ}\text{C}$ en el océano pacífico, los vientos alisios provenientes del oeste, se encargan de alterar el clima colombiano (Servicio de Meteorología e Hidrología del Perú). Esta anomalía causa fuertes lluvias y bajas temperaturas, y se denomina como el fenómeno de la niña. Así mismo, cuando estas manifestaciones se presentan en su fase cálida, se le llama el fenómeno del niño, el cual provoca un efecto adverso y por consiguiente se evidencian sequías (carencia de agua para satisfacer el crecimiento de plantas) por tiempos prolongados.

Tabla 1.

Consumo Hídrico en los últimos 6 periodos de la Fábrica de lácteos Belén.

Periodo	Consumo m³	Consumo Agua Potable Lt.
Abril	109	80
Marzo	125	100
Febrero	107	80
Enero	120	80
Diciembre	148	100
Noviembre	117	80

Fuente: Elaboración de los autores (Resumen Servibelen E.S.P, 2016)

Para finales de 2016 e inicios de 2015 el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) pronostican lluvias continuas en la región de Boyacá, producto del fenómeno del niño. De igual manera, según el Centro de Predicciones Climáticas, de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, la probabilidad de que la niña golpee a Colombia para finales de este año es del 75%.

En primer lugar, en el caso de estudio, el municipio de Belén además de ser clima frío y contar con lluvias constantes, se encuentra expuesto al fenómeno del niño. Este factor repercute sin lugar a duda en la búsqueda de soluciones viables para disminuir el impacto que tiene la variación de las condiciones climáticas en el desarrollo económico de las industrias de la zona.

En segundo lugar, la Fábrica de Lácteos Belén, se encuentra en transición a pyme (Pequeñas y medianas empresas), (Definicion.de, 2009), un elemento determinante para evidenciar aumentos considerables en los consumos de agua por parte de los procesos que la demanden. Adicionalmente, se encuentra en proceso de acreditación BPM – Buenas Prácticas de Manufactura, y debe contar con estándares mínimos de calidad de agua, que no son ofrecidos por la fuente hídrica actual (Ver Anexo 3).

De este modo, urge mitigar aquellos factores que se encuentren relacionados directamente al consumo hídrico en la empresa, con el fin de generar un control y un manejo adecuado desde la misma. Con esto, la Fábrica de Lácteos Belén, no solo ahorrará costos respectivos al consumo del recurso proveniente del acueducto público, sino que dispondrá de su propia reserva, garantizando estabilidad en los precios de sus productos. Asimismo, estará preparada para temporadas de sequía, en donde según el gerente general, la falta de agua causa una disminución en la producción de Lácteos Belén en un 30%.

Por último, la necesidad de reducir el consumo de agua proveniente del acueducto por medio de un método alternativo, evidencia el compromiso que tiene la fábrica por preservar el medio ambiente. Esto hace de un diseño alternativo, una necesidad para generar una fuente alterna de agua. Según los resultados obtenidos una vez realizada la toma de muestras, se analizó si era posible diseñar y determinar la factibilidad de la captación, recolección y purificación de aguas lluvias en la Fábrica de Lácteos Belén, con el fin de generar una fuente alterna de agua y proporcionar los estándares de calidad requeridos para una buena práctica de manufactura.

2. Antecedentes

La ciudad de Bogotá, cuenta con estudios de recolección, captación, tratamiento y potabilización de aguas lluvias, tales como la construcción de techos verdes y recolección de aguas lluvias en la Universidad Javeriana, (Eslava & Carvajal, 2014; Estupiñán & Zapata, 2010; Gonzalez & Solarte, 2012). Día a día, se evidencia la conciencia social desarrollada por los habitantes y las diferentes instituciones de la ciudad, por preservar y dar buen manejo a los recursos que poseen.

La construcción de techos verdes, además de ser productivos para las viviendas por sus cultivos, filtran del agua elementos tóxicos, y logran hacer de esta un recurso reutilizable en las actividades caseras (Eslava & Carvajal, 2014). Al mismo tiempo se concluyó, que las plantas aportan cloruros al agua y los filtros convencionales no los retienen, de los metales pesados, solo el zinc muestra cargas altas. Las plantas no afectan la calidad del agua, y para las normativas colombianas, el sistema de tratamiento de aguas lluvias, brinda la posibilidad de tener agua tratada para diferentes usos como riego, recreación y sanitarios.

Por otra parte, el agua lluvia no es viable para el consumo humano, debido a que presenta componentes químicos y metales los cuales generan daño a la salud (Estupiñán & Zapata, 2010). El 80% del agua estudiada, se usa en oficios en donde no se requiere agua potable, sino que sea limpia, ya que su fin es satisfacer la necesidad de agua para oficios varios. En la Pontificia Universidad Javeriana, el agua recolectada por el medio antes descrito, debería ser almacenada en tanques de reserva con filtros de impureza. Estos tanques y todo lo que conlleva la red, deben ser elaborados de plástico PVC, ya que este material no libera ningún tóxico al tener contacto directo con el agua.

Otro estudio realizado en la Pontificia Universidad Javeriana, asegura, que la recolección de aguas lluvias en la Universidad es viable (Gonzalez & Solarte, 2012). Así mismo determinan que el 80% del agua utilizada en el campus no tiene que ser potable y puede ser empleada en los oficios varios de la universidad. Los tóxicos pertenecientes al agua lluvia, son generados por la polución del ambiente, el medio de captación del agua y la tubería por la cual se transporta la misma. Se recomienda utilizar filtros para recoger desechos sólidos como rocas, hojas o elementos que contaminen el agua, la apertura de mantenimiento de la red para menos procesos de purificación y un buen almacenamiento del agua.

De igual forma, Piscilago, el tercer parque acuático más visitado en Latinoamérica, ubicado en el kilómetro 105 vía Bogotá – Girardot, tiene un proceso de potabilización y reciclaje de aguas. El ciclo cuenta con un embalse de 5,5 hectáreas y 3 metros de profundidad, su diseño le permite almacenar en invierno las aguas lluvias, dando como resultado una menor pérdida del líquido durante la captación. En verano se provee del río Sumapaz, y logra de esta manera mantener los niveles del embalse. El agua es llevada desde el embalse por medio de una bomba con capacidad de procesar 11 litros por segundo hacia la planta de potabilización, en donde se realizan tres procesos. Se inicia con la utilización de procesos químicos, los cuales permiten que partículas contaminantes se unan para luego decantarlas fácilmente. Continúa con el reactor, quien es el encargado de llevar las partículas al fondo de su contenedor y de esta manera el agua limpia salga a flote. Finaliza cuando el agua se traslada por filtros finales y es almacenada para su distribución en los diferentes restaurantes, baños, riegos, zonas del zoológico y microclimas. Piscilago además cuenta con un proceso denominado “Lodos activados”, el cual consiste en reunir las aguas negras. Estos “Lodos” pasan por rejillas y por un proceso de aireación en donde se pretende purificar el 90% del agua captada y reutilizarla en riegos. (RADIO SANTAFE, 2016).

3. Objetivos

Diseñar y determinar la factibilidad de la captación, recolección, y purificación de aguas lluvias en la fábrica de lácteos Belén, con el fin de generar una propuesta para implementar una fuente alternativa de agua. Así mismo, proporcionar los estándares de calidad requeridos para una buena práctica de manufactura.

1. Evaluar las condiciones de infraestructura de la fábrica de Lácteos Belén y condiciones climáticas del municipio de Belén en Boyacá.
2. Verificar las condiciones y los estándares de calidad de potabilización de agua establecidos por la resolución 2115 del 2007, para una buena práctica de manufactura.
3. Analizar la factibilidad de la recolección y métodos de potabilización del agua en la fábrica de Lácteos Belén.
4. Proponer el diseño general de la fuente alternativa de agua potable para la Fábrica de Lácteos Belén.
5. Evaluar la rentabilidad financiera que implica la ejecución del diseño propuesto en la empresa.

4. Metodología

En este apartado se expone cada uno de los aspectos metodológicos de los estudios realizados. Se presenta la estrategia empleada y las etapas de la investigación.

El estudio y diseño propuesto en este escrito, es basado en una investigación descriptiva, correlacional¹ y cualitativa. Bajo este aspecto se pretende brindar una fuente alternativa de agua la cual cumpla con los estándares de calidad requeridos para una buena práctica de manufactura. En la investigación descriptiva se busca detallar y puntualizar cada uno de los componentes del agua lluvia de la región, es decir, cuales son específicamente y su estado real de calidad (Ver Anexo 3 & Anexo 4). Por otra parte, se busca medir el grado de relación existente entre las variables del agua consumida actualmente y el agua lluvia de la zona.

La investigación de viabilidad en cuanto al espacio y capacidad de la planta es producto de dos fuentes principales. Por un lado, se encuentra la información suministrada por los propietarios de la fábrica, en donde se expone la capacidad actual de almacenamiento de agua y el espacio disponible para la adecuación de un sistema hídrico alternativo. Por otro lado, los resultados de la ejecución de un trabajo de campo en la industria, el cual rectifica la disponibilidad y viabilidad física del proyecto (Ver Anexo 5). Adicionalmente, el IDEAM proporciona la información de precipitación total mensual y máxima en 24 horas y número de días con lluvia para la estación Cerinza, estación más reciente y representativa de lluvias en Belén, Boyacá desde 2009 (Ver Anexo 6).

El contenido de la investigación cualitativa se justificó en los análisis y pruebas físico químicas y microbiológicas realizadas al agua lluvia de la región, dentro de las cuales se encuentran ensayos de turbiedad, color aparente, alcalinidad, metales pesados, dureza total, mesófilos aerobios, coliformes totales y E/coli. Estas pruebas determinan los rangos y valores límites dentro de los cuales se debe mantener el agua para que esta sea de uso potable.

Con base en los estudios ejecutados, el uso de la herramienta de simulación *FLEXSIM* permite representar en su totalidad el diseño propuesto. Con las variables de entrada y salida investigadas, los consumos registrados y los promedios de cantidad de lluvia proporcionados, se genera la simulación del diseño planteado. Como resultado, se alcanzan los comportamientos del sistema y sus variaciones, con el fin de generar un análisis de viabilidad e implementación (Ver Anexo 7 & Anexo 8).

Así mismo, se realizaron diferentes cotizaciones de sistemas y métodos de purificación y potabilización de agua para los resultados de los exámenes hídricos del agua lluvia (Ver Anexo 9), con el fin de determinar un análisis financiero y concluir viabilidad de alternativas (Ver Anexo 10).

A continuación, en la Tabla 2, se presenta el cuadro metodológico llevado a cabo para el desarrollo de la investigación. De esta manera se logra dar solución a cada objetivo específico establecido, generando una serie de entregables indispensables para la realización de la propuesta final del diseño.

¹ “Investigación no experimental en la que se miden dos variables y se establece una relación estadística entre las mismas, sin necesidad de incluir variables externas para llegar a conclusiones relevantes.” (Lifeder.com, 2017).

Tabla 2.
Metodología de la investigación.

Objetivo	Actividades	Herramientas de Ingeniería Industrial	Entregable
Específico 1	Analizar el sector de derivados lácteos.	Estudio de métodos, histogramas, sistemas de medición.	Resultados y análisis de condiciones ambientales de la región.
	Determinar pre factibilidad del proyecto.		
Específico 2	Identificar los estándares de calidad requeridos para la potabilización de agua.	Planillas de inspección, gráficos de control.	Resultados de pureza, calidad y cumplimiento de los estándares de calidad
	Realizar pruebas hídras en el sistema actual de obtención de agua.		
	Verificación del cumplimiento de las normativas.		
Específico 3	Investigar alternativas de recolección y purificación de agua.	Flexsim, diagramas de causa efecto, histogramas.	Simulación & Modelo visual para los resultados de la solución propuesta
	Verificar la viabilidad del sistema de recolección de aguas lluvias.		
	Analizar el costo de la implementación de las fuentes alternativas de agua.		
Específico 4	Valoración de la propuesta a Lácteos Belén.	Diagrama de flujo, Pareto	Diseño de fuente alternativa para la obtención de agua.
Específico 5	Establecer los indicadores necesarios que requiere la empresa.	Excel, análisis financiero.	Proyección, tasa interna de retorno, valor presente neto & pri.
	Validar los indicadores financieros para el sistema alternativo.		
	Comparar los costos del sistema actual con los costos del sistema alternativo.		

Fuente: Elaboración de los autores.

5. Componente de Diseño en ingeniería.

A partir de las consideraciones y resultados respecto al agua lluvia de Belén, Boyacá, en este capítulo se describe el diseño en ingeniería de la investigación.

5.1. Declaración de Diseño

Se efectuó un estudio y análisis del recurso hídrico actual y propuesto, con el fin de determinar la factibilidad de la captación, recolección y purificación del agua lluvia. Así mismo, se realizaron pruebas microbiológicas, básicas, complementarias, físicas y químicas del agua, para garantizar la potabilización y los estándares legales requeridos para una buena práctica de manufactura. Además, se evaluaron las instalaciones físicas empresariales y se estableció el espacio de implementación necesario de la propuesta.

Adicionalmente, se modeló el diseño factible del sistema alternativo de recolección y purificación de aguas lluvias para la fábrica y su posible implementación para otros campos relacionados con la misma. Igualmente, se calcularon los ahorros alcanzables con la propuesta y finalmente, se elaboró un análisis financiero, el cual evalúa la rentabilidad y la viabilidad del proyecto.

5.2. Proceso de Diseño.

El diseño propuesto fue producto de un trabajo de campo de recolección de datos, análisis de resultados, exámenes y mediciones desarrolladas en 5 etapas diferentes. Estas fases se presentan a continuación:

Etapa 1. Medición de planta.

Como estrategia de medición física de la planta, se realizó una visita a la Fábrica de Lácteos Belén con el fin de efectuar manualmente los cálculos requeridos para la instalación proyectada. Se identificaron, compararon y caracterizaron los espacios disponibles y necesarios para la fabricación y simulación del diseño de recolección y purificación de agua lluvia.

Etapa 2. Toma de muestras de agua y análisis fisicoquímico.

Para esta etapa de exploración se practicaron dos ejercicios: un trabajo de campo de recolección de agua y un análisis fisicoquímico y microbiológico del mismo. Cada práctica se describe a continuación.

Como se observa en la ilustración 3, la aplicación digital “Clima” desarrollada por Apple, ofrece consulta y pronósticos precisos del clima. Por tanto, se optó por recurrir a esta herramienta como referente y guía para la realización de visitas a Belén, Boyacá, la cual acertó en cuatro (4) de las cinco (5) visitas de recolección de agua lluvia.



Figura 3. Pronóstico del Clima, Belén, Boyacá. Fuente: iPhone (Clima App).

Con el fin de efectuar un análisis confiable de agua, se tomaron cuatro muestras de agua lluvia en la región en días lluviosos diferentes. Así mismo, en las visitas ejecutadas, se recolectó la misma cantidad de muestras de agua proveniente del acueducto (agua de la llave). Una vez envasadas en recipientes esterilizados, se llevaron a congelación con el fin de no perder características y componentes influyentes en los análisis.

Para llevar a cabo el análisis tanto del agua lluvia como del agua proveniente del acueducto de la región, se realizaron pruebas fisicoquímicas dentro de las cuales se contaron con ensayos de Color aparente, Turbiedad, Alcalinidad Total, Metales Pesados y Dureza Total en el laboratorio de aguas de la Pontificia Universidad Javeriana Bogotá. Adicionalmente, se ejecutaron exámenes de laboratorio los cuales comprendían estudios de mesófilos aerobios, coliformes totales y E/coli.

Etapa 3. Cotización de equipos de purificación.

Se seleccionó la empresa EFIKHAUS como proveedora y asesora para la guía y cotización de los equipos necesarios para la purificación específica del agua lluvia de Belén, Boyacá. Esta firma, cuenta con el respaldo de experiencia y labor con grandes multinacionales. Por un lado, presta servicios de conceptualización, diagnóstico y estructuración de proyectos. Así mismo, brinda precios competentes en el mercado y ofrece el suministro completo de su acompañamiento.

Etapa 4. Simulación.

Para la propuesta general de la fuente alterna de agua, se recurrió a la utilización de la herramienta de ingeniería FLEXSIM. Software de simulación, mediante el cual se representó la idea definitiva del diseño bajo todos los datos indagados, supuestos analizados y variables de entrada y salida del sistema resultantes de la investigación.

Etapa 5. Análisis financiero.

El análisis financiero está basado en los ahorros de costos relacionados con el consumo hídrico proveniente del acueducto y la inversión necesaria para llevar a cabo el montaje y construcción del prototipo. De esta manera, se

determinó la mejor opción de viabilidad proyectada, considerando los fines específicos del uso del agua para la Fábrica de Lácteos Belén

5.3. Requerimientos de desempeño.

Se diseñó un sistema hídrico el cual se encuentra en la capacidad de proveer agua potable con los niveles mínimos exigidos por el Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en la Resolución 2115 de 2007. Mediante la cual se señalan los sistemas de control y vigilancia de la calidad del agua para el consumo humano y de esta manera, conseguir la aprobación por parte del Icontec para la certificación BPM.

Adicionalmente, el sistema hídrico propuesto es adaptable con el sistema de alcantarillado actual, con el fin de tener un (1) solo sistema de purificación para ambas fuentes de agua. De esta manera, se cuenta con un solo proceso de purificación para cualquier fuente de agua seleccionada. Así mismo, el modelo propuesto genera un ahorro en la facturación del agua, debido a que el acueducto regional se convertirá en la fuente alterna para la obtención del agua en la Fábrica.

Por otra parte, con la implementación de la propuesta se busca incentivar a empresas del mismo sector económico a la ejecución del mismo, con la intención de adoptar los beneficios que consigo trae e indirectamente apoyar a las campañas regionales actuales presentadas en Belén, Boyacá, para la conservación del medio ambiente.

5.4. Pruebas de rendimiento.

Las pruebas de rendimiento para la investigación realizada, comienzan por el cumplimiento de los estándares de calidad exigidos por la Resolución 2115 del 22 de junio de 2007. Mediante la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia dirigida a la calidad del agua para consumo humano.

Por un lado, las pruebas microbiológicas de mesófilos aerobios, coliformes totales y E/Coli, fueron elaboradas en laboratorios microbiológicos acreditados por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia. Por otro lado, los análisis de Turbiedad, Color aparente, Alcalinidad total, dureza total y pH, fueron elaborados en los laboratorios de aguas de la Pontificia Universidad Javeriana Bogotá. Para estos ensayos se siguieron las normativas, procedimientos y guías concretas de la Universidad (Ver Anexo 11).

Adicionalmente, el sistema hídrico propuesto requiere de una capacidad de oferta de 4,000 (Cuatro mil) Litros de agua diarios, los cuales son demandados por la planta para usos de higiene general. Cada una de las alternativas propuestas por este escrito, brinda la capacidad hídrica solicitada por la empresa y es demostrada en las simulaciones realizadas.

El prototipo ofrecido por el proyecto cumple en su totalidad con los estándares previamente descritos, con la oferta hídrica demandada para labores de higiene y con la acomodación de las herramientas en los espacios disponibles de la planta. Además, El diseño propuesto proporciona agua potable con el fin de generar adicionalmente fuente hídrica para el consumo humano.

5.5. Restricciones de diseño.

Debido al alto costo de implementación del diseño de agua potable propuesto, valorado en \$42.170.834 y considerando el fin planteado por la Fábrica de Lácteos Belén, se generan dos (2) alternativas de inversión adicionales. Ambas opciones cumplen con las metas establecidas por la industria en cuanto a la purificación de agua, pero reducen su inversión en un 30% y 70% respectivamente.

Por otro lado, según el IDEAM, no se proyectan aproximaciones de cambios climáticos que representen una variación superior al 20% del comportamiento actual del tiempo en la región. El modelo propuesto se realiza bajo el supuesto de la estación CERINZA, época de lluvias que golpea a la región desde el 2009 con valores de precipitación que oscilan entre los 40 y 1000 mms.

La Fábrica de Lácteos Belén se encuentra ubicada en el centro de la ciudad y sufre de la contaminación causada por los ciudadanos y empresas vecinas (polución, desechos, etc.). Sin embargo, las pruebas microbiológicas y fisicoquímicas del agua elaboradas en esta investigación, ya cuentan con la consideración de esta variable. Así mismo, las muestras estudiadas revelan falencias en cuanto a la Alcalinidad total, donde se supera en más de un 200% los límites permitidos por ley para uso de agua con fines de consumo humano. Adicionalmente, se descubre presencia de mesófilos aerobios y coliformes totales en un 40% y 125% respectivamente, por encima de los límites establecidos por el Ministerio de Salud.

Una vez realizado el trabajo de campo y teniendo en cuenta el tamaño y medidas requeridas por los equipos necesarios para el montaje resultante del diseño propuesto. Se determinó, que además de ser necesarios 10 m^2 para la implementación del sistema propuesto de purificación. La empresa cuenta con 18 m^2 de espacio disponible en su planta para la ejecución del diseño.

5.6. Cumplimiento del estándar.

A continuación, se describen las diferentes medidas llevadas a cabo en el estudio, con el fin de garantizar los estándares de calidad exigidos por la resolución 2115 de 2007, para uso de agua potable. Así mismo, se describen los métodos utilizados para generar un diseño de potabilización en el espacio disponible de la planta y cumplir con la demanda hídrica de la fábrica.

Para garantizar que el proyecto se abarque en las medidas disponibles de la planta, el diseño cuenta con dos tanques de capacidad de almacenamiento de 10,000 Litros cuya circunferencia es de 2,2 metros de diámetro. Así mismo, los seis filtros seleccionados que hacen parte de este proyecto requieren de una medida de instalación de 1 x 2 metros cada uno. Como resultado, se obtiene un diseño de captación, recolección y potabilización de aguas lluvias con medidas totales de instalación de 18 metros cuadrados (m^2).

Por otro lado, para garantizar la potabilización del agua se utilizan dos filtros conectados entre sí. El Sistema de Ultra Filtración (Ver Anexo 12), el cual trabaja por Osmosis Inversa y está en la capacidad de retener del 95-99% de sólidos disueltos y el 99% de todas las bacterias, proporcionando un nivel de alta pureza. Conectado al mismo sistema, se encuentra el sistema de desinfección RC UV Ultravioleta (Ver Anexo 13), desinfectante libre de químicos, encargado de eliminar toda clase de virus y bacterias. El diseño resultante del proyecto, es la unificación de 3 procesos anteriormente descritos. Así mismo, estos filtros manejan capacidad de 13 GPM, brindando la capacidad de suministrar los 4,000 Litros de agua diarios demandados por la fábrica para sus tareas de higiene.

6. Resultados.

En respuesta a lo establecido en el objetivo general del trabajo, y fundamentando los objetivos específicos establecidos, este capítulo expone los resultados consecuencias de la investigación y del trabajo de campo realizado en cuanto a la viabilidad de la implementación del diseño hídrico. Así mismo se presentan las tablas descriptivas de los rasgos del agua analizada y los indicadores de cumplimiento de estándares de purificación.

De igual manera, en referente a las instalaciones de la planta se presentan las proyecciones de construcción. También, se exhibe la cotización detallada de los equipos necesarios en sus distintos escenarios.

En primer lugar, se presenta la tabla 3, la cual enseña los resultados de los estudios fisicoquímicos del agua lluvia de la región. En segundo lugar, se presenta la tabla 4, exponente de las mismas pruebas realizadas al agua proveniente del acueducto de Belén. Ambos resultados exhiben las características consiguientes de cuatro muestras de agua recolectadas en diferentes ocasiones sometidas a estudios de color aparente, turbiedad, alcalinidad total, metales pesados, dureza total y PH.

Tabla 3.
Análisis fisicoquímico Agua Lluvia.

Ensayo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Color Aparente UPC	5	4,5	5	5
Turbiedad UNT	1.7	2	1.7	1.8
Alcalinidad Total $\frac{Mg}{Lt} CaCO3$	11	11	13	11
Dureza Total $\frac{Mg}{Lt} CaCO3$	0.479	0.479	0.464	0.474
pH	6.27	6.88	7.30	6,39

Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 4.
Análisis fisicoquímico Agua ServiBelen E.S.P.

Ensayo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Color Aparente UPC	2.5	2.5	2.5	2.5
Turbiedad UNT	2.03	2.03	1,9	2
Alcalinidad Total $\frac{Mg}{Lt} CaCO3$	3	4	4	4
Dureza Total $\frac{Mg}{Lt} CaCO3$	0	0	0	0
pH	7.57	7.40	7	7.7

Fuente: Elaboración de los autores.

En las tablas anteriores se aprecian los resultados de las pruebas específicas de metales pesados. De los datos obtenidos, se resuelve que el agua lluvia cuenta con un nivel promedio de Color aparente de 4,9, 50% mayor al puntaje obtenido en las pruebas realizadas al agua proveniente del acueducto. Igualmente, la Organización Mundial de la Salud y la resolución 2115 de 2007 establece, que el consumo de agua de color no debe exceder las 15 unidades de color verdadero.

La turbiedad y dureza total son equivalentes y aceptables en ambas pruebas. El puntaje límite establecido por el Ministerio de la protección social Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial para la calidad de agua para consumo humano, es de 2 Unidades Nefelométricas de turbiedad y de $1 \frac{Mg}{Lt} CaCO3$ de Dureza Total.

No es el caso de la Alcalinidad total, ya que los niveles de 11,5 para el agua lluvia y 3,7 para el agua de la llave, superan los límites establecidos por la resolución 2115 de 2007, los cuales delimitan como puntaje de riesgo, cualquier valor superior a $1 \frac{Mg}{Lt} CaCO3$ de Alcalinidad Total.

El nivel de riesgo establecido por la resolución 2115 de 2007 para el nivel máximo de pH, establece un puntaje de 15. En ambos casos el agua se encuentra dentro de los rangos libres de riesgo para consumo humano.

A continuación, en la tabla 5, se exponen los resultados obtenidos del análisis microbiológico de mesófilos aerobios, coliformes totales y Escherichia coli realizadas a las muestras de agua lluvia (Anexo 4) y agua proveniente del acueducto (Anexo 3).

Tabla 5.
Análisis microbiológico de agua.

Análisis Microbiológico	Grifo Metálico Punto de Venta (Acueducto)	Agua Lluvia Belén, Boyacá.	Min salud Resolución 2115 – 22 Jun 07 – Agua Potable
Recuento Mesófilos aerobios UFC/100 cm^3	<100	140	100
Recuento Coliformes Totales UFC/100 cm^3	Presencia	125	0
Recuento EColi UFC/100 cm^3	Ausencia	0	0

Fuente: Elaboración de los autores.

Como se aprecia en la tabla anterior, en ambos casos existe presencia de coliformes totales y Mesófilos aerobios. Así mismo, se asegura que no existe presencia de Escherichia coli en ninguna de las dos muestras. Aunque es evidente la diferencia en cuanto a contaminación del agua lluvia frente al agua proveniente del acueducto, ninguna de las dos muestras cumple con los parámetros especificados por MINSALUD para agua potable en la resolución 2115 de 2007, la cual establece que el agua para consumo humano no debe contener recuento de coliformes totales ni Escherichia coli. Por otro lado, constituye que el recuento de los Mesófilos aerobios debe encontrarse por debajo de las 100 unidades.

A continuación, se presentan la figura 4 y la figura 5, las cuales proyectan el plano y la implementación de un sistema de purificación de aguas lluvias en la planta de la Fábrica de Lácteos Belén, con viabilidad de múltiple conexión. Por un lado, se encuentra conectado al sistema de almacenamiento de aguas lluvias. Por otro lado, se halla acoplado al sistema de alcantarillado proveniente de la Empresa Solidaria de Servicios Públicos de Belén E.S.P.

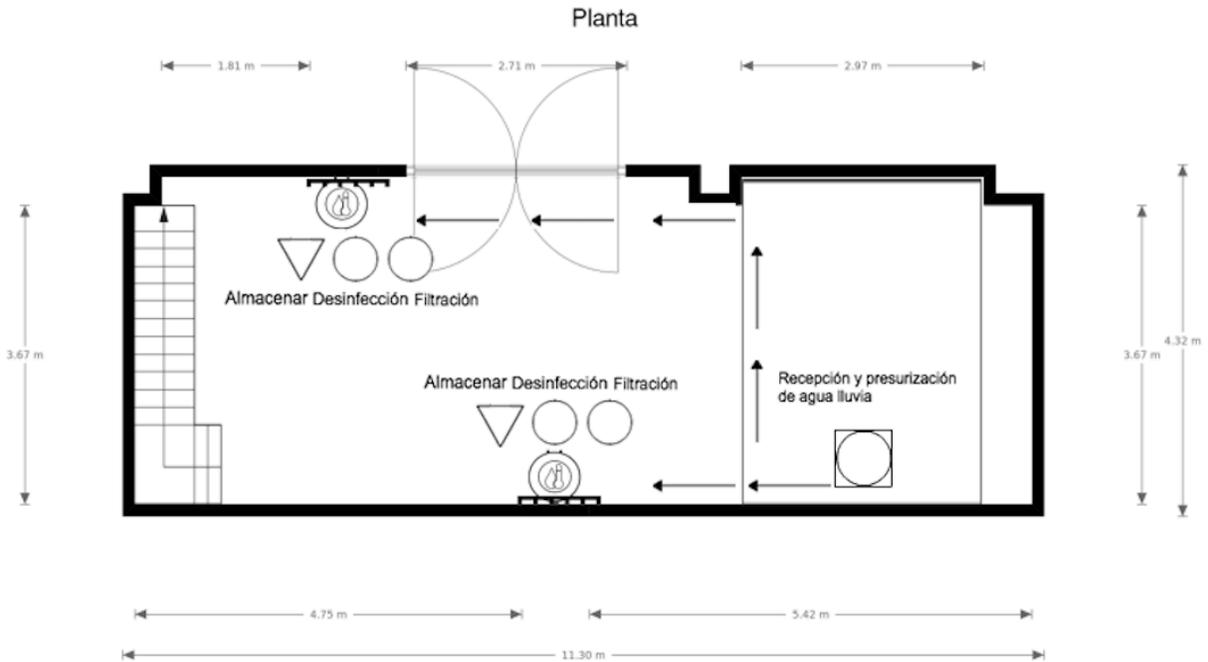


Figura 4. Diagrama de recorrido modelo propuesto, diseño de purificación de aguas lluvias. Fuente: Elaboración de los autores.

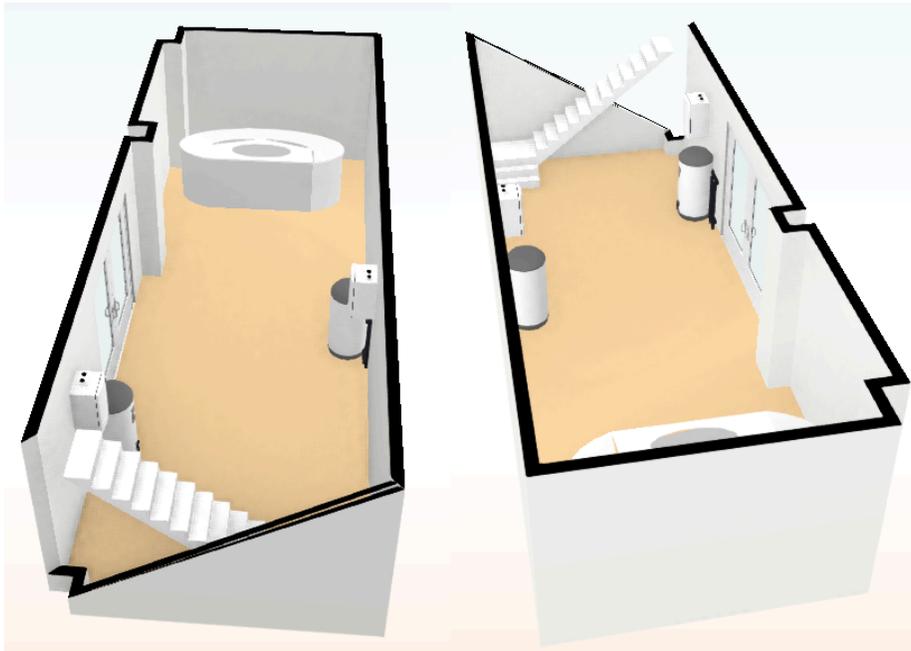


Figura 5. Modelo 3D propuesto, diseño de purificación de aguas lluvias. Fuente: Elaboración propia.

El diseño propuesto requiere de 18 metros cuadrados (m^2) físicos libres y disponibles en la fábrica para su montaje e instalación. Adicionalmente, solicita un sistema de captación, filtración, desinfección y almacenamiento, para el cual se ofrecen tres diferentes alternativas, dependientes del fin requerido, capacidad de inversión y alcance del sistema. A continuación, se describe cada una de las opciones de implementación nombradas anteriormente, alcance de la alternativa, tiempos y costos de ejecución. Para ninguna alternativa proyectada se contemplan los valores y costos de los tanques de almacenamiento.

Alternativa No. 1.

La capacidad instalada por esta alternativa, otorga tratamiento generando calidad de agua potable. Como se evidencia en la figura 6 y la figura 7, el sistema consta de tres sistemas de Ultra Filtración de capacidad máxima de 13 GPM, encargados de la remoción de sedimentos y partículas suspendidas en el agua (reducción del 99,95%), turbiedad, membrana de ultra filtración y de la retención de virus y bacterias presentes en el agua. El sistema completo de Ultra Filtración presentado consta de un valor total de \$16.565.310 más IVA. Adicionalmente, solicita 3 sistemas de desinfección UV con capacidad de 10 GPM con sistema métrico en cuarzo de alta precisión, el cual maneja un valor total de \$9.223.794 más IVA. Este procedimiento maneja un tiempo de ejecución de 35,83 segundos por galón purificado, debe estar presurizado, contar con mantenimiento anual para el sistema de desinfección UV y mantenimiento cada 10 años del sistema de tratamiento de ultra filtración.

Valor total de la inversión de la alternativa No. 1: \$30.689.034.

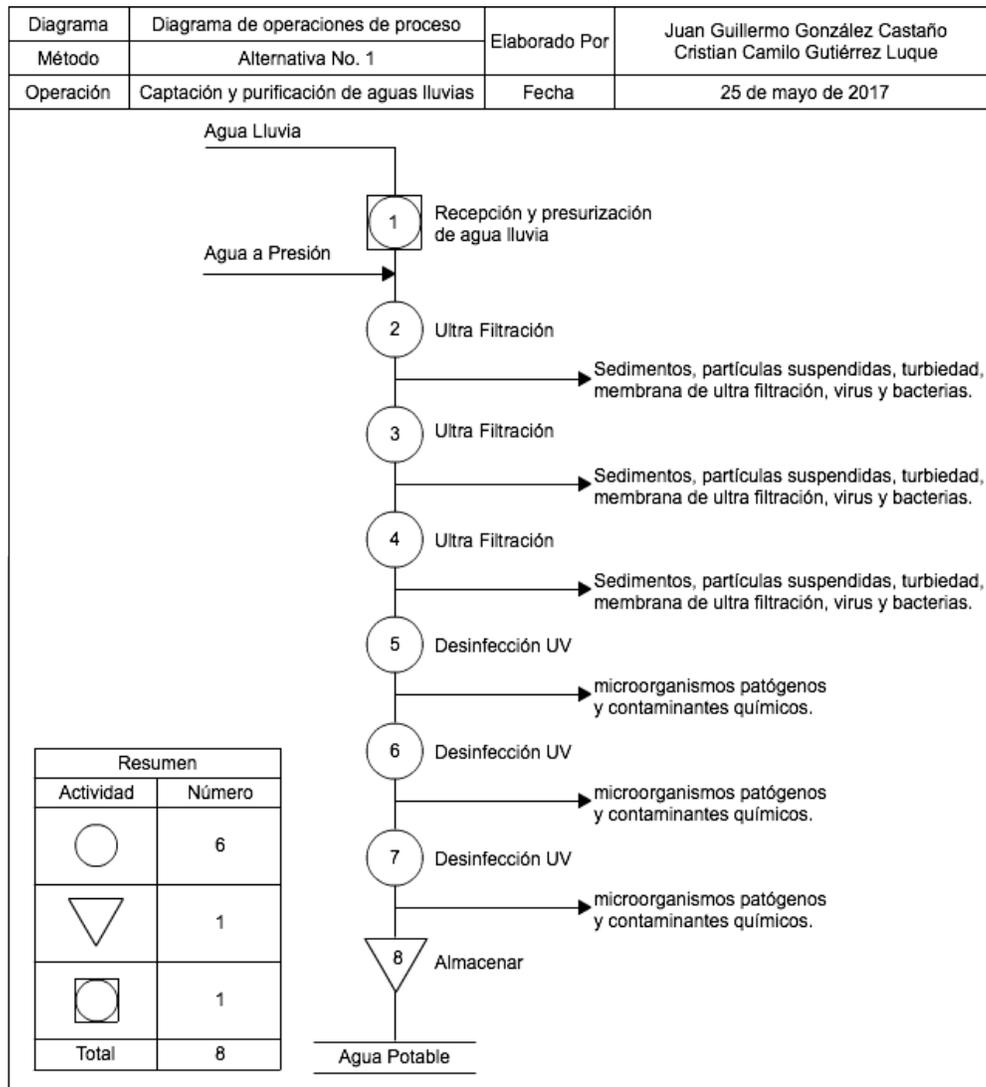


Figura 6. Diagrama de operaciones de proceso, captación y purificación de aguas lluvias (alternativa No.1). Fuente: Elaboración propia.

Página	1 de 3	Método	Propuesta No. 1			
Proceso	Captación y purificación de aguas lluvias (1 Galon de agua)	Elaborado por	Juan Guillermo González Castaño - Cristian Camilo Gutiérrez Luque			
	Resumen	Operación	Transporte	Almacenamiento	Demora	Inspección
Cantidad total	10	7	1	1	-	1
Tiempo total (Seg)	35,83	33,83	2	-	-	-
Distancia total (m)	2,5 Metros	-	2,5	-	-	-

No.	Actividad	●	■	→	▭	▽	Tiempo	Distancia	Descripción
1	Recepción de agua lluvia	●					-	-	Agua lluvia cae sobre la zona de recepción
2	Presurización de agua	●	●				1 Segundos	-	Agua lluvia entra en la bomba de presurización
3	Traslado de agua al sistema de purificación	●		●			2 Segundos	2,5 metros	Agua lluvia se traslada por tubería
4	Ultra Filtración	●					4,61 Segundos	-	Agua lluvia entra en el sistema de ultra filtración
5	Ultra Filtración	●					4,61 Segundos	-	Proceso de ultra filtración
6	Ultra Filtración	●					4,61 Segundos	-	proceso de ultra filtración
7	Desinfección UV	●					6 Segundos	-	Agua lluvia entra en el sistema de desinfección
8	Desinfección UV	●					6 Segundos	-	Proceso de desinfección UV
9	Desinfección UV	●					6 Segundos	-	Proceso de desinfección UV
10	Almacenamiento de agua en tanque				●		1 Segundo	-	Almacenamiento de agua potable

Figura 7. Diagrama de flujo de proceso, captación y purificación de aguas lluvias (alternativa No. 1). Fuente: Elaboración propia.

Alternativa No. 2.

Este diseño maneja tres sistemas de tratamiento por filtración con medio filtrante especializado 100AS y con capacidad máxima de 10 GPM. El valor total del tratamiento es de \$6.418.710 más IVA. Asimismo, maneja tres sistemas de Desinfección UV con capacidad de 10 GPM con sistema métrico en cuarzo de alta precisión y pre filtro de 5micras de 8 GPM, el cual representa un valor total de \$11.529.744. Como se aprecia en los diagramas de operaciones y procesos a continuación (figura 8 y figura 9), Esta opción debe estar presurizada y maneja un tiempo de proceso total de 44,5 segundos por galón procesado, genera calidad de agua pura con fines de uso sanitario y lavado en general ya que no cuenta con remoción total de partículas finas. El agua no contará con olor ni color debido a su tratamiento, sin embargo, no cumple los estándares de calidad para el consumo humano.

Costo total de la inversión de la alternativa No. 2: \$21.358.660.

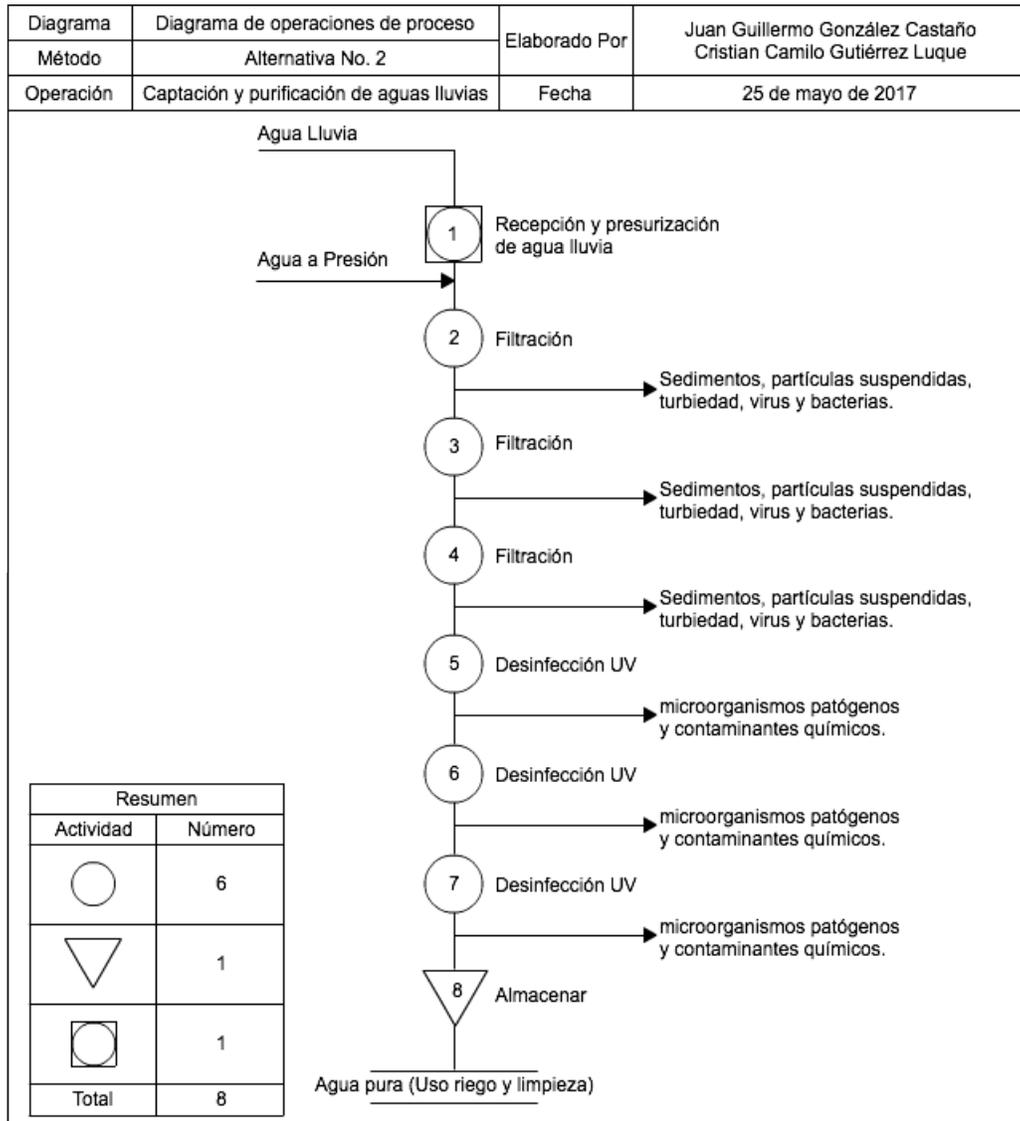


Figura 8. Diagrama de operaciones de proceso, captación y purificación de aguas lluvias (alternativa No.2). Fuente: Elaboración propia.

Página	2 de 3	Método	Propuesta No. 2			
Proceso	Captación y purificación de aguas lluvias (1 Galon de agua)	Elaborado por	Juan Guillermo González Castaño - Cristian Camilo Gutiérrez Luque			
	Resumen	Operación	Transporte	Almacenamiento	Demora	Inspección
Cantidad total	10	7	1	1	-	1
Tiempo total (Seg)	44,5 Segundos	42,5	2	-	-	-
Distancia total (m)	2,5 Metros	-	2,5	-	-	-

No.	Actividad	●	■	→	▭	▽	Tiempo	Distancia	Descripción
1	Recepción de agua lluvia		●				-	-	Agua lluvia cae sobre la zona de recepción
2	Presurización de agua	●					1 Segundos	-	Agua lluvia entra en la bomba de presurización
3	Traslado de agua al sistema de purificación				●		2 Segundos	2,5 metros	Agua lluvia se traslada por tubería
4	Filtración	●					6 Segundos	-	Agua lluvia entra en el sistema de filtración
5	Filtración	●					6 Segundos	-	Proceso de filtración
6	Filtración	●					6 Segundos	-	Proceso de filtración
7	Desinfección UV	●					7,5 Segundos	-	Agua lluvia entra en el sistema de desinfección
8	Desinfección UV	●					7,5 Segundos	-	Proceso de desinfección UV
9	Desinfección UV	●					7,5 Segundos	-	Proceso de desinfección UV
10	Almacenamiento de agua en tanque				●		1 Segundo	-	Almacenamiento de agua pura

Figura 9. Diagrama de flujo de proceso, captación y purificación de aguas lluvias (alternativa No. 2). Fuente: Elaboración propia.

Alternativa No. 3.

Esta alternativa, ofrece un sistema de tratamiento básico para aprovechamiento de aguas lluvias, con el fin de uso en riego o procesos de limpieza general. Requiere de un insumo químico (Cloro) para la desinfección de la misma, el cual, debe ser aplicado y dosificado periódicamente y de forma manual. Como se evidencia a continuación en el diagrama de operaciones (figura 10) y diagrama de flujo de procesos (figura 11), el sistema de filtración es automático, requiere de presurización y solicita mantenimiento extendido de 6 – 8 años y maneja un tiempo total de proceso de 34 segundos. Para la puesta en práctica de esta elección se solicitan 3 sistemas de tratamiento por filtración con medio filtrante especializado 100AS y de capacidad máxima 10 GPM, los cuales abarcan un precio total de compra de \$6.418.710. Por otro lado, solicita 3 sistemas de Desinfección con cloro (sistema de paso y contacto), el cual posee un costo de adquisición de \$2.907.942.

Costo total de la implementación de la alternativa No. 3: \$11.098.716.

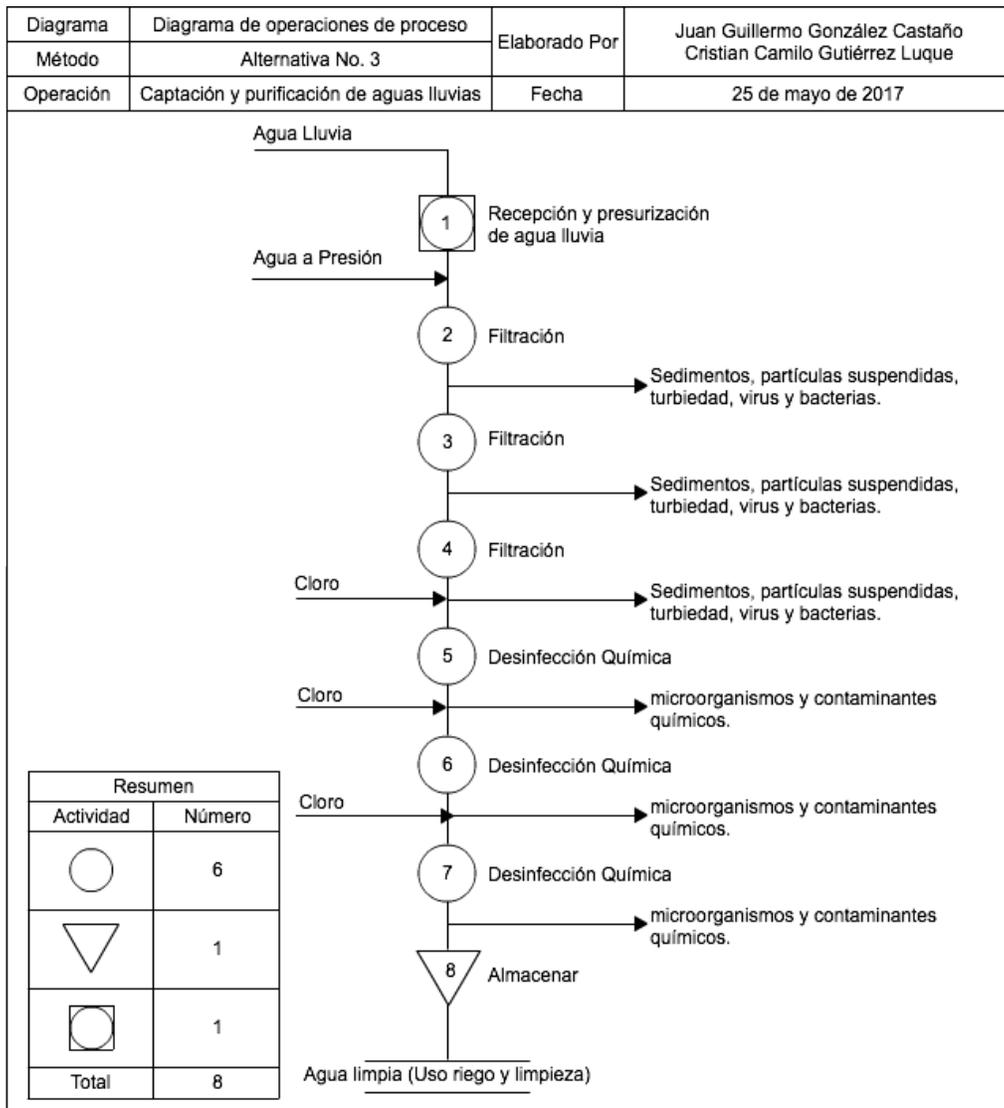


Figura 10. Diagrama de operaciones de proceso, captación y purificación de aguas lluvias (alternativa No.3). Fuente: Elaboración propia.

Página	3 de 3	Método	Propuesta No. 3			
Proceso	Captación y purificación de aguas lluvias (1 Galon de agua)	Elaborado por	Juan Guillermo González Castaño - Cristian Camilo Gutiérrez Luque			
	Resumen	Operación	Transporte	Almacenamiento	Demora	Inspección
Cantidad total	10	7	1	1	-	1
Tiempo total (Seg)	34 Segundos	32	2	-	-	-
Distancia total (m)	2,5 Metros	-	2,5	-	-	-

No.	Actividad	●	■	→	◐	▼	Tiempo	Distancia	Descripción
1	Recepción de agua lluvia		●				-	-	Agua lluvia cae sobre la zona de recepción
2	Presurización de agua	●					1 Segundos	-	Agua lluvia entra en la bomba de presurización
3	Traslado de agua al sistema de purificación				●		2 Segundos	2,5 metros	Agua lluvia se traslada por tubería
4	Filtración	●					6 Segundos	-	Agua lluvia entra en el sistema de filtración
5	Filtración	●					6 Segundos	-	Proceso de filtración
6	Filtración	●					6 Segundos	-	Proceso de filtración
7	Desinfección química	●					4 Segundos	-	Agua lluvia entra en el sistema de desinfección
8	Desinfección química	●					4 Segundos	-	Proceso de desinfección química
9	Desinfección química	●					4 Segundos	-	Proceso de desinfección química
10	Almacenamiento de agua en tanque				●		1 Segundo	-	Almacenamiento de agua limpia

Figura 11. Diagrama de flujo de proceso, captación y purificación de aguas lluvias (alternativa No. 3). Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6 se resume la capacidad y el costo de implementación de cada una de las alternativas propuestas anteriormente.

Tabla 6.
Alternativas de purificación de agua lluvia.

Alternativa	Características	Costo	Resultado
Alternativa 1	<ul style="list-style-type: none"> • 3 sistemas de ultrafiltración • 3 sistemas de desinfección UV 	\$30.689.034	Agua potable.
Alternativa 2	<ul style="list-style-type: none"> • 3 sistemas de filtración con medio filtrante especializado • 3 sistemas de desinfección UV 	\$21.358.660	Calidad de agua pura: Uso sanitario y lavado en general.
Alternativa 3	<ul style="list-style-type: none"> • 3 sistemas de paso y contacto con cloro (Manual) • 3 sistemas de tratamiento por filtración con medio filtrante especializado 	\$11.098.716	Calidad de agua básico: Uso en riego o procesos de limpieza.

Fuente. Elaboración propia.

Con base en los datos proporcionados por el IDEAM, se calcularon las distribuciones de dos variables. Por un lado, se encuentra el número de días que llueve en un mes en Belén, Boyacá. Por otro lado, los litros de agua lluvia por metro cuadrado (m^2) que caen por día de lluvia en la misma región. Con la herramienta de simulación FLEXSIM y el uso de uno de sus aplicativos “ExperFit”, se aseguró que las variables manejan comportamiento probabilístico binomial negativo en ambos casos.

Por otro lado, se realizó la simulación anual del diseño propuesto para el consumo hídrico actual de la planta, el cual se establece en 4,000 Litros de agua diarios destinados a la higiene de la misma. La simulación se elaboró con el fin de determinar la factibilidad y necesidad de almacenamiento para la captación de agua lluvia. Por esto, se ejecutaron tres simulaciones con capacidad de almacenamiento diferentes. La primera simulación propone recolectar el agua lluvia en los dos tanques de capacidad de 600 Litros con los que cuenta actualmente la industria. La segunda simulación llevada a cabo, realiza una variación de capacidad de almacenamiento instalada a 4,000 Litros (2 Tanques de 2,000 Litros). La tercera y última simulación, aumenta la capacidad de almacenamiento a dos tanques instalados cada uno con una capacidad de 10,000 Litros con fines exclusivos de captación de agua lluvia.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por FLEXSIM a partir de las diferentes situaciones propuestas y capacidades recomendadas. Los resultados reflejan la pérdida de oportunidad de captación de agua lluvia y el porcentaje de utilización de los tanques por la misma en un año de ejecución.

Situación Actual

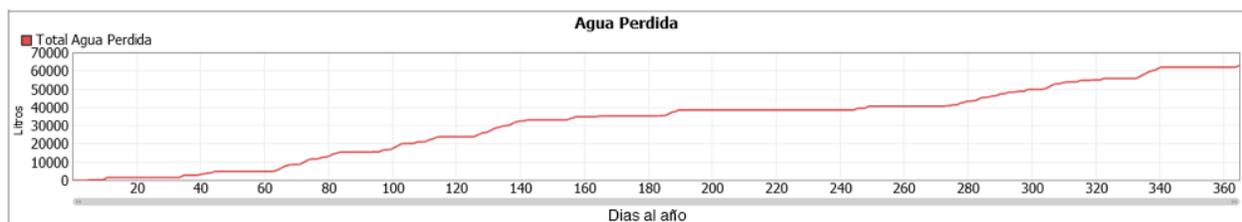


Figura 12. Agua lluvia perdida al año. Situación Actual. Fuente: Simulación Elaboración propia.



Figura 13. Agua Lluvia captada anualmente. Situación Actual. Fuente: Simulación Elaboración Propia.

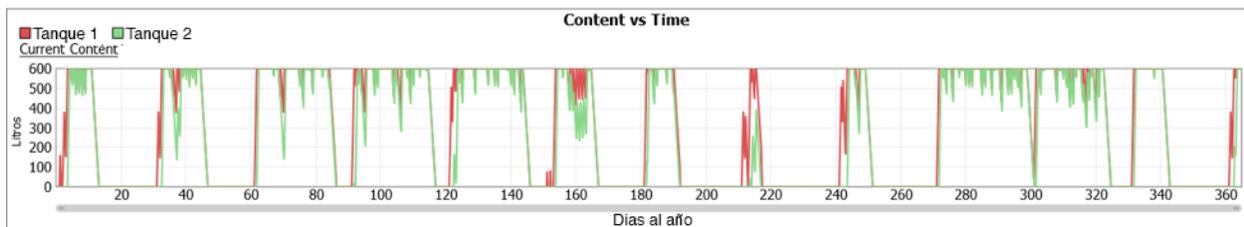


Figura 14. Uso de tanque anual por agua lluvia. Situación Actual. Fuente: Simulación Elaboración Propia.

Como se evidencia en la figura 12 y la figura 13 y destinando la capacidad actual de la planta para recolección de agua lluvia, se desaprovechan alrededor de 65,000 Litros de agua lluvia por año. Por otro lado, como se observa en la figura 14, los tanques de 600 Litros y su capacidad total de recolección de 1.200 Litros se encuentran llenos de agua lluvia el 59.4% del año.

Simulación 1



Figura 15. Agua lluvia perdida al año. Propuesta 1. Fuente: Simulación Elaboración propia.



Figura 16. Agua Lluvia captada anualmente. Propuesta 1. Fuente: Simulación Elaboración Propia.



Figura 9. Uso de tanque anual por agua lluvia. Propuesta 1. Fuente: Simulación Elaboración Propia.

La segunda simulación cuenta con dos tanques cada uno de capacidad de 2,000 Litros. Con esta alternativa y como se evidencia en la figura 16 se cuenta con agua lluvia el 69.5% del año y se desperdicia la oportunidad de recolectar alrededor de 42,000 Litros de agua al año (figura 15).

Costo de tanque con capacidad de almacenamiento de 2,000 Litros Acuaviva: \$469,900 (HOMECENTER)

Costo total de tanques para la propuesta: \$939,800

Simulación 2



Figura 17. Agua lluvia perdida al año. Propuesta 2. Fuente: Simulación Elaboración propia.



Figura 18. Agua Lluvia captada anualmente. Propuesta 2. Fuente: Simulación Elaboración Propia.

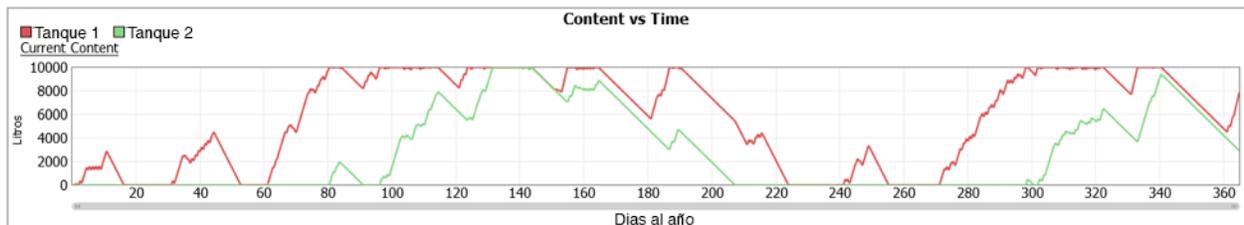


Figura 19. Uso de tanque anual por agua lluvia. Propuesta 2. Fuente: Simulación Elaboración Propia.

Para la última simulación y tomando en cuenta que la capacidad de recolección total de planta es de 20,000 Litros (2 tanques de capacidad de almacenamiento de 10,000 Litros). Como se observa en la figura 17, se desperdicia

5,000 Litros de agua lluvia al año y como se aprecia en la figura 19 los tanques contarían con agua lluvia el 84.4% del año.

Costo de tanque con capacidad de almacenamiento de 10,000 Litros Colempaques: \$5.740.000 (HOMECENTER)

Costo total de tanques para la propuesta: \$11.481.800

El impacto real generado por el proyecto es de ámbito ambiental y técnico, debido a que el objetivo principal de la investigación es generar una fuente alternativa de agua la cual proporcione los estándares de calidad requeridos para una buena práctica de manufactura. Dicho esto, en la figura 13 se procede a analizar el impacto financiero, el cual pasa a un segundo plano, debido a que la implementación del diseño no depende de los beneficios económicos concebidos. Por el contrario, busca encontrar una inversión que genere el cumplimiento de los estándares de calidad de potabilización de agua establecidos por la resolución 2115 del 2007, para una buena práctica de manufactura.

Propuesta 1 (Situación Actual)			Propuesta 2 (Tanques 2,000 Lt)			Propuesta 3 (Tanques 10,000 Lt)			
Costos			Costos			Costos			
Sistema Filtración	\$	9.667.988	Sistema Filtración	\$	19.927.932	Sistema Filtración	\$	29.258.306	
Tubería de 1 1/4" y 6"	\$	389.899	Tubería de 1 1/4" y 6"	\$	389.899	Tubería de 1 1/4" y 6"	\$	389.899	
Válvula Y direccionadoras invertidas	\$	29.890	Válvula Y direccionadoras invertidas	\$	29.890	Válvula Y direccionadoras invertidas	\$	29.890	
Válvulas Cierre Normal	\$	21.560	Válvulas Cierre Normal	\$	21.560	Válvulas Cierre Normal	\$	21.560	
Sistema de cierre automático	\$	480.789	Sistema de cierre automático	\$	480.789	Sistema de cierre automático	\$	480.789	
Cableado y controles	\$	189.700	Cableado y controles	\$	189.700	Cableado y controles	\$	189.700	
Limpieza tejado y canales	\$	258.000	Limpieza tejado y canales	\$	258.000	Limpieza tejado y canales	\$	258.000	
Adhesivos líquidos	\$	60.890	Adhesivos líquidos	\$	60.890	Adhesivos líquidos	\$	60.890	
Tanques 600 Lt (Actualmente Instalados)	\$	-	Tanques 2000 Lt	\$	939.800	Tanques 10000 Lt	\$	11.481.800	
total	\$	11.098.716	total	\$	22.298.460	total	\$	42.170.834	
Ahorro Anual			Ahorro Anual			Ahorro Anual			
59,4%			69,5%			84,4%			
Costo Anual			Costo Anual			Costo Anual			
\$	966.600	\$	574.160	\$	966.600	\$	671.787	\$	815.810
Interés Anual			Interés Anual			Interés Anual			
11,80%			11,80%			11,80%			
Ahorro 59,4%			Ahorro 69,5%			Ahorro 84,4%			
año	Flujo de caja	Valor presente	año	Flujo de caja	Valor presente	año	Flujo de caja	Valor presente	
0	-\$ 11.098.716	-\$11.098.716,00	0	-\$ 22.298.460	-\$22.298.460,00	0	-\$ 42.170.834	-\$42.170.834,00	
1	\$ 574.160	\$ 513.560	1	\$ 671.787	\$ 600.883	1	\$ 815.810	\$729.705,19	
2	\$ 574.160	\$ 459.356	2	\$ 671.787	\$ 537.462	2	\$ 671.787	\$537.462,28	
3	\$ 574.160	\$ 410.873	3	\$ 671.787	\$ 480.735	3	\$ 671.787	\$ 480.735	
4	\$ 574.160	\$ 367.507	4	\$ 671.787	\$429.995,97	4	\$ 671.787	\$ 429.996	
5	\$ 574.160	\$328.718,55	5	\$ 671.787	\$ 384.612	5	\$ 671.787	\$ 384.612	
VPN		-\$9.018.700,36	VPN		-\$ 19.864.772	VPN		-\$ 39.608.323	
TIR		-33%	TIR		-42%	TIR		-50%	
Payback		19	Payback		33	Payback		62	

Figura 20. Análisis financiero. Fuente: Elaboración de los autores.

Como se evidencia en la figura 20, el ahorro total alcanzable en cuanto a consumo de agua proveniente del acueducto es de \$815,810 pesos anuales. Por otro lado, se obtienen tasas internas de retorno negativas con la implementación de cualquiera de las propuestas, las cuales evidencian que el enfoque del proyecto se encuentra en el ámbito ambiental y técnico y no en los retornos de inversión. Así mismo, se cuenta con un valor presente neto negativo en cada una de las alternativas, ya que la inversión no genera un valor agregado ni una influencia directa a la empresa en sus ventas, es una contribución directa al medio ambiente. La rentabilidad del proyecto se ve reflejada netamente como una inversión para la certificación de buenas prácticas de manufactura con beneficios a largo plazo.

7. Conclusiones y recomendaciones.

Este trabajo tenía como objetivo principal abordar el problema de obtención y calidad de agua de la Fábrica de Lácteos Belén, clave para el cumplimiento de buenas prácticas de manufactura. Del mismo modo, aportar una solución viable para el desarrollo y construcción de un sistema hídrico alternativo.

Con base en lo anterior, la contribución fundamental de este proyecto consiste en el diseño de un sistema de captación, recolección, y purificación de aguas lluvias, el cual genera una fuente alternativa de agua. Así mismo, proporciona los estándares de calidad requeridos para una buena práctica de manufactura. A continuación, se presentan las conclusiones consecuencias de la investigación realizada al agua lluvia de la región y a la Fábrica de lácteos Belén.

Queda confirmado en el trabajo, que la Fábrica de Lácteos Belén cuenta con instalaciones, espacio e infraestructura necesaria, suficiente y disponible para llevar a cabo la ejecución del diseño hídrico alterno propuesto.

El proyecto financieramente no genera rentabilidad a corto plazo en ninguna de sus alternativas. El enfoque principal del trabajo es generar un impacto ambiental significativo y la reutilización de aguas lluvias. Además, lograr la certificación de Buenas Prácticas de Manufactura establecida por el INVIMA y contar con una fuente alternativa de agua potable.

Así mismo, se aclara que el agua lluvia sin procesar, cuenta con estándares similares a los ofrecidos por el agua proveniente del acueducto, los cuales en ninguna circunstancia cumplen con los parámetros especificados por el MINSALUD para que el agua sea de uso potable.

Se demuestra por otro lado, que los estándares de calidad establecidos por la resolución 2115 de 2007 para una buena práctica de manufactura son alcanzables por el agua resultante del sistema hídrico propuesto. Además, se recomienda unificar ambas fuentes de agua, con el fin de contar siempre con disponibilidad del recurso y mejorar la calidad de agua proveniente del acueducto.

Se recomienda implementar la primera alternativa propuesta con los dos tanques de capacidad de almacenamiento de 10,000 Litros. El costo total de implementación para este diseño es de \$42.170.834. El proyecto otorga tratamiento generando calidad de agua potable. Así mismo, cumple con los estándares de calidad requeridos por la resolución 2115 de 2007 para buenas prácticas de manufactura. Además, Hace del agua lluvia, un recurso alcanzable y reutilizable el 84,4% del tiempo del año.

El clima, sus proyecciones y registros históricos asentados desde el 2009, junto con el diseño de recolección y purificación de agua, hacen del agua lluvia, un recurso alcanzable y utilizable el 84% del año.

Finalmente, se recomienda implementar el sistema de recolección, captación y purificación de aguas lluvias con la alternativa No.3 y tanques de 2,000 Litros, en el lugar de producción de leche. De esta manera, aprovechar el agua lluvia con el fin de regar los campos de alimentación bovina en tiempos de sequía. De esta forma, mitigar el daño causado por el marchitamiento del césped, causante de la reducción actual del 35% de producción láctea en épocas de agostamiento. Valor Total de la implementación de la Alternativa No. 3: \$12.038.516.

8. Glosario

Prueba microbiológica del Agua: “Procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para consumo humano para evaluar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos”. (Resolución 2115, 2007).

Prueba Básica del Agua: “Es el procedimiento que se efectúa para determinar turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual de desinfectante usado, coliformes totales y Escherichia coli. (Resolución 2115, 2007).

Prueba Complementaria del Agua: “procedimiento que se efectúa para las determinaciones físicas, químicas y microbiológicas no contempladas en el análisis básico, que se enuncian en la presente Resolución y todas aquellas que se identifiquen en el mapa de riesgo”. (Resolución 2115, 2007).

Prueba Física y Química del Agua: “procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas”. (Resolución 2115, 2007).

Agua Potable: “Se denomina agua potable (del latín potus, bebida, potabilis, bebible) al agua “bebible” en el sentido que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades”. (Capyclo.com, 2017)

Agua Pura: “El agua pura no tiene olor, sabor, ni color (es decir, es incolora, insípida e inodora). Para obtener agua químicamente pura es necesario realizar diversos procesos físicos de purificación ya que el agua es capaz de disolver una gran cantidad de sustancias químicas, incluyendo gases”. (Capyclo.com, 2017)

Coliformes: “Bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂) en un plazo de 24 a 48 horas. Se clasifican como aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la β galactosidasa. Es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano”. (Resolución 2115, 2007).

Color Aparente: “Es el color que presenta el agua en el momento de su recolección sin haber pasado por un filtro de 0.45 micras”. (Resolución 2115, 2007).

Escherichia Coli - E - coli: “Bacilo aerobio Gram Negativo no esporulado que se caracteriza por tener enzimas específicas como la β galactosidasa y β glucuronidasa. Es el indicador microbiológico preciso de contaminación fecal en el agua para consumo humano”. (Resolución 2115, 2007).

Valor Permitido: “Es el establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua para consumo humano no representa riesgos conocidos a la salud”. (Resolución 2115, 2007).

Característica: Término utilizado para identificar elementos, compuestos, sustancias y microorganismos presentes en el agua.

9. Tabla de Anexos o Apéndices

No. Anexo	Nombre	Desarrollo	Tipo de Archivo	Enlace corto (https://goo.gl/)	Relevancia para el documento (1-5)
1	Anexo 1 Factura Acueducto Servibelen E.S.P. (mayo 2016).	SERVIBELEN E.S.P.	Imagen	https://drive.google.com/open?id=0B_o-aVZHn_ekVINBY0YxWVg0bnc	2
2	Anexo 2 Consumo Histórico de Agua Fabrica de Lácteos Belén.	Fábrica de Lácteos Belén	Excel	https://drive.google.com/open?id=0B_o-aVZHn_ekX2xiSFgxbTc0dWc	4
3	Anexo 3 Informe de Resultados, Control Microbiológico de Agua.	Control Microbiológico	Imagen	https://drive.google.com/open?id=0B_o-aVZHn_ekUkk2RUprReFhNT1k	4
4	Anexo 4 Reporte de análisis microbiológico de Agua lluvia.	NULAB	PDF	https://drive.google.com/open?id=0B_o-aVZHn_ekRXdXQkQwQ25ra0E	4
5	Anexo 5 Toma de medidas de la planta de la Fábrica de Lácteos Belén.	Propio	Imagen	https://drive.google.com/open?id=0B_o-aVZHn_ekM1YxNjVVczBna2c	3
6	Anexo 6 Valores totales de precipitación para la estación Cerinza en Boyacá.	IDEAM	Txt	https://drive.google.com/open?id=0B_o-aVZHn_ekc3llaHZsRXE2Unc	4
7	Anexo 7 Simulación de la propuesta del sistema de captación, recolección y purificación de aguas lluvias en la fábrica de lácteos Belén.	Propio FLEXSIM	Zip / Fsm	https://drive.google.com/open?id=0B_o-aVZHn_ekNXpsQWRLV0VfSjA	5
8	Anexo 8 Link Video de la simulación de la propuesta del sistema de captación, recolección y purificación de aguas lluvias en la fábrica de lácteos Belén.	Propio FLEXSIM	MOV	https://drive.google.com/open?id=0B_o-aVZHn_ekcVB6eEITMVEExX0E	2
9	Anexo 9 Propuesta comercial purificación de agua	EFIKHAUS	Pdf	https://drive.google.com/open?id=0B_o-aVZHn_ekNIJGUEc3dmx0NGc	3
10	Anexo 10 Análisis	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=0B_o-aVZHn_ekc3llaHZsRXE2Unc	3

	financiero			aVZHn ekX2ctank3UkJOaDA	
11	Anexo 11 Procedimientos de Laboratorio PUJ	Pontificia Universidad Javeriana	Pdf	https://drive.google.com/open?id=0B_o-aVZHn_ekRnZ6T1BscFzTW8	2
12	Anexo 12 Ficha técnica sistema de ultra filtración	EFIKHAUS	Pdf	https://drive.google.com/open?id=0B_o-aVZHn_ekODVDbi13WHBtXzg	2
13	Anexo 13 Ficha Técnica RC UV Ultra desinfección ultravioleta	EFIKHAUS	Pdf	https://drive.google.com/open?id=0B_o-aVZHn_ekSjVYbmtHWmZyeVU	2

10. Referencias

- Aprovechamiento del agua lluvia en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá en función de la variabilidad de la calidad. (2012). Pontificia Universidad Javeriana.
- Briceño, I. (2012). *Piscilago se une a la celebración del Día del Agua*. [en línea] Noticias Principales de Colombia Radio Santa Fe 1070 am. Disponible en: <http://www.radiosantafe.com/2012/03/17/piscilago-se-une-a-la-celebracion-del-dia-del-agua/> [Consulta 3 nov. 2016].
- C. (n.d.). ¿Cual es la diferencia entre agua pura y agua potable? Retrieved May 07, 2017, from <http://www.capyclo.com/cual-es-la-diferencia-entre-agua-pura-y-agua-potable/>
- Definición.de. (2009). *Definición de pyme* — *Definicion.de*. [en línea] Disponible en: <http://definicion.de/pyme/> [Consulta 28 ago. 2016].
- Eufic.org. (2016). *El uso del agua en la producción de alimentos (EUFIC)*. [en línea] Disponible en: http://www.eufic.org/article/es/artid/El_uso_del_agua_en_la_produccion_de_alimentos/ [Consulta 5 Sep. 2016].
- Estudio Nacional del Agua 2014. (2015). [En línea] Bogotá D.C. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf [Consulta 23 ago. 2016].
- Icontec.org. (2016). *Evaluación de la Conformidad Certificación BPM*. [En línea] Disponible en: <http://www.icontec.org/Ser/EvCon/Paginas/PCS/cbpm.aspx> [Consulta 14 Sep. 2016].
- Jervis, T. M. (2017, May 04). Investigación Correlacional: Definición, Tipos y Ejemplos. Consulta May 20, 2017, Disponible en: <https://www.lifeder.com/investigacion-correlacional/>
- 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. (2007). [En línea] p.23. Disponible en: http://www.aguasyaguas.com.co/calidad_agua/images/descargas/res_2115_220707.pdf [Consulta 8 Sep. 2016].
- Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. (2010). Pregrado. Pontificia Universidad Javeriana.
- RESOLUCIÓN CRA 726 DE 2015. (2015). [En línea] Bogotá D.C., p.5. Disponible en: <http://cra.gov.co/apc-aa-files/35383137643637613966333438336638/resolucin-cra-726-de-2015.pdf> [Consulta 17 Sep. 2016].
- Sistema de tratamiento de aguas lluvias, auto-construible, para usos no potables en una casa de la localidad de Usme. (2014). Pregrado. Pontificia Universidad Javeriana.