

---

Diseño de una planta envasadora de agua potable en el municipio de Sincelejo, Sucre

Robert Lewis Moya Mejía  
María Elena Orozco Ordosgoitia

Corporación Universitaria del Caribe - CECAR  
Facultad de Ciencias Básicas, Ingenierías y Arquitectura  
Programa de Ingeniería Industrial  
Sincelejo Sucre  
2019

Diseño de una planta envasadora de agua potable en el Municipio de Sincelejo, Sucre.

Robert Lewis Moya Mejía  
María Elena Orozco Ordosgoitia

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero(a) Industrial

Director  
Jonathan Andrés Rodríguez Manrique

Codirector  
Pablo Cesar Pérez Buelvas

Corporación Universitaria del Caribe - CECAR  
Facultad de Ciencias Básicas, Ingenierías y Arquitectura  
Programa de Ingeniería Industrial  
Sincelejo Sucre

2019

**Nota de Aceptación**

4,37

  
\_\_\_\_\_  
Director

  
\_\_\_\_\_  
Evaluador 1

  
\_\_\_\_\_  
Evaluador 2

---

### **Dedicatoria**

A Dios por permitirnos llegar a esta instancia, por haber dado la gracia para poder cumplir todos los objetivos estipulados, además de su infinito amor y misericordia con nosotros.

A nuestros padres por la constante motivación, apoyo, consejos y paciencia durante todo este proceso.

## Agradecimientos

Primeramente, agradecemos a Dios, porque ha sido bueno y durante todo este proceso, su mano siempre estuvo ahí para levantarnos, darlos la fortaleza y confianza para salir a delante y superar todos los obstáculos.

Agradecer sinceramente a nuestro director de investigación Jhonatan Rodríguez Manrique, por su conocimiento, dedicación, esfuerzo, tiempo y consejos para la realización de este proyecto, Dios lo continúe bendiciendo.

A nuestro codirector Pablo Pérez Buelvas, por su conocimiento y consejos de apoyo para culminar de forma correcta este proceso.

A nuestros evaluadores Mario Frank Pérez y Rafael Merlano Porto, por sus valiosos aportes para la finalización de este proyecto.

Del mismo modo, cordiales agradecimientos para personas que apoyaron en el cumplimiento de cada uno de los objetivos de esta investigación; Raul Mogollon, Gean Mendoza Ortega y Carlos Cohen Manrique.

También agradecemos a nuestros padres por ser un apoyo incondicional en esta importante etapa de nuestras vidas.

A la Corporación Universitaria Del Caribe CECAR, Por permitirnos ser parte de esta, acogernos y ofrecernos educación de calidad.

## Tabla de Contenido

Resumen.....	14
Abstract.....	15
1. Introducción.....	16
2. Marco referencial.....	18
2.1. Antecedentes.....	18
2. Marco conceptual.....	21
2.1.1. Agua.....	21
2.1.2. Perfil Higiénico Sanitario.....	22
2.1.3. Análisis de series temporales.....	22
2.1.4. Pronóstico de la demanda.....	23
2.1.5. MAPE (Error porcentual Absoluto Medio).....	23
2.1.6. Modelos de análisis de series de tiempo.....	23
2.1.7. Simulación.....	25
2.2. Marco teórico.....	26
2.2.1. Agua.....	26
2.2.2. Metodologías para el perfil higiénico sanitario.....	33
2.2.3. Muestreo aleatorio simple.....	33
2.2.4. Muestreo aleatorio estratificado.....	34
2.2.5. Gráficos de calidad.....	35
2.2.6. Distribución En Planta.....	37
2.2.7. Simulación.....	51
2.3. Marco Legal.....	56
3. Metodología.....	57
3.1. Fase 1. Diagnostico Higiénico Sanitario a las Aguas Envasadas.....	57
3.2. Fase 2. Diseño de la Planta Envasadora de Agua Potable.....	60
3.2.1. Diseño de distribución en planta.....	60
3.2.2. Proceso productivo.....	64
3.2.3. Localización de la planta.....	65

3.2.4.	Balanceamiento de la línea de producción.....	66
3.3.	Fase 3. Estimación las Condiciones Óptimas de Operación de la Planta Envasadora de Agua Mediante el Uso del Software FlexSim®. ....	72
4.	Resultados y Discusión .....	75
4.1.	Reseña Histórica “Agua de Vida” .....	75
4.2.	Determinación de Muestra para Aplicación de Perfil Higiénico Sanitario.....	75
4.3.	Aplicación de la prueba de laboratorio .....	76
4.3.1.	Marca #1 seleccionada. ....	77
4.3.2.	Marca #2 seleccionada. ....	79
4.3.3.	Marca #3 seleccionada. ....	80
4.4.	Estimación de la demanda.....	83
4.4.1.	Análisis de tendencia de series de tiempos. ....	84
4.5.	Descripción del Proceso Productivo .....	91
4.5.1.	Estación de purificación del agua. ....	92
4.5.2.	Proceso de envasado. ....	93
4.5.3.	Empacado o embalaje. ....	94
4.5.4.	Diagrama de operaciones del proceso productivo.....	95
4.5.5.	Diagrama de proceso.....	96
4.6.	Área Administrativa de la Planta Envasada de Agua Potable.....	100
4.6.1.	Talento humano y gestión comercial. ....	100
4.6.2.	Gestión de la calidad. ....	100
4.6.3.	Contabilidad.....	100
4.7.	Áreas de Almacenamiento de la Planta Envasadora de Agua Potable.....	101
4.7.1.	Almacenamiento de materia prima. ....	101
4.7.2.	Almacenamiento final. ....	101
4.8.	Anchura de los Pasillos de la Planta Envasadora Agua Potable .....	101
4.9.	Localización de la Planta Envasadora “Agua de vida” .....	102
4.9.1.	Método Brown y Gibson.....	102
4.10.	Descripción de la maquinaria y equipos .....	108
4.11.	Listado para dotaciones.....	114

---

4.12.	Balanceamiento de la línea de producción.....	117
4.13.	Diagrama de Relaciones.....	119
4.13.1.	Diagrama de relaciones entre actividades de Richard Muther.....	119
4.13.2.	Hoja de trabajo de relación de actividades.....	121
4.14.	Requerimiento de espacio de cada estación y/o área de trabajo .....	121
4.14.1.	Determinación de los requerimientos de espacio en el área de producción.....	122
4.14.2.	Determinación de espacio del área administrativa.....	124
4.14.3.	Determinación del área para servicios auxiliares.....	124
4.14.4.	Determinación de áreas para almacenamiento.....	125
4.14.5.	Resumen del área total requerida.....	126
4.15.	Diseño de la Planta Envasadora de Agua.....	127
4.15.1.	Primera alternativa de la planta envasadora.....	128
4.15.2.	Segunda alternativa de la planta envasadora.....	129
4.16.	Levantamiento del diseño de la planta envasadora .....	131
4.17.	Simulación .....	132
4.17.1.	Simulación con FlexSim®.....	132
4.17.2.	Configuración del modelo en FlexSim® alternativa de producción primera.....	136
4.17.3.	Simulación en FlexSim® con segunda alternativa de producción.....	145
4.17.4.	Comparativo balanceamiento y FlexSim®.....	147
4.17.5.	Validación del sistema productivo.....	149
5.	Conclusiones.....	151
6.	Recomendaciones .....	153
7.	Referencias Bibliográficas.....	154
8.	Anexos.....	167
8.1.	Anexo 1.....	167
8.2.	Anexo 2. Ficha Técnica.....	168
8.3.	Anexo 3. Proceso de Balanceamiento.....	174
8.4.	Anexo 4. Procesos para aplicaciones de pruebas de laboratorio.....	193

### Lista de Tablas

Tabla 1. Propiedades Físicas.....	29
Tabla 2. Propiedades Químicas.....	30
Tabla 3. Límites de desinfección por coloración.....	31
Tabla 4. Propiedades Microbiológicas.....	31
Tabla 5. Calificación de cercanía.....	69
Tabla 6. Razón de cercanía.....	69
Tabla 7. Simbología y colores globales para cada cogido de cercanía.....	70
Tabla 8. Resultados de estratificación.....	76
Tabla 9. Resultados aplicación de prueba marca 1.....	77
Tabla 10. Resultados de aplicación de prueba a la marca 2.....	79
Tabla 11. <i>Resultados aplicación de prueba de laboratorio a la marca 3.</i> .....	80
Tabla 12. <i>Resumen de los resultados obtenidos en las pruebas de las 3 marcas.</i> .....	82
Tabla 13. <i>Constante de suavización exponencial.</i> .....	89
Tabla 14. <i>Resumen de los indicadores de error de cada modelo.</i> .....	89
Tabla 15. <i>Pronóstico</i> .....	90
Tabla 16. <i>Número de operación en el proceso productivo de planta envasadora de agua</i> .....	95
Tabla 17. <i>Simbología para la realización de diagrama de proceso.</i> .....	96
Tabla 18. <i>Relación de factor objetivo para cada sitio tentativo.</i> .....	106
Tabla 19. <i>Factor objetivo para cada localización, elaboración propia.</i> .....	106
Tabla 20. <i>Determinación y ponderación de los factores subjetivos.</i> .....	107
Tabla 21. <i>Ponderación de subjetiva para cada localización.</i> .....	107
Tabla 22. <i>Índice de localizaciones para las diferentes ubicaciones.</i> .....	108
Tabla 23. <i>Listado de maquinaria utilizada.</i> .....	109
Tabla 24. <i>Listado de dotación utilizado.</i> .....	114
Tabla 25. <i>Demanda.</i> .....	117
Tabla 26. <i>Resumen del balanceamiento de la línea de producción.</i> .....	118
Tabla 27. <i>Relación de actividades</i> .....	121

---

Tabla 28. <i>Requerimientos de espacio del área de producción.</i> .....	122
Tabla 29. <i>Requerimiento de espacio para los equipos auxiliares</i> .....	123
Tabla 30. <i>Resumen del total de área requerida para área de producción.</i> .....	123
Tabla 31. <i>Requerimiento de espacio para area administrativa.</i> .....	124
Tabla 32. <i>Área de servicios auxiliares.</i> .....	124
Tabla 33. <i>Determinación de espacio de almacenamiento final.</i> .....	125
Tabla 34. <i>Determinación de espacio para almacenamiento de materia prima.</i> .....	126
Tabla 35. <i>Resumen del área total requerida.</i> .....	126
Tabla 36. <i>Organización de los departamentos por importancia.</i> .....	128
Tabla 37. <i>Organización de departamentos.</i> .....	130
Tabla 38. <i>Comparativo de resultados de balanceamiento y FlexSim®.</i> .....	147
Tabla 39. <i>Parámetros de datos de producción simulados y reales.</i> .....	149
Tabla 40. <i>Demanda.</i> .....	167
Tabla 41. <i>Ficha técnica de presentación de agua envasada en bolsas</i> .....	168
Tabla 42. <i>Ficha técnica de presentación de agua envasada en botella de 600 ml.</i> .....	170
Tabla 43. <i>Ficha técnica de presentación de agua envasada en botellón de 19 L.</i> .....	171

### Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Sistema y su entorno.....	26
<i>Figura 2.</i> Distribución del agua.....	27
<i>Figura 3.</i> Ciclo hidrológico.....	28
<i>Figura 4.</i> Gráfico de control de calidad.....	35
<i>Figura 5.</i> Pasos para realizar gráficos de control.....	36
<i>Figura 6.</i> Distribución por posición fija, montaje de un bucle.....	39
<i>Figura 7.</i> Distribución por proceso.....	39
<i>Figura 8.</i> Células de fabricación.....	40
<i>Figura 9.</i> Paso de aplicación de la metodología SLP o aproximación de Muther.....	42
<i>Figura 10.</i> Proceso de jerarquización analítica.....	50
<i>Figura 11.</i> Metodología de simulación.....	54
<i>Figura 12.</i> Normativa vigente reguladora de la calidad del agua potable.....	56
<i>Figura 13.</i> Fases de la metodología, elaboración propia.....	57
<i>Figura 14.</i> Algoritmo para la aplicación de muestreo aleatorio estratificado.....	58
<i>Figura 15.</i> Metodología de estimación.....	73
<i>Figura 16.</i> Etiqueta de la planta envasadora de agua potable.....	75
<i>Figura 17.</i> Comportamiento de los parámetros pH, conductividad y turbidez de la marca #1 ....	78
<i>Figura 18.</i> Comportamiento de los parámetros pH, conductividad y turbidez de la marca #2....	80
<i>Figura 19.</i> Comportamiento de los parámetros pH, conductividad y turbidez de la marca #3....	81
<i>Figura 20.</i> Comportamiento de la demanda de agua envasada.....	83
<i>Figura 21.</i> Análisis de tendencia lineal de demanda.....	84
<i>Figura 22.</i> Análisis de tendencia cuadrática de la demanda.....	85
<i>Figura 23.</i> Comportamiento exponencial de la demanda.....	85
<i>Figura 24.</i> Descomposición de series de tiempo de la demanda, modelo multiplicativo.....	86
<i>Figura 25.</i> Descomposición de series de tiempo, aplicando el modelo aditivo.....	87
<i>Figura 26.</i> Aplicación de promedio móvil de demanda.....	87
<i>Figura 27.</i> Aplicación de metodología de suavización simple.....	88

<i>Figura 28.</i> Suavización exponencial doble para demanda. ....	89
<i>Figura 29.</i> Descripción del proceso productivo. ....	91
<i>Figura 30.</i> Diagrama de operaciones de planta envasadora de agua.....	95
<i>Figura 31.</i> Diagrama de procesos para bidones.....	97
<i>Figura 32.</i> Diagrama de proceso para botellas .....	98
<i>Figura 33.</i> Diagrama de procesos de bolsas .....	99
<i>Figura 34.</i> Primera opción de ubicación de la planta envasadora de agua potable .....	102
<i>Figura 35.</i> Distancia de agua de las sabanas hasta el balsamo .....	103
<i>Figura 36.</i> Segunda opción de ubicación de la planta envasadora de agua potable (Parque industrial de Sincelejo, (7HFV+29 Sincelejo).....	103
<i>Figura 37.</i> Distancia de aguas de la sabana-parque industrial de Sincelejo.....	104
<i>Figura 38.</i> Tercera opción de ubicación de la planta envasadora de agua potable (Bodega de Postobon 7HHW+C2 Sincelejo, Sucre).....	104
<i>Figura 39.</i> Distancia desde aguas de la sabana hasta la bodega de Postobón. ....	105
<i>Figura 40.</i> Relación entre los diferentes departamentos de la planta envasadora de agua.....	119
<i>Figura 41.</i> Diagrama de hilos de la planta envasadora de agua potable.....	120
<i>Figura 42.</i> Datos iniciales solicitados por CORELAP. ....	127
<i>Figura 43</i> Distribucion de espacio (Layout) de planta envasadora. ....	128
<i>Figura 44.</i> Datos suministrados a corelap para la obtencion de segunda alternativa.....	129
<i>Figura 45.</i> Layout de planta emborelladora, segunda alternativa. ....	130
<i>Figura 46.</i> Panorama del diseño de la planta envasadora de agua. ....	131
<i>Figura 47.</i> Generador de fluidos.....	132
<i>Figura 48.</i> Tanques de fluidos.....	133
<i>Figura 49.</i> Separador de fluidos. ....	133
<i>Figura 50.</i> Fluido a elemento.....	134
<i>Figura 51.</i> Procesador.....	134
<i>Figura 52.</i> Combinador .....	135
<i>Figura 53.</i> Banda transportadora .....	135
<i>Figura 54.</i> Fuente “Source” .....	135

<i>Figura 55.</i> Cola “Queue” .....	136
<i>Figura 56.</i> Modelo general de sistema productivo en FlexSim®.....	136
<i>Figura 57.</i> Configuración de generación de fluido.....	137
<i>Figura 58.</i> Configuración de cloración del agua. ....	137
<i>Figura 59.</i> Configuración de filtro de arena y grava. ....	138
<i>Figura 60.</i> Configuración de filtro de carbon activado. ....	138
<i>Figura 61.</i> Configuración de luz ultravioleta. ....	139
<i>Figura 62.</i> Configuración de entradas y salidas del proceso de luz ultravioleta .....	139
<i>Figura 63.</i> Configuración de Ozonizador.....	140
<i>Figura 64.</i> Distribución de porcentajes de litros de agua .....	141
<i>Figura 65.</i> Configuración de embotellado de agua (Botellas de 600 ml).....	141
<i>Figura 66.</i> Configuración de envasado de bolsas 360 ml.....	142
<i>Figura 67.</i> Configuración de la línea de llenado y sellado de bidones.....	142
<i>Figura 68.</i> Configuración de empacado de bolsas de 360 ml.....	143
<i>Figura 69.</i> Configuración de etiquetado de botellas.....	144
<i>Figura 70.</i> Configuración de proceso de empacado de pack de botellas de 600 ml.....	144
<i>Figura 71.</i> Almacenamiento final para productos terminados de las diferentes líneas de producción.....	145
<i>Figura 72.</i> Configuración de cuello de botella, filtros en paralelo.....	146
<i>Figura 73.</i> Proceso productivo bajo la segunda alternativa de producción.....	146
<i>Figura 74.</i> Adecuación del sistema productivo con maquinarias reales. ....	148
<i>Figura 75.</i> Representación gráfica de las líneas de producción. ....	149

## Resumen

Este trabajo de investigación tiene como objetivo el diseño de una planta purificadora y envasadora de agua potable en el municipio de Sincelejo; para esto, se aplicó un perfil higiénico sanitario teniendo como base la resolución 2115 de 2007 la cual señala las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano, además, se aplicó la metodología FLP, más específicamente métodos gráficos, por medio del software Corelap® y SweetHome® para realizar el diseño de planta, posteriormente, se utilizó el software FlexSim® para la simulación de la misma. De lo mencionado anteriormente, se obtuvo como resultado que, en algunas de las variables evaluadas, las muestras sobrepasan los valores límites permisibles, de acuerdo a esto, se obtuvieron las características ideales, para ofrecer un producto que asegure calidad, pureza y salubridad. Asimismo, se logró obtener el diseño de planta óptimo, cumpliendo con la normativa en cuanto a infraestructura y determinación de espacio. Por lo tanto, se concluye que la calidad del agua que se comercializa en el municipio de Sincelejo, Sucre, en cuanto a calidad, no se cumple con ciertos parámetros estipulados por la norma, tales como; magnesio, pH, turbidez, conductividad, nitritos, calcio, fósforo, del mismo modo, se puede afirmar que el diseño de planta es fundamental para garantizar el rendimiento de los procesos productivos y por medio de la simulación se puede evaluar el comportamiento de los mismo, con la finalidad de proponer alternativas de mejoras y optimización.

*Palabras clave:* Calidad de agua, diseño de planta, simulación, perfil higiénico sanitario, producción.

### **Abstract**

The objective of this research work is the design of a purifying and bottling plant for drinking water in the municipality of Sincelejo; for this, a sanitary hygiene profile was applied based on resolution 2115 of 2007, which indicates the characteristics, basic instruments and frequencies of the control and monitoring system for the quality of water for human consumption. In addition, the FLP methodology was applied, more specifically graphic methods, by means of the Corelap® and SweetHome® software to carry out the design of the plant, later, the FlexSim® software was used to simulate it. From the above, it was obtained as a result that, in some of the evaluated variables, the samples exceed the permissible limit values, according to this, the ideal characteristics were obtained, to offer a product that assures quality, purity and salubrity. Likewise, the optimal plant design was obtained, complying with the regulations regarding infrastructure and determination of space. Therefore, it is concluded that the quality of the water marketed in the municipality of Sincelejo, Sucre, in terms of quality, does not meet certain parameters stipulated by the standard, such as magnesium, pH, turbidity, conductivity, nitrites, calcium, phosphate, likewise, it can be said that plant design is fundamental to ensure the performance of production processes and through simulation can evaluate the behavior of the same, in order to propose alternatives for improvement and optimization.

*Keywords:* Water quality, plant design, simulation, sanitary hygienic profile, production.

## 1. Introducción

El presente proyecto muestra el proceso adecuado que se debe aplicar para la obtención de un diseño de planta óptimo, que cumpla con los requisitos mínimos y normativa vigente en cuanto a la ubicación de máquinas, infraestructuras y determinación de espacios en una planta productora.

El agua envasada, es un producto de gran consumo en la comunidad tanto así que se puede evidenciar su crecimiento constante año tras año. Esto tiene su explicación debido a que la percepción de este producto se ha ido mejorando, es decir, hay preferencia por el agua envasada en comparación al agua que suministra la fuente de acueductos. El crecimiento de esta industria es de aproximadamente 10% anual o incluso más en los últimos años, esto por supuesto genera un ambiente positivo para la implementación de este proyecto (Ramírez, 2017, pp. 12-16).

Debido a la importancia de la calidad del agua para el consumo humano, es necesario garantizar que esta sea la mejor y que se cumpla con todos los estándares mínimos requeridos para este fin. Ligado a ello, la desconfianza sobre la potabilidad del agua de grifo, ha generado que las comunidades tengan mayor apreciación hacia el agua envasada (Vidal, Consuegra, Gomezcaeres y Marrugo, 2009, pp 2 - 3).

Actualmente en el municipio de Sincelejo, Sucre, no se tiene disponibilidad de una planta envasadora de agua potable tratada, estructurada, es decir, solo se pueden identificar casas utilizadas para la purificación y envasado o establecimientos que se encargan solo de envasado y comercialización, por lo tanto por medio de este proyecto se busca proponer el diseño de una planta envasadora de agua potable tratada en el municipio de Sincelejo, Sucre, con la finalidad de dar cumplimiento a toda la normativa vigente en cuanto a infraestructura (Decreto 1175 de 2003, pp. 8-16) y calidad del agua (Resolución 2115 de 2007, pp. 3-5), buscando siempre el incremento del desarrollo económico e infraestructural del municipio y reduciendo la tasa de desempleo por medio de la generación de este, aprovechando los recursos disponibles y garantizando la sostenibilidad de los mismo.

Por lo tanto, el objetivo de este proyecto, consiste en el diseño y simulación de una planta envasadora de agua potable tratada, que cumpla con los requerimientos mínimos de la calidad del agua estipulados en la resolución 2115 de 2007, de modo que pueda ofrecer un producto de calidad, pureza y salubridad.

Para el proyecto de “diseño de planta envasadora de agua en el municipio de Sincelejo, sucre”, se realizó un análisis físico-químico de agua envasada que se comercializa en el municipio de Sincelejo, Sucre, donde se le aplicó unas pruebas de test de cubeta (pH, turbidez, conductividad, demanda química de oxígeno, magnesio, etc.) a las muestras de aguas que comúnmente se comercializa en el municipio, esto con la finalidad de conocer el estado en que se encuentra la agua que envasan en esta localidad, ya que, aunque cuenta con empresas dedicadas a realizar purificación o envasado, pero estas no cuentan con la infraestructura adecuada o exigida por el decreto 1175 de 2003 (por el cual se modifica el 3075 de 1997, así mismo determinar las condiciones de producción, el respectivo flujo de la materia prima, ubicación de la planta y representación gráfica de las condiciones o proceso productivo haciendo uso del software FlexSim® y poder obtener un producto que cumpla con todos los requisitos exigidos por la normativa vigente en cuanto agua envasada dirigida al consumo humano (Resolución 2115, 2007). Además por medio de este proyecto se busca mostrar una guía de diseño de planta aplicable a distintas industrias, haciendo uso de la metodología FLP, métodos gráficos, permitiendo tomar una buena decisión del diseño de planta.

## 2. Marco referencial

### 2.1. Antecedentes

Bacca y Díaz, (2009, pp. 1 - 15) realizaron un estudio bacteriológico de aguas envasadas producidas por dos empresas en el municipio de Girardot, en donde aplican de un perfil higiénico sanitario basado en el decreto 3075 de 1997 para detectar las deficiencias de las empresas en distintos aspectos, también realizan un análisis bacteriológico del agua envasada. Por medio de un informe concluyeron que las empresas en estudio están incumpliendo los requisitos mínimos exigidos por la norma, y que, además, se evidencia contaminación de agua en el proceso de potabilización por deficiencia en los procesos de desinfección.

Del mismo modo, en el municipio de Sincelejo Vidal et al. (2009, pp. 2 - 3) evalúan la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua envasada en bolsas con destino al consumo humano a través de los métodos; electrométrico, ácido ascórbico, yodo métrico y por último el método de filtración por membrana. Luego de analizar los resultados obtenidos concluyen que gran parte del agua envasada en bolsas de dicho municipio genera un riesgo a la salud de los consumidores, debido a la presencia de microorganismos patógenos.

Continuando con el estudio de la calidad del agua, Arroyo, (2014, pp. 1 - 37) lleva a cabo un diagnóstico general de la planta envasadora de agua purificada UG, para detectar las falencias en la elaboración de los productos, ejecutando un cuestionario basado en las BPM, donde busco identificar la situación en la que se encontraba la empresa en distintos aspectos, obteniendo como resultado debilidades en los aspectos que evalúa el decreto 3075 de 1997 que contribuyen en la calidad del producto final y es necesario tomar acciones inmediatas para lograr mejoras.

Quijada, (2015, pp. 1-12) Realizó un artículo científico “Caracterización bacteriológica del agua embotellada comercializada en la zona centro-oriental de Honduras” cuyo objetivo principal fue evaluar la calidad bacteriológica del agua envasada y asimismo los factores que pueden deteriorarla. Para esto, se hizo necesario tomar muestras del agua, tanto agua cruda como agua

tratada y realizar un análisis de cada una de estas, el cual se llevó a cabo mediante el método Quany-Tray. En donde luego de analizar los resultados llegan a la conclusión que los valores obtenidos sobrepasan los valores permitidos para el agua de consumo humano, y que en su mayoría el agua que se comercializa, no cumple con los requisitos mínimos bacteriológicos exigidos por la norma.

En cuanto al diseño de plantas varios autores han realizado estudio cuya finalidad es la adecuada distribución de las plantas, para lo que recurren a modelos matemáticos que les permita obtener una distribución óptima de la planta.

Gómez (2012, pp. 10 - 31) realizó una investigación, cuyo objetivo era la optimización de la distribución en planta de una empresa (TECMO SA) dedicada al diseño y fabricación de estructuras para cubiertas, fachadas, entresijos y en general todo tipo de edificios. En este trabajo sugirió una reubicación de la planta, aplicando la metodología de FLP o problemas de distribución, y así medio de la jerarquización analítica obtener un modelo que se ajuste a los criterios o factores críticos de la planta en estudio y dándole solución por medio de metaheurística, reconocido simulado. Obteniendo así una mejor secuencia de las maquinas.

Bajo la intención de diseño de una planta, Guzmán (2014, pp. 1 - 19) propuso un diseño de planta para la obtención de una bebida carbonatada derivada de la mora, donde comienza a realizar una caracterización de la materia prima, con el fin de realizar un análisis físico-químico de la misma y realizar un diseño de planta bajo los criterios resaltado en estos análisis. Teniendo como prioridad definir las fases o etapas necesaria para la obtención de esta bebida, además de tener en cuenta factores críticos que condicionan el diseño de una planta, tales como la demanda, capacidad, localización, entre otras, haciendo uso de AUTOCAD para el levantamiento del diseño, teniendo en cuenta la normativa vigente. Tomando la decisión de aplicar un diseño en “L”, por ventajas que le podría brindar bajo posibles ampliaciones futuras.

Por otro lado, haciendo enfoque en la metodología utilizada para el diseño de la planta envasadora de agua en el municipio de Sincelejo, Sucre Gómez y Rueda (2016, pp. 12 - 30) realizaron una investigación para darle solución al problema de distribución de planta (FLP), con la condición de planta con múltiples niveles y departamentos desiguales. Cuyo objetivo fue la disminución de los costos de flujo de material, por medio de la maximización de la adyacencia entre departamentos, aplicando la metaheurística de reconocido simulado, con la que se obtiene una solución óptima, es decir, brinda una secuencia de máquinas, que ayuda a cumplir con el objetivo. Lo cual apoya de forma positiva al desarrollo del proyecto, ya que en todos se tuvieron en cuenta criterios que se aplicaran al proyecto.

La simulación es una técnica utilizada para dar una visualización gráfica de los modelos o sistemas propuestos y así poder analizar los comportamientos de los factores claves o críticos seleccionados.

Aparicio y Tapias (2017, pp. 20 - 48) realizaron una simulación haciendo uso del software FlexSim, con lo que se buscó simular el proceso productivo de una planta de jamón curado en el municipio de Sincelejo, Sucre, con el fin de proponer recomendaciones y mejoras, realizando diagrama de relación de las actividades para obtener un diseño de distribución de planta óptimo. El cual es simulado por medio del software mencionado, dándole la oportunidad de evaluar el comportamiento de los factores críticos en el proceso productivo del jamón curado.

De igual manera la simulación de los sistemas se ha convertido en algo fundamental, ya que es una herramienta necesaria en la gestión de la logística general de una empresa, Peña y Forero (2012, pp. 16 - 71), realizaron la simulación del almacenamiento y distribución en la bodega de la distribuidora de papel de muebles y accesorios S.A, para el mejoramiento de sus sistemas de inventario, para lo que fue necesario el estudio de factores claves como demanda, tiempo de entrega, pedidos, entre otros y por medio del software ProModel describir el debido proceso y proponer uno nuevo brindando mejoras a la gestión del inventario.

## **2 Marco conceptual**

### **2.1.1. Agua.**

El agua, aunque es un elemento esencial, este comprende varios tipos de agua según su potabilidad, funciones o métodos de obtención, dentro de estos tipos se pueden identificar el agua cruda, potable, residuales, etc.

#### ***2.1.1.1. Agua cruda.***

Se conoce como ese tipo de agua que no ha recibido ningún tratamiento químico de alteración de sus componentes para su potabilización, este tipo de agua se encuentra en fuentes y en reservas naturales de aguas superficiales como ríos y lagos en su estado natural y también subterráneas, estas aguas son utilizadas comúnmente para la agricultura, la generación de energía, la minería, entre otras actividades de diferentes áreas en las que no se requiere su potabilidad (Ministerio de Protección Social, 2007, p. 1).

#### ***2.1.1.2. Agua residual.***

También llamadas aguas negras, se refieren a ese tipo de agua que no tiene un valor inmediato, es decir, no se puede utilizar para la actividad realizada, sin antes aplicarle algún tipo de tratamiento, según plasma (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] 2018, p. 1). Cuando hablamos de aguas residuales, se hace referencia a los tipos de agua resultantes de las actividades diarias cuya calidad se vio afectada negativamente, tales como; domésticas, industriales o de servicios; Pero dichas aguas producidas por una persona pueden ser de beneficios para otra persona, aplicándole un tratamiento básico que le permite la reutilización.

### ***2.1.1.3. Agua potable.***

Según el decreto 1575 (2007, p. 1) declara el agua potable como aquella que cumple con todas las características físicas, químicas y microbiológicas que la declaran apta para el uso alimenticio y doméstico, es decir, es el tipo de agua que puede ser consumida sin tener o presentar un efecto adverso a la salud.

### ***2.1.1.4. Agua envasada.***

Es un derivado del agua potable, es decir, es el tipo de agua tratada apta para el consumo humano, que se comercializa como un producto de la industria alimenticia.

Dentro de la mayoría de los tipos de aguas se hace necesaria la aplicación de tratamientos que regulan o sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla potable de acuerdo a las condiciones establecidas en la normativa (Defensoría del Pueblo, 2009, pp. 24-76).

## **2.1.2. Perfil Higiénico Sanitario.**

Un perfil higiénico sanitario, es una herramienta que se utiliza a determinar el grado o índice de cumplimiento de los aspectos que se estipulan en la normativa vigente, es decir, por medio de un perfil se busca determinar las condiciones de elaboración del alimento en cuanto al cumplimiento de la normativa que lo rige (Flórez, 2010, pp. 13-20).

## **2.1.3. Análisis de series temporales.**

Un análisis de series temporales, es una sucesión de N observaciones de una variable tomadas en diferentes instantes de tiempos, con la finalidad de elaborar modelos estadísticos que nos describa la evolución de la variable, predecir el comportamiento futuro de la variable o simplemente contrastar una hipótesis planteada (Aneiros, 2008, p. 6 - 8).

Una serie temporal, puede clasificarse como estacionaria o no estacionaria, dependiendo si su media y su variabilidad se mantienen constante o varían a lo largo del tiempo.

#### **2.1.4. Pronóstico de la demanda.**

El pronóstico se conoce como el arte de predecir el futuro, teniendo como base una serie de datos históricos. La demanda ha sido una variable que condiciona el comportamiento de una industria o empresa, por lo tanto, se requiere tener claridad de esta para una planeación efectiva, Los pronósticos de demanda se pueden obtener por medio de diferentes herramientas matemáticas o intuitivas, las cuales requieren insumos como demanda de años, meses o semanas anteriores, dependiendo la necesidad (Méndez y López, 2014, pp. 1 - 10).

#### **2.1.5. MAPE (Error porcentual Absoluto Medio).**

Para la determinación adecuada de pronóstico de la demanda, uno de los indicadores más importantes a tener en cuenta es el MAPE, ya que, por medio del error porcentual absoluto, se mide el tamaño del error en términos porcentuales (Fayad, Fortich y Vélez, 2009, pp. 2 - 3).

#### **2.1.6. Modelos de análisis de series de tiempo.**

##### ***2.1.6.1. Regresión lineal simple.***

Es una técnica estadística utilizada para la obtención de pronóstico por medio del estudio de relación entre dos variables, es muy utilizada debido a que facilidad de aplicación y herramientas computacionales para hacerlo. El objetivo de esta técnica es explorar y cuantificar la relación entre una variable llamada dependiente (y) y una independiente (x), y poder desarrollar una ecuación con fines predictivos (Carollo, 2012, pp. 2 - 3).

### ***2.1.6.2. Regresión cuadrática.***

El análisis de regresión cuadrática, es aplicado como alternativa cuando el análisis de regresión lineal no logra un coeficiente de determinación apropiado o en otro caso cuando el caso en estudio presenta comportamiento parabólico, pero la finalidad de este modelo es similar al anterior descrito, encontrar y cuantificar la relación existente entre dos variables, con la finalidad de obtener un ecuación con fines predictivos, que se adecue de mejor forma al comportamiento de los datos (Reyes, 2014, pp. 1 - 2).

### ***2.1.6.3. Regresión exponencial.***

Es un tipo de regresión que condiciona a que la relación entre las dos variables en estudio debe dar positivo, la finalidad de estas identificar y cuantificar la relación entre dos variables pero bajo la condición que dicha grado de relación debe ser positivo, su aplicabilidad se da cuando la regresión lineal o cuadrática, ofrecen coeficientes de determinación no apropiados (Olivas, Castañeda, Diaz, Rodríguez, Legarreta, Medina y Guzmán, 2017, p. 7).

### ***2.1.6.4. Promedio móvil simple.***

Este método de pronóstico, utiliza los ultimo n valores de los datos históricos y los promedia, obteniendo de forma rápida un pronóstico para el próximo periodo, lo de móvil es porque a medida que se agrega un nuevo dato a la serie de tiempos se va eliminando el dato más antiguo de la serie (Villareal, 2016, pp. 16 - 22).

### ***2.1.6.5. Suavización exponencial simple.***

Este modelo de análisis de series de tiempo, se utiliza cuando la demanda no tiene una tendencia o estacionalidad observable, es usualmente utilizado para pronóstico de corto plazo, hace

uso de un coeficiente llamado alfa, el cual incrementa el asertividad del pronóstico ofrecido (Ramos y Bacca, 2014, p. 10).

#### ***2.1.6.6. Suavización exponencial doble.***

A diferencia de la suavización exponencial simple que realiza una sola suavización, por medio de este modelo se requiere aplicar dos suavizaciones, uno es el valor suavizado de la serie y otro el cambio de la tendencia a través del tiempo, es por esto que requiere tanto un alfa como una beta, las cuales deben estar entre cero y uno. Es muy aplicable cuando la serie de tiempo que se está analizando tiene una tendencia y no es estacional (Ramos & Bacca, 2014, p. 10).

#### ***2.1.6.7. Descomposición multiplicativa.***

Es un modelo de análisis de series de tiempo que se utiliza siempre y cuando la magnitud de las fluctuaciones de la serie que se está analizando, no varía, aunque cambie la tendencia (Aneiros, 2008, p. 17).

#### ***2.1.6.8. Descomposición aditiva.***

En el caso de la descomposición aditiva, este tipo de modelo de análisis de serie de tiempo, se diferencia de por qué la magnitud de sus fluctuaciones crece o decrece proporcionalmente a medida del crecimiento o decrecimiento de la tendencia de la serie de tiempo (Aneiros, 2008, p. 16).

#### **2.1.7. Simulación.**

La simulación se define como una técnica que busca representación de un proceso real, por medio de diferentes modelos o sistemas que garanticen la reacción de realidad del proceso según lo plasma Shannon (1975, pp. 7 - 10). Así mismo se puede referir a la simulación como una técnica

cuantitativa que busca describir el comportamiento de un proceso o modelo durante cierto periodo de tiempo.

Sistemas, se pueden definir como conjunto de elemento interrelacionado entre sí para lograr un objetivo común. Un concepto más claro de sistema, se logra evidenciar en el Fig. 1, se muestra a continuación:

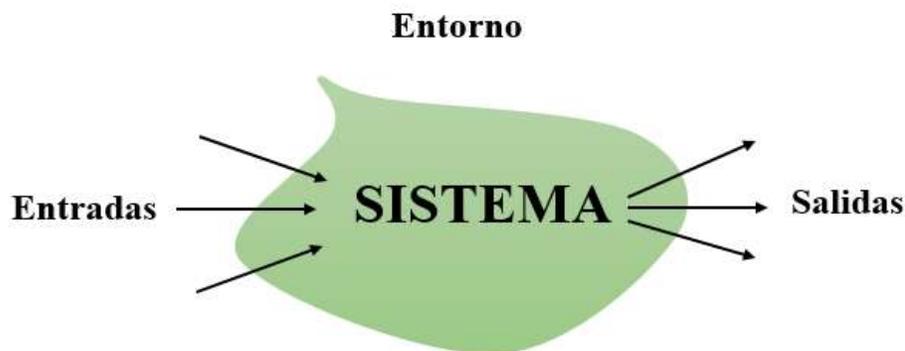


Figura 1. Sistema y su entorno. Extraído de Padilla, (2014, p. 1).

Fuente: Elaboración propia

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. Agua.

El agua es un elemento esencial para los seres humanos, debido a las propiedades que tiene para la conservación o desarrollo de la vida, además de esto, el agua se ha convertido en un elemento necesario para el desarrollo de las sociedades, ya que es utilizado en las diferentes áreas; industria, agricultura, minería, entre otras. Por medios de las cuales la humanidad ha ido evolucionando. (Fernández, 2012, pp. 1 - 3).

Actualmente, estamos rodeados de un 70% de agua o elemento vital como se le es conocido; este porcentaje se encuentra comprendido entre océanos, mares, lagos, ríos, entre otras fuentes hídricas. Pero no toda esta agua está destinada al consumo humano, solamente el 2.5% del agua de la tierra es dulce, es decir que el porcentaje restante es agua salada o se encuentra atrapada en hielo permanente o en forma de nieve, como se logra evidenciar en la distribución del agua (Fig. 2). (Fuentes y Amabiles, 2013, pp. 2 - 3).

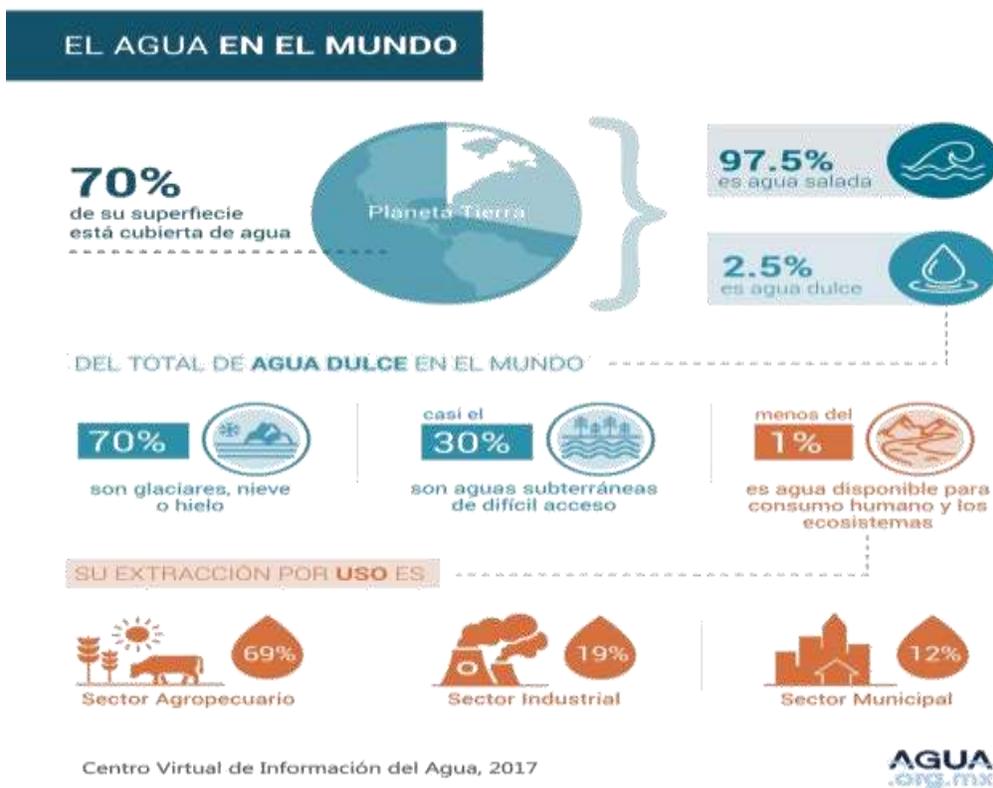


Figura 2. Distribución del agua. Fuente: agua.org.mx

Además, el agua es catalogado como un recurso renovable pero que en cualquier momento puede acabarse, ya que en el año se evaporan aproximadamente  $505.000\text{km}^3$  de agua de los océanos, aunque la mayoría de esta agua regresa, debido al ciclo natural del agua o también llamado “Ciclo hidrológico”, donde con ayuda de la energía emitida por el sol, se presentan la evaporación y por consiguiente la precipitación, como se logra evidenciar en la Fig. 3 (Fernández, 2012, p. 2).

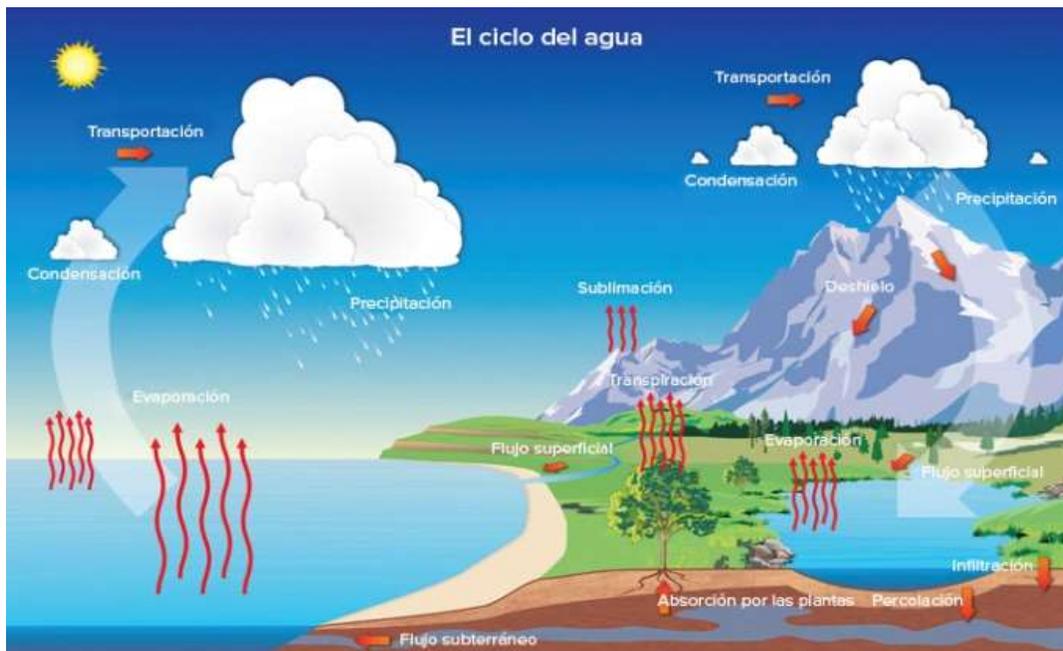
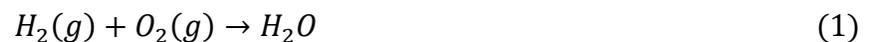


Figura 3. Ciclo hidrológico, extraído de Khan Academy.

Desde la perspectiva de la química el agua está compuesta por elementos tales como; oxígeno(O) e hidrogeno (H), de los cuales requiere dos átomos de oxígeno y dos de hidrogeno, unidos por medio de un enlace covalente polar, formando así la molécula del agua H<sub>2</sub>O, como se evidencia en la siguiente ecuación:



La molécula del agua se conoce como polar, ya que el oxígeno queda cargado negativamente y los hidrógenos con cargas positivas, esto le permite al agua unirse con otras moléculas es por eso que el agua actúa como el solvente por excelente ya que permite el enlace con la mayoría de las moléculas (Fuentes y Amabiles, 2013, p. 3).

En cuanto al consumo humano, es cierto que el agua es un recurso indispensable para la supervivencia, ya que permite el funcionamiento de ideal del organismo ya que la mayoría de este

se encuentra conformado por agua. Pero igualmente es el portador o el medio por el cual muchos microorganismo o parásitos causantes de muertes de desplazan, es por eso que cabe la necesidad del consumo de un agua potable, es decir, tratada apta para el consumo humano (Córdoba, Del Coco y Basualdo, 2010, pp. 3 - 4).

### 2.2.1.1. Condiciones de calidad.

La calidad del agua es fundamental para la aceptación de potabilidad de la misma, y no es más que la comparación de las características físicas, químicas y microbiológicas de dicha agua con las condiciones estipuladas en las diferentes normativas vigentes para calidad del agua.

En Colombia, existen varias normas encargadas de controlar que se cumplan con los requisitos o los criterios mínimos para la calidad del agua, dentro de las cuales se estipulas los parámetros de calidad que se deben cumplir para la potabilidad, los cuales se relacionan en la Tabla 1.

Tabla 1.

#### *Propiedades Físicas.*

<b>Características</b>	<b>Expresada en</b>	<b>Valor máximo permitido</b>
Color	Unidades platino cobalto UPC	15
Olor y sabor		Inobjetable
Turbiedad	Unidades nefelometrías	2
Sólidos totales	Mg/l	200
Ph		6.5-9.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la resolución 2115 (2007, pp. 2 - 4)

Tabla 2.

*Propiedades Químicas.*

Características	Expresada en	Valor máximo permitido
Aluminio	Al	0.2
Arsénico	As	0.05
Bario	Ba	1.0
Boro	B	1.0
Cadmio	Cd	0.005
Cianuros	CN	0.1
Cobre	Cu	1.0
Cromo	Cr+6	0.05
Fenoles	Fenol	0.001
Mercurio	Hg	0.001
Nitritos	NO <sub>2</sub>	0.1
Nitratos	NO <sub>3</sub>	15.0
Plata	Ag	0.05
Plomo	Pb	0.01
Selenio	Se	0.01
Sustancias activas		
Al Azul de metileno	ABS,ALS	0.5
Grasas y aceites	Grasas y aceites	No detectable
Cloruros	Cl-03	250
Dureza total	CaCO	150
Hierro total	Fe	0.3
Magnesio	Mg o CaCO <sub>3</sub>	36
Manganeso	Mn	0.1
Sulfatos	SO <sub>4</sub>	250
Sodio	Na	200
Cinc	Zn	5.0

Fuente: Elaboración propia a partir de 2115 (2007, pp. 2 - 4)

Tabla 3.

*Límites de desinfección por coloración.*

	Mínimo	Máximo
Cloro residual libre	0.5 mg/lit	1.0 mg/lit
Cloro total	0.5 mg/lit	1.2 mg/lit

Fuente: Elaboración propia a partir de la resolución 2115 (2007, pp. 2 – 4).

Tabla 4.

*Propiedades Microbiológicas.*

	n	M	M	C
NMP Coliformes totales	3	-	< 2/100 ml	0
NMP Coliformes fecales	3	-	< 2/100 ml	0
NMP Pseudomona aeruginosa	3	-	< 2/100 ml	0

Fuente: Elaboración propia a partir de la resolución 2115 (2007, pp. 2 – 4)

## Índices microbiológicos permisibles

n = Número de muestras a examinar

m = Índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad

M = Índice máximo permisible para Identificar nivel de calidad aceptable

c = Número de muestras permitidas con resultados entre n y M

< = Léase menor de

> = Léase mayor de

Para poder cumplir con estos parámetros de calidad de agua que estipula la normativa vigente en Colombia, es necesario exponer a esta a ciertos tratamientos los cuales garantizaran su potabilización, dentro de los principales tratamientos se encuentran:

Cribado, es un proceso de tratamiento que tiene como finalidad eliminar los sólidos de mayor tamaño que se encuentren en el agua, (Piedras, plásticos, etc.), también es conocido como tamizado, ya que se hace uso de un tamiz para retener este tipo de materiales (Chulluncuy, 2011, p. 5).

Otro tratamiento principal aplicable al agua para su potabilización es Coagulación y floculación, por medio de la coagulación se le aplica coagulantes (Sulfato de aluminio, sulfato férrico, etc.) al agua con la finalidad de desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en el agua y luego por medio de la floculación dichas partículas se comienzan a unir creando una especie de masa llamada floc, la cual es extraída del agua tratada, por medio de este tipo de tratamiento se remueve la turbiedad, color y algunos microorganismos patógenos como virus y bacterias que salen en las partículas desestabilizadas.

Continuando con los tratamientos principales que se le puede aplicar al agua, se encuentra la sedimentación, proceso mediante el cual se busca separar las partículas en suspensión presentes en el agua, con la observación que dichas partículas deben ser más densas que el agua, por lo que es un proceso físico que se enfoca en la remoción de la turbiedad (Chulluncuy, 2011, pp. 5 - 10).

La filtración es un proceso similar al tamizado o cribado mencionado anteriormente, solo que en este se realiza para determinar partículas y pequeñas cantidades de microorganismos (Bacterias, virus, etc.), haciendo uso de un medio poroso (lecho filtrante).

Desinfección, es el último proceso de tratamiento del agua, por medio de este se busca eliminar los organismos potencialmente infecciosos, para esto se hace uso de Cloro o puede usarse

también ozono, los cuales son bastante usados en este tipo de tratamientos (Orellana, 2005, pp. 3 - 4).

### **2.2.2. Metodologías para el perfil higiénico sanitario.**

Cuando se habla de calidad es necesario hacer la asociación con inocuidad ya que está junto a los diferentes propiedades organolépticos, químicos y físicos, componen lo que se llaman condiciones de calidad, por medio de la inocuidad se busca garantizar que los alimentos no afecten la salud de los consumidores (Matos, Guzmán, Escalona y Otero, 2005, pp. 1 - 5).

Para la el diseño y aplicación de un perfil higiénico sanitario, es necesario tener una normativa base con la cual se tomarán los aspectos a evaluar y comparar con los valores permisibles al momento de ejecutar la evaluación (González y Palomino, 2012, pp. 4 - 12).

Para el diseño y aplicación de un perfil higiénico sanitario es necesario tener en cuenta ciertos aspectos, fundamentales para garantizar la eficiencia del perfil aplicar los cuales se encuentran estipulados en la normativa base o soporte del estudio. Para el diseño se tabula en un software ofimático los aspectos que estipula la normal y frente de cada uno de ellos un espacio para determinar el valor o escala de cumplimiento en que se encuentra el alimento o sitio en cuanto dicho factor (Bedoya, Luna & Jiménez, 2015, pp. 2 - 5).

Posterior a la toma de datos, se analizan cada uno de ellos si cumple o se encuentra dentro del rango estipulado por la normativa, en este caso sería la resolución 2115 de 2007, con la finalidad de ofrecer condiciones básicas que debe cumplir el producto a fabricar.

### **2.2.3. Muestreo aleatorio simple.**

El muestreo aleatorio simple, se caracteriza porque cada elemento o unidad de una población tiene la misma posibilidad o probabilidad de ser seleccionado, es un método de fácil aplicación (López, 2004, pp. 1 - 6).

#### 2.2.4. Muestreo aleatorio estratificado.

El muestreo aleatorio estratificado, es un tipo de muestro, cuya que se utiliza cuando la población se puede distinguir por grupos, subgrupos que se puede identificar con facilidad llamado estratos, para la obtención de muestras por estratos se puede aplicar:

##### 2.2.4.1. Afijación uniforme.

Este medio consiste en tomar el tamaño de la muestra y distribuirlo de igual manera entre los estratos determinados (Santana, 2017, pp. 1 - 2). Para lo cual, la formula determinada es:

$$n_i = \frac{n}{k} \quad (2)$$

Dónde:

$n_i$  = Tamaño de la muestra para el estrato  $i = 1, 2, 3 \dots m$

$n$  = Tamaño de la muestra

$k$  = cantidad de estratos determinados.

##### 3.2.4.2. Afijación proporcional.

Esta clase de muestreo consiste en distribuir proporcionalmente el tamaño total de la muestra al tamaño considerable de cada estrato, aplicando la siguiente formula:

$$n_i = n * \frac{N_i}{n} = n * p_i \quad (3)$$

$n_i$  = Tamaño de la muestra para el estrato  $i = 1, 2, 3 \dots m$

$n$  = Tamaño de la muestra

$N_i$  = Cantidad de elementos del estrato  $i = 1, 2, 3 \dots m$  en la muestra.

$P_i$  = proporción del estrato  $i$  en la muestra  $n$ .

### 2.2.5. Gráficos de calidad.

Los gráficos de control de calidad son representaciones graficas que se realizan por medio de ejes cartesianos, en este, se indica el número de la muestra o tiempos obtenidos (eje horizontal) y los valores observados en las muestras (eje vertical). Estos gráficos están compuestos tres líneas; Limite central (LC) que es la norma de calidad, límite inferior de control (LIC) y límite superior de control (LSC) como se muestra en la Fig. 3 (Huerga, Blanco y Abad, 2005, pp. 3 - 4).

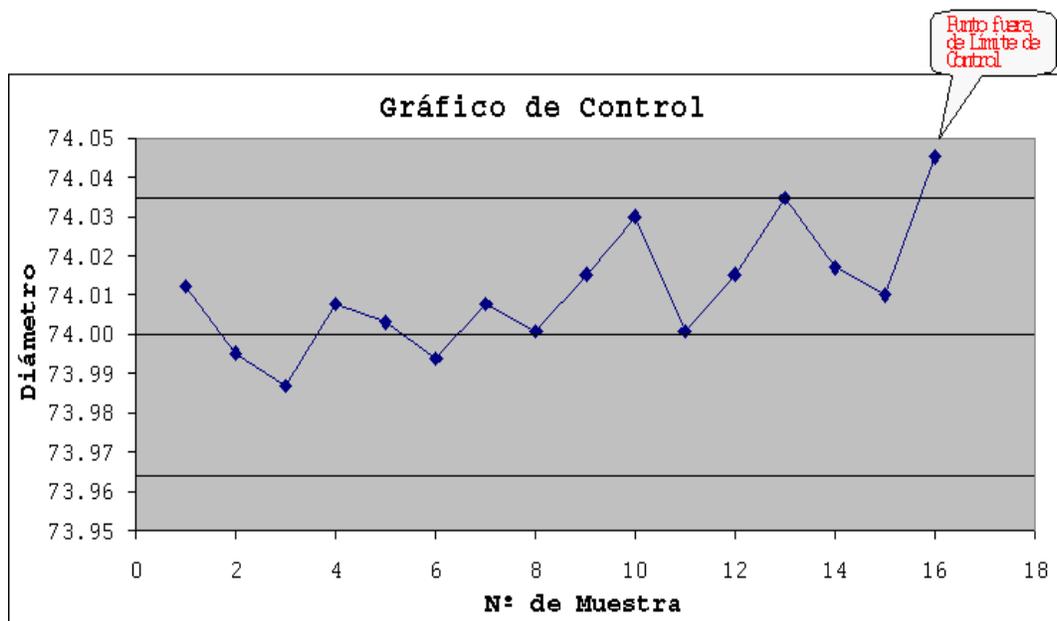


Figura 4. Gráfico de control de calidad

Estos gráficos de control son utilizados para evaluar la estabilidad de un proceso, es decir, ayudan a identificar cuando un proceso se encuentra estable o fuera de control. Stubbs (2003, pp. 37 - 38) además de llevar el control como su nombre lo indica de los procesos o variables en estudio y por último, pero no menos importante, por medio de estos gráficos se confirman la mejora de los diferentes procesos, son unas de las herramientas de calidad mayormente usada.

Los gráficos de control están divididos en diferentes tipos como lo son:

- **Gráficos de control por variables:** Que es un método por medio del cual se controla de forma estadística un proceso, con la finalidad de detectar cuando se encuentre fuera de control. Dentro de esta encontramos las cartas de control X-R, las cartas de control X- S.
- **Graficas de control datos individuales:** Este tipo de grafica es usada o aplicada cuando no se puede conformar subgrupos racionales
- **Gráficos de control por atributos:** Los gráficos de control por atributo se encuentra constituida por las cartas de control  $p$ , las cartas de control  $np$ , las cartas de control  $c$  y las cartas de control  $u$ . (Velásquez, 2013, p. 22)

Para realizar un gráfico de control es necesario seguir unos pasos, aunque en la actualidad hay muchos softwares que facilitan la realización de este tipo de gráficos de control, de los más utilizados se encuentra Microsoft Excel®, SoftExpert CEP®, Infinity QS<sup>T</sup>®, entre otros (Pombo, 2010, pp. 8 - 12).

A nivel general se requiere realizar los siguientes pasos:

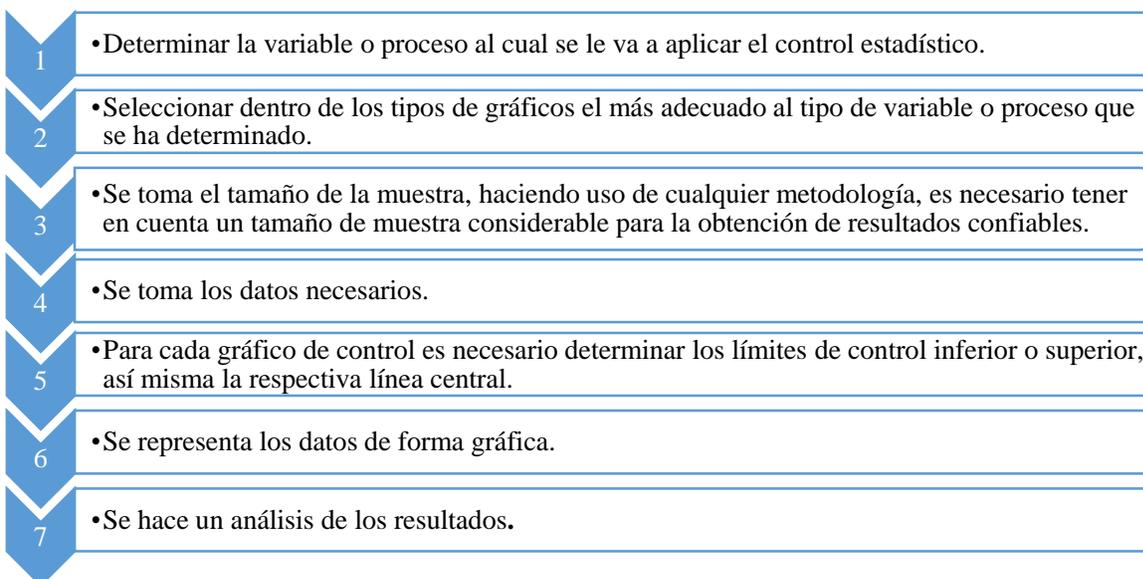


Figura 5. Pasos para realizar gráficos de control.

### 2.2.6. Distribución En Planta.

La distribución en planta se encuentra relacionada con la disposición de maquinaria, departamentos, estaciones de trabajo, áreas de almacenamiento, los pasillos y los espacios comunes dentro de una instalación productiva, con esto se busca incrementar la producción, reducción de los tiempos de producción, ahorro del área ocupada, entre otros, según lo plantean Barón y Zapata (2012, pp. 18 - 27). Es decir, la finalidad de la distribución en planta es organizar estos elementos de tal manera que se garantice la correcta fluidez de material, de personas e información.

Cuando se toma la decisión de gestionar o aplicar una distribución en planta, se tiene varias cosas en la mente, pero el principal motivo por el cual se decide hacerlo es con el propósito de maximizar la eficiencia de los procesos de la empresa, es decir, siempre van enfocados en aumentar la productividad, (Centros Europeos de Empresas Innovadoras de la Comunidad Valenciana [CEEI - CV] 2008, pp. 13 - 29). La distribución en planta es un elemento que hace parte de estrategias tales como Lean o just in time, las cuales exaltan o dan a conocer la importancia de este elemento dentro de una empresa (Zandin, 2004, pp. 2050 - 2067).

Para reconocer una buena distribución en planta es necesario tener como base los seis principios claves de Muther (1970, pp. 19-21), los cuales se exponen a continuación:

- **Principio de la integración de conjunto:** Por medio de la distribución en planta se debe garantizar la unión de hombre, maquinaria y materiales, de tal forma que se convierta la empresa en una gran unidad. Pero no solamente que sea adecuadas para los operarios directos, también debe ser ideal para personal indirecto de la empresa, de allí radica lo integral de la distribución en planta.
- **Principio de la mínima distancia recorrida:** En este segundo lo que se busca es la distribución en planta debe minimizar la distancia que debe recorrer los materiales

durante el flujo de trabajo, es decir, uno de los aspectos principales para la selección de una distribución en planta es la distancia entre operaciones, es decir el recorrido de materiales.

- **Principio de circulación o flujo de materiales:** Este principio es un complemento del mencionado anteriormente, por medio de este se busca que el material siga progresivamente sin tantos obstáculos hacia su terminación.
- **Principio de espacio cubico:** Una buena distribución busca la optimización del espacio, garantizar que se economice espacio, de forma vertical u horizontal, no solamente utilizar el espacio del suelo, sino también la tercera dimensión de la fábrica.
- **Principio de la satisfacción y la seguridad:** La mejor distribución en planta es aquella que logra garantizar que se produzca lo requerido y que además de eso ofrezca seguridad a los obreros de la empresa, evitar someter a los trabajadores a riesgos o accidentes.
- **Principio de la flexibilidad:** Una distribución en planta debe estar dispuesta a cambios, con los constantes avances y transportes que surgen, es necesario que la distribución garantice que la empresa puede enfrentar cualquier cambio que se pueda presentar, es decir, poder readaptarse en caso de que se requiera.

Además de tener en cuenta los principios básicos que debe cumplir una distribución en planta, al momento de decidir realizar un diseño o aplicar una metodología de distribución, es necesario definir el tipo de distribución que se trabajará, el manual de distribución en planta del centro europeo de empresas innovadoras de la comunidad de Valencia (CEEI – CV, 2008), define varios tipos de distribución, los cuales son un aspecto clave para el diseño de la distribución de la planta:

- **Ubicación fija:** Es el tipo de distribución en la cual el material permanece en una posición desde el inicio del proceso, hasta el final del mismo, los que se movilizan son los operarios o las diferentes maquinas a utilizar, este tipo de distribución se utiliza para el montaje de barcos, aviones, los cuales por su peso o dimensiones se dificulta su transporte, como se logra ver en el Fig. 6.



Figura 6. Distribución por posición fija, montaje de un bucle, imagen extraída de (Larez, 2016, pp. 1)

- **Fabricación por proceso:** En este tipo de distribución en planta, son las maquinarias las que se encuentran fijas y los operarios se dirigen a estas con los respectivos materiales necesarios para llevar a cabo el proceso productivo, tienes muchas ventajas ya que permite mayor utilización de las maquinas en comparación a la de ubicación fija, adaptabilidad a la demanda y por consiguiente flexibilidad (Gráfico 7).

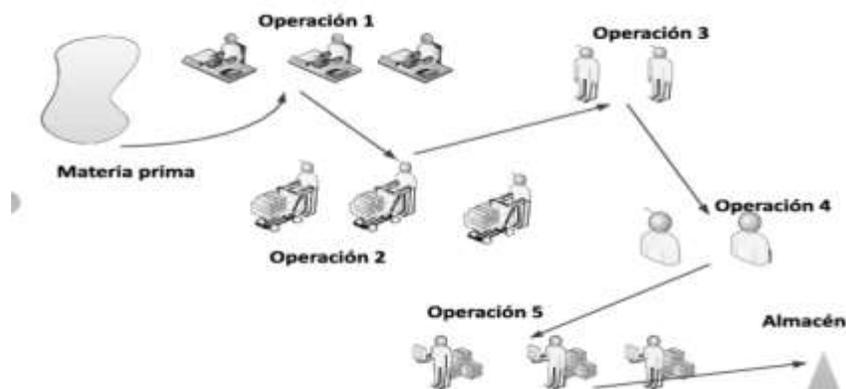


Figura 7. Distribución por proceso, extraída de (Rearchgate, 2014, p. 1)

- **Línea de producción:** Por medio de este tipo de distribución se mantiene fija tanto la maquinaria como el operario, ya que el material sigue una sola línea hasta llegar a almacenamiento final, la mayoría de veces el movimiento del material se realiza de forma automatizada. Es enfocada para grandes volúmenes de producción.
- **Célula de fabricación:** Se conoce como una extensión de la línea de producción, es decir, realizar la de la misma forma en pequeños grupos de máquinas llamados células. Al igual de las líneas de producción se utiliza para grandes volúmenes, ya que de cada célula salen diferentes mono productos (CEEI - CV, 2008, p. 16).

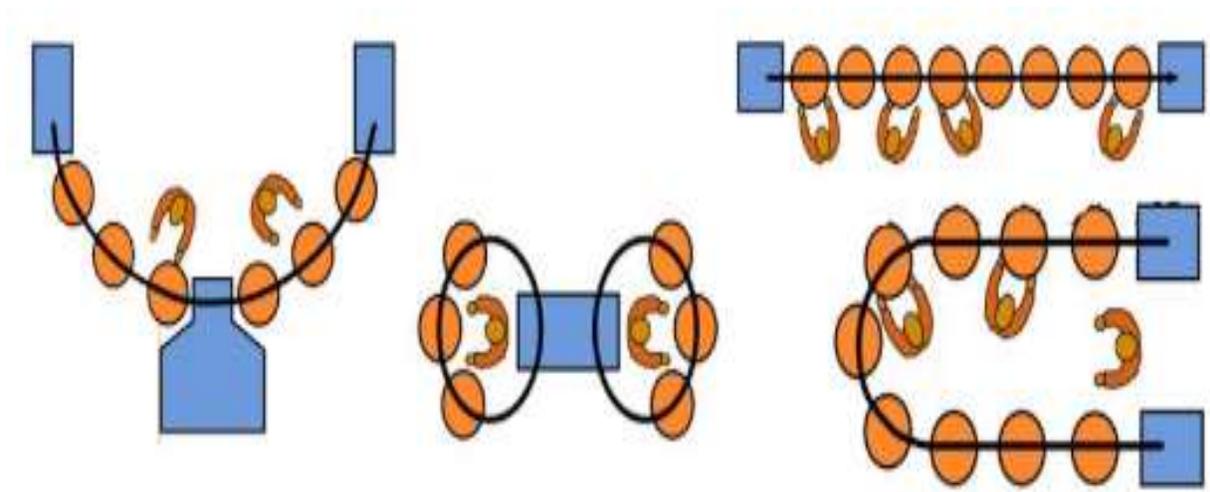


Figura 8. Células de fabricación recuperada de (Allain, 2016, p. 1)

Cuando se logra definir aspectos como tipo de distribución de una empresa y se tiene como base los seis principios se garantizan un diseño de distribución en planta eficiente, Pero realizar todo el procedimiento de estudio de los diferentes aspectos, es catalogado, problemas de distribución en planta o FLP (Facility layout problem), los cuales tienen varias formulaciones o metodologías para el diseño eficiente de la distribución de una planta desde un entorno cualitativo o cuantitativo o mezcla entre los dos.

### ***2.2.6.1. Metodologías cualitativas.***

Una de las primeras metodologías dentro de las formulaciones FLP, es la aproximación de Muther, dentro del catálogo de las cualitativas.

#### ***2.2.6.1.1. Aproximación de Muther.***

Esta metodología tiene un enfoque sistemático, es utilizada la mayoría de veces para el diseño de nuevas plantas. Sin embargo, la precisión de sus datos es cuestionable, El objetivo de esta formulación es encontrar dos o más departamentos que tengan una alta relación lógica cenarnos o adyacentes a lo largo de la planta, para llevar acabo la aproximación es necesario la aplicación de los siguientes pasos (Gómez, 2012, p. 16):

- ✓ Análisis de recorrido del material, en el cual se busca analizar las relaciones lógicas entre cada departamento. Aquí se debe tener en cuenta las condiciones por las cuales un departamento no puede estar adyacente a otro.
- ✓ En el segundo paso ya procede conocer los requerimientos de espacio de cada departamento o proceso.
- ✓ Continuando con el tercer paso, donde se grafica un diagrama de relaciones entre departamento que, a diferencia del primero, acá se cataloga el nivel de importancia entre estos dos, utilizando letras (A, E, I, U, X) en donde A corresponde a muy importante, E a medianamente importante, I a importante, u poco importante y x corresponde a no deseable.
- ✓ En el cuarto paso se grafica la distribución con los respectivos departamentos, se puede utilizar diagramas de bloques, se genera el número de distribuciones que se consideren y se imprime.

- ✓ Teniendo el número adecuado de distribuciones se le asigna una ponderación a diferentes factores para evaluar cada una de las opciones de distribución disponibles, teniendo en cuenta la importancia de las relaciones.
- ✓ Ya por último se selecciona la opción que ofrece mayor ponderación después de la evaluación de la misma.

Esto se puede explicar de forma más detallado o entendible al observar el Fig. 9, de diagrama de flujo para la aplicación de esta metodología.

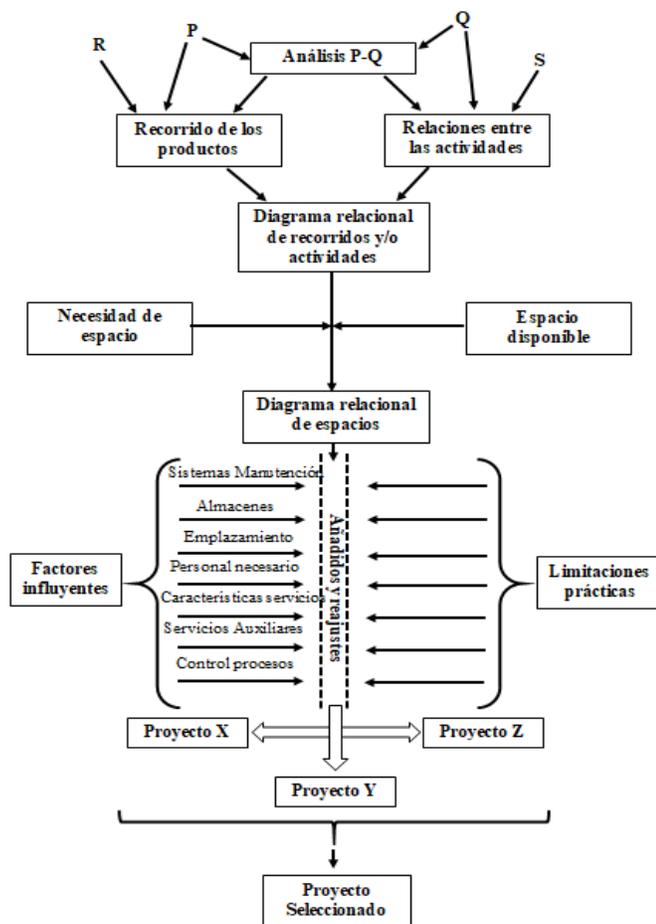


Figura 9. Paso de aplicación de la metodología SLP o aproximación de Muther. recuperado de González, (2007, p. 24).

### 2.2.6.1.2. Métodos gráficos.

Las aproximaciones gráficas, son metodologías que entran dentro de las cualitativas, ya que tienen como base muchos supuestos, así como la metodología anteriormente mencionada, es decir, se supone la cercanía deseada entre dos departamentos o localizaciones (Kusiak & Heragu, 1987, pp. 1 - 23).

La formulación general que usa estas aproximaciones para graficas la distribución en planta es la siguiente:

$$\text{Max } Z = \sum_i \sum_j W_{ij} * X_{ij} \quad (4)$$

**Sujeto a:**

$$X_{ij} = 1 \{i, j\} \in N$$

$$W_{ij} = 0 \{i, j\} \in F$$

**Dónde:**

$W_{ij}$  : Es el nivel de cercanía deseado entre el departamento  $i$  y  $j$

$X_{ij}$  : Variable binaria, que toma valores de 1 si se ubica el departamento  $i$  en la borde  $j$  y 0 en caso contrario.

$N$  : Conjunto de departamentos que deben ser adyacentes en cualquier solución factible, actúa como una restricción de los métodos gráficos.

$F$  : Conjunto de departamentos que no deben ser adyacentes

Para la solución por medio de las aproximaciones gráficas, existen variedad de softwares que ya traen estas soluciones gráficas, los cuales se mencionarán a continuación:

➤ **CRAFT (Computerized relative allocation facility)**

Es uno de los softwares más utilizados, inicialmente se encarga de determinar los costos asociados con las instalaciones, además de eso determina el centroide de cada área, para posterior a esto evaluar todas las posibles ubicaciones de los departamentos adyacentes entre sí, de tal manera que se escoja la opción que brinde menor costo que el expuesto inicialmente (Armour y Buffa, 1963, pp. 1 - 14).

➤ **CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning):**

Este método grafico se caracteriza por aplicar la aproximación de Muther o SLP, es decir, se encarga de identificar la relación entre departamentos y su respectiva ponderación, ubicando el de mayor relación de cercanía en el centro de la disposición (Thompkins, White y Bozer, 2006, p. 3).

➤ **ALDEP (Automated Layout Design Program):**

Este método grafico tiene como prioridad la aleatoriedad para seleccionar los departamentos a ubicar y realizar desempates, según Seehof, Evans, Friederich y Quigley (1966, pp. 2 - 5). A diferencia del CORELAP, este método selecciona de forma aleatoria el departamento con mayor relación o ponderación, es decir, baja la subjetividad, es muy utilizado para generar variedad de distribuciones en planta para revisión.

La ventaja de este tipo de aproximaciones es que ayudan para obtener soluciones factibles con las cuales se puede escoger la que mejor se adecue a lo que se busca, pero su desventaja radica en que los resultados ofrecidos al tener en cuenta tanta subjetividad no son muy robustos, pero comúnmente utilizados.

### 2.2.6.2. Metodologías cuantitativas.

Muchos autores han tomado la decisión de darle objetividad al diseño de distribución en planta, por lo cual ha propuesto diferentes metodologías que se basan en ciertos modelos matemáticos, que garantiza optimización de diferentes aspectos importantes a tener en cuenta durante el diseño de distribución en planta, alguna de las metodologías más sobre saliente es:

#### 2.2.6.2.1. Problema de asignación cuadrada (QAP).

Esta metodología fue propuesta por Salazar, Vargas, Añasco y Orejuela (1957, pp. 4-5) los cuales se enfocaron en buscar una metodología que tuviera como objetivo la disminución de los costos de flujo o de manejo de material dentro de un sistema productivo, el único supuesto que maneja esta formulación es que el número de localización o ubicaciones es igual al número de departamentos a distribuir (Melle y Gau, 1996, pp. 2-15).

Para garantizar esa disminución en los costó de manejo de material, esta formulación se enfoca en aquellos procesos u operación que mayor flujo de materiales tiene entre sí, para colocarlas cerca.

La formulación general que usa para la aplicación de esta metodología es la siguiente:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n f_{ik} * d_{il} * x_{ij} * x_{kl} \quad (5)$$

**Sujeto a:**

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$x_{ij}$  : Variable binaria que toma valores de 0 y 1, donde 1 determina si se ubica el departamento  $i$  en la ubicación  $j$  y 0 caso contrario.

VARIABLES

$f_{ik}$  : Flujo de material entre los departamentos  $i$  y  $k$

$d_{jl}$  : Es la distancia desde el centro de la ubicación  $j$  al centro de la ubicación  $l$

#### 2.2.6.2.2. Programación entera mixta MIP.

La formulación de programación entera mixta, es una metodología similar a la QAP o problema de asignación cuadrada, a diferencia de la anterior mencionada, en esta formulación no se realiza la suposición de que todos los departamentos son iguales en cuanto a sus dimensiones, tampoco es necesario que el número de ubicaciones debe ser igual al de departamentos, es decir, esta metodología le da a la distribución en planta un sentido más real.

Por lo tanto, conociendo el origen de dicha distribución, se puede inferir que su objetivo principal radica en minimizar las distancias de recorrido de flujo de material, a diferencia de las suposiciones anteriormente mencionadas (Singh y Sharma, 2006, p. 1 - 2).

Pero como logramos ver todas estas metodologías cuentan con su respectiva formulación para la aplicación de las mismas. Gómez (2012, p. 20), para la MIP es la siguiente:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} * f_{ij} * (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) \quad (6)$$

Sujeto a:

$$|x_i - x_j| \geq \frac{1}{2} * |l_i - l_j| + dh_{ij} \quad (7)$$

$$|y_i - y_j| \geq \frac{1}{2} * |b_i - b_j| + dv_{ij} \quad (8)$$

Variables:

$f_{ij}$  : Flujo de material entre los departamentos  $i$  y  $j$ , o también puede considerarse el número de viajes.

$c_{ij}$  : Costo de flujo, un parámetro para la aplicación del modelo, cuando se considera igual para todos los departamentos, se iguala a 1.

$l_i$  : Longitud horizontal del departamento  $i$

$b_i$  : Longitud vertical del departamento  $i$

$dh_{ij}$  : Distancia horizontal mínima requerida entre los departamentos  $i, j$ .

$dv_{ij}$  : Distancia vertical mínima requerida entre los departamentos  $i, j$ .

$x_i y_i$  : Distancias horizontal y vertical en las que se ubica el centro del departamento  $i$ .

Esta metodología, así como la de problema de asignación cuadrática ( $QAP$ ), garantizan la toma de decisiones de forma más objetiva, pero la dificultad de estas metodologías radica en que a medida que aumenta el número de departamento es difícil encontrar solución óptima y requieren abundante tiempo computacional para hacerlo, lo cual es poco factible según Singh y Sharma (2006, pp. 1 - 2). Aun así, son las formulaciones más utilizadas cuando se quiere optimizar los costos o reducir el recorrido de material.

### 2.2.6.2.3. *Otras formulaciones.*

Existen otros tipo de formulaciones las cuales también son muy utilizadas, se tienen formulaciones por simulación, en las que se generan un número de escenarios y se simula en sistema bajo las distribuciones seleccionadas en cada uno de los escenarios generados y con esto poder realizar comparaciones entre escenarios y extraer lo positivo de cada uno de ellos además de que se puede evaluar el desempeño lo cual puede ser un criterio para la ubicación de los departamentos (Tearwattananarattikal, Namphacharoen y Chamrasporn, 2008, pp. 2-5).

También se encuentran las formulaciones multi-objetivos, como se logró verificar en las formulaciones antes mencionadas, siempre se enfocaban en la optimización de un solo objetivo, por medio de esta formulación se busca que se tenga en cuenta diferentes criterios, los cuales le brindan mayor realidad al modelo o la distribución en planta (Drira, Pierreval, y Hajri-gabouj, 2007, pp. 2 - 5).

#### ➤ **Métodos de solución de las formulaciones.**

Por medio de las formulaciones se pueden encontrar los respectivos modelos, pero a dichos modelos es necesario aplicarle diferentes métodos para solucionarlos, muchas veces no es posibles métodos exactos, por lo que se recurre a las heurísticas o meta heurísticas, seguidamente, se evidenciarán algunos métodos de solución de las diferentes formulaciones o problemas de distribución en planta, como se mencionó los métodos gráficos y aproximación de Muther son metodologías o formulaciones que los métodos de solución para estos son paquetes de softwares los cuales contienen las diferentes soluciones, dentro de dichos paquetes pueden mencionarse tales como; MATCH, el cual busca maximizar la cercanía entre departamentos con relaciones importantes, SPIRAL, se caracteriza por utilizar el criterio de minimizar la lejanía entre estos departamentos.

Otros algoritmos o softwares utilizados los cuales se basan en las distancias son CRAFT, SHAPE, etc. 9(Melle y Gau, 196, pp. 2 - 15).

Pero para las otras metodologías como QAP o MIP, que se mencionaron anteriormente existen otros métodos de solución, en el caso de QAP, uno de los métodos de solución más utilizados es ramificación y acotamiento o comúnmente conocido Branch and bound y también pueden usarse los algoritmos de planos cortantes. Pero estos métodos se quedan limitado cuando se trata de una cantidad de departamentos considerables, es decir, se requieren mucho tiempo para la realización, se afirma que de momento lo máximo que se ha podido solucionar por medio de estos métodos en el caso del problema de asignación cuadrática es la distribución de 15 departamentos (Kusiak y Heragu, 1987, pp. 1 - 23).

Es caso similar con la programación entera mixta, aunque en esta se encuentra aún más limitado se dice que 6 departamentos es lo máximo que se puede gestionar por medio de estos métodos, para casos más complejos es necesario la aplicación de heurística o meta heurísticas, tales como; Búsqueda tabú, recocido simulado, Colonia de hormigas y algoritmos genéticos, lógica difusa, entre otros.

#### ***2.2.6.3. Metodologías de evaluación.***

Pero cuando se va a diseñar una distribución en planta no solamente se tiene en cuenta la aplicación de una de las formulaciones y su respectivo método de solución, es necesario evaluar estas soluciones, para esto existe diferentes técnicas para evaluar las alternativas de diseño de planta a las que se lleguen, de las cuales se mencionarán a continuación:

#### ***2.2.6.4. Proceso de jerarquía analítica.***

Esta metodología es utilizada para la evaluación de diferentes alternativas, apoyada de las opiniones de expertos. Para la aplicación se deben tener múltiples criterios para seleccionar y

múltiples alternativas, con la finalidad de seleccionar la mejor alternativa teniendo en cuenta una ponderación de criterio y por supuesto la respectiva evaluación de acorde a esto, lográndose obtener un resultado de jerarquización de las alternativas, con argumentos de ponderación. Winston (2005, p. 785), (Fig. 10).

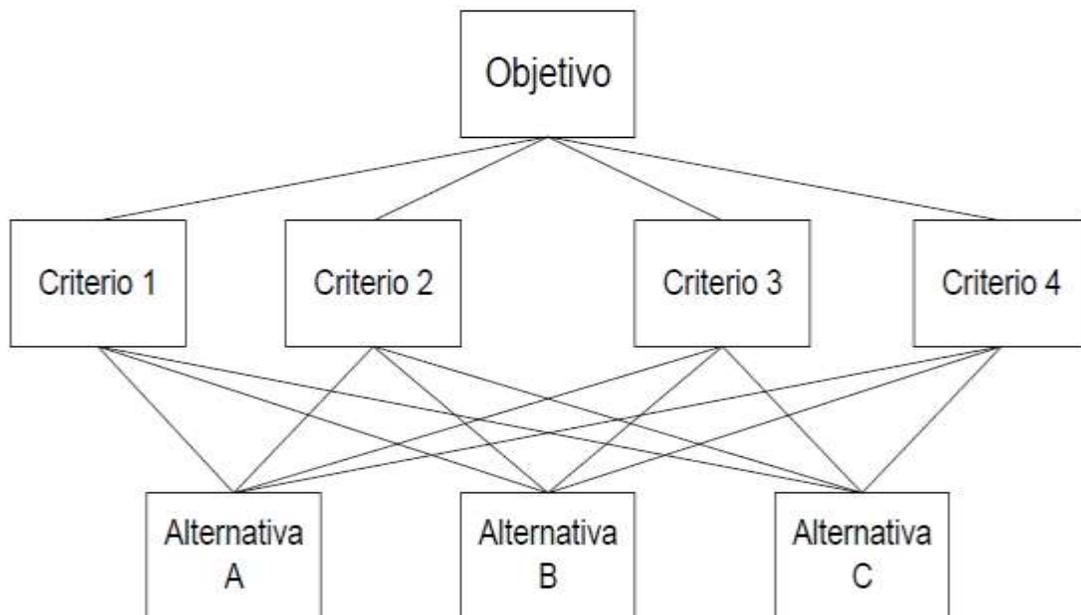


Figura 10. Proceso de jerarquización analítica, recuperado de (Gómez, 2012, p. 57).

#### ***2.2.6.5. Diseño de experimentos.***

Por medio de la realización de experimento, lo que se busca es cambiar los valores de ciertas variables, para verificar que tanto afectan el desarrollo del sistema como tal, para esto se hace uso de diferentes técnicas estadísticas, con la finalidad de poder cuantificar cuanto fue el impacto de modificar cierta variable sobre el sistema en general Montgomery (1997, pp. 25-51). Por medio de esta herramienta es posible identificar el funcionamiento de las variables en las alternativas de distribución que se tengan y determinar su comportamiento en caso de cualquier alteración.

### 2.2.7. Simulación.

La simulación también es catalogada una técnica de evaluación de alternativas, por medio de la cual se puede representar o evaluar el desempeño de las diferentes alternativas seleccionada, teniendo en cuenta la aleatoriedad, es decir, impredecible lo que pueda pasar (Banks, 2000, p. 1-6).

Lo cual es un factor clave para la selección de la mejor alternativa de distribución en planta.

Otro elemento clave para realizar una simulación son los modelos matemáticos, son aquellos que representan propiedades (Variables o constantes), del sistema mediante símbolos matemáticos ( $x$ ,  $y$ ) y la relación entre las propiedades por medio de operaciones matemáticas (Fernández, 1980, p. 100).

Estructura general de un modelo:

$$E = f(x_i y_i) \quad (9)$$

Dónde:

$E$ : Se caracteriza por ser el efecto del comportamiento del sistema.

$f$ : Funcion con la que se relaciona  $x_i$  con  $y_i$  para dar origen o modificar  $E$

$x_i$ : Son variables y parámetros de los cuales nosotros tenemos control

$y_i$ : Son variables y parámetros de los cuales no tenemos control

#### 2.2.7.1. Importancia de la simulación.

Desde la aparición de la simulación esta ha tenido un lugar privilegiado y es que esta técnica o herramienta se ha convertido para las compañías como un soporte para la toma de decisiones, ya

que por medio de la evaluación de desempeño o imitación del mundo real se puede tener una perspectiva del comportamiento de cierto sistema (Alonso, 2008, pp. 171 - 193).

Las áreas donde esta herramienta ha tenido mayor aplicación han sido, en fabricación, en los procesos de producción o sistemas de manipulación de los materiales, ya que en estas áreas siempre se busca disminuir la incertidumbre o la probabilidad de error. Otra área donde la simulación ha tenido bastante influencia son las redes de distribución, ya que en esta se depende de conjunto de suministro, transporte, fábricas y almacenes para su funcionamiento, en las industrias de transporte también se resalta la aplicación de esta técnica, estas no son las únicas áreas donde se puede aplicar, la versatilidad de esta herramienta permite ser usada en diferentes escenarios o tipo de empresa (Piera, Guasch, Casanovas y Ramos, 2006, pp. 39, 55).

#### ***2.2.7.2. Etapas para la realización de un estudio de simulación.***

Para realizar un estudio de simulación es necesario tener en cuenta ciertos pasos, los cuales son claves para garantizar el éxito de la simulación (Bú, 1996, pp. 12 - 14). Dichos pasos se muestran a continuación:

- 1. Definición del sistema:** En este primer paso, se busca determinar la interacción del sistema con otros sistemas, es decir, variables que se encuentran en dicho sistema, interacción, las restricciones, medidas de efectividad que se van a utilizar para definir y estudiar el sistema, así mismo los resultados que se esperan obtener.
- 2. Formulación del modelo:** Cuando ya se tiene claridad a donde se va a llegar con el estudio, se tiene que definir y construir el modelo con el cual se va a cumplir el objetivo estipulado en el primer paso, en esta formulación del modelo, se definen las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y diagramas de flujo que describan en forma completa al modelo.

- 3. Colección de datos:** En este tercer paso, puede que algunos datos sean fáciles de recolectar otro muchos más complicados, lo cual puede afectar el desarrollo o formulación del modelo, para evitar cualquier retraso, es necesario que se defina con claridad y exactitud los datos que va a requerir el modelo, para garantizar los resultados esperados.
  
- 4. Implementación del modelo en la computadora:** después de haber definido el modelo, es necesario tomar la decisión de utilizar algún medio por el cual se pueda procesar dicho modelo en la computadora y obtener los resultados deseados, hay muchos paquetes de softwares de los cuales se puede destacar Promodel®, Arena®, FlexSim® ®, etc.
  
- 5. Validación:** La validación del modelo es una de las principales etapas o paso del estudio de simulación, por medio de este se verifica o se trata de buscar deficiencia en el modelo o en los datos recolectados, las formas más comunes de validar los modelos son:

  - La opinión de expertos sobre los resultados de la simulación
  - La exactitud con la que se predicen datos históricos
  - La exactitud en la predicción del futuro
  - La comprobación de falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar al sistema real
  - La aceptación y confianza en el modelo de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento de la simulación
  
- 6. Experimentación:** En este paso de la metodología de simulación ya ha sido validado el modelo, por lo tanto, se comienza la experimentación la que consiste en generar los datos deseados y realizar análisis de sensibilidad de los indicadores requeridos.

**7. Interpretación:** en este paso ya lo que se realiza es el análisis de los resultados obtenidos y comparar con los deseados, con finalidad de soportar la toma de decisiones, por medio de la información que nos proporciona el modelo.

**8. Documentación:** Procesamiento de los datos que tiene el modelo.

En la siguiente Grafica se puede verificar de forma detallada la metodología para el estudio de simulación.

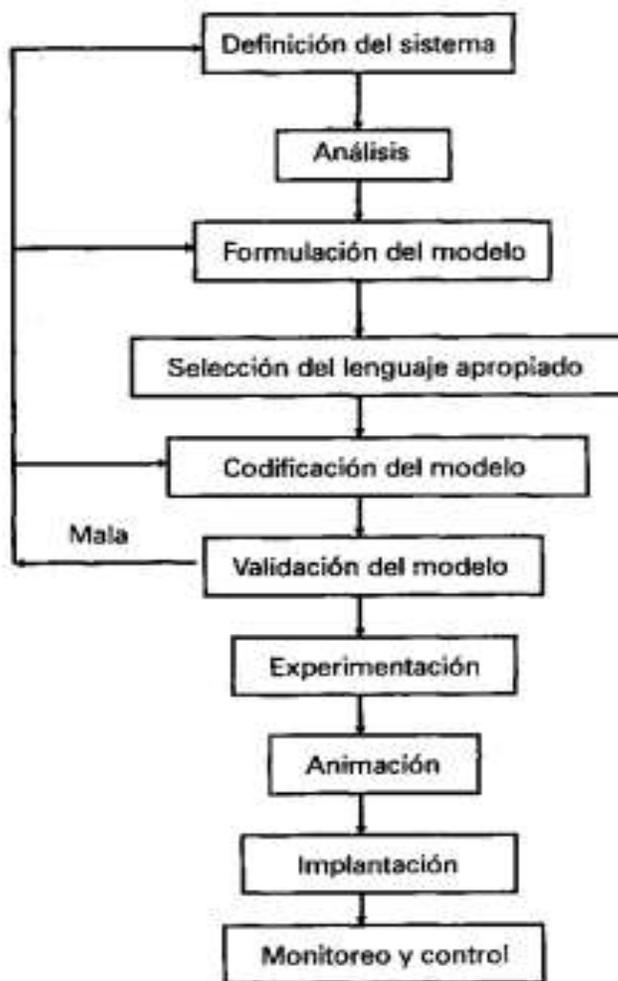


Figura 11. Metodología de simulación, extraída de (García y Azarang, 1998, p. 73).

## 9. Validación de modelos

Al momento de realizar un estudio de simulación, es común encontrar errores dentro del mismo, tales como; errores de diseño, errores en la programación, errores en los datos utilizados, errores en el uso del modelo o errores en la interpretación de los resultados. Para lograr la validación de un modelo es necesario desarrollar un nivel aceptable de confianza, de modo que las deducciones que se realicen en el modelo, se puedan aplicar al sistema real, García y Azarang, (1996, pp. 84 - 92). La validación y verificación es una de las tareas más importantes y difíciles como se mencionó anteriormente.

Verificación se refiere a la comparación del modelo conceptual con el código computacional que se generó, es necesario realizarse ciertas preguntas durante esta verificación, ¿Es correcta la codificación? ¿Son correctas la entrada de datos y la estructura lógica del programa?

En el caso de la validación, en esta se debe demostrar que el modelo es realmente una representación fiel del sistema real, para la validación de los modelos es muy común utilizar las pruebas estadísticas siguientes:

- Prueba de estimación de los parámetros de la población asumiendo una distribución de probabilidad (Pruebas F, t y z).
- Prueba de estimación de los parámetros de la población que no son dependientes, se aplica las pruebas de medias Mann-Whitny
- Por último, es necesario aplicar pruebas para determinar la distribución de probabilidad de la cual proviene la muestra (Pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov Smirnov o chi cuadrado)

### 2.3. Marco Legal.

Actualmente en Colombia existe una variedad de normativas que regulan, dentro de las cuales se resaltan las siguientes (Fig. 3).

<b>Decreto 1575 de 2007</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Establece el sistema para la protección y control de la calidad del Agua para consumo humano.</li></ul>
<b>Resolución 2115 de 2007</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•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</li></ul>
<b>Resolución 0811 2008</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución.</li></ul>
<b>Resolución 12816 1991</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Por la cual se fijan las condiciones para los procesos de obtención, envasado y comercialización de agua potable tratada con destino al consumo humano.</li></ul>
<b>Decreto 1175 de 2003</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Por el cual se reglamentan las condiciones generales y específicas de los establecimientos que manipulan alimentos.</li></ul>

Figura 12. Normativa vigente reguladora de la calidad del agua potable.

Fuente: Elaboración propia a partir de Aguas del Occidente S.A.E.S.P

### 3. Metodología

La presente investigación realizada fue de carácter cuantitativo- descriptivo, se llevó a cabo en el municipio de Sincelejo, Sucre y estuvo comprendida en 3 fases como se ilustra en la Fig. 13.

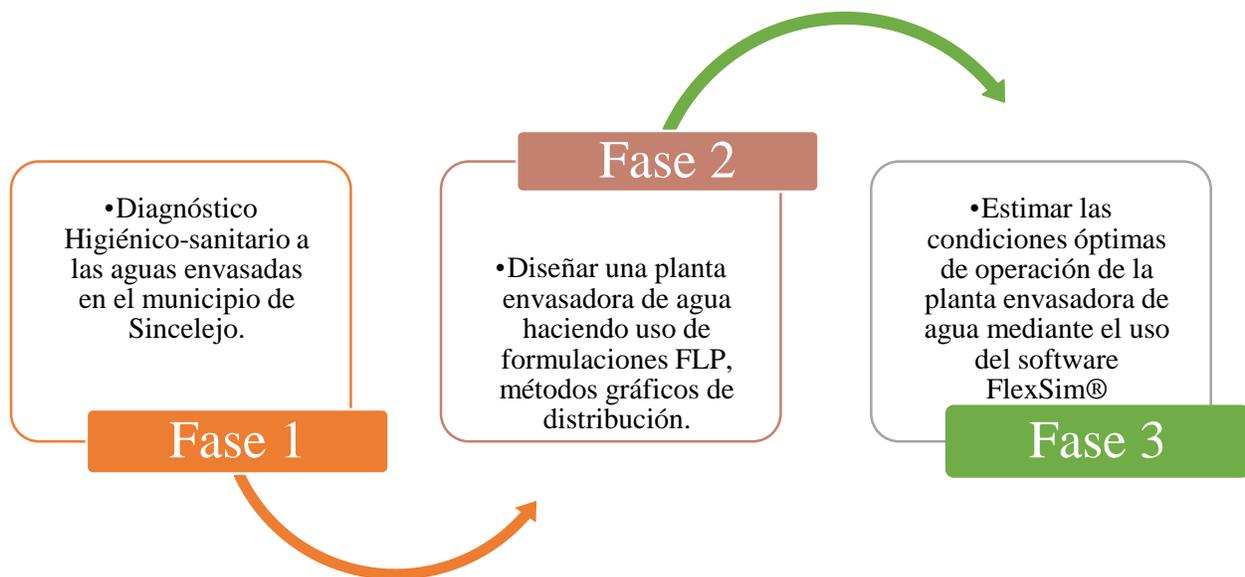


Figura 13. Fases de la metodología, elaboración propia.

#### 3.1. Fase 1. Diagnostico Higiénico Sanitario a las Aguas Envasadas

La primera fase estuvo comprendida por 4 actividades, primeramente, se realizó el diseño del perfil higiénico sanitario y donde se tomó como base la resolución 2115 de 2007 (Ministerio de protección social), enfocándonos en las variables de pH, turbiedad, conductividad eléctrica, calcio, cloruros orto-fosfato, DQO, magnesio, nitritos, sulfato, fosforo total y poli fosfato, luego de esto, por medio de la aplicación de la metodología de muestreo aleatorio simple con población infinita, se determinó el número de muestras necesarias de agua envasada de las distintas formas de cómo se comercializa el agua potable en el municipio para el estudio, por medio de la ecuación (10) (Arvelo, 1998, p. 2-4)

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{E^2} \quad (10)$$

En dónde:

n = Tamaño de la muestra

Z = Nivel de confianza

E= Error máximo admisible en proporción.

p = Probabilidad de éxito, o proporción esperada.

q = Probabilidad de fracaso

Una vez determinado el tamaño de la muestra, se llevó a cabo la estratificación entre las marcas de aguas más comunes que se comercializan en el municipio de Sincelejo, Sucre a través del muestreo estratificado sin reemplazo, donde se utilizó para el tamaño de los estratos el método de selección y de rechazo utilizando el algoritmo que se describe en la Fig. 14.

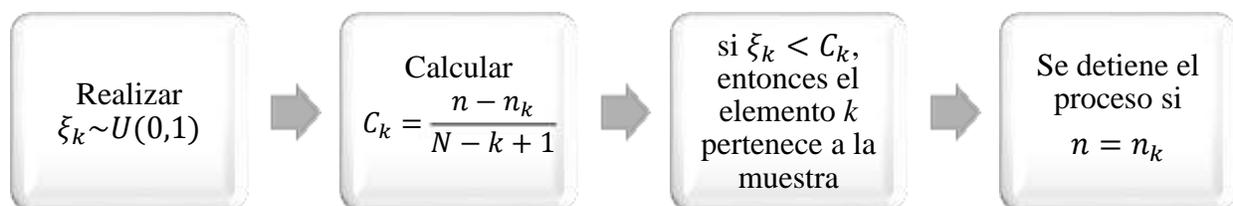


Figura 14. Algoritmo para la aplicación de muestreo aleatorio estratificado.

Por medio de la aplicación de la Fig. 14, se obtuvo la muestra para los diferentes estratos en este caso las marcas de agua más conocidas que se comercializan en el municipio de Sincelejo, sucre.

Después de obtener la muestra se realizó las diferentes pruebas de laboratorio, donde la mayoría fueron test de cubetas y otros con aplicación de equipos disponibles en el laboratorio, para el análisis de la calidad del agua que se comercializa en el municipio de Sincelejo.

Se llevó a cabo la aplicación de las pruebas de laboratorio, donde, por medio de la aplicación de diferentes métodos se obtuvieron los resultados de cada parámetro evaluado. Primeramente, se tomaron las bolsas con agua de las tres marcas seleccionadas y se vertieron en unos recipientes para mayor facilidad al momento de tomar las muestras. Posterior a esto, se inició aplicando el método de electrometría por medio del uso del sensor de pH, donde como su nombre lo dice, se evaluó la variable de pH, tomando muestras de 100 ml haciendo uso de un beaker y colocándola en contacto con el equipo durante 3 min, de esta misma forma, se realizó con las variables de conductividad y turbidez, las cuales se tomaron por medio del equipo multiparámetro de la calidad del agua “YSI PRODSS”, con una muestra de 200 ml aproximadamente y una duración de 2 min, para cada variable se tomaron 12 muestras, de las cuales se sacó un promedio haciendo uso de la ecuación (11) con la finalidad de obtener mejores resultados (Tabla 9,10 y 11).

$$X \text{ promedio} = \frac{\sum x}{n} \quad (11)$$

Para la aplicaciones de pruebas de laboratorio a las variables de calcio, cloruros, magnesio, nitritos y sulfato, inicialmente fue necesario colocar cierta cantidad de muestra de cada marca en los beaker de laboratorio, posterior a esto, por medio del uso de la pipeta volumétrica se midió la cantidad de muestra necesaria para cada parámetro y se adicionaron a tubos de ensayos los cuales contenían los reactivos necesarios para determinar el valor de cada prueba, luego de esto, se hizo uso del equipo de laboratorio para obtener los resultados de cada variable evaluada (Anexo 4).

Por otro lado, para las variables de demanda química de oxígeno (DQO), fosfato- ortofosfato, fósforo total y poli-fosfato, se realizaron procedimientos similares al anterior, pero, con la diferencia de que en estos, luego de tener cada tubo de ensayo, fue necesario hacer uso del equipo de laboratorio “Termoreactor tr 420” para calentar las muestras tomadas, es decir, la variable de DQO se tuvo que exponer en el equipo durante 2 h, y las variables de fosfato - ortofosfato, fósforo total, poli-fosfato durante 30 min, las cuales se pudieron determinar simultáneamente por medio del equipo “Espectrofotómetro ultravioleta visible pharo 300”(Anexo 4).

Al obtener cada resultado, se procedió a tabular toda la información por medio del software Excel, donde se indicó los valores máximos y mínimos permisibles por la resolución 2115 de 2007 y cada resultado obtenido (Tabla 12). De esta forma, se conoció el estado en que se encuentra la calidad del agua que se comercializa en el municipio en cuanto a las variables físico-químicas anteriormente mencionadas.

### 3.2. Fase 2. Diseño de la Planta Envasadora de Agua Potable

#### 3.2.1. Diseño de distribución en planta.

En la realización de la fase dos, fue necesario primeramente determinar la demanda de agua envasada del municipio del Sincelejo, mediante un análisis de estimación, por medio de las aplicaciones de análisis series temporales descritas por Shumway y Stoffer, (2015, pp. 1-38). Se tomó como referencia fuentes de información secundarias de la demanda de agua envasada. En este caso historial de la demanda de agua envasada purificada de los años 2010 y 2011 de un centro de distribución de Clarksville a diferentes tiendas o Walmart para su venta (Anexo 1).

Por medio, de este historial se determinó la demanda pronosticada para el año x, el cual, se convirtió en el dato estipulado como demanda estimada para la producción. Para el análisis de esta serie de tiempos, se aplicaron varios modelos de análisis temporales y se determinó el mejor pronóstico teniendo en cuenta el indicador de MAPE (Error porcentual absoluto medio), el cual se determinó por medio de la ecuación (12):

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{|A_t|}}{n} \quad (12)$$

Dónde:

At: Representa la demanda real.

Ft: Pronostico obtenido.

n: Cantidad de datos.

Para la aplicación de este análisis de series temporales, se aplicaron varios modelos o tipos de regresión o tendencia, el primero de ellos de tipo lineal, por medio de la aplicación de la ecuación (13):

$$\hat{y} = b_0 + b_1X \quad (13)$$

Dónde:

$b_0$ : Parámetro que representa el valor de  $Y$  cuando  $X$  es igual a cero.

$b_1$ : El valor de la pendiente, que nos indica cuanto incrementa  $Y$ , a medida que  $X$  incrementa en una unidad.

Posteriormente, se aplicó el tipo de regresión cuadrática para identificar como se comportaba el historial de la demanda de acuerdo a este modelo de análisis de tendencia y verificar si el error porcentual era bajo. Para esto se aplicó la ecuación (14):

$$\hat{y} = a + b * x + c * x^2 \quad (14)$$

Dónde:

$y$ : Es la variable dependiente.

$a, b, c$ : son parámetros que normalmente son desconocidos

$x$ : Valor que va tomando la variable independiente.

Continuando con la aplicación de tipos de regresión lineal, se aplicó la regresión exponencial, para la cual se debe tener en cuenta su respectiva ecuación, como se logra ver a continuación:

$$\hat{y} = a^{bx} \quad (15)$$

Dónde:

y: Valor que toma la variable dependiente a medida que X incrementa o disminuye.

a: Es la pendiente de la recta.

x: Valor que toma la variable independiente.

Después de aplicar los diferentes tipos de regresión, se precedió a la descomposición de series de tiempos, donde se aplicaron diferentes tipos de descomposición, primeramente, se aplicó el modelo de descomposición multiplicativa, el cual relaciona diferentes componentes en la siguiente formula:

$$S(t) = T(t) * Y * C + \mu \quad (16)$$

Dónde:

S: Valor pronosticado.

T: Factor de tendencia

C: Componente cíclico.

Y: Factor estacional

$\mu$  : Variación no sistemática.

Del mismo modo, dentro de la descomposición de series de tiempo se encuentra el modelo aditivo, donde se supone una variación estacional constante, el cual también fue aplicado para la obtención de los pronósticos de ventas de agua envasada del próximo año, para esto, se hizo uso de la siguiente formula:

$$S(t) = T(t) + Y + C + \mu \quad (17)$$

Otros métodos de pronósticos de demanda que fueron aplicados durante la estimación, fueron los promedios móviles, donde el primero de ellos fue el promedio móvil simple, el cual se rige por la siguiente ecuación:

$$PM(t) = \frac{x_t + x_{t-1} + x_{t-2} + \dots + x_{t-n+1}}{N} \quad (18)$$

Dónde:

PM<sub>t</sub>: El valor de pronóstico para el periodo  $t$ .

X<sub>t</sub>: El valor real observado en el periodo  $t$ .

N: El número de cálculos utilizados para el cálculo de la media aritmética.

Del mismo modo, se procedió a la aplicación de la suavización exponencial simple para la obtención de pronósticos de demandas, para el cual fue necesaria la determinación de un alfa y se aplicó la siguiente fórmula la obtención de los resultados de pronóstico:

$$S(t) = S_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - S_{t-1}) \quad (19)$$

Dónde:

S<sub>t</sub>: Nuevo pronóstico

S<sub>t-1</sub>: Pronóstico del periodo anterior

A<sub>t-1</sub>: Demanda del periodo anterior.

Por último, se aplicó el modelo de suavización exponencial doble, donde se tuvo en cuenta además del alfa, una constante de suavización para la tendencia delta, dichos parámetros se relacionan en la siguiente ecuación:

$$F_t = A_{t-1} + (1 - \alpha) * (F_{t-1} + T_{t-1}) \quad (20)$$

$$T_t = \delta + (F_t - F_{t-1} + (1 - \delta)) * (T_{t-1}) \quad (21)$$

$$FIT_t = F_t + T_t \quad (22)$$

Donde,

$A_{t-1}$ : Demanda real del periodo anterior

$F_{t-1}$ : Pronostico del periodo anterior

$T_{t-1}$ : Tendencia estimada para el periodo anterior

$F_t$ : Pronostico suavizado exponencialmente con la serie de datos del periodo  $t$

$T_t$ : Tendencia suavizada para el periodo  $t$

$FIT_t$ : Pronostico suavizado exponencialmente.

Posterior a la aplicación de los diferentes modelos de análisis de series de tiempos, se escogió el pronóstico que brindó menor error porcentual MAPE.

### **3.2.2. Proceso productivo.**

Después de haber determinado el pronóstico de la demanda con base al histórico de demanda disponible, se definió a través de los diferentes diagramas de procesos el respectivo proceso de producción de acuerdo a las especificaciones del producto ideal, donde se identificaron aspectos como; número de etapas, tiempos de operación, mecanismos de transporte entre etapas y restricciones de almacenamiento.

Primeramente, se definió la ficha técnica de las diferentes presentaciones, que se van a producir en la planta purificadora y envasadora de agua en el municipio de Sincelejo, donde se evidenciaron las condiciones de almacenamiento, dimensiones, peso bruto y componentes de material y su respectiva capacidad.

Posterior a la definición de la ficha técnica de los productos a fabricar, se describió de forma gráfica y textual el proceso que se lleva a cabo para la purificación y envasado de agua en las diferentes presentaciones, donde se determinaron el número de etapas o procesos que se deben aplicar y bajo que especificaciones se deben hacer para garantizar un producto de calidad. Además,

se hizo uso de los diferentes diagramas, tales como, operaciones y proceso, con la finalidad de brindar mayor comprensión al momento de organizar la distribución de la planta y tener claridad de las diferentes operaciones que se llevan a cabo dentro de la purificación y embotellado de agua. Así mismo, se describieron las áreas administrativas que se implementarán para la gestión y organización de la planta purificadora y envasadora de agua, las respectivas áreas de almacenamiento y anchura de los pasillos de acuerdo a las NTC 4140.

### 3.2.3. Localización de la planta.

Para la localización de la planta envasadora de agua en el municipio de Sincelejo, Sucre, se aplicó el método Brown and Gibson, con él fue necesario primeramente definir los tres sitios tentativos para la localización de la planta, teniendo en cuenta diferentes factores, tales como, cercanía a proveedores, cercanía a clientes, cumplimiento de normativa, accesibilidad, distancia, entre otros.

Se consideración factores objetivos como distancia del proveedor y subjetivos como accesibilidad, seguridad y cercanía a clientes. Una de las primeras ecuaciones aplicadas en el método Brown and Gibson, es la ecuación (23):

$$FO_i = \frac{\frac{1}{Ct_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Ct_i}} \quad (23)$$

Dónde:

F<sub>o</sub>: Factor objetivo

C<sub>i</sub>: Distancia total de cada localización.

Además del factor objetivo para cada localización, se le asignó una ponderación a cada factor subjetivo, se determinó una ponderación en caso de ser excelente, buena o definitivamente deficiente, cumpliendo un total del 100% la suma de las diferentes ponderaciones, continuando

con la aplicación del método Brown and Gibson, se determinó el índice de localización para cada una de las localizaciones seleccionadas, para lo cual se aplicó la siguiente formula:

$$IL_i = (F0_i * \alpha) + (1 - \alpha) * Fs_i \quad (24)$$

Dónde:

$IL_i$ : Índice de localización para cada lugar seleccionado.

$\alpha$ : nivel de confiabilidad que se le brinda a la localización del proyecto.

Para finalizar se seleccionó la localización que presento mayor índice de localización como la mejor opción para ubicar la planta purificadora y envasadora de agua. Posterior a la localización, se realizó la descripción de la maquinaria a utilizar para llevar a cabo todas las operaciones, donde se destacó en cada una de ellas, su capacidad, sus dimensiones, valor comercial y el requerimiento, del mismo modo, se describió el equipo de auxiliar y dotación que usarán los operarios encargados de la gestión dentro de la planta.

#### **3.2.4. Balanceamiento de la línea de producción.**

Se realizó el balanceamiento de la línea de producción, donde se determinó, primeramente, la demanda anual que va a cubrir la planta, para esto se tomó la decisión de trabajar con un porcentaje de 5%, y por consiguiente se definió la demanda diaria que debe cumplir la planta para poder solventar la demanda anual, así mismo, su respectivo tiempo de ciclo. Para la determinación de la demanda anual a cubrir se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{Dae * Pdp}{100\%} \quad (25)$$

Dónde:

$D_a$ : Demanda anual con la que operara la planta.

$D_{ae}$ : Demanda anual estimada por medio del análisis de series de tiempos.

$P_{dp}$ : Porcentaje a cubrir de la demanda anual pronosticada.

Del mismo modo, para definir la demanda diaria, que rige las operaciones de la planta se aplicó la fórmula:

$$Dd = \frac{Da}{cdf} \quad (26)$$

Dónde:

$D_d$ : Demanda diaria.

$D_a$ : Demanda anual con la que operara la planta.

$C_{df}$ : Cantidad de días anuales que funcionara la planta.

Por otro lado, se determinó el tiempo de ciclo, para conocer el tiempo que tarda la planta en purificar y envasar un litro de agua, para esto se usó la siguiente ecuación:

$$Tc = \frac{Tpd}{Dd} \quad (27)$$

Dónde:

$T_c$ : Tiempo de ciclo.

$T_{pd}$ : Tiempo producción disponible.

$D_d$ : Demanda diaria.

Después de haber hallado el tiempo de ciclo, dato clave para el balanceamiento de toda la línea productiva donde en cada una de las estaciones se tuvo en cuenta la capacidad de la maquinaria utilizada para llevar acabo cada operación, después de conocer la capacidad se determinó el tiempo requerido por cada máquina para solventar o cubrir la demanda diaria, el cual, se definió por la siguiente ecuación:

$$Tr = \frac{Dd \cdot T_{pc}}{C} \quad (28)$$

Dónde:

$T_r$ : Tiempo diario requerido.

$D_d$ : demanda diaria.

$T_{pc}$ : Tiempo utilizado por capacidad.

$C$ : Capacidad de la máquina.

Después de haber identificado el tiempo diario requerido, se determinó la capacidad diaria de la máquina, para lo cual fue útil la fórmula:

$$Cr = \frac{C}{T_{pc}} * T_d \quad (29)$$

Dónde:

$C_r$ : Capacidad real diaria

$C$ : Capacidad de la máquina.

$T_{pc}$ : Tiempo utilizado por capacidad.

$T_d$ : Tiempo diario disponible.

Para finalizar, se determinó el dato de balance necesario para la determinación de cantidad de máquinas necesarias en cada una de las etapas de proceso, por medio de la siguiente ecuación:

$$Db = \frac{Dd}{Cr} \quad (30)$$

Dónde:

$D_b$ : Dato de balance.

$D_d$ : Demanda diaria a cubrir.

$C_r$ : Capacidad real diaria.

Después de obtener por medio del balanceamiento la cantidad de maquinaria requerida en cada una de las operaciones para cubrir la demanda diaria y por consiguiente la demanda anual, se realizó diagrama de relación entre estaciones, para identificar el respectivo grado de acercamiento o importancia de una estación con otra, por medio de la metodología expuesta por Muther (1970, p. 26 - 270). Se utilizó los códigos de cercanía expuesto por dicha metodología los cuales se evidencian en la Tabla 5:

Tabla 5.

*Calificación de cercanía.*

<b>Código</b>	<b>Definición</b>
A	Absolutamente necesario que estos dos departamentos estén uno junto al otro
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Ordinariamente importante
U	Sin importancia
X	No deseable

Así mismo, el complemento de los códigos anteriormente mencionados, relacionados en la siguiente tabla:

Tabla 6.

*Razón de cercanía.*

<b>Código</b>	<b>Razón</b>
1	Uso de registros comunes
2	Comparten mismo personal
3	Comparten el mismo espacio o material
4	Contacto personal, documentario
5	Mantenimiento de equipos
6	Secuencia del flujo de trabajo
7	Ejecutan trabajos similares, inspecciones
8	Hacen uso del mismo equipo
9	Posibles situaciones desagradables

Después de tener conocimiento de los diferentes códigos de cercanía, se procedió a la obtención de la matriz de cercanía, haciendo uso del software Excel. Del mismo modo, se realizó diagrama de cercanía, donde se aplicó la simbología y color internacional, expuesta por la metodología de Richard Muther, la cual se muestra en la Tabla 7:

Tabla 7.

*Simbología y colores globales para cada código de cercanía.*

Codigo	Definicion	Color
A	Absolutamente necesario que estos dos departamentos esten uno junto al otro	
E	Especialmente importante	
I	Importante	
O	Ordinariamente importante	
U	Sin importancia	
X	No deseable	

Después de haber determinado, el diagrama de relaciones entre las operaciones que se llevan a cabo en el proceso productivo de la planta purificadora y envasadora de agua, se procedió a determinar el área requerida para cada una de las estaciones de trabajo, donde se tomó como base para dicha determinación las dimensiones de las maquinarias que se utilizan en cada una de estas, para esto se aplicó la siguiente ecuación:

$$A = l * An \quad (31)$$

Dónde:

A: Área normal que ocupa cada maquina

l: Largo de la máquina.

An: Ancho de cada máquina.

Continuando con la determinación del área, se aplicó una tolerancia del 75% sobre el valor de área normal ocupada por cada máquina, para esto se usó la fórmula:

$$At = A + (A * T) \quad (32)$$

Dónde:

At: Área con tolerancia

A: Área normal que ocupa cada maquina

T: Porcentaje de tolerancia utilizado.

$$Au = At * Nm \quad (33)$$

Dónde:

Au: Área utilizada.

At: Área con tolerancia.

Nm: Numero de máquinas requeridas.

Del mismo modo se aplicó, un porcentaje para los pasillos, por lo tanto, el área de los pasillos, se determinó bajo la siguiente ecuación:

$$AP = Au * Pp \quad (34)$$

Dónde:

AP: Área de los pasillos.

Au: Área utilizada.

Pp: Porcentaje aplicado al área utilizada para pasillos.

Finalmente, se determinó el área total para cada operación por medio de la ecuación:

$$ATo = Au * AP \quad (35)$$

Dónde:

Ato: Área total para cada estación de trabajo.

De esta forma, se obtuvo el área requerida para cada estación de trabajo incluyendo área de almacenamiento, equipos auxiliares, área de producción, etc. Además, se obtuvo el diseño de la planta purificadora y envasadora de agua haciendo uso del software CORELAP®, en el cual se ingresaron los diferentes departamentos o áreas de trabajo, el área ocupada por cada uno de ellas y la matriz de relaciones que se desarrolló con anterioridad, de este modo, se obtuvieron dos alternativas de diseño, se analizó cada una de ellas, bajo la normativa vigente de higiene y salubridad y se determinó que una de estas era la adecuada o se adecuaba de mejor forma al proceso de la planta.

Después de seleccionada la alternativa adecuada, se realizó el levantamiento del diseño, haciendo uso del software SweetHome®, el cual permitió realizar la acomodación de las estaciones, teniendo en cuenta la respectivas áreas y maquinarias.

### **3.3. Fase 3. Estimación las Condiciones Óptimas de Operación de la Planta Envasadora de Agua Mediante el Uso del Software FlexSim®.**

Durante la última fase de estimación, se tuvieron en cuenta 9 actividades, las cuales se relacionan a continuación:

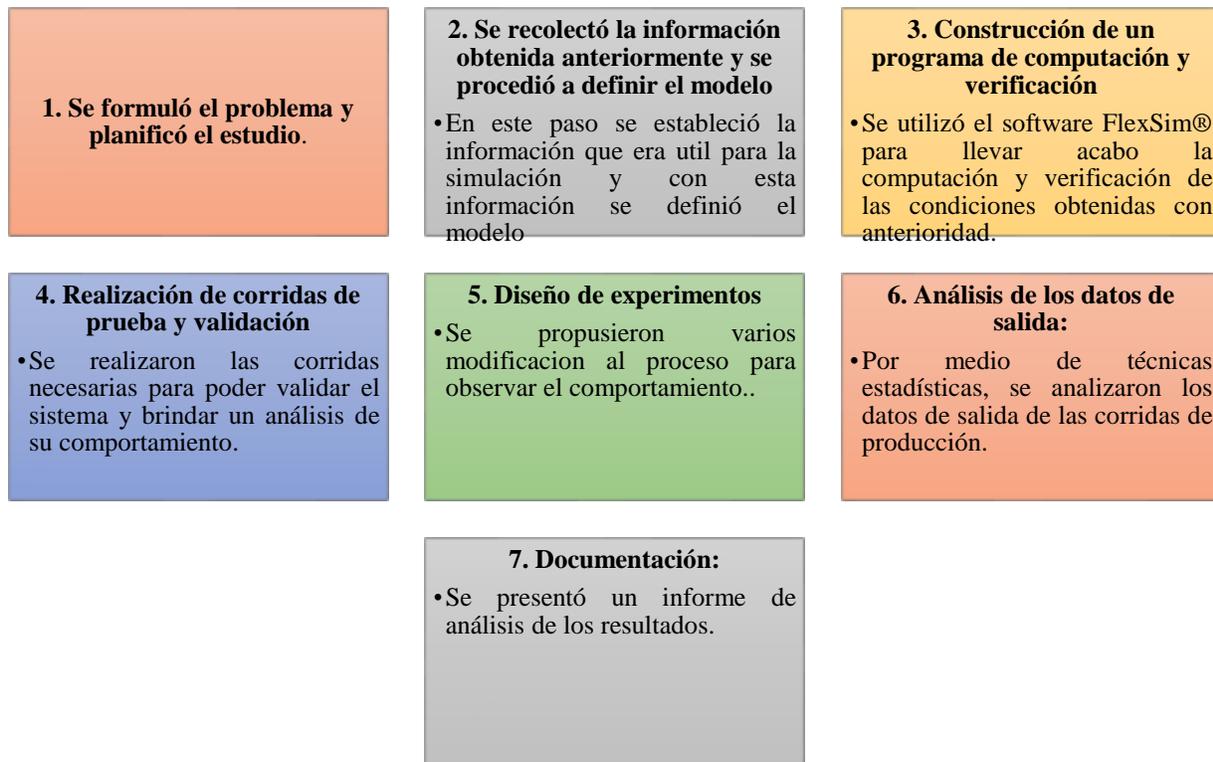


Figura 15. Metodología de estimación

### 3.3.1. Validación de los datos obtenidos por el modelo en FlexSim ®

Posterior a la obtención al montaje del proceso productivo en FlexSim®, se realizó una validación del modelo, con la finalidad de verificar si los datos obtenidos se comportaban estadísticamente iguales que los obtenidos en la producción diaria real, para lo cual se aplicó una prueba de hipótesis para la diferencia medias con las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu (\text{modelo}) = \mu (\text{real})$$

$$H_i: \mu (\text{modelo}) \neq \mu (\text{real})$$

Y posterior a esto, se utilizó el estadístico t, ya que son muestras menores a 30, aplicando la ecuación (36)

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}{n_1 + n_2}} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (36)$$

Se calculó  $t$ , haciendo uso de la tabla de  $t$ -student y se determinó si se rechaza o no la hipótesis nula ( $H_0$ ).

## 4. Resultados y Discusión

### 4.1. Reseña Histórica “Agua de Vida”

Agua de vida S.A.S es una planta, cuya razón de ser es encargarse de la purificación y envasado o embotellado de agua en diferentes presentaciones; bolsas de 360 ml, botellas de 600 ml y bidones de 19 lts.

El nombre “Agua de vida” surge bajo los ideales de ofrecer productos de calidad y completamente inocuos que garanticen el bienestar y satisfacción de sus consumidores, demostrando así, el verdadero significado de este preciado líquido, el cual es ofrecer vida. Asimismo, esta planta purificadora y envasadora de agua busca incentivar el crecimiento industrial en la región, por lo tanto, agua de vida S.A.S representa vida desde la calidad e inocuidad de sus productos, hasta el desarrollo y evolución industrial de la región sucreña.



Figura 16. Etiqueta de la planta envasadora de agua potable.

### 4.2. Determinación de Muestra para Aplicación de Perfil Higiénico Sanitario.

Para determinar la muestra se trabajó con un intervalo de confianza del 95% y un margen de error de 6%, además bajo la suposición de que la variable se distribuye normal:

$$p = 0.5$$

$$q = 1 - 0.5 = 0.5$$

$$E = 0.1$$

$$Z = 1.96$$

Por lo tanto, el tamaño de la muestra de agua envasada que se debe tomar para la realización del estudio aplicando la ecuación (10) bajo estas condiciones es:

$$n = \frac{(1.96)^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{(0.1)^2} = \frac{0.9604}{0.01} = 96$$

Dicha muestra obtenida (96) incluye agua en bolsa de diferentes marcas comerciales. Luego de tener el tamaño de muestra determinado, se realizó la estratificación por medio del muestreo estratificado sin remplazo y para esto se utilizó el algoritmo que se muestra en la Fig. 14, donde se asignó un porcentaje del 33% para las 3 marcas seleccionadas obteniendo los estratos que se ilustran en la Tabla 8.

Tabla 8.

*Resultados de estratificación*

ítem	Porcentaje	Características del estrato
Estrato 1	33%	32 Muestras de la marca 1
Estrato 2	33%	32 muestras de la marca 2
Estrato 3	33%	32 muestras de la marca 3

#### 4.3. Aplicación de la prueba de laboratorio

Se realizaron las pruebas de laboratorio a las 3 marcas de agua seleccionadas aplicando los diferentes métodos necesarios para obtener los resultados de cada parámetro evaluado tales como; pH, turbiedad, conductividad eléctrica, calcio, cloruros orto-fosfato, DQO, magnesio, nitritos, sulfato, fósforo total y poli fosfato.

A algunos de los parámetros fue necesario realizar varias muestras para sacar un promedio de cada uno para evaluar de mejor forma el cumplimiento de la norma, lo cual se realizó por medio de la ecuación 11 y se evidencia en las Tablas 9, 10, y 11.

#### 4.3.1. Marca #1 seleccionada.

Tabla 9.

*Resultados aplicación de prueba marca 1.*

Marca #1			
Tiempo de duración (min)	3	2	2
Resultado de muestras	Parámetro		
	pH	Turbidez	Conductividad
1	7,81	0,8	394,8
2	7,9	0,3	378,7
3	8	0,8	377,2
4	8,06	1,1	269,6
5	8,11	2,3	379,8
6	8,16	2,3	377,1
7	8,19	2,3	381,9
8	8,28	2,2	188,5
9	8,31	2,5	380
10	8,34	1	379,3
11	8,36	1,9	347,2
12	8,37	2,1	230,4
<b>Promedio</b>	<b>8,2</b>	<b>1,6</b>	<b>350,7</b>

Y así mismo, se obtuvieron los comportamientos de cada parámetro evaluado con respecto a la marca #1.

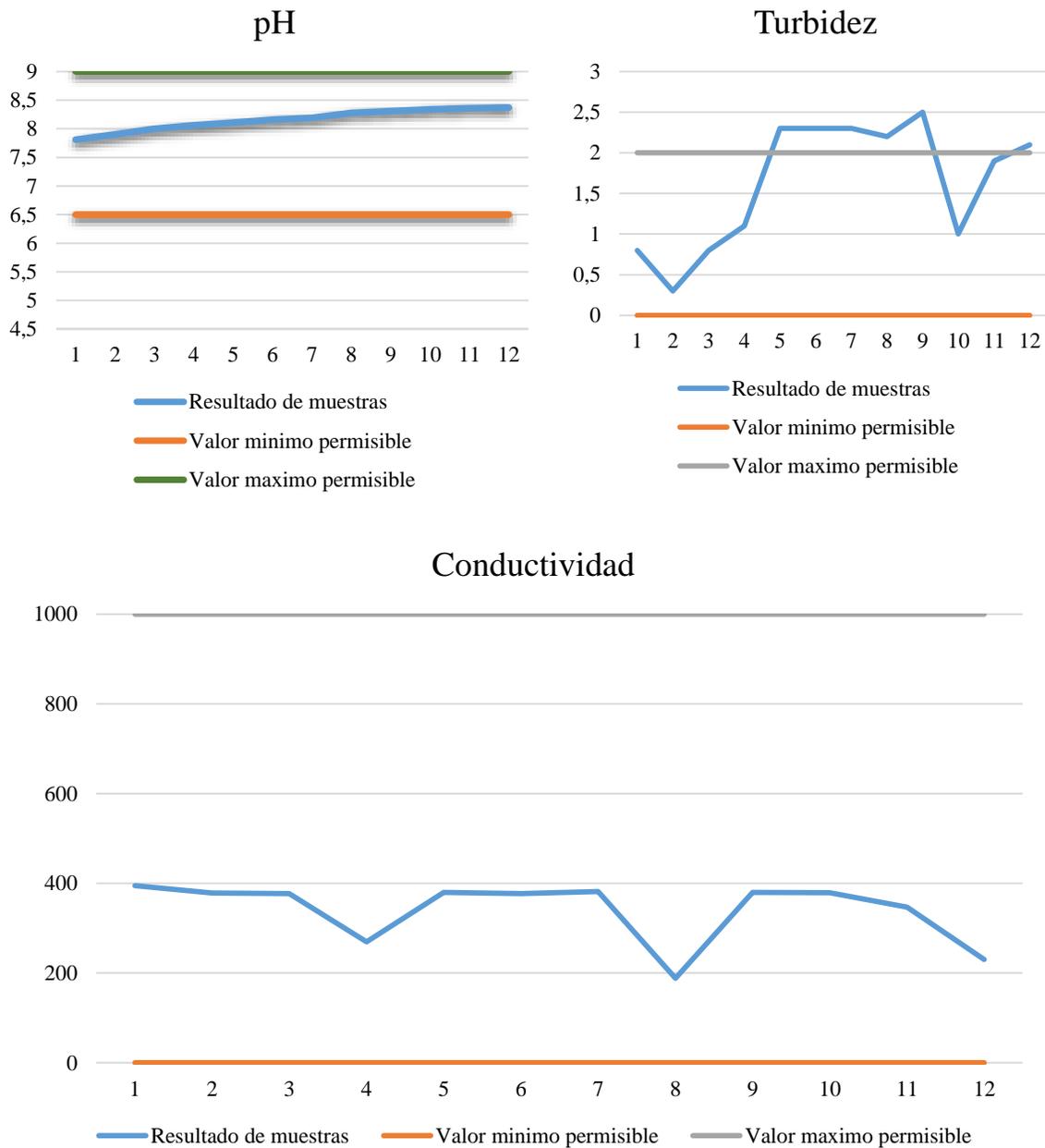


Figura 17. Comportamiento de los parámetros pH, conductividad y turbidez de la marca #1

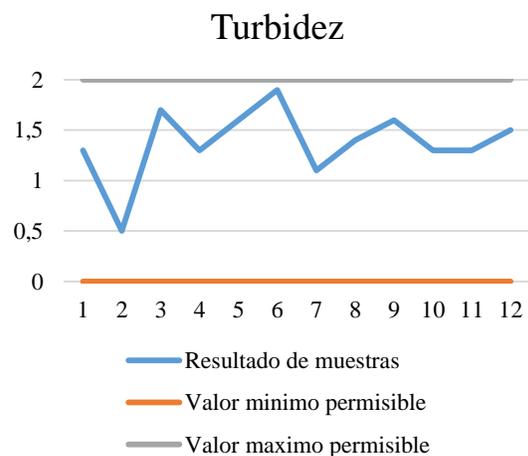
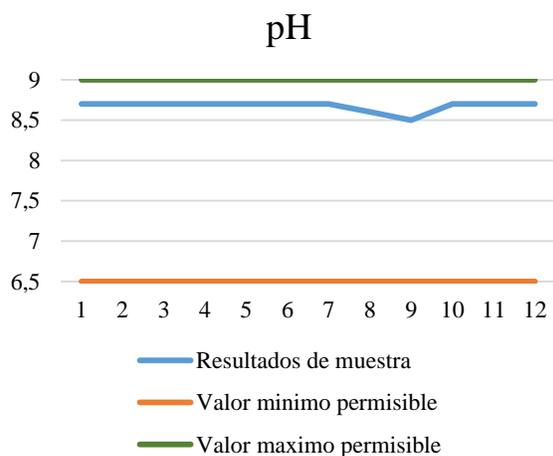
De esta misma forma, se realizó para las otras marcas seleccionadas lo cual se evidencia en las Tabla 10 y Tabla 11 con sus respectivos gráficos.

**4.3.2. Marca #2 seleccionada.**

Tabla 10.

*Resultados de aplicación de prueba a la marca 2*

Marca #1			
Tiempo de duración (min)	3	2	2
Resultado de muestras	Parámetro		
	pH	Turbidez	Conductividad
1	8,7	1,3	391,5
2	8,7	0,5	383,3
3	8,7	1,7	384
4	8,7	1,3	391,1
5	8,7	1,6	391,4
6	8,7	1,9	393,3
7	8,7	1,1	390,1
8	8,6	1,4	388,5
9	8,5	1,6	387,5
10	8,7	1,3	388,6
11	8,7	1,3	386,1
12	8,7	1,5	387,4
<b>Promedio</b>	<b>8,7</b>	<b>1,4</b>	<b>388,6</b>



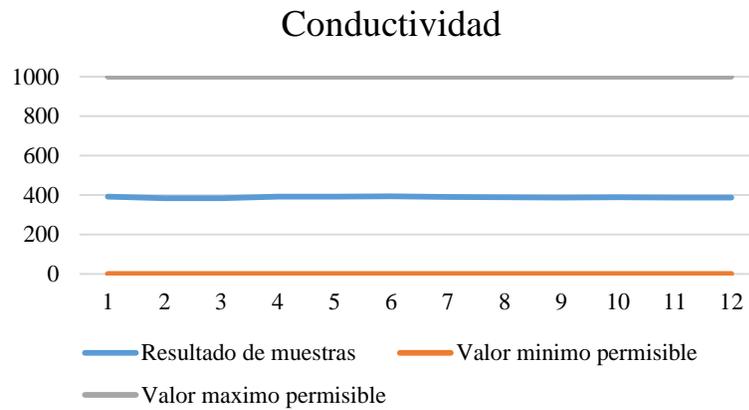


Figura 18. Comportamiento de los parámetros pH, conductividad y turbidez de la marca #2

#### 4.3.3. Marca #3 seleccionada.

Tabla 11.

Resultados aplicación de prueba de laboratorio a la marca 3.

Marca #1			
Tiempo de duración (min)	3	2	2
Resultado de muestras	Parámetro		
	pH	Turbidez	Conductividad
1	8,6	0,8	421
2	8,6	1,2	346
3	8,6	1,8	441
4	8,7	1,9	435
5	8,7	2,1	421
6	8,7	1,8	346
7	8,7	1,7	450
8	8,7	0,9	333
9	8,7	1	334
10	8,7	2,3	384
11	8,7	2,1	428
12	8,7	1,9	358
<b>Promedio</b>	8,7	1,6	391,4

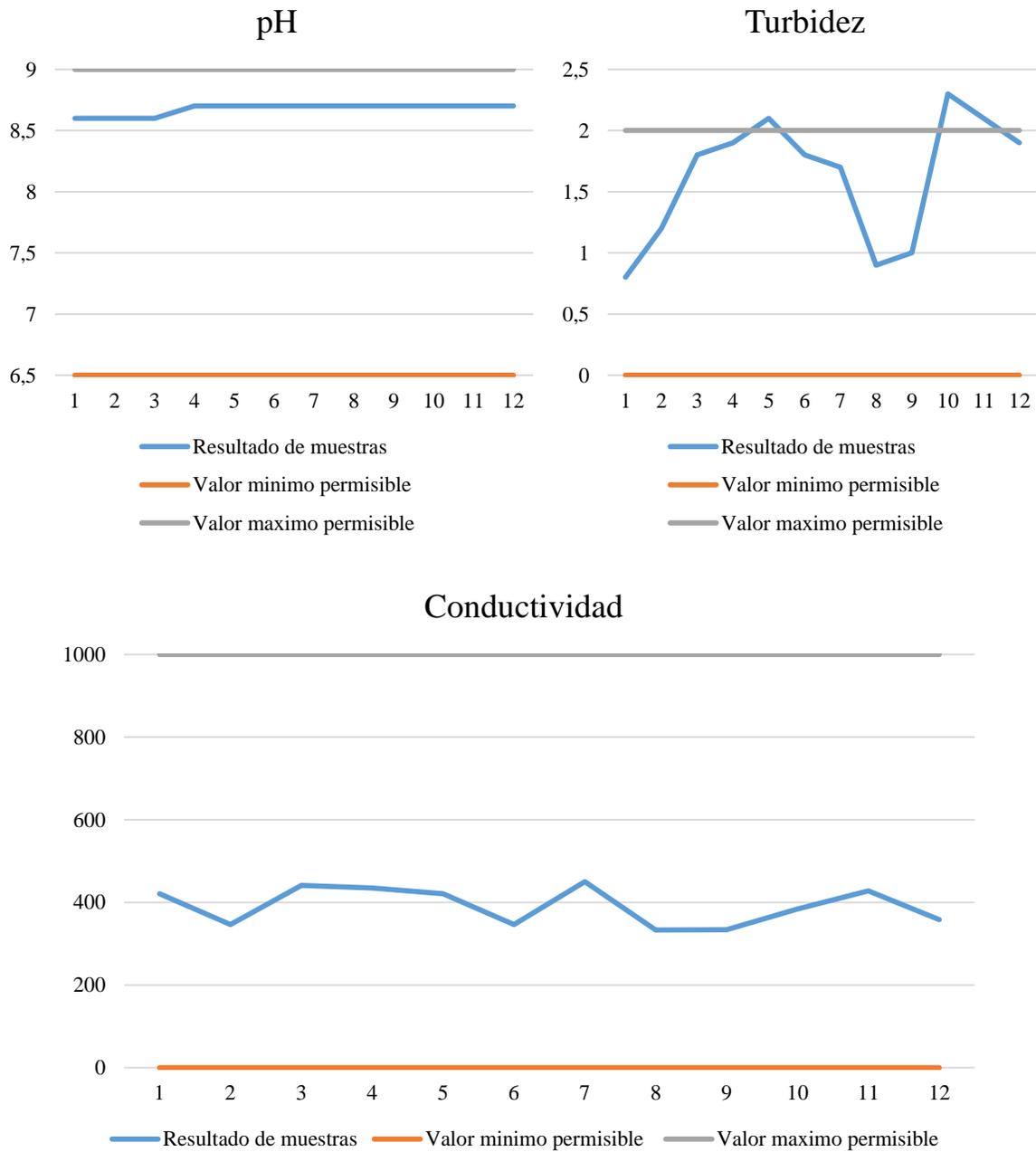


Figura 19. Comportamiento de los parámetros pH, conductividad y turbidez de la marca #3.

Posterior a esto, se realizó un resumen de todos los parámetros evaluados para determinar el cumplimiento de cada una de las marcas con respecto a cada parámetro de acuerdo al decreto 2115 de 2007.

Tabla 12.

*Resumen de los resultados obtenidos en las pruebas de las 3 marcas.*

<b>Parámetro</b>	<b>Tiempo de duración (min)</b>	<b>Valor mínimo permisible</b>	<b>Valor máximo permisible</b>	<b>Resultado de muestras marca #1 (ppm)</b>	<b>Resultado de muestras marca #2 (ppm)</b>	<b>Resultado de muestras marca #3 (ppm)</b>
pH	3	6,5	9	8,2	8,7	8,7
Conductividad	2	0	1000	350,7	388,6	391,4
Turbidez	2	0	2	1,6	1,4	-
Calcio	3	0	60	66	108	47
Cloruros	1	0	250	34	35	34
Fosfato - Ortofosfato		0	0,5	0,08	0,06	0,07
Fosforo total	40			0,2	0,2	0,2
Polifosfato				0,18	0,13	0,17
DQO	120			189	154	188
Magnesio	3	0	36	29,4	39	40,7
Nitritos	10	0	0,1	0,284	0,274	0,279
Sulfato	2	0	250	<100	<100	55

De acuerdo a esto, en la Tabla 12, se evidencia que algunos de los parámetros evaluados sobrepasan los valores máximos permisibles según la resolución 2115 de 2007, en cuanto a la variable de pH, las tres marcas evaluadas no sobrepasan el valor límite, pero se encuentran cerca del valor máximo permisible.

En cuanto a la variable de turbidez, al momento de sacar el promedio se evidencia que todos los valores quedan dentro de los rangos permisibles, pero si analizamos las 12 muestras tomadas, se evidencia que muchas sobrepasan el valor límite permisible, es decir, que esta podría contener microorganismos en altos niveles, como virus y/o algunas bacterias, lo cual afectaría la salud de los consumidores.

Para los parámetros como conductividad, cloruros, sulfato evidenciamos que los resultados que se obtuvieron en las pruebas se encuentran dentro del rango permisible según la resolución. Por otro lado, para las variables de calcio, fósforo-orto fósforo, magnesio y nitritos, se pudo observar que los resultados de las pruebas realizadas, se encuentran por fuera del valor permisible, es decir, contienen una cantidad de calcio, magnesio y nitritos mayor a la exigida por la resolución, lo cual afecta la salud humana de los consumidores y así mismo la calidad del agua comercializada.

#### 4.4. Estimación de la demanda

De acuerdo al historial de la demanda obtenida se Figura el comportamiento de los datos, el cual se logra evidenciar en la Fig. 20:

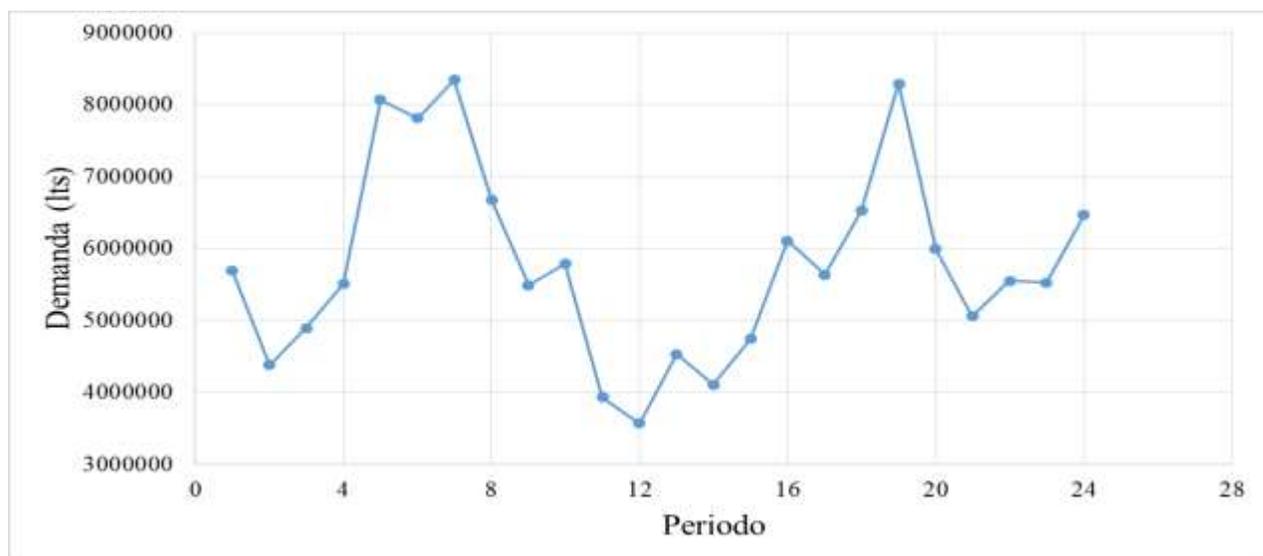


Figura 20. Comportamiento de la demanda de agua envasada. Información extraída de historial de demanda (Galbreth, Waller, Vincent, y Hyatt, 2013, pp. 15 - 20).

A través de la Fig. 20, se puede determinar o inferir que se presenta cierto ciclo para la misma fecha en ambos años, así mismo, una tendencia al incremento en los últimos periodos de cada año que se tiene en el histórico de demanda.

#### 4.4.1. Análisis de tendencia de series de tiempos.

Primeramente, se aplicó una regresión de tipo lineal de acuerdo al histórico de demanda que se tiene disponible, utilizando la ecuación (12), la cual dio como resultado (Gráfico 21).

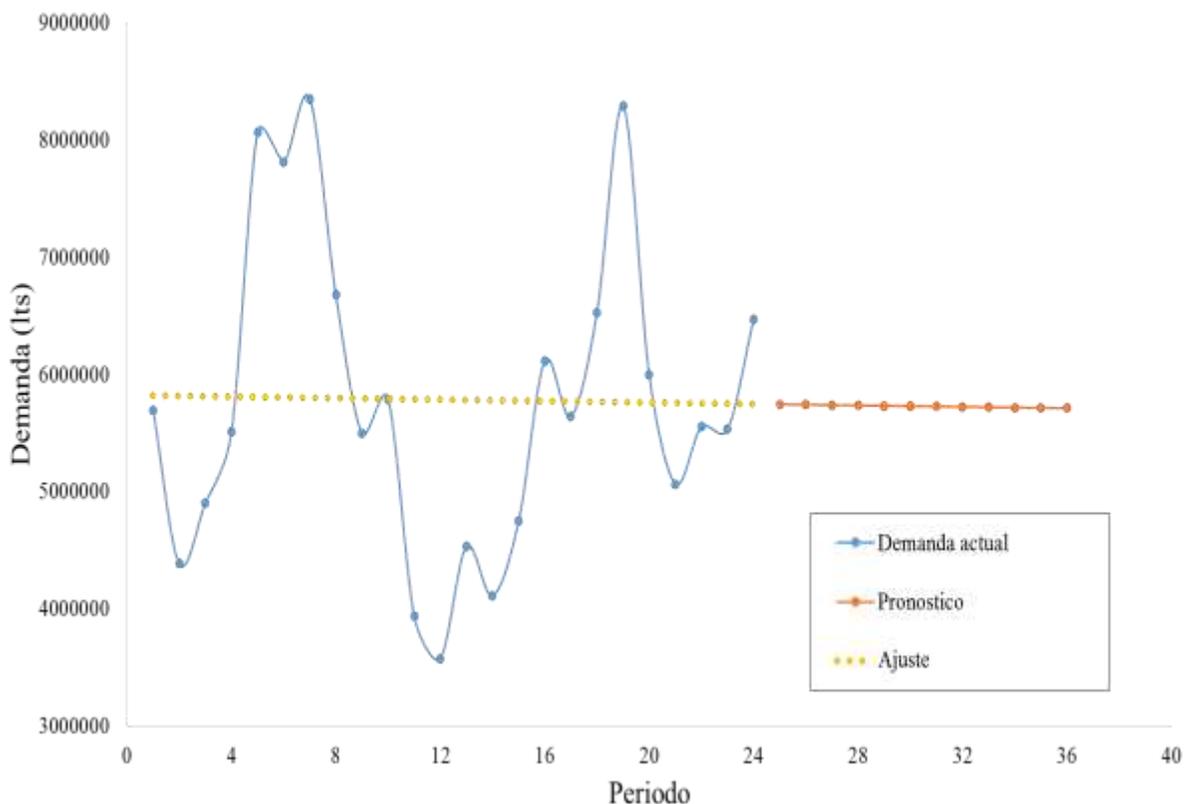


Figura 21. Análisis de tendencia lineal de demanda.

De acuerdo al Fig. 21, se identificó el comportamiento actual (línea azul), el ajuste lineal que se está analizando (línea amarilla), y el respectivo pronóstico (línea naranjada), observamos que no se adecua al comportamiento de los datos (Anexo 1).

Posterior a la aplicación del análisis de tendencia lineal, se procede a la aplicación del tipo de análisis de tendencia cuadrático haciendo uso de la ecuación (14), con la cual se obtuvieron los resultados que se muestran en el Fig. 22.

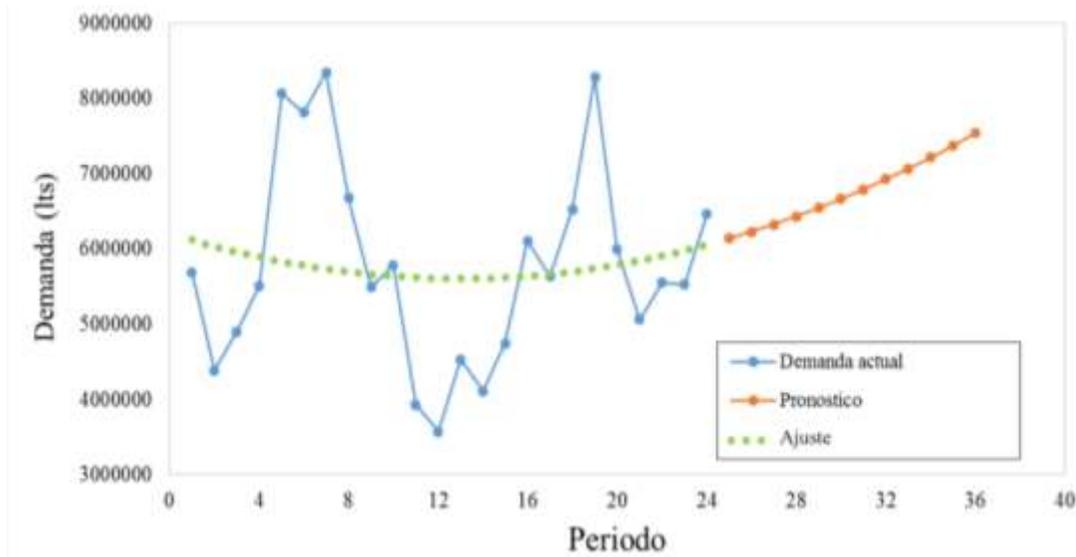


Figura 22. Análisis de tendencia cuadrática de la demanda.

Aplicando este tipo de análisis de tendencia, se evidenció el comportamiento actual y el ajuste del pronóstico a dicho comportamiento, evidenciándose el poco ajuste a los mismos.

Al continuar con la aplicación de tipos de regresión se recurre a la curva de crecimiento exponencial, la cual haciendo uso de la ecuación (15) nos brinda el comportamiento que se muestra en el Fig. 23.

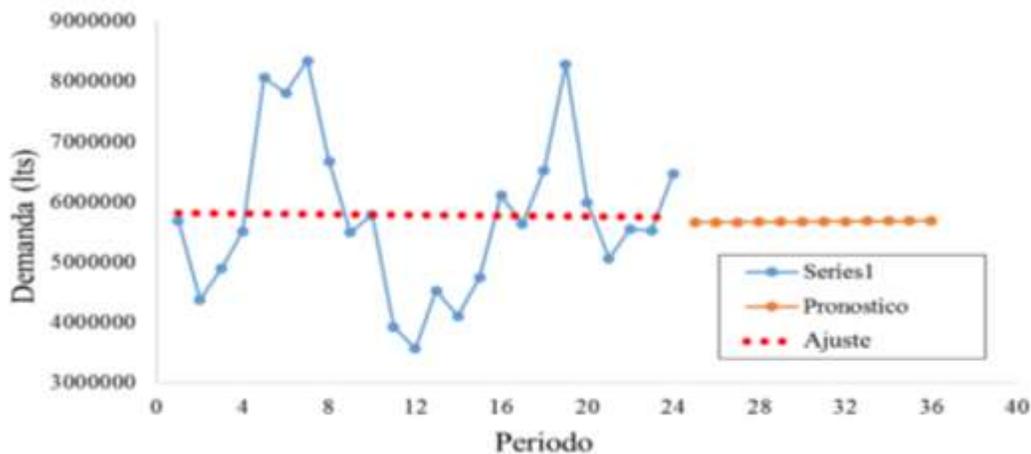


Figura 23. Comportamiento exponencial de la demanda

En el Gráfico 23, se logra evidenciar el comportamiento de la demanda, aplicándole una regresión de modelo exponencial.

Al iniciar con la descomposición de series de tiempos, bajo el modelo de descomposición multiplicativa y aplicando la ecuación (16) se obtuvo el comportamiento que se muestran en el Fig. 24.

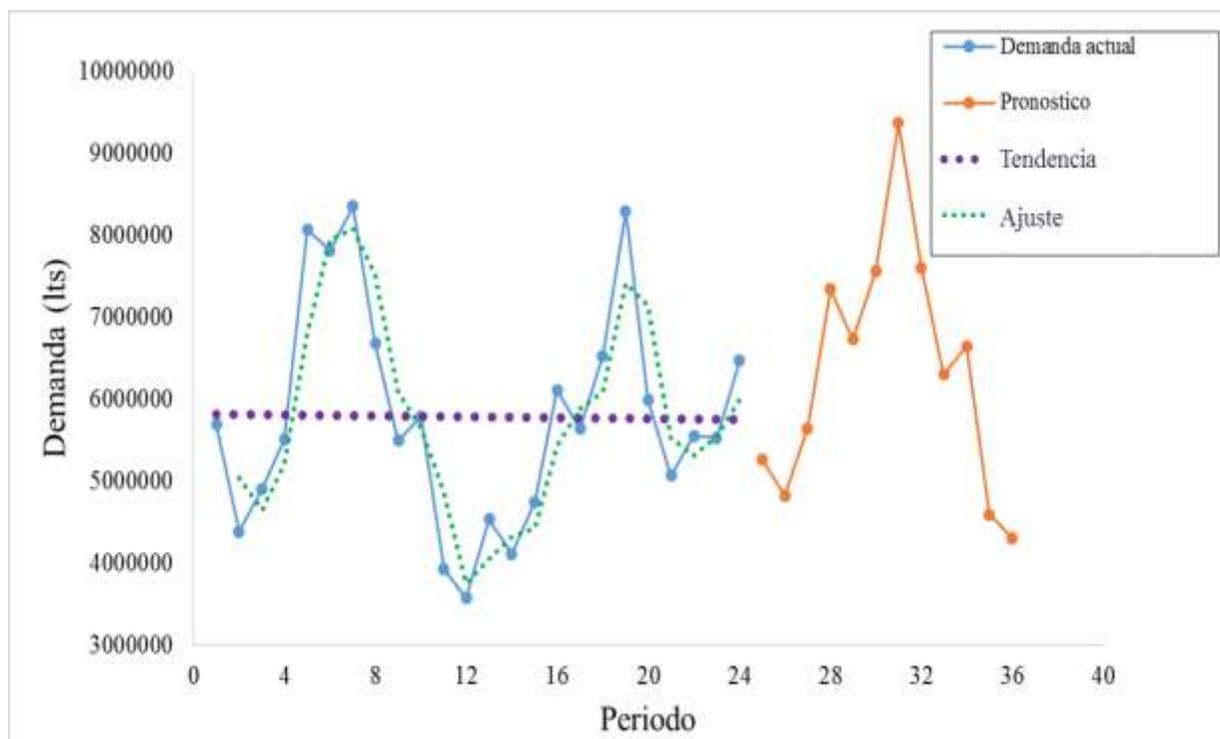


Figura 24.. Descomposición de series de tiempo de la demanda, modelo multiplicativo.

Al observar el comportamiento de la descomposición de series de tiempo, modelo multiplicativo, evidenciado en la Fig. 24, se puede deducir que tiene un comportamiento que se asimila al comportamiento real o actual.

Del mismo modo, se aplicó el modelo de descomposición de series de tiempo de tipo aditivo, con el uso de la ecuación (17) se obtuvo el comportamiento que se evidencia en el Fig. 25.

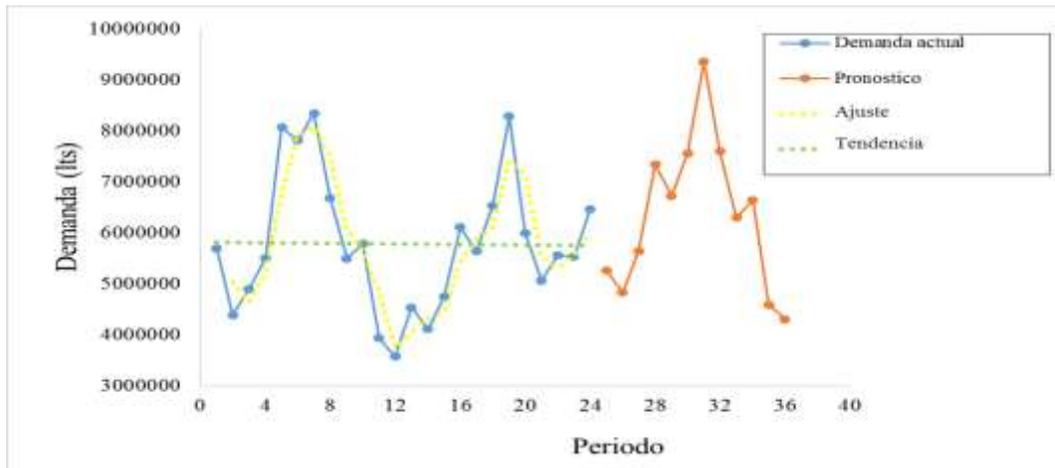


Figura 25. Descomposición de series de tiempo, aplicando el modelo aditivo

En el Fig. 25, se logró mejor comportamiento o ajuste que los modelos relacionados anteriormente, por lo tanto, el comportamiento bajo este modelo se asemeja de mejor manera al histórico de demanda disponible (Anexo 1).

Continuando con el análisis de series de tiempo, otra metodología que se aplicó fue la de los promedios móviles, por medio de la cual se conoció el pronóstico de los 12 meses del próximo año, aplicando la ecuación (18) se obtuvo el respectivo comportamiento o ajuste que se evidencia en el Fig. 26.

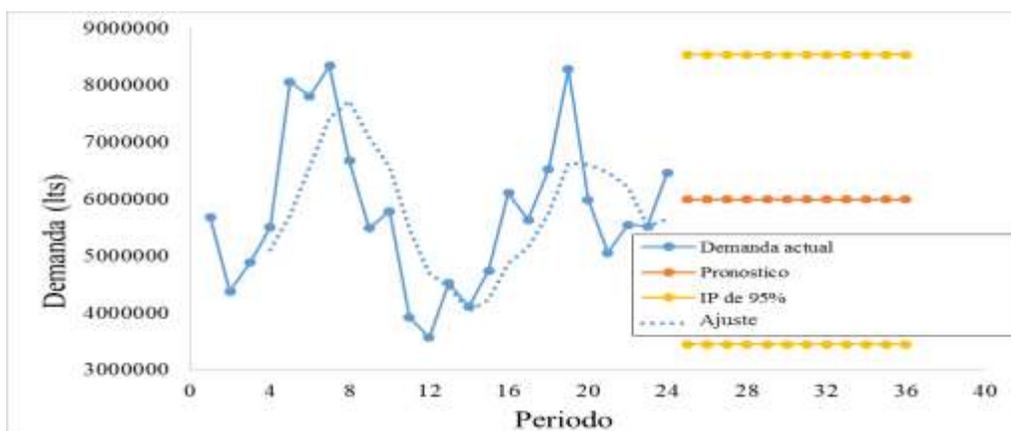


Figura 26. Aplicación de promedio móvil de demanda.

Al observar el Fig. 26, se evidencia que, aplicando esta metodología, se presentó un alejamiento entre el pronóstico y el comportamiento actual, por lo cual, no es una metodología confiable para determinar el pronóstico del año siguiente, ya que este modelo es aplicable para tendencias que no presentan patrones de tendencia, estacionalidad o ciclisidad en los datos, lo cual explica el error porcentual mayor a las metodologías de estimación de demandas aplicadas anteriormente.

Para finalizar la aplicación de modelos de estimación de demanda se aplicó la suavización exponencial simple haciendo uso de la ecuación (19), las cuales se evidencian su comportamiento o ajuste a los datos disponibles en el Fig. 27:

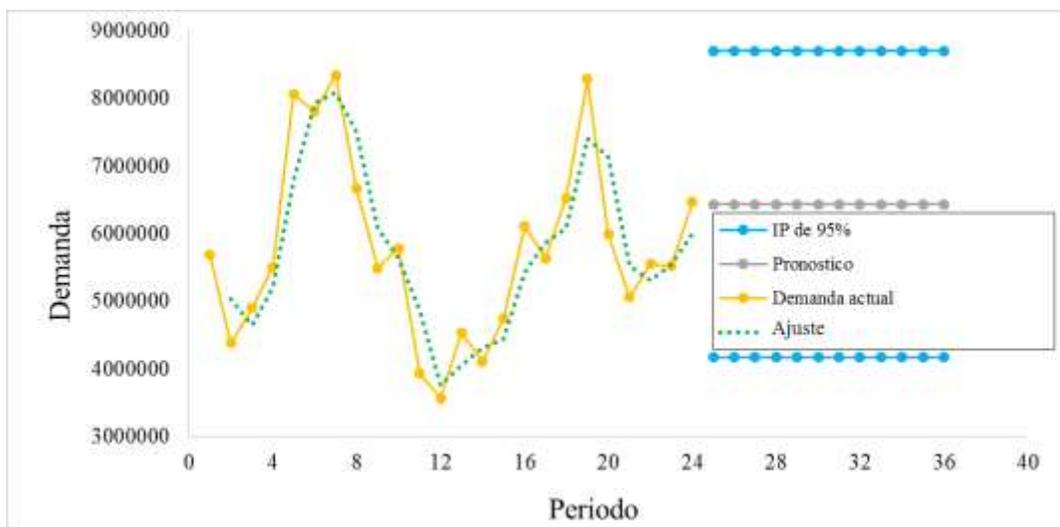


Figura 27. Aplicación de metodología de suavización simple.

**Constante de suavización:  $\alpha$  0,967336**

En el Fig. 27, se evidencio el comportamiento de los pronósticos al aplicar la metodología de suavización exponencial simple, se logra evidenciar que esta metodología busca ajustarse al comportamiento actual, pero no del todo en el ajuste.

Por último, se aplicó el modelo de suavización exponencial doble aplicando las ecuaciones, (20, 21 y 22) y se obtuvo el comportamiento que se muestra en la Fig. 28.

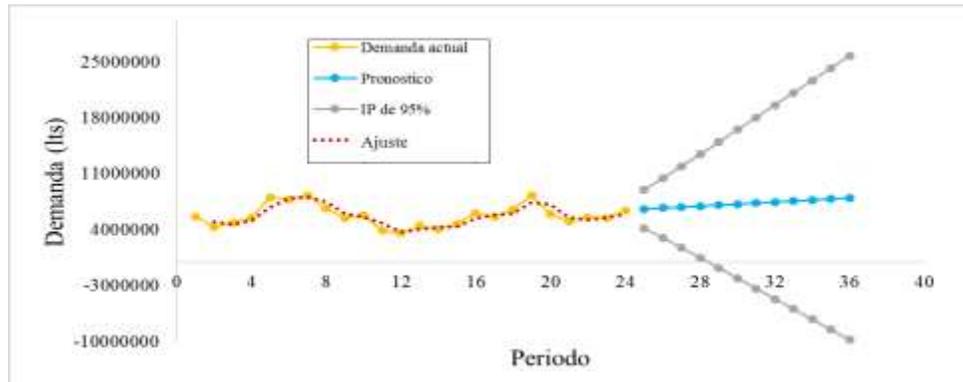


Figura 28. Suavización exponencial doble para demanda.

Tabla 13.

*Constante de suavización exponencial.*

Parámetro	Valor
A (Nivel)	1,01018
T (Tendencia)	0,03501

Tabla 14.

*Resumen de los indicadores de error de cada modelo.*

Modelo	MAPE	MAD	MSD
Tendencia lineal	1,86095E+01	1,02456E+00	1,72656E+12
Tendencia cuadrático	1,87150E+01	1,03985E+00	1,70257E+12
Curva de crecimiento exponencial	1,77592E+01	1,00352E+00	1,74918E+12
Modelo de descomposición multiplicativo	1,21017E+01	7,15806E+00	8,44123E+11
Modelo de descomposición aditivo	1,07862E+01	6,30735E+00	7,37143E+11
Promedio móvil simple	1,78732E+01	1,03123E+00	1,68418E+12
Suavización exponencial simple	1,62951E+01	9,25416E+00	1,32424E+12
Suavización exponencial doble	1,73440E+01	9,88400E+00	1,50835E+12

En la Tabla 14, se evidencian el MAPE, MAD y MSD de cada modelo, para la selección del modelo que mejor se ajusta, solo se tuvo en cuenta el indicador de error porcentual MAPE de todos los estimadores de demanda que se aplicaron, debido a que el MAPE es el indicador que mide el tamaño de error absoluto en términos porcentuales y de fácil comprensión al momento de elaborar y seleccionar pronósticos, a diferencia del MAD, que al igual que el anterior es un indicador, pero solo es utilizado para la generación de pronósticos en términos de cantidad o unidades (Gestión de operaciones, 2011, pp. 6 - 7). De acuerdo a esto, el método que ofrece menor error porcentual y que se ajusta de mejor manera a los datos disponibles es la descomposición de series de tiempo de tipo aditivo, cuyo MAPE fue de 10,78, por lo tanto, el pronóstico para el año siguiente se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15.

*Pronóstico*

<b>PERÍODO</b>	<b>PRONÓSTICO</b>
<b>25</b>	5054084
<b>26</b>	4671426
<b>27</b>	5360048
<b>28</b>	6759263
<b>29</b>	6236404
<b>30</b>	6944917
<b>31</b>	8564761
<b>32</b>	6961812
<b>33</b>	5804577
<b>34</b>	6086280
<b>35</b>	4314178
<b>36</b>	4113572
<b>TOTAL ANUAL</b>	<b>70871322</b>

#### 4.5. Descripción del Proceso Productivo

El proceso productivo del agua envasada se comprende de tres estaciones en las cuales se le realizan al agua proveniente del acueducto de la ciudad diferentes procesos, con la finalidad de modificar en está características físicas, químicas y microbiológicas, para que garantizar la potabilidad, de tal manera que cumpla con las condiciones mínimas para el consumo humano (Gráfico 29) (Ávila y Orobio, 2014, p. 70).

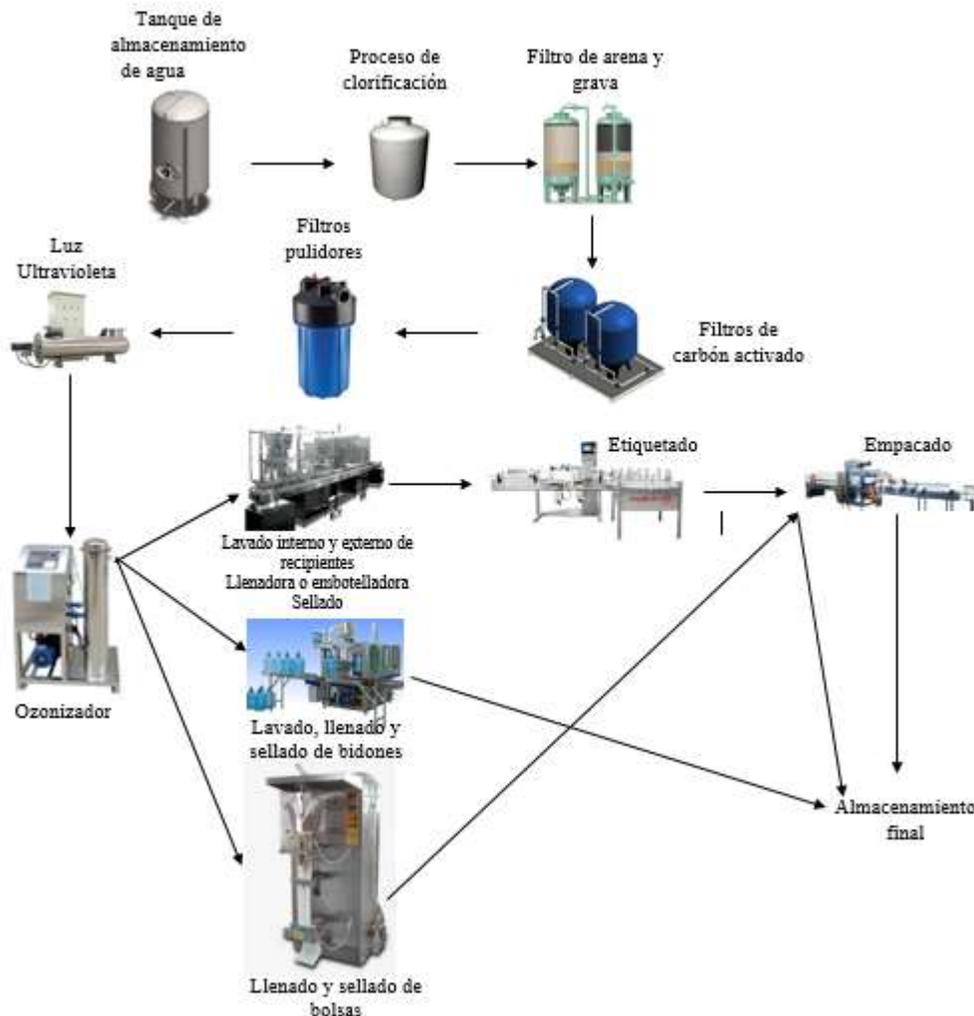


Figura 29. Descripción del proceso productivo.

#### **4.5.1. Estación de purificación del agua.**

Como se logra evidenciar en la Fig. 29 esta primera estación del proceso productivo para la obtención de agua envasada, se encuentra comprendida por diferentes etapas; siendo esta estación una de las más importantes dentro del proceso, ya que por medio de esta se busca eliminar todos los posibles contaminantes que contenga el agua proveniente del acueducto de la ciudad, a través de las diferentes etapas las cuales se relacionan a continuación:

##### **4.5.1.1. *Cloración.***

El agua almacenada será transferida a otro tanque en donde será tratada con hipoclorito de sodio, se utilizará concentraciones de 3 a 4 ppm y la duración del proceso es de dos horas; este proceso impide que en el agua se formen microorganismos.

##### **4.5.1.2. *Filtros de Arena y Grava.***

Finalizada la Cloración el agua pasara a la etapa de filtros de arena y grava, el cual es el encargado de detener los sólidos en suspensión o las partículas más grandes que esta pueda contener.

##### **4.5.1.3. *Filtro de Carbón Activado.***

Mediante el desarrollo de esta etapa, se busca eliminar el color, olor y sabores presentes en el agua, asimismo, el cloro que contenga la misma; este proceso se realiza por medio del método de absorción, de esta manera el agua queda más pura y cristalina. Finalizado este proceso, el agua será conducida a filtros pulidores, que se encargaran de retener las partículas de carbón u otras impurezas pequeñas (sólidos hasta 5 micras) que hayan quedado presentes en el agua (Ávila y Orobio, 2014, p. 70).

#### **4.5.1.4. Luz Ultravioleta.**

En esta etapa el agua pasa a través de una lámpara ultravioleta, con la finalidad de eliminar las bacterias, virus y algas que pudieron haber quedado de los procesos anteriores, funcionando como un germicida, de esta manera queda el agua completamente pura (Barragán y Caicedo, 2017, pp. 24 - 26).

#### **4.5.1.5. Ozonizador.**

Finalmente, el agua pasa a un tanque mezclador, en el cual se le aplica ozono Troposférico (O<sub>3</sub>); el cual contiene propiedades bacterianas. Por medio de este proceso, se impide que se formen microorganismos contaminantes, de tal forma que el agua conserve su estado puro y cristalino.

#### **4.5.2. Proceso de envasado.**

Posterior a tener el agua completamente pura, se da inicio al proceso de envasado o embotellado final, la cual está comprendida por tres etapas, las cuales se relacionan a continuación:

##### **4.5.2.1. Lavado interior y exterior.**

Esta es una etapa completamente independiente al proceso, pero absolutamente necesaria, debido a que evita la contaminación del producto purificado, para esto se toma los diferentes recipientes como botellas y botellones, se le aplican un proceso de lavado exterior haciendo uso de jabón biodegradable y agua suavizada. De igual manera, se realiza en el interior, pero aplicando presión para evitar que residuos queden en el interior y comprometan la inocuidad del producto final.

#### **4.5.2.2. Llenado.**

Después de aplicarle ozono al agua y se encuentra totalmente pura, se procede a realizar el llenado de todos los recipientes dependiendo el volumen de cada representación; bolsas de 360 ml, botellas de 600 ml y botellón de 19000 ml.

#### **4.5.2.3. Sellado.**

Posterior al llenado, se procede a aplicar sellado hermético a las diferentes botellas y botellones, en cuanto a las bolsas plásticas se hace uso de una selladora al vacío para la presentación de las bolsas de 360 ml.

#### **4.5.2.4. Etiquetado.**

Se aplica a cada botella una etiqueta con pegamento, la cual se va adhiriendo a la botella, de tal manera que queda fija en esta.

En cuanto a las bolsas estas se obtienen con la etiqueta de la empresa, para pasar directo al área de empacado. Los botellones al requerir menor número se realiza un etiquetado con el mismo material que lo conforma ya que estos van a ser regresado a la empresa.

#### **4.5.3. Empacado o embalaje.**

Para la estación del empacado, se procede a tomar cada presentación y empacar en las presentaciones de la forma como se van a distribuir en el caso de las bolsas de agua de 360 ml, se comercializa en pack por 20 unidades, herméticamente selladas con plástico, en cuando a las botellas de 600 ml, se venderás en pack por 12 unidades, en cuanto a los botellones se almacenarán de forma unitaria, las condiciones de conservación es a temperatura ambiente, evitando el contacto directo con la luz solar.

**4.5.4. Diagrama de operaciones del proceso productivo.**

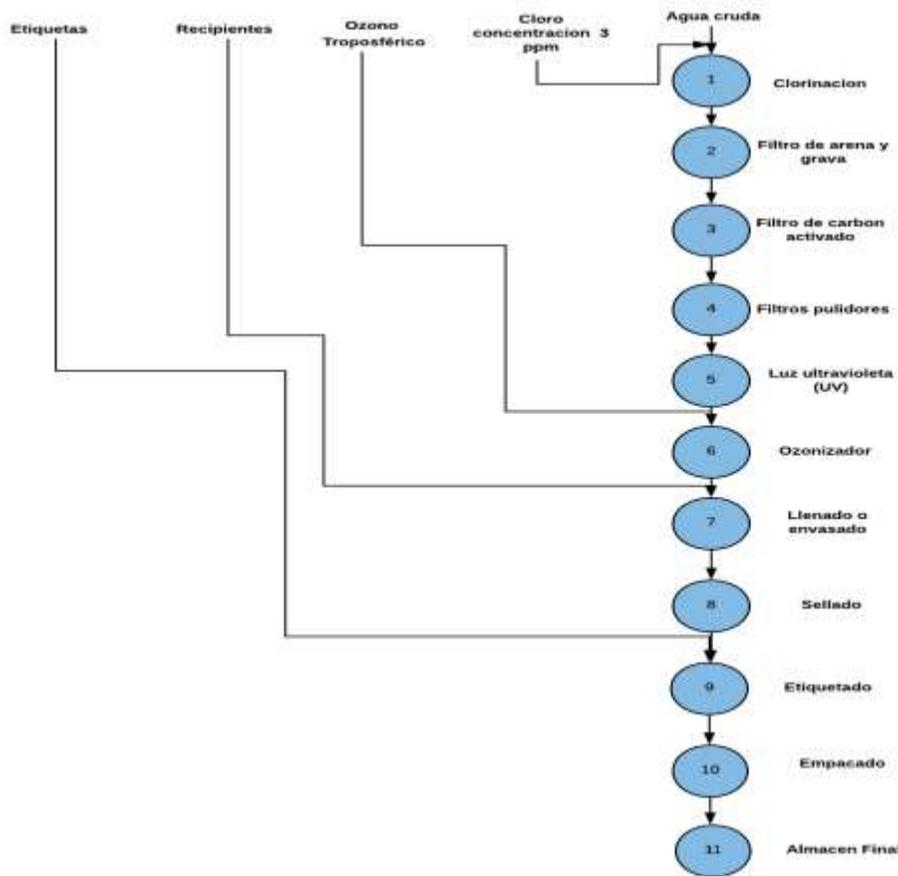


Figura 30. Diagrama de operaciones de planta envasadora de agua, adaptación de Ávila y Orobio, (2014, p. 73).

Tabla 16.

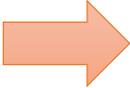
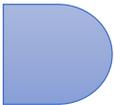
Número de operación en el proceso productivo de planta envasadora de agua, elaboración propia.

Actividad	Número
Operaciones	11
Inspecciones	0
Combinadas	0
<b>Total</b>	<b>11</b>

#### 4.5.5. Diagrama de proceso.

Tabla 17.

*Simbología para la realización de diagrama de proceso.* Adaptación de Aguilar, (2008, p. 33).

<b>Icono</b>	<b>Tipo de tarea</b>
	Tarea
	Transporte o desplazamiento
	Demoras o tiempos de esperas
	Inspección
	Almacenamiento

4.5.5.1. *Diagrama de proceso de bidones 19 lt.*

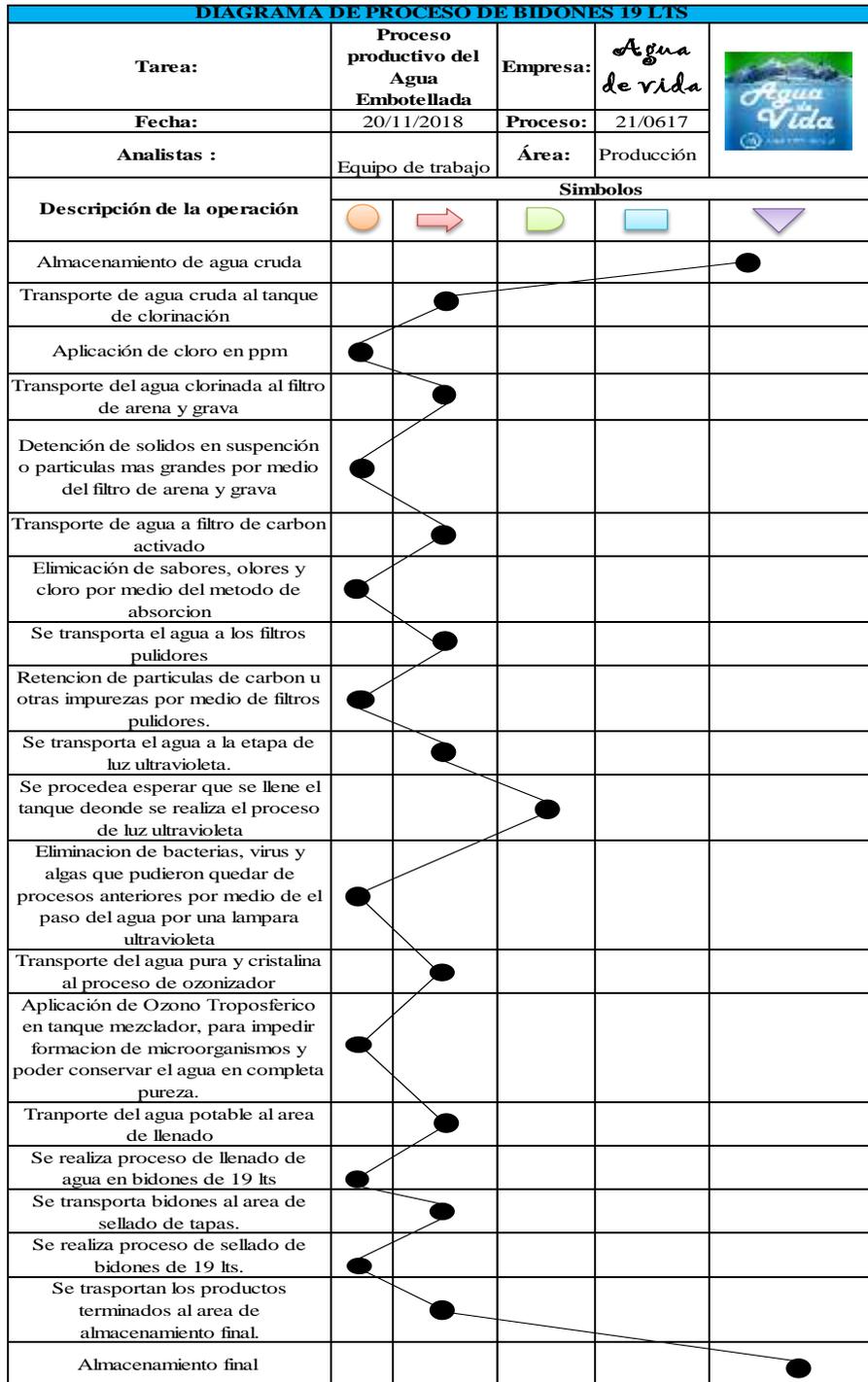


Figura 31. Diagrama de procesos para bidones.

4.5.5.2. Diagrama de proceso de botellas 600 ml

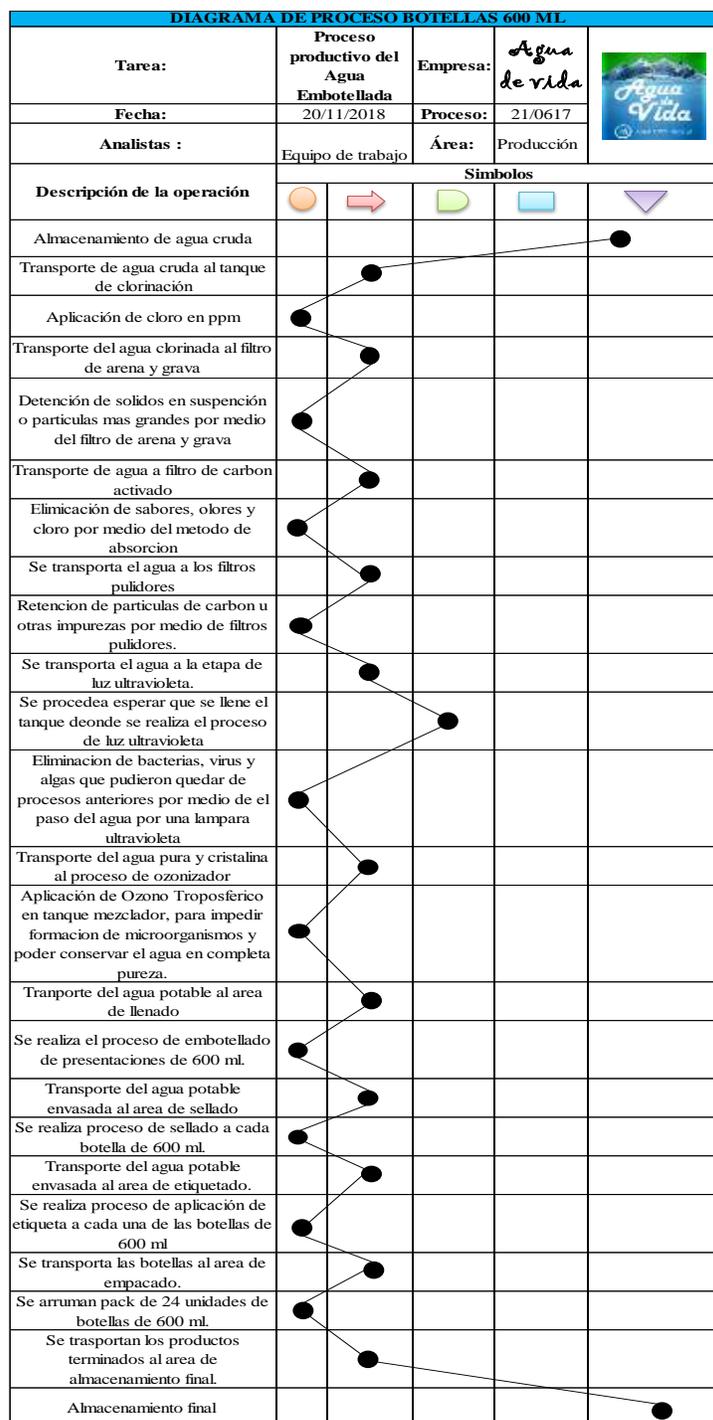


Figura 32. Diagrama de proceso para botellas

4.5.5.3. Diagrama de proceso de bolsas de 300 ml

Tarea:	Proceso productivo del Agua Embotellada	Empresa:	Agua de vida	
Fecha:	20/11/2018	Proceso:	21/0617	
Analistas :	Equipo de trabajo	Área:	Producción	
Descripción de la operación	Simbolos			
				
Almacenamiento de agua cruda				
Transporte de agua cruda al tanque de clorinación				
Aplicación de cloro en ppm				
Transporte del agua clorinada al filtro de arena y grava				
Detención de solidos en suspensión o particulas mas grandes por medio del filtro de arena y grava				
Transporte de agua a filtro de carbon activado				
Eliminación de sabores, olores y cloro por medio del metodo de absorcion				
Se transporta el agua a los filtros pulidores				
Retencion de particulas de carbon u otras impurezas por medio de filtros pulidores.				
Se transporta el agua a la etapa de luz ultravioleta.				
Se procede a esperar que se llene el tanque de donde se realiza el proceso de luz ultravioleta				
Eliminacion de bacterias, virus y algas que pudieron quedar de procesos anteriores por medio de el paso del agua por una lampara ultravioleta				
Transporte del agua pura y cristalina al proceso de ozonizador				
Aplicación de Ozono Troposférico en tanque mezclador, para impedir formacion de microorganismos y poder conservar el agua en completa pureza.				
Tranporte del agua potable al area de llenado				
Se realiza proceso de llenado de bolsas de 300 ml.				
Se realiza proceso de sellado.				
Se transporta las bolsas de 300 ml al area de empacado.				
Se forman pack de 20 bolsas de 300 ml.				
Se trasportan los productos terminados al area de almacenamiento final.				
Almacenamiento final				

Figura 33. Diagrama de procesos de bolsas

#### **4.6. Área Administrativa de la Planta Envasada de Agua Potable**

La planta envasadora de agua potable cuenta con un área administrativa, la cual se encuentra constituida por tres departamentos los cuales son:

##### **4.6.1. Talento humano y gestión comercial.**

Este departamento se encuentra comprendido por dos áreas como lo es talento humano, encargado de la formación de los trabajadores y del bienestar social y de la seguridad y salud en el trabajo de la empresa; con la finalidad de brindar un ambiente de trabajo adecuado, por otro lado, encontramos el área de gestión comercial, la cual es la encargada de las ventas del producto fabricado por la planta a los diferentes centros comerciales o tiendas del departamento y así mismo de la gestión del marketing.

##### **4.6.2. Gestión de la calidad.**

Se encarga de asegurar y verificar el cumplimiento de la política de calidad de la empresa y llevar toda la gestión de procesos requeridos en la empresa, con la finalidad de garantizar excelentes procesos y certificaciones frente a las entidades encargadas, además de esto, la persona encargada de esta área, se encontrará capacitada para llevar un equilibrio en los procesos de producción, con la finalidad de que el porcentaje de productos defectuosos sea mínima o nula.

##### **4.6.3. Contabilidad.**

Esta área está constituida por un contador profesional, encargado de llevar toda la contabilidad de la planta envasadora, es decir, toda aparte de administración de los recursos financieros, presupuestos, pagos de nómina, proveedores y gastos administrativos

En cada uno de estos departamentos se encuentra un coordinador de area con su respectivo auxiliar. Todas estas oficinas se encuentran equipadas con una silla ergonomica, un escritorio y silla auxiliar para la atención al usuario, cuentan con aire acondicionado y la iluminacion requerida.

#### **4.7. Áreas de Almacenamiento de la Planta Envasadora de Agua Potable**

La planta envasadora de agua potable agua de vida, dentro de sus instalaciones cuenta con unas áreas de almacenamiento final y de materia prima los cuales se describen a continuación:

##### **4.7.1. Almacenamiento de materia prima.**

Área encargada de suplir cada una de las estaciones del proceso productivo. La materia prima fundamental dentro de la razón de ser de la empresa es el agua proveniente del acueducto de la ciudad, la cual será suministrada por la empresa ADESA S.A, asimismo, también encontramos otros insumos necesarios dentro del proceso como lo son, los bidones, las botellas, los rollos de bolsas, tapas para bidones y botellas y los productos químicos como; hipoclorito de sodio, carbón actividad, arena y grava, O<sub>3</sub>.

##### **4.7.2. Almacenamiento final.**

Esta área es la encargada del almacenamiento de los productos terminados, bidones de 19 lts, botellas 600 ml y bolsas 360 ml las cuales estarán almacenados en estibas y estantes.

#### **4.8. Anchura de los Pasillos de la Planta Envasadora Agua Potable**

En cuanto a la anchura de los pasillos de la planta, es necesario recurrir a la normativa vigente que nos brinda los requerimientos a tener en cuenta para la realización del mismo, y en este caso, debido a que es una planta envasadora de agua todas las maquinarias usadas para la producción estarán sobre las paredes de la planta.

De acuerdo con la NTC 4140, las instalaciones en las cuales se necesite el tránsito de productos y realizar giros de más de 90 grados el ancho mínimo requerido sería 1.20 metros, con el fin de evitar cualquier riesgo y permitir una adecuada evacuación en caso de emergencia, estos estarán libres de cualquier obstáculo (Consejo directivo, 2005, pp. 2 - 3).

#### 4.9. Localización de la Planta Envasadora “Agua de vida”

Nuestro proveedor principal de agua tratada es AGUA DE LA SABANAS, la cual se encuentra ubicada en Carretera Troncal Km 1 Vía a Sincelejo - Corozal (Sucre), lo cual es un aspecto clave para la localización de la planta.

##### 4.9.1. Método Brown y Gibson.

Para este caso los sitios tentativos son: la primera opción de ubicación de la planta envasadora de agua potable, es El bálsamo, Municipio de Corozal (Sucre), debido a la cercanía que está tiene con la empresa aguas de la sabana, la cual es nuestra proveedora principal de materia prima, como lo podemos evidenciar en la Fig. 34, se estima una distancia de aproximadamente 700 m con un tiempo estimado de 8 min, además de esto, por su facilidad de acceso a los diferentes municipios (Fig.35).



Figura 34. Primera opción de ubicación de la planta envasadora de agua potable (Bálsamo, Corozal (Sucre) (8J4W+9J Bálsamo, Corozal, Sucre)



Figura 35. Distancia de agua de las sabanas hasta el balsamo

La segunda alternativa de ubicación, fue el parque industrial de Sincelejo, debido a que es una zona donde se encuentran la mayoría de las empresas del municipio y también diferentes distribuidoras de alimentos, además de esto, se garantiza seguridad a diferentes riesgos públicos como robos. En cuanto a su accesibilidad, es buena, pero más complicada que la alternativa anterior. Por otro lado, la distancia con nuestro proveedor aguas de la sabana, es de aproximadamente 7,4 km con un tiempo estimado de 11 min, como se evidencia en el Fig. 36 y Fig. 37.

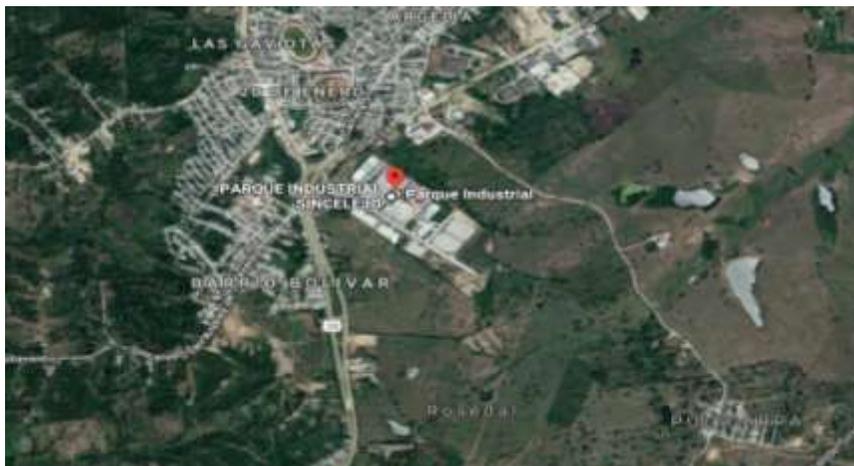


Figura 36. Segunda opción de ubicación de la planta envasadora de agua potable (Parque industrial de Sincelejo, (7HFV+29 Sincelejo)

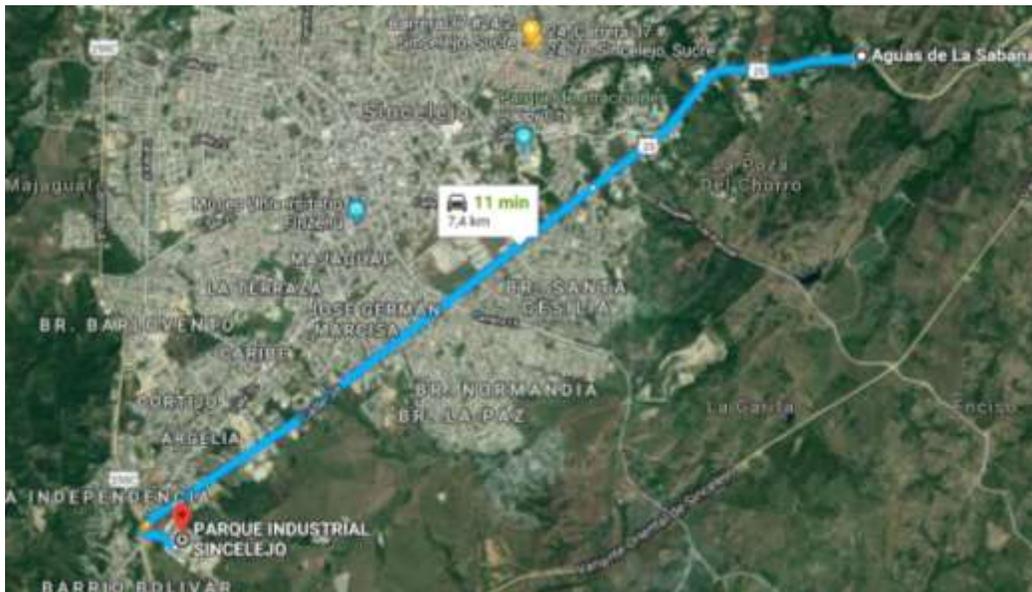


Figura 37. Distancia de aguas de la sabana-parque industrial de Sincelejo

La última alternativa que se tuvo en cuenta para la ubicación de la planta fue las bodegas de Postobón, debido a que es una localización de fácil acceso y ya ha tenido presencia de empresas envasadoras o fabricadoras de productos tipo bebidas, pero en cuanto a la seguridad la localización es cuestionable. La distancia de esta con nuestro proveedor aguas de la sabana es de aproximadamente 6,3 km, con un tiempo estimado de 9 min en carro (Fig. 38 y Fig. 39).



Figura 38. Tercera opción de ubicación de la planta envasadora de agua potable (Bodega de Postobon 7HHW+C2 Sincelejo, Sucre).

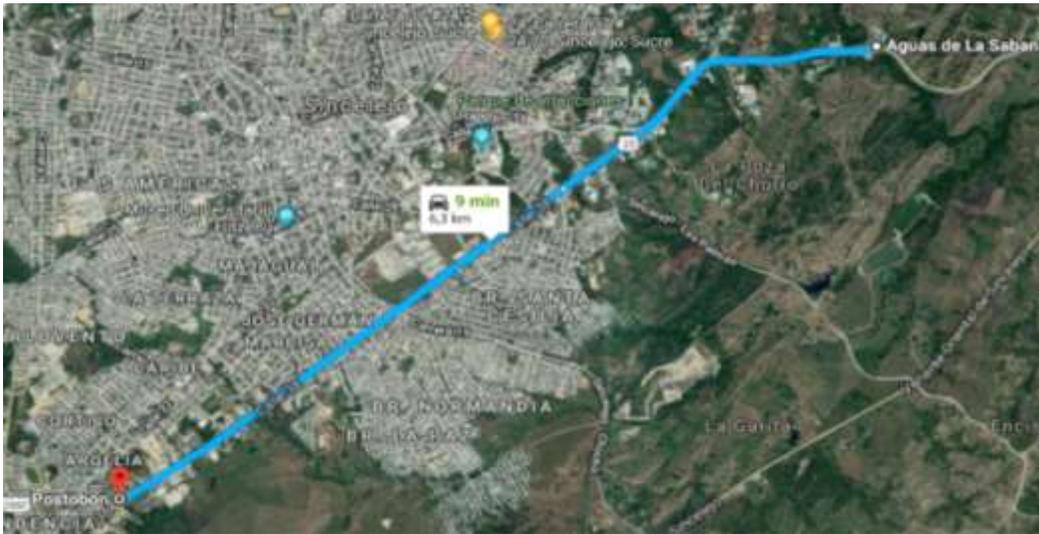


Figura 39. Distancia desde aguas de la sabana hasta la bodega de Postobón.

Para la obtención de la ubicación exacta de estas localizaciones o sitios tentativos para la localización de la planta, se hizo uso de Google Maps.

### **Factores a considerar en la localización del proyecto.**

Fue necesario tener en cuenta tanto factores objetivos como factores subjetivos, los cuales determinaron el mejor lugar donde se podrá ubicar la planta, dichos factores se relacionan a continuación:

#### **Factores objetivos considerados**

- Distancia del proveedor

#### **Factores subjetivos considerados**

- Accesibilidad
- Seguridad
- Cercanía a los clientes

Para la obtención de la distancia desde el proveedor a cada uno de los sitios tentativos, se hizo uso de la herramienta de Google Maps, por medio de la cual se obtuvo los siguientes datos, (Tabla 18)

Tabla 18.

*Relación de factor objetivo para cada sitio tentativo.*

<b>Factores objetivos(KM)</b>	
<i>Localización</i>	<i>Distancia desde el proveedor (km)</i>
Bálsamo, Corozal	0,7
Parque Industrial	7,4
Bodega de Postobon	6,3

Así mismo para la aplicación del método sinérgico fue necesario primeramente determinar el factor objetivo para el cual se hizo uso de la ecuación (23), por medio de la cual se obtuvo los siguientes factores objetivos para cada localización (Tabla 19).

Tabla 19.

*Factor objetivo para cada localización, elaboración propia.*

<b>Factores objetivos (Km)</b>			
<i>Localización</i>	<i>Distancia desde el proveedor (km)</i>	<i>Total</i>	<i>Factor Objetivo (Fo)</i>
Bálsamo, Corozal	0,7	0,7	0,829
Parque Industrial	7,4	7,4	0,078
Bodega de Postobon	6,3	6,3	0,092

Posterior a identificar el factor objetivo de cada localización optativa para la ubicación de la planta envasadora de agua, se procede a determinar los factores subjetivos, donde a cada uno de ellos se le brinda una ponderación, como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20.

*Determinación y ponderación de los factores subjetivos.*

<b>Factores subjetivos</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Deficiente</b>	<b>Bueno</b>	<b>Excelente</b>
Seguridad	30%	5%	15%	30%
Accesibilidad	40%	5%	20%	40%
Cercanía a clientes	30%	5%	15%	30%
<b>Total</b>	<b>100%</b>			

Donde se determinaron los factores subjetivos mencionados anteriormente y se le brindo la respectiva ponderación; seguridad es un factor que tiene una ponderación de 30%, el cual se le brinda a la localización que tenga una excelente seguridad en caso de que se considere buena, se le brindó un 15% y en caso de deficiente un 5%, e igualmente para el caso de la accesibilidad su ponderación es de 40% y cercanía a clientes 30% para un total de 100%, los resultados obtenidos por localización se muestran a continuación:

Tabla 21. *Ponderación de subjetiva para cada localización.*

<b>Factores subjetivos</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Bálsamo, Corozal</b>	<b>Parque Industrial</b>	<b>Bodega de Postobon</b>
Seguridad	30%	15%	30%	15%
Accesibilidad	40%	40%	20%	40%
Cercanía a clientes	30%	5%	15%	15%
<b>Factor subjetivo</b>		<b>60%</b>	<b>65%</b>	<b>70%</b>

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso fue combinar los diferentes factores para determinar el índice de localización que determinó el lugar donde la planta debería ser ubicada, por medio de la siguiente ecuación (24). El alfa con el que se trabajó fue de 0,80, es decir, el nivel de confiabilidad en nuestro proyecto será del 80%. De esta forma se obtuvo el índice de localización para las diferentes localizaciones, como se evidencia en la Tabla 22.

Tabla 22.

*Índice de localizaciones para las diferentes ubicaciones.*

<b>alfa</b>	<b>80%</b>
<b>Localizaciones</b>	<b>Índice de localización</b>
Bálsamo, Corozal	0,784
Parque Industrial	0,193
Bodega de Postobon	0,214

Por lo tanto, aplicando el método sinérgico de localización de plantas (Brown y Gibson), la ubicación con mayor índice de localización es el Bálsamo, Corozal, con un 0,784, lo que la convierte la mejor opción para realizar dicha localización de la planta envasadora de agua purificada.

#### **4.10. Descripción de la maquinaria y equipos**

La maquinaria y equipos necesarios para la planta envasadora de agua potable, se obtuvieron a través de una investigación, es decir, por medio de catálogos, donde se pudo obtener información requerida, como; dimensiones, capacidad, precio, características, etc. En la Tabla 23. Se evidencia toda la maquinaria a utilizar y su respectiva información.

Tabla 23.

*Listado de maquinaria utilizada.*

Maquinaria O Equipo	Referencia	Características	Valor	Requerimiento
	Tanque de almacenamiento de agua cruda y agua potable  (rotoplas SKU 40352-0)	Capacidad de 10.000 L Altura: 3.21 m Diámetro 2.20 m Material polietileno  (SODIMAC, 2018.)	\$6.947.178	2
	Tanque para Clorificación  (rotoplas SKU 40352-0)	Capacidad de 5.000L Altura: 1,77 m Diámetro 2.20 m Material polietileno  (SODIMAC, 2018.)	\$6.947.178	1
	Filtro de arena y grava  (Modelo OC-filtro de arena)	Temperatura de funcionamiento 1°C- 49°C Capacidad: 0.25 m3/h – 300m3/h Capacidad de la fuente 4000 unidades por mes. Dimensiones: 14” X 65”  (Alibaba, 2018.)	\$2.539.680	1
	Filtro de carbón activado	Control de ciclo: por tiempo 740F Tanque: 20x62” Flujo de lavado GPM: 21.80 Flujo en GPM 5 min tiempo de contacto: 7.50 Para reducción de cloro: 1 a 2 min Para reducción de olor y color: 3 a 5 min  (TodoAgua, 2018)	\$4.285.052	1

	Filtros pulidores (WATTS 10BB)	Dimensiones: 20" x 4,5"	\$207.422	1
	Luz Ultravioleta (Polaris Scientific UVA-200B)	GPM: 200 Vida promedio en horas: 9000 hrs Watts de bulbo: 87W Voltaje a 50/60Hz: 110V/220V Alarma visual: LED Número de lámparas: 8 Entrada / Salida: 4" Brida Cámara de agua: Acero inox. 304 Longitud: 36.93" Ancho: 8.62" Presión máxima: 125 PSI Temperatura de trabajo: 35°F – 104°F Longitud de onda: 254 nm (Carbotecnia , 2018)	\$2.034.498	1
	Ozonizador (YT-s-016)	Ozono: 30g/h Voltaje de entrada: 220V/50Hz Potencia de entrada: 1250w Concentración de ozono: 60-80mg/l Dimensiones: 88*51*133 cm Caudal de agua hasta 6M3/h (Alibaba, 2018)	\$3.169.000	1

	<p>Lavado interno y externo de recipientes,  Llenadora y Selladora  De botellas</p>	<p>Material de la botella: PET Capacidad: 3000bph Dimensión: 2000 * 2100 * 2200 mm Peso: 2500kg Potencia: 6kW  (Alibaba, 2018)</p>	<p>\$ 38.373.600</p>	<p>1</p>
	<p>Lavadora, llenadora y selladora de bidones</p>	<p>Capacidad de producción: 60 botellas/hora Dimensiones: 5250x750x1650 mm  (AguaMaquinas,2018)</p>	<p>\$23.457.180</p>	<p>1</p>
	<p>Llenadora y selladora de bolsas (Modelo SP-A100C)</p>	<p>Capacidad de producción: 2100bolsas/h Peso: 300kg Dimensiones: 1050x750x1800 mm Potencia: 1.2 kW  (Chinapak , 2018)  (ebay , 2018)</p>	<p>\$13.716.716</p>	<p>1</p>
	<p>Empacado  De botellas</p>	<p>Capacidad de producción: 8 paquetes por minuto Tipo de empaque: película Potencia: 22kW Dimensiones: 2000x700x1400 mm  (Alibaba,2018)</p>	<p>\$15.989.000</p>	<p>1</p>

	<p>Etiquetado de botellas</p>	<p>Dimensiones: 2420 mm (L) x 1380 mm (W) x 1350 mm (H).</p> <p>Consumo: 660VA</p> <p>Capacidad de producción: 110 botellas /minuto</p> <p>(Pack leader, 2018)</p>	<p>\$ 1.597.500</p>	<p>1</p>
	<p>PC All in One HP – 24-f002 – AMD A9</p>	<p>23.8” Pulgadas</p> <p>Disco Duro 1Tb</p> <p>Sistema Operativo: Windows 10 Home</p> <p>Memoria RAM: 4GB</p> <p>Capacidad de 500gb</p> <p>Procesador Intel Core i7</p> <p>Sistema operativo Windows 10</p> <p>Consumo energético 65 w</p> <p>Tamaño (LxPxA cm) 49,6 x 5,9 x 34, 8</p> <p>Peso 5,9 kg</p> <p>(HP)</p>	<p>\$1.279.000</p>	<p>4</p>
	<p>Cámara de seguridad 600TVL 12V</p> <p>Marca XTS</p> <p>Modelo MDVPIR600-36</p>	<p>600 TVL Color/BW</p> <p>True Day/Night with Mechanical IR Cut Filter.</p> <p>Vandal resistant, omni-mounting system.</p> <p>20m IR distance.</p> <p>3.6mm fixed IR lens</p> <p>Consumo energético 0.5w (Exonica)</p>	<p>\$183.900</p>	<p>3</p>
		<p>Velocidad de impresión: A4: Hasta 20 ppm Negro, / Primera página impresa: 9,5 segundos Negro</p> <p>Resolución de impresión Negro (óptima): Hasta 600 x 600 PPP.</p> <p>Tecnología de impresión: Láser.</p> <p>Funciones del software inteligente de la impresora: Tecnología de encendido y apagado automático</p>		

	<p>Impresora hp m127fn láser multifunción</p>	<p>HP, HP ePrint, Apple AirPrint, Servidor web integrado. (Citi-Shop)  Tensión de entrada: 110 a 127 VCA (+/- 12 %), 60 Hz (+/- 3 Hz)</p>	<p>\$500.000</p>	<p>1</p>
	<p>Carrito de transporte para carga  Modelo: PH 150</p>	<p>Capacidad 150 kg  Dimensiones: 74 x 48 x 14,7 cm  Material: Acero  (SODIMAC,2018)</p>	<p>\$ 162.618</p>	<p>2</p>
	<p>Jug pallet  (modelo 1085X812X199MM)</p>	<p>Dimensiones: 1085 x812 x 199 mm  Peso: 10,7 kg  (Grupo Paletplastic, 2018)</p>	<p>\$ 76.084</p>	<p>30</p>
	<p>Estibas de madera</p>	<p>Capacidad en dinámica: 1500 kg  Capacidad: 2500kg  Dimensiones: 1,2 m x 1,2 m  (Central de Maderas G&amp;S S.A.S,2018)</p>	<p>\$27.000</p>	<p>351085</p>
	<p>Botellas pet bala + tapa de seguridad para vidrios y plástico</p>	<p>Dimensiones: Altura 24,4 cm, diámetro 6,1 cm  Capacidad: 600 ml  Diámetro tapa: 28 mm</p>	<p>\$484</p>	<p>47.900</p>
	<p>Bidones para agua potable</p>	<p>Dimensiones: Altura 50 cm Diámetro 27 cm  Capacidad: 19 lt</p>	<p>\$2.000</p>	<p>1.323</p>

	Estand para almacenar bidones	Dimensiones: Largo: 2,16 m Ancho: 1 m Altura: 2,16 m Capacidad: 128 bidones		
---	-------------------------------	--	--	--

#### 4.11. Listado para dotaciones

Tabla 24.

Listado de dotación utilizado.

Equipo	Referencia	Características	Requerimiento	Valor
	Jeans industrial Azul	Elaborado en tela índigo 100% algodón		\$25.000
	Camisas industriales	100% algodón		\$27.900
	Botas ingeniero café	Resistente al impacto 20 Kg Cuero Graso calibre 18/20 mm con características de flexión, tensión, hidrofugación e impermeabilidad.		

		<p>Normas ASTM F 2413 - NTC ISO 20345 (EL Overol SAS)</p>		\$75.000
	<p>Botiquín de primeros auxilios</p>	<p>Los frascos y las cajas presentes, deben estar adecuadamente cerradas y guardadas en sitios de preferencia frescos y secos.</p> <p>Todo el material del botiquín debe estar ordenado y etiquetado, debiendo incluirse en los materiales presentes una lista de los teléfonos de emergencia de la zona.</p>	<p>1</p>	\$60.000
	<p>Productos de aseo</p>	<p>Deben estar adecuadamente cerradas y guardadas en sitios adecuados.</p>	<p>Necesarios</p>	\$500.000

	<p>Silla Gerencial Floyd</p>	<p>Graduable en profundidad y en altura</p> <p>Los brazos son de altura graduable, y vienen dotados con un mecanismo que permite ajustar la distancia entre ellos, adaptándose así a personas de cualquier talla</p>	<p>2</p>	<p>\$703.900</p>
	<p>Escritorio Ejecutivo Vidrio Negro 10-352 Ld</p>	<p>Largo:165*170 Cm Ancho:60 Cm Alto:80 Cm</p>		<p>\$250.000</p>
	<p>Aire Acondicionado LG Unidad Interior PM07SP</p>	<p>Aire Acondicionado Split de pared LG</p> <p>Unidad Interior modelo PM07SP</p> <p>Inverter</p> <p>Clase A de una potencia 2.1 kW y 1806 frigorías de bajo nivel sonoro y filtro antivirus y anti alergias</p> <p>Consumo energético Refrigeración 1080 y Calefacción +7° 1000</p> <p>Refrigeración 191</p> <p>Calefacción 875</p>		<p>\$712.000</p>

	Teléfono fijo KX-TGB210	Tiempo de carga Alrededor de 7 horas  Consumo eléctrico en Stand by de la unidad 0.6 W  Identificador de llamadas  Rango de frecuencia 1.91 GHz - 1.93 GHz	3	\$103.500
---	----------------------------	---	---	-----------

#### 4.12. Balanceamiento de la línea de producción

Para realizar el balanceamiento de la línea de producción de Agua envasada “Agua de Vida”, fue necesario tener información de la demanda que se tiene, como se determinó, la demanda estimada anual de agua envasada es de 70.871.322 millones de litro, de acuerdo al pronóstico obtenido anteriormente.

Al observar la demanda estimada, sería imposible cumplir con toda esta capacidad, por tanto, por decisión propia la empresa agua de vida, prevee cumplir con el 5% del total de la demanda anual estimada (3'543.566), la cual se determinó haciendo uso de la ecuación (25), además de esto, se determinó que se laborará 296 días al año, de los cuales se exceptúa los domingos y feriados, debido a que para el cumplimiento de la demanda anual en litros de agua, se debe cumplir con una demanda diaria de 11.972 litros de agua al día, determinada por medio de la ecuación (26) y por último, se determinó el tiempo de ciclo, haciendo uso de la ecuación (27), los resultados se pueden evidenciar de mejor manera en la Tabla 25.

Tabla 25.

*Demanda.*

Demanda anual pronosticada (Lt)	Porcentaje de la demanda a cubrir	Demanda anual	Demanda diaria	Tiempo de ciclo
70'871.322	5%	3'543.566	11.972	0,04

Por lo tanto, la planta debe tener la capacidad de cada 0,04 min tratar un litro de agua o purificar un litro de agua.

Posterior a la obtención del tiempo de ciclo, se determinó el tiempo diario requerido de cada máquina para cubrir la demanda diaria aplicando la ecuación (28), del mismo modo fue necesario conocer la capacidad real diaria de cada máquina haciendo uso de la ecuación (29), y por último, después de contar con todos estos datos, por medio de la ecuación (30) se determinó el respectivo dato de balance para cada estación. Los resultados de este balanceamiento se pueden apreciar de mejor manera en la Tabla 26.

Tabla 26.

*Resumen del balanceamiento de la línea de producción.*

Proceso	Operación	Capacidad	Tiempo utilizado por capacidad (min)	Tiempo disponible diario (min)	Producción requerida	Tiempo requerido	Capacidad real	Dato de balance	Maquinaria requerida
Purificación	Cloración	10000	120	480	11972	143,7	40000	0,299	1
	Filtro de arena	4000	60	480	11972	179,6	32000	0,374	1
	Carbón activado	28,39	1	480	11972	421,7	13627,2	0,879	1
	Luz ultravioleta	756	1	480	11972	15,8	362880	0,033	1
	Ozonizador	6000	60	480	11972	119,7	48000	0,249	1
Envasado o embotellado	Bidones	2280	60	480	4190,2	110,3	18240	0,230	1
	Botellas	1800	60	480	4788	159,6	14400	0,333	1
	Bolsas	756	60	480	2993	237,5	6048	0,495	1
Etiquetado	Botellas	110	1	480	7982	72,6	52800	0,151	1
Empacado o embalaje	Botellas	2	1	480	322	161,0	960	0,335	1
	Bolsas	2	1	480	416	208,0	960	0,433	1

En la Tabla 26, se evidencia la cantidad de máquinas necesarias en cada una de las estaciones de producción para poder satisfacer la demanda diaria estimada, el procedimiento para la obtención de estos resultados se puede apreciar en los anexos (Anexo 3).

### 4.13. Diagrama de Relaciones

#### 4.13.1. Diagrama de relaciones entre actividades de Richard Muther.

Por medio de este análisis de relaciones, procedemos a brindar cuales son importantes que estén cerca y cuáles no, lo cual se realiza por medio de unos códigos de cercanía y sus complementos (Tabla 6 y Tabla 7), es decir, que tan cercana puede estar una etapa de la otra.

Talento Humano y Gestión comercial									
Gestión de Calidad	I								
	6								
Contabilidad	I	0							
	6	4							
Servicios auxiliares	I	I	0						
	3	3	3						
Purificación del agua	U	I	U	X					
	...	5,7,6	...	9					
Envasado y embotellado	U	I	U	X	A				
	...	5,6,7	...	9	1,3,6				
Empacado o embalaje	U	I	U	X	A	A			
	...	5,6,7	...	9	1,3,6	1,3,6			
Almacenamiento MP	U	U	U	U	I	E	E		
	...	...	...	...	1,6	1,3,6	3,6		
Almacenamiento final	U	U	U	U	U	E	A	I	
	...	...	...	...	..	6	6	1,7	
	Talento Humano y G. comercial	Gestión de calidad	Contabilidad	Servicios Auxiliares	Purificación del agua	Envasado y Embotellado	Empacado o Embalaje	Almacenamiento MP	Almacenamiento final

Figura 40. Relación entre los diferentes departamentos de la planta envasadora de agua.

De acuerdo al Gráfico 40, se evidencia que las actividades que son absolutamente necesarias que estén juntas son; envasado- embotellado, purificación del agua, empacado o embalaje y almacenamiento final, es decir, todo el proceso productivo, debido a que estos departamentos tiene una secuencia de flujo de trajo y comparten el mismo material, además de esto, también se evidencia que hay departamentos que es importante que estén juntos, como es la



#### 4.13.2. Hoja de trabajo de relación de actividades.

Tabla 27.

*Relación de actividades*

	Proceso	Grado de vinculación					
		A	E	I	O	U	X
1	Talento Humano	...	...	2,3,4	...	5,6,7,8,9	...
2	Gestión de Calidad	...	...	4,5,6,7	3	9,8	...
3	Contabilidad	...	...	1	2,4	5,6,7,8,9	...
4	Servicios auxiliares	...	...	1,2,3	...	8	5,6,7,9
5	Purificación del agua	6,7	...	2,8	...	1,3,9	4
6	Envasado o embotellado	5,7	8,9	2	4	1,3	4
7	Empacado o embalaje	5,6,9	8	2	...	1,3	4
8	Almacenamiento MP	...	6,7	9	...	1,2,3,4	...
9	Almacenamiento final	7	6	8	...	1,2,3,4,5	...

#### 4.14. Requerimiento de espacio de cada estación y/o área de trabajo

Para determinar el área requerida para cada una de las estaciones de trabajo o el área total de la planta envasadora de agua potable, se tomó como base las dimensiones de cada una de las máquinas utilizadas para el proceso productivo, así mismo, la determinación de la anchura de los pasillos; con el fin de obtener un área total de la planta, por medio de las ecuaciones (31,32,33,34,y 35) se logró obtener el área total para cada una de las estaciones de trabajo como es el caso primeramente del área de producción (Tabla 28).

#### 4.14.1. Determinación de los requerimientos de espacio en el área de producción.

Para la determinación del área de producción, se tuvo en cuenta las dimensiones de cada una de las maquinas con las que cuenta cada estación de trabajo, además de esto, se asigna una área de pasillo y una tolerancia considerable (Tabla 28).

Tabla 28.

*Requerimientos de espacio del área de producción.*

Estación	Maquina utilizada	Área de maquina (m <sup>2</sup> )		Área (m <sup>2</sup> )	Tolerancia (75%)	Maquinas requerida	Área utilizada	Área de pasillo (50%)	Área total
		Largo	Ancho						
Purificación del agua	Tanque para cloración	-	-	3,80	6,65	1	6,65	3,325	13,01
	Filtro de arena y grava	-	-	0,10	0,175	1	0,175	0,0875	
	Filtro de carbón activado	-	-	0,20	0,35	1	0,35	0,175	
	Filtros pulidores	-	-	0,20	0,35	1	0,35	0,175	
	Luz Ultravioleta	0,9380	0,22	0,21	0,36113	1	0,36113	0,180565	
	Ozonizador	0,88	0,5	0,45	0,7854	1	0,7854	0,3927	
Envasado	Lavadora, llenadora y selladora de botellas	2,00	2,10	4,20	7,35	1	7,35	3,675	32,19
	Lavadora, llenadora y selladora de bidones	5,25	0,75	3,94	6,890625	1	6,890625	3,4453125	
	Llenadora y selladora de bolsas	1,05	0,75	0,79	1,378125	1	1,378125	0,6890625	
	Etiquetadora de botellas	2,42	1,38	3,34	5,8443	1	5,8443	2,92215	
Empacado	Empacadora de botellas	2,00	0,70	1,40	2,45	1	2,45	1,225	3,68
<b>TOTAL</b>									<b>48,88</b>

Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo, se hizo con el área requerida para los equipos auxiliares (Tabla 29), obteniendo así el área total de producción (Tabla 30).

Tabla 29.

*Requerimiento de espacio para los equipos auxiliares*

Equipos auxiliares utilizados	Área de equipos auxiliares (m <sup>2</sup> )		Área	Tolerancia (50%)	Equipos requeridos	Área utilizada	Área de pasillo (25%)	Área total
	Largo	Ancho						
Tanque de almacenamiento	-	-	3,80	5,7	1	5,7	1,425	7,125
Carro de transporte para cargas	0,74	0,48	0,36	0,5328	2	1,0656	0,2664	1,332
<b>TOTAL</b>								<b>8,46</b>

Tabla 30.

*Resumen del total de área requerida para área de producción.*

Área total de maquinaria	48,8
Área total de equipos auxiliares	8,46
<b>TOTAL ÁREA PRODUCCIÓN</b>	<b>57,34</b>

Por lo tanto, el area requerida para todo el proceso productivo del agua envasada “Agua de vida” es de aproximadamente **57,34 m<sup>2</sup>**, teniendo en cuenta la cantidad de maquinaria requerida, la distancia entre pasillos y una tolerancia estimada.

#### 4.14.2. Determinación de espacio del área administrativa.

Para el requerimiento de espacio del area administrativa de la planta, se determinó el area de cada una de las oficinas por las que se comprende está area, tales como; talento humano-Gestión comercial, contabilidad y gestion de la calidad, donde se tuvo en cuenta las dimensiones de los inmobiliarios con los que contara cada oficina y se le asigno cierta tolerancia, como se evidencia en la Tabla 31.

Tabla 31.

*Requerimiento de espacio para area administrativa.*

Estación	Maquina analizada	Área de equipo		Área	Subtotal	Equipos requeridos	Tolerancia (75%)	Área de pasillo (50%)	Área total
		Largo	Ancho						
Talento humano y Comercial	Escritorio	1,7	1,7	2,9	2,9	3	10,8375	5,41875	16,3
Contabilidad	Escritorio	1,7	1,7	2,9	2,9	1	5,075	2,5375	7,6
Gestion de calidad	Escritorio	1,7	1,7	2,9	2,9	1	5,0575	2,52875	7,6
<b>TOTAL</b>									<b>31,5</b>

Por lo tanto, el área requerida para la parte administrativa de la planta envasadora es de aproximadamente **31,5 m<sup>2</sup>** teniendo en cuenta los equipos de trabajo utilizados.

#### 4.14.3. Determinación del área para servicios auxiliares.

Tabla 32.

*Área de servicios auxiliares.*

Servicio Auxiliar Analizado	Largo	Ancho	Área	Tolerancia (75%)	Área total
Baño de hombre	1,5	1,8	2,7	2,0	4,7
Baño de mujeres	1,5	1,8	2,7	2,0	4,7
<b>TOTAL</b>					<b>9,5</b>

#### 4.14.4. Determinación de áreas para almacenamiento.

##### 4.14.4.1. Almacenamiento de final

Para el área de almacenamiento final, se tuvo en cuenta la cantidad de productos a fabricar y la forma en la que serían almacenados, así mismo, su flujo de salida, teniendo en cuenta; estibas o soportes de almacenamiento, como se logra evidenciar en la tabla 33.

Tabla 33.

*Determinación de espacio de almacenamiento final.*

Estación	Espacio	Área de equipos(m <sup>2</sup> )		Área	Tolerancia (75%)	Maquinas requeridas	Área utilizada	Área de pasillo (50%)	Área total
		Largo	Ancho						
Almacenamiento final	Almacenamiento de bidones	1,1	0,8	0,9	1,5	7,0	10,8	5,4	95,57
	Almacenamiento de botellas (Pack 24u)	1,2	1,2	1,4	2,5	9,0	22,7	11,3	
	Almacenamiento Pack bolsas 20u	1,2	1,2	1,4	2,5	12,0	30,2	15,1	

De acuerdo a la tabla 33, el área total requerida para el almacenamiento final es de **95,57 m<sup>2</sup>**.

##### 4.14.4.2. Almacenamiento de materia prima

Una de las áreas importantes a determinar es el área de almacenamiento de materia prima, la cual es fundamental para garantizar la provisión del proceso productivo, para dicha determinación se tuvo en cuenta el área ocupada por cada estiba o embalaje en el que viene cada insumo como; botellas vacías, bidones, rollos de bolsas, etc. (tabla 34).

Tabla 34.

*Determinación de espacio para almacenamiento de materia prima.*

		Área de equipos(m2)							
Estación	Espacio	Largo	Ancho	Área	Tolerancia (75%)	Numero de pacas	Área utilizada	Área de pasillo (50%)	Área total
Almacenamiento MP	Almacenamiento de bidones vacíos	2,2	1,0	2,2	3,2	11,0	35,6	3,6	72,63
	Almacenamiento de botellas vacías	1,2	0,61	0,73	1,1	25,0	27,5	2,7	
	Almacenamiento rollos de bolsas 360 ml	0,7	0,7	0,5	0,7	4,0	2,9	0,3	

#### 4.14.5. Resumen del área total requerida.

Tabla 35.

*Resumen del área total requerida.*

Área total requerida	
Departamento	Área (m <sup>2</sup> )
Talento humano y gestión comercial	16,3
Contabilidad	7,6
Gestión de calidad	7,6
Purificación de agua	21,46
Envasado	32,19
Empacado	3,68
Servicios auxiliares	9,5
Almacenamiento MP	72,63
Almacenamiento final	95,57
<b>TOTAL</b>	<b>266,4</b>

Por lo tanto se puede deducir que para el levantamiento de la planta envasadora de agua potable “Agua de vida” con capacidad para 382 bidones, 32.272 bolsas y 16.945 botellas con agua diarios, se requieren **266,4 m<sup>2</sup>** aproximadamente.

#### 4.15. Diseño de la Planta Envasadora de Agua

Para la obtencion del diseño, fue necesario ingresar los nombres de los departamentos en el programa, su respectivo tamaño determinado anteriormente y el diagrama de relaciones realizado con anterioridad, como se muestra en la Fig. 42.

	Nombre Departamento	Tamaño Depart. m2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Rh y G. Comercial	16,3	■	I	I	I	U	U	U	U	U
2	G.Calidad	7,6		■	O	I	I	I	I	U	U
3	Contabilidad	7,6			■	I	U	U	U	U	U
4	Sev. Aux	13,01				■	X	X	X	U	U
5	Purificacion Agua	32,19					■	A	A	I	U
6	Envasado	3,68						■	A	E	E
7	Empacado	9,5							■	E	A
8	Almacen MP	72,63								■	I
9	Almacen Final	95,57									■

Figura 42. Datos iniciales solicitados por CORELAP, imagen extraída de Corelap.

#### 4.15.1. Primera alternativa de la planta envasadora.

Bajo las condiciones ingresadas anteriormente, el algoritmo realiza una reestructuración de los departamentos, ordenándolos desde mayor a menor TCR, por lo que el primer departamento sería empacado, seguidos de envasado, purificación del agua, gestión de calidad, almacén de MP, almacenamiento final, talento humano y gestión comercial, contabilidad y servicios auxiliares (Fig. 43).

Tabla 36.

*Organización de los departamentos por importancia, obtenida por CORELAP.*

Orden	Nombre	TRC	Superficie m <sup>2</sup>
1	Empacado	32	9,5
2	Envasado	31	3,68
3	Purificación	27	32,19
4	G. Calidad	27	7,6
5	Almacén MP	26	72,63
6	Almacén final	25	95,57
7	RH y G. Comercial	22	16,3
8	Contabilidad	21	7,6
9	Servicios. Auxiliares	19	13,01
<b>Superficie requerida</b>			<b>258,08</b>
<b>Superficie disponible</b>			<b>258</b>

Fuente: Elaboración propia.

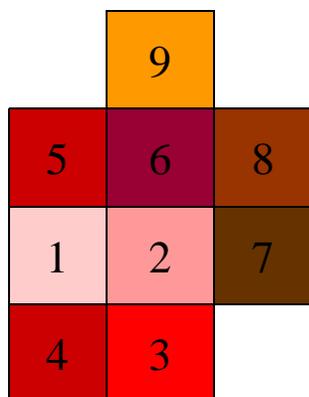


Figura 43 Distribución de espacio (Layout) de planta envasadora. Distribución obtenida a través de corelap.

Fuente: Elaboración propia

En la Fig. 43, se logra ver en layout de planta que ofrece el software, donde se evidencia que coloca todo el proceso productivo de purificación, envasado y empaçado junto, además tiene en cuenta que los servicios auxiliares (Baños) deben estar mejor de envasado, empaçado y purificación de agua debido a la normativa de higiene.

**4.15.2. Segunda alternativa de la planta envasadora.**

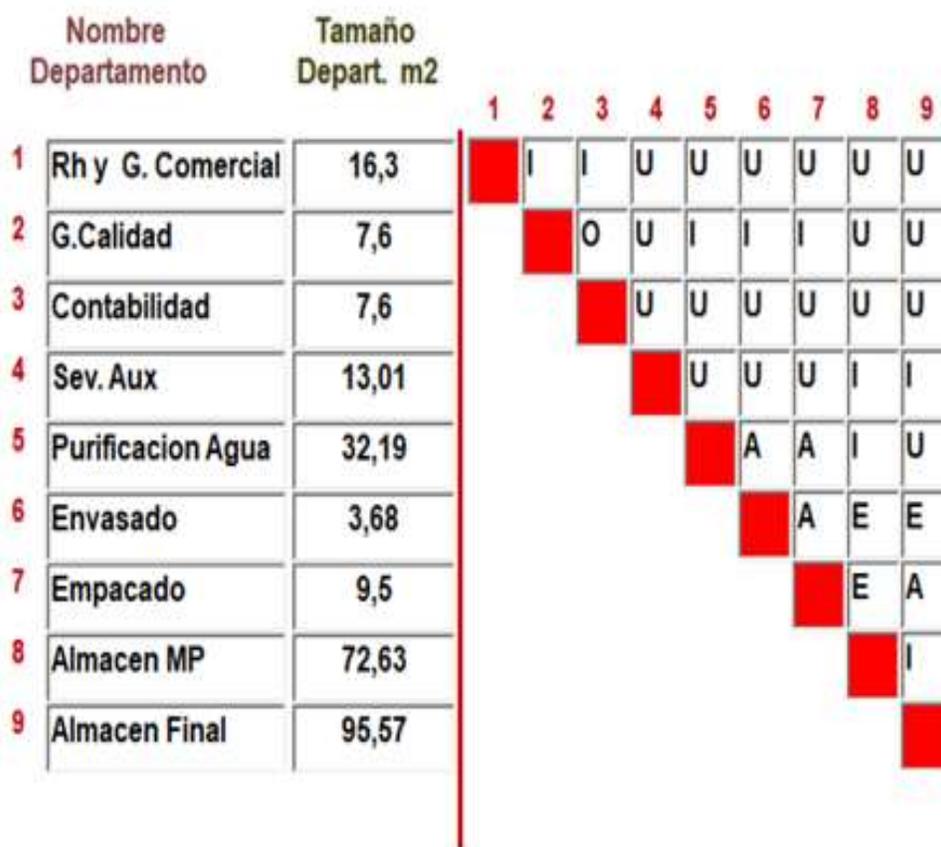


Figura 44. Datos suministrados a corelap para la obtención de segunda alternativa. Imagen extraída de corelap.

Con los datos suministrados en la Fig. 44, se obtiene la siguiente organización de departamentos y el respectivo TCR. (Fig. 45).

Tabla 37.

*Organización de departamentos, obtenida de corelap. Fuente: elaboración propia.*

Orden	Nombre	TRC	Superficie m <sup>2</sup>
1	Empacado	33	9,5
2	Envasado	32	3,68
3	Almacén de MP	28	72,63
4	Purificación	28	32,19
5	Almacén Final	27	95,57
6	G. Calidad	25	7,6
7	RH y G. Comercial	20	16,3
8	Servicios auxiliares	20	13,01
9	Contabilidad	19	7,6
<b>Superficie requerida</b>			<b>258,08</b>
<b>Superficie disponible</b>			<b>258</b>

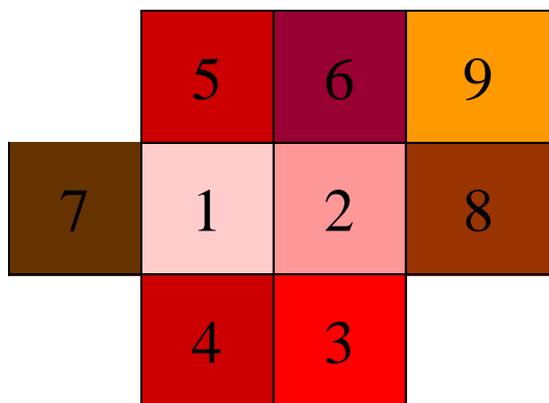


Figura 45. Layout de planta embotelladora, segunda alternativa. Imagen extraída de corelap.

Como se logra evidenciar en la Fig. 45, bajo esta reorganización de espacios, los servicios auxiliares queda cerca del proceso de purificación del agua, lo cual atentaría contra la calidad del producto, de acuerdo a la normativa de higiene, por esta razón la alternativa que tiene en cuenta los diferentes requisitos y normativas en cuanto a higiene es la alternativa uno, por lo tanto, ese sería el diseño de planta seleccionado.

#### 4.16. Levantamiento del diseño de la planta envasadora



a. Vista Diagonal

b. Vista Frontal



c. Vista Superior

Figura 46. Panorama del diseño de la planta envasadora de agua.

## 4.17. Simulación

Una de las herramientas utilizadas para la toma de decisiones es la simulación, en este proyecto se hizo uso de dicha herramienta para mostrar las condiciones en las que la planta envasadora de agua potable funcionara, y determinar si las alternativas propuestas dan cumplimiento a la demanda anual estimada.

El proceso de obtención del modelo, fue el método gráfico, por el cual se obtuvieron las alternativas, mencionadas anteriormente (Fig. 43 y Fig. 45).

### 4.17.1. Simulación con FlexSim®.

#### 4.17.1.1. *Objetos, atributos y entidades*

Para el modelo de simulación que se va a implementar se utilizaron distintos objetos del software FlexSim® tales como; generador de fluidos, tanque de fluidos, fluido a elemento, separador de fluidos, procesador, combinador, fuente, cola, transportador recto. Los cuales se describen de mejor forma a conitnuacion:

- **Generador de fluidos:** El generador de fluidos o como lo podemos encontrar en el software FlexSim® “FluidGenerator”, es el encargado del suministro de fluidos para un modelo (Fig. 47).



Figura 47. Generador de fluidos

- **Tanque de fluidos:** En el software FlexSim® lo podemos encontrar en ingles como “Fluidtank”, la función de este objeto, es la recepcion y envio del material al mismo tiempo (Fig. 48).

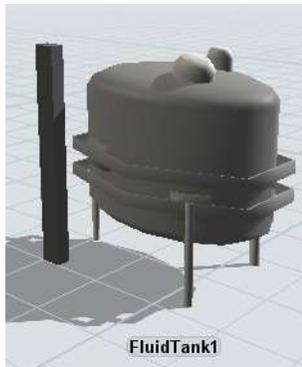


Figura 48. Tanques de fluidos

- **Separador de fluidos:** El separador de fluidos o FluidSplitter, es un objeto utilizado como su nombre lo indica, para la separación de fluidos de forma porcentual, es decir, se encarga de enviar el material a diferentes puertos de salida (Fig. 49).

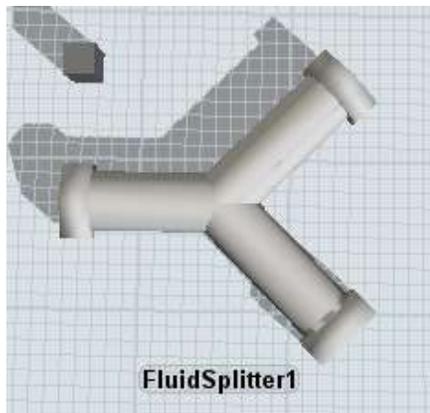


Figura 49. Separador de fluidos.

- **Fluido a elemento:** El “FluidToitem” como se encuentra en el software FlexSim®, se encarga de recibir fluidos y convertirlos en elementos de flujo, en este caso, en el

modelo, se encarga de recibir el agua potable y convertirla en botellas de 600 ml, bolsas de 360ml y bidones de 19 lt (Fig. 50).

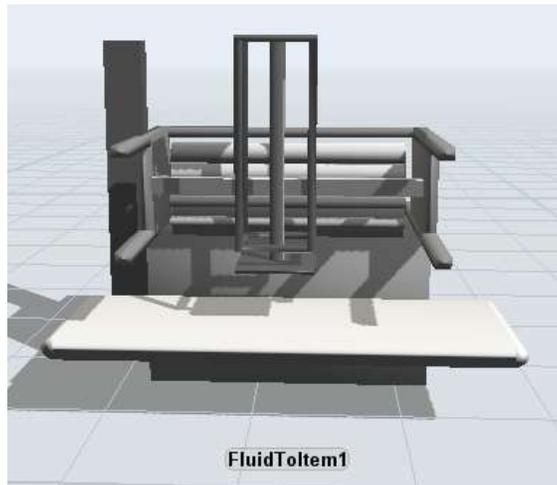


Figura 50. Fluido a elemento.

- **Procesador:** El procesador o como lo encontramos en FlexSim® “processor”, es un objeto por medio del cual se puede simular el procesamiento de flowitems en un modelo (Fig. 51).

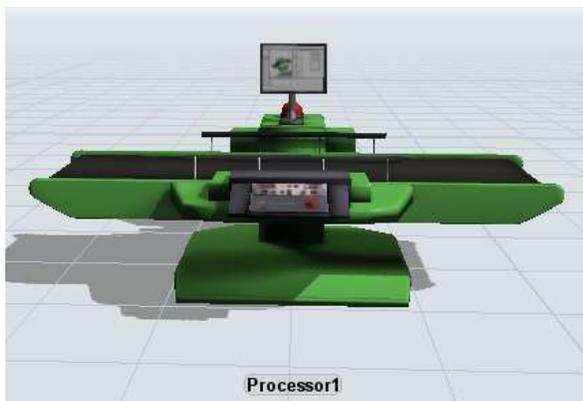


Figura 51. Procesador

- **Combinadores:** El combinador, como su nombre lo indica es utilizado para agrupar varios elementos, este puede realizar paquetes, unión o lote (Fig. 52).

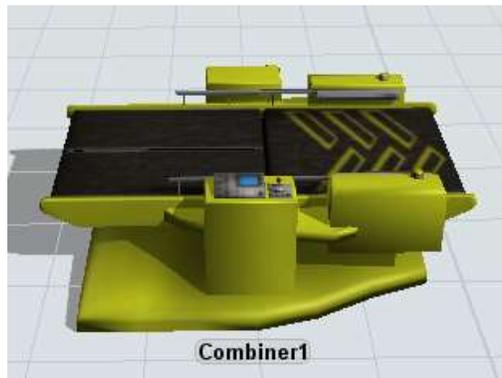


Figura 52. Combinador

- **Transportador recto:** El transportador recto o conveyors es un objeto del software FlexSim®, el cual nos ayuda a transportar material de un objeto a otro, es decir, este puede simularse como cinta transportadora o transportadora de rodillo (Fig. 53).



Figura 53. Banda transportadora

- **Fuente:** En el software FlexSim® lo encontramos como “Source”, el cual es un objeto utilizado para simular los elementos del modelo, es decir, se encarga de crear los flowitems para el modelo, además, se le puede asignar el tipo de ítem y color de acuerdo a lo que se esté simulando (Fig. 54).

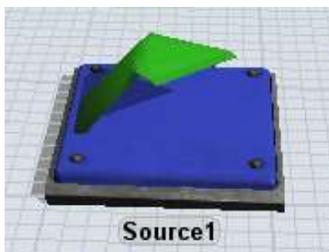


Figura 54. Fuente “Source”

- **Cola:** El “Queue”, es un objeto del software FlexSim® que es utilizado para el almacenamiento de los flowitems entre operaciones, cuando la operación siguiente no puede recibirlo o también es usado como un almacenamiento final.

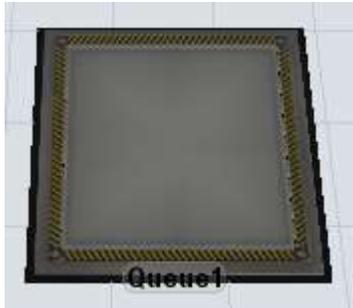


Figura 55.. Cola “Queue”

#### 4.17.2. Configuración del modelo en FlexSim® alternativa de producción primera.

Para la adaptación del proceso productivo de la planta envasadora de agua en el municipio de Sincelejo en el software FlexSim®, fue necesario aplicar cierta configuración a todos los fluiditems que se utilizaron, el modelo general del sistema productivo se muestra en la Fig. 56.

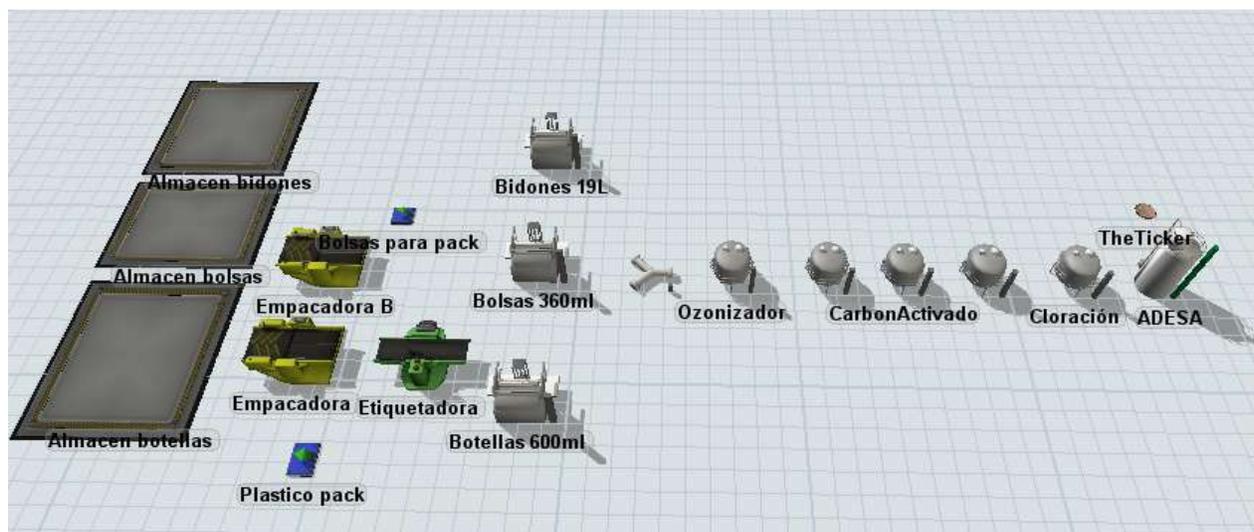


Figura 56. Modelo general de sistema productivo en FlexSim®

Uno de los primero fluiditems necesarios dentro del modelamiento en FlexSim® fue el generador de fluido, el cual hace el papel en este caso del proveedor principal, y se configuró de tal manera que brinde la cantidad de litros de agua necesarios para cumplir con la demanda diaria, dicha configuracion se muestra en el siguiente Fig. 57.

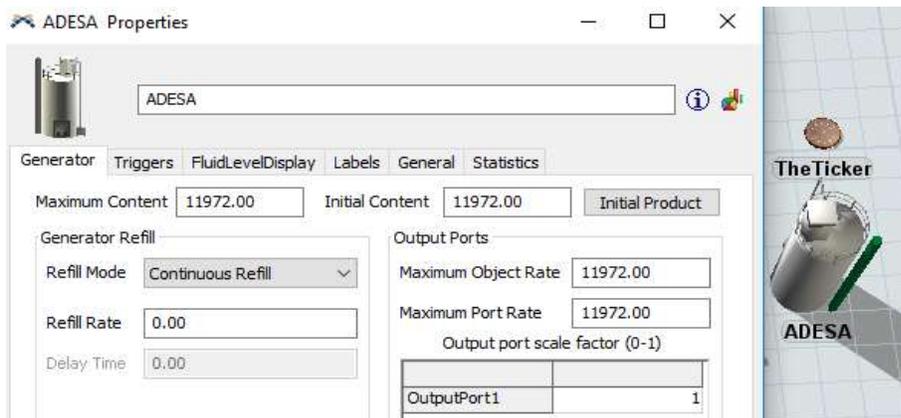


Figura 57. Configuración de generación de fluido.

Los litros de agua necesario para el cumplimiento de la demanda son 11.972 litros/diarios. Posterior a generar el fluido necesario pasa directamente al tanque de cloración, donde se tiene la capacidad de procesar los 11.972 litros/días en 143,6 min, a este proceso llegan los litros generados e inicia el proceso, el cual tiene una tasa de procesar 83,4 litros cada min, la cual se convierte en la tasa de salida del tanque de cloración para poder procesar la cantidad de litros diarios requeridos como se logra evidenciar en la Fig. 58.

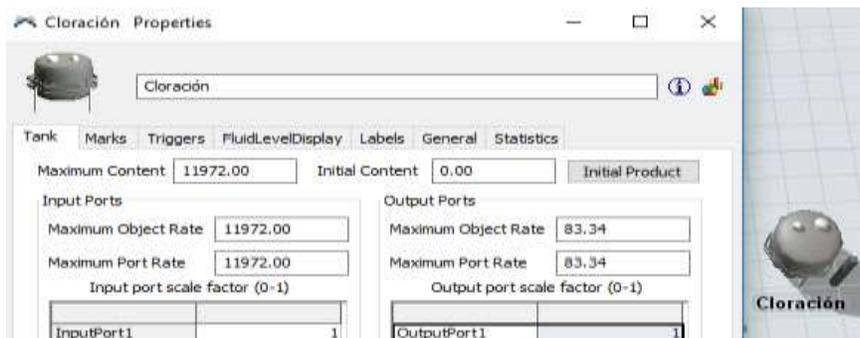


Figura 58. Configuración de cloración del agua.

Continuando con el proceso de purificación del agua, procede la operación de filtrado en arena y grava, donde llega los litros de agua a una tasa de 83,4 lt/min, y este filtro tiene una capacidad de procesar 66,66 lt/min, por lo tanto quedan litros bloqueados, logrando procesar la totalidad de litros diarios en 180 min, de esta forma se evidencia en la Fig. 59.

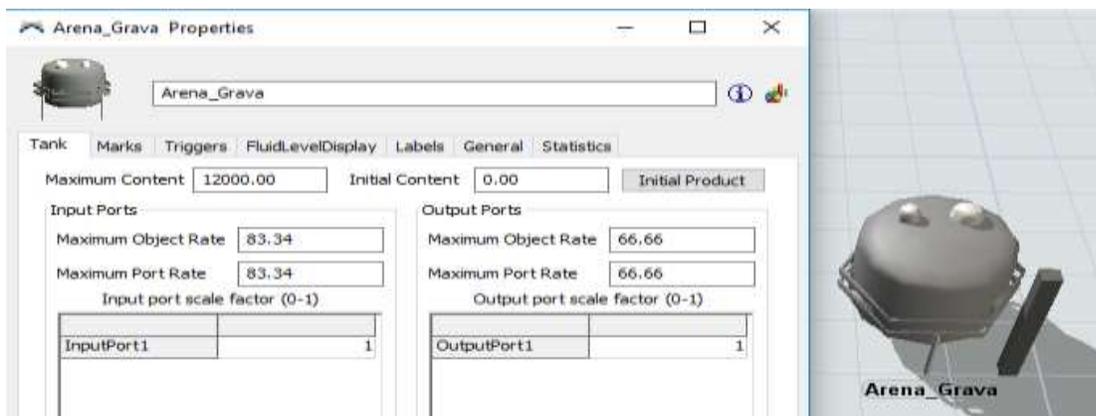


Figura 59. Configuración de filtro de arena y grava.

Otra etapa dentro del proceso de purificación es el filtrado por carbón activado, etapa que maneja una tasa de 28,4 lt/min, es decir, que de los 66.6 lt/min generado por la etapa anterior, solo logra procesar esa cantidad, por lo cual se logra evidenciar que se presenta un tiempo de bloqueo por la capacidad de esta etapa, en el Fig. 60, se logra evidenciar la configuración aplicada en esta etapa.

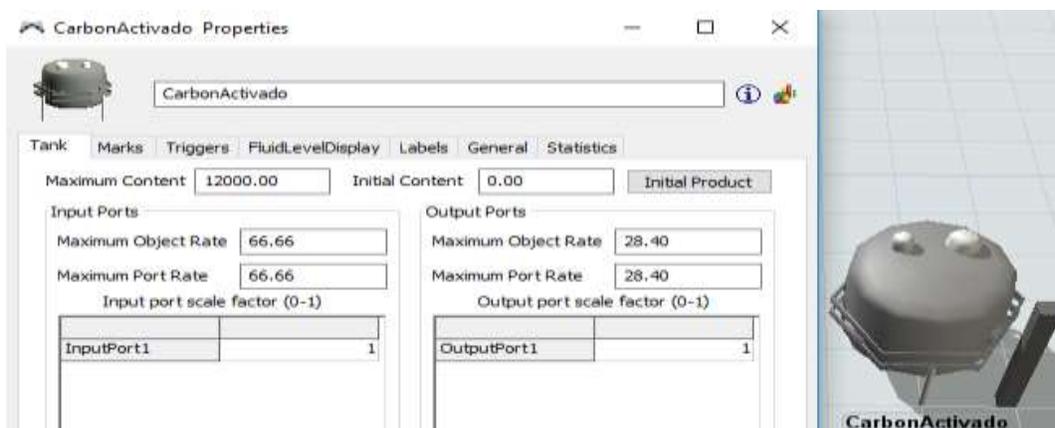


Figura 60. Configuración de filtro de carbón activado.

En cuanto al proceso de luz ultravioleta, se presenta un caso peculiar en esta etapa y es que tiene la condición de procesar 756 lt/min, por lo tanto, es necesario que se llene la cantidad de litros mencionada para poder procesar, y como es de conocimiento la etapa anterior trabaja con una tasa de procesamiento de 28,4 lt/min, por lo tanto, aquí se presenta un tiempo de espera o lo que se conoce como demora del proceso. Es por eso que la configuración de este fluiditem difiere de las demás debido a la condición mencionada, como se logra ver en la Fig. 61.

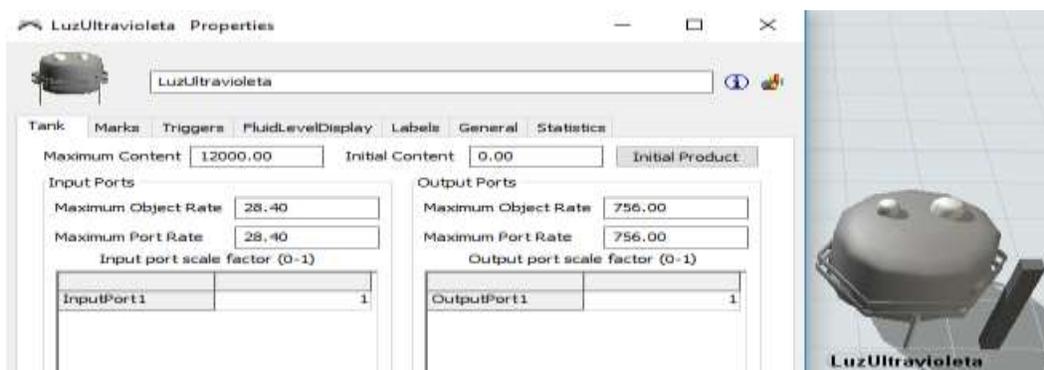


Figura 61. Configuración de luz ultravioleta.

En la Fig. 61, se logra ver que entra una tasa de 28,4 lt/min y se requieren salir 756 lt/min, por lo tanto, se tuvo que brindar una orden de cerrada de outputs (Salida de líquido) y una de cerrada de inputs (Entradas), es decir, el procesador de luz ultravioleta debe mantener cerrada las salidas, hasta que se alcance la cantidad de litros que requiere procesar en un minuto. Para esto se realizó la siguiente configuración (Fig. 62).

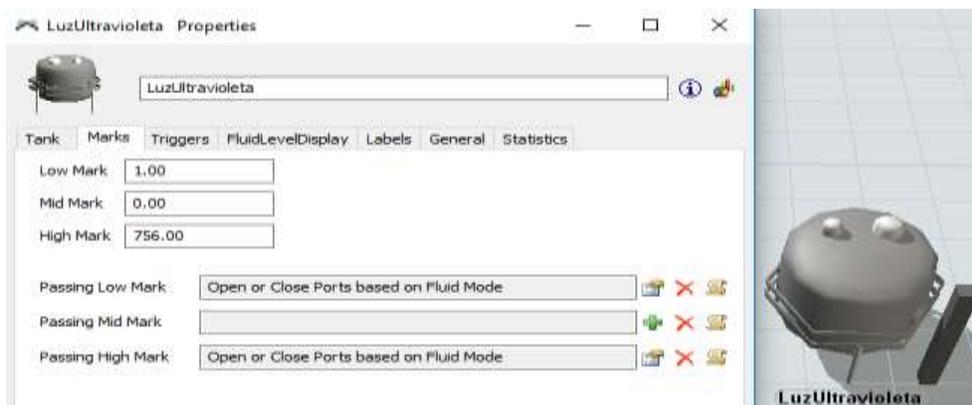


Figura 62. Configuración de entradas y salidas del proceso de luz ultravioleta.

Se realizó la respectiva configuración de las marcas, donde la orden es que hasta que no se llegue a la high mark, que en este caso 756 litros, no se abren los puertos de salidas.

Dentro del proceso de purificación una última etapa es el ozonizador el cual tiene la capacidad de procesar 100 lt/min, y le llegan 756 lt/min, por lo tanto, se genera un bloqueo de litros en espera de ser procesados. En la Fig. 63, se logra ver la configuración de esta etapa.

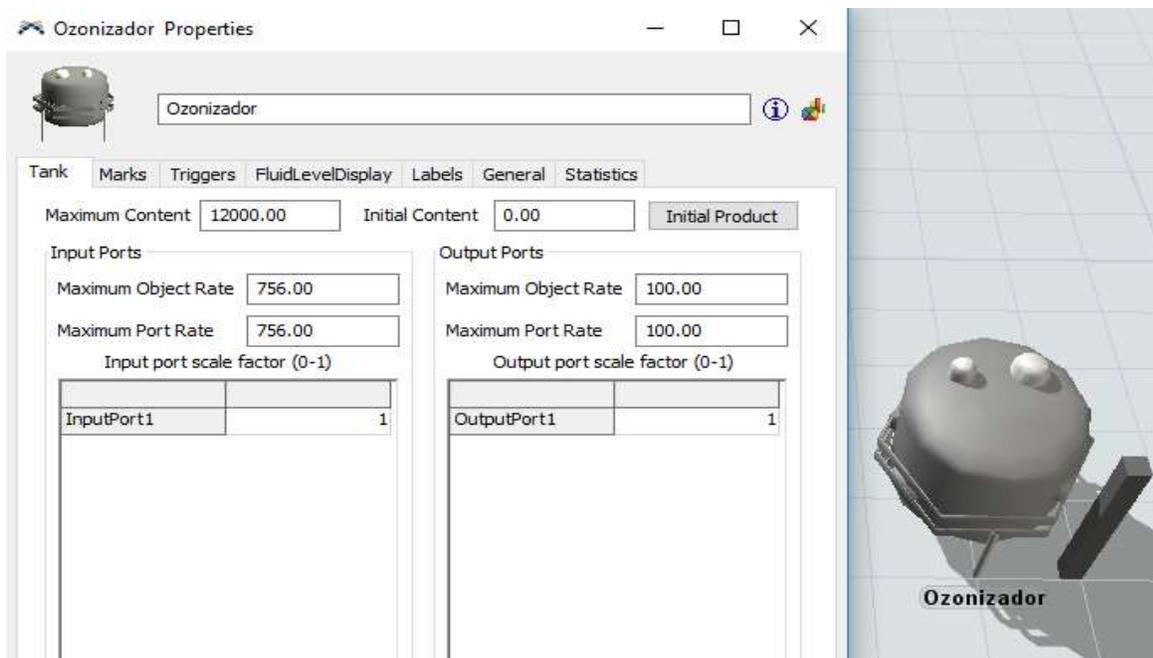


Figura 63. Configuración de Ozonizador.

Posterior a tener todos los litros de agua diarios requeridos, completamente purificados, se procede a envasar o embotellar esta materia prima en las diferentes presentaciones, para este desde la última etapa de purificación se hace una distribución a las diferentes líneas de producción que se están manejando, haciendo uso de un fluiditem, denominado “FluidSplitter”, con el cual se envía 25% para bolsas de 360 ml, 40% para botellas de 600 ml y 35% para bidones de 19lt, del total de los litros generados de forma diaria. En la Fig. 64, se logra evidenciar esta distribución.

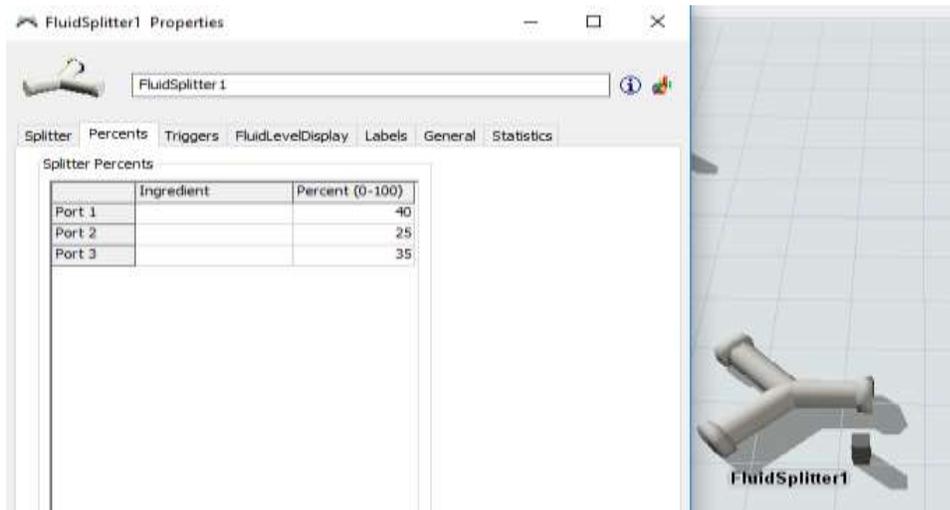


Figura 64. Distribución de porcentajes de litros de agua.

Por lo tanto, de acuerdo a los porcentajes que se estipulan en la Fig. 64, la cantidad de litros que se va a cada línea sería, 2.993 litros/día para bolsas de 360 ml, 4.789 litros/día para botellas de 600 ml y 4.190 litros/día para bidones de 19 litros.

Haciendo referencia a las líneas de producción, se procede primeramente a la línea de botellas de 600 ml, donde se utiliza un convertido de líquido a sólido, que hace referencia al embotellado del agua, la cual trabaja con una capacidad de 40 lt/min, y así mismo ordenar que de cada litro se utilizara 0,6 litros para una botella, por lo tanto deberían obtenerse 7.981 botellas aproximadamente. La configuración de este proceso, se logra evidenciar en la Fig. 65.

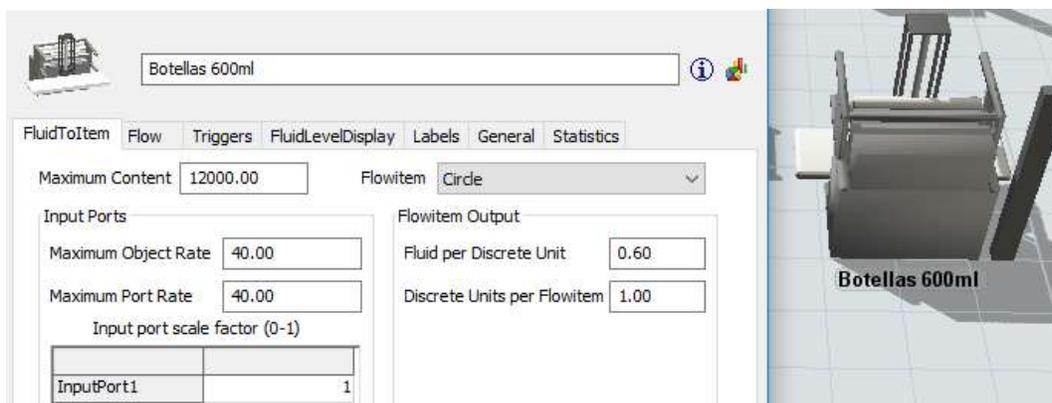


Figura 65. Configuración de embotellado de agua (Botellas de 600 ml)

Una segunda línea de producción que se evidencia es de bolsas de 360 ml, donde de cada litro se utiliza 0.36 lts para cada bolsas, a esta línea llega un total de 2993 litros/día, por lo tanto se deben obtener 8551 bolsas de agua. En la Fig. 66, se muestra la configuración.

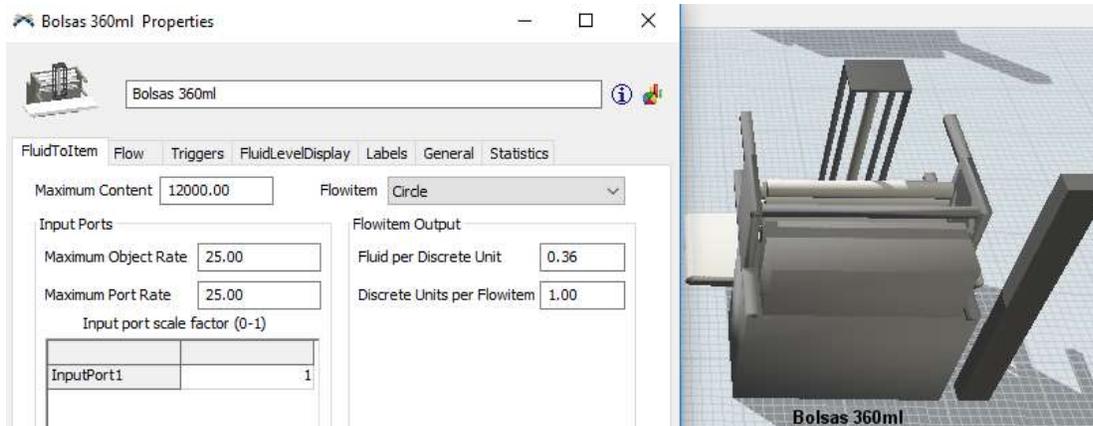


Figura 66. Configuración de envasado de bolsas 360 ml.

Y la última línea de producción es la de bidones, la cual utiliza 19 litros por cada bidon, es decir, que de los 4190 lts/día que se distribuyen para esta línea, se obtienen 221 bidones aproximadamente, a diferencia de los anteriores procesos de embotellado y envasado, este proceso requiere que lleguen 19 lts para poder procesar una unidad (Fig. 67).

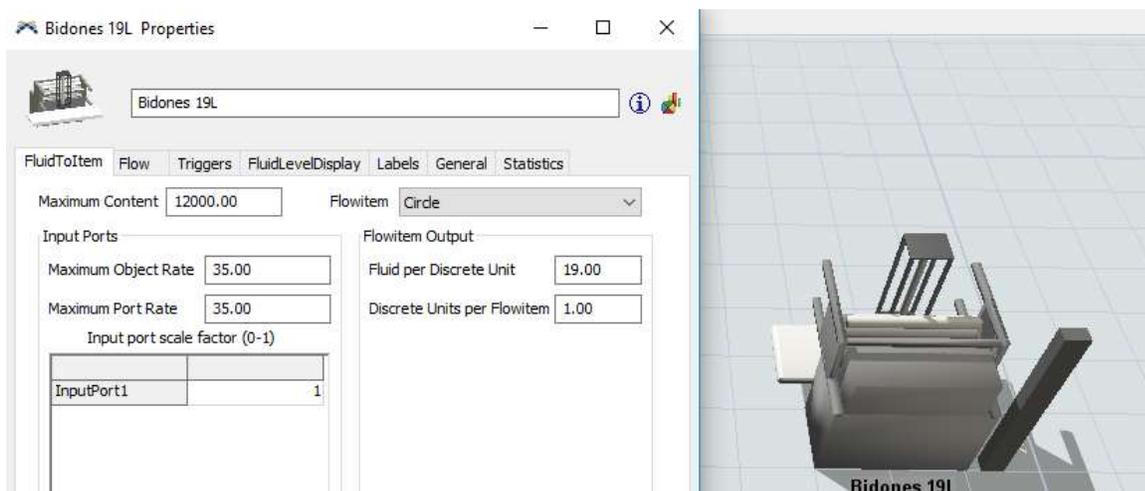


Figura 67. Configuración de la línea de llenado y sellado de bidones.

Esta última línea de producción, a diferencia de las anteriores no tiene proceso posterior por lo tanto los bidones que se van obteniendo son enviados a almacenamiento final directamente. En el caso de las bolsas y botellas estas se comercializarán en pack, por lo tanto, haciendo referencia a las bolsas de 360 ml, estas después del envasado y sellado, pasan directo al área del empaquetado, donde se forma pack de 20 unidades, y con una capacidad de 2 pack por min, para esto se utilizó un combinador, con la siguiente configuración (Fig. 68).

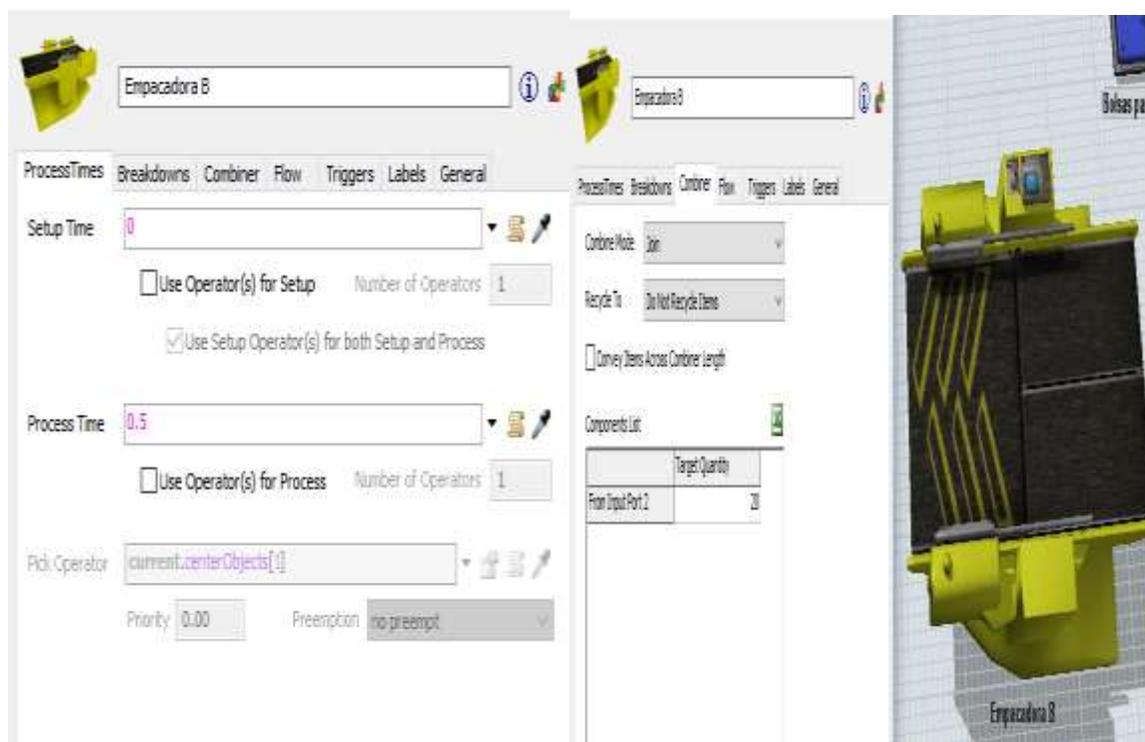


Figura 68. Configuración de empaquetado de bolsas de 360 ml.

Posterior a esta etapa las bolsas pasan directamente a el almacenamiento final de productos terminados. En el caso de las botellas antes de pasar a un empaquetado en pack de 24 unidades, pasar por un etiquetado, donde se les agrega una consigna de “Agua de vida” con capacidad de etiquetado de 0,009 min por unidad, pasando así al proceso de empaquetado, donde se trabaja con una capacidad de 2 pack por minuto. En la Fig 69 y en la Fig. 70 se evidencia las configuraciones del etiquetado y empaquetado de botella respectivamente.

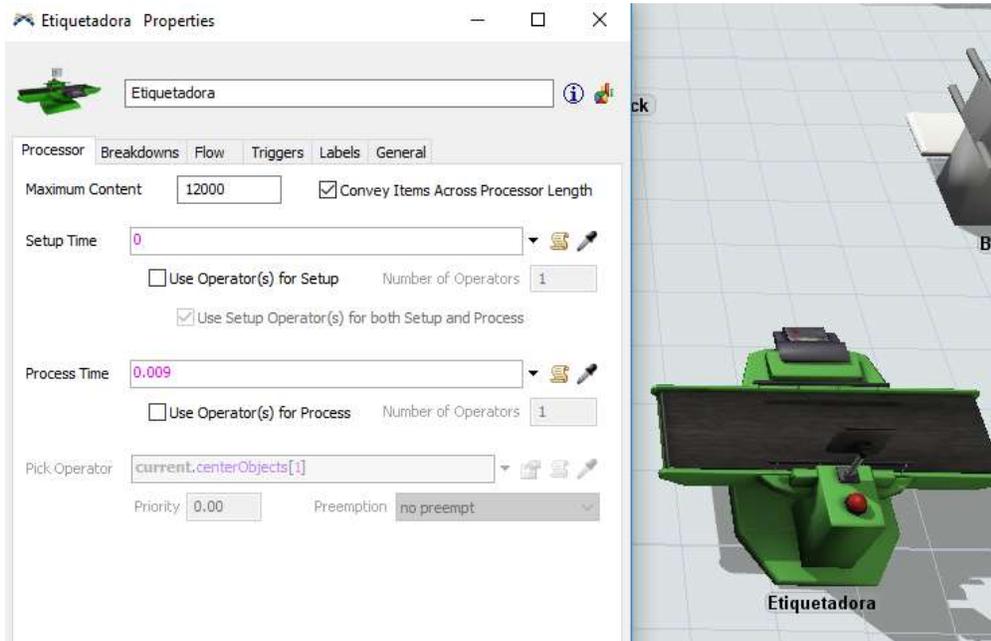


Figura 69. Configuración de etiquetado de botellas.

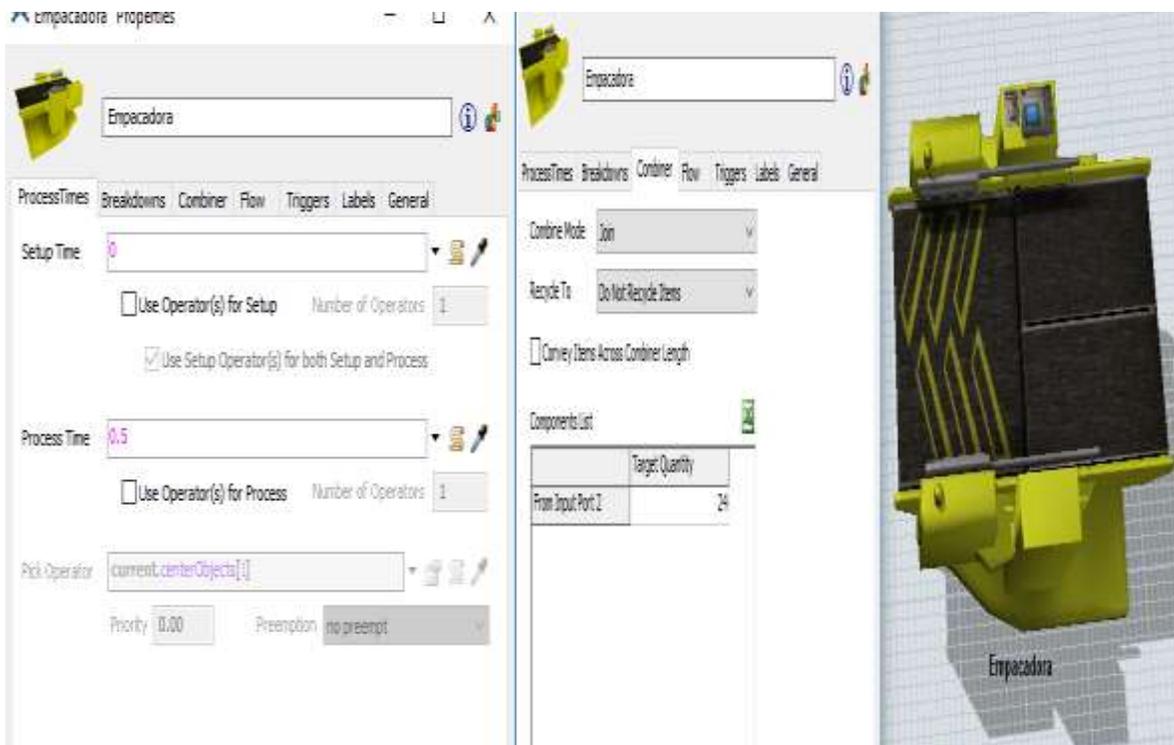


Figura 70. Configuración de proceso de empaquetado de pack de botellas de 600 ml.

Posterior a esto, las botellas pasan directamente al almacenamiento de productos terminados, los cuales se relacionan en la Fig. 71.

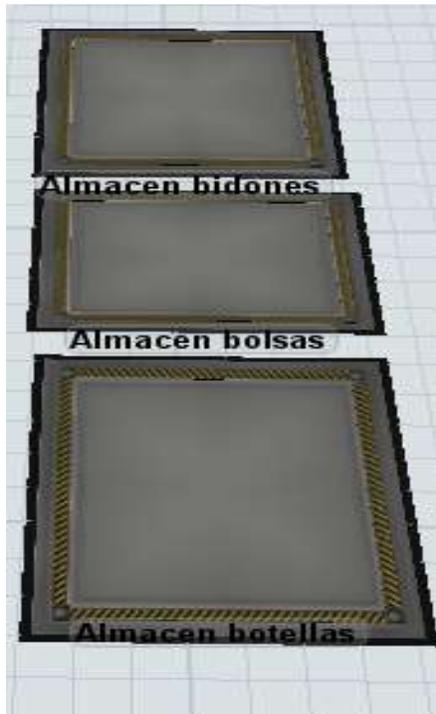


Figura 71. Almacenamiento final para productos terminados de las diferentes líneas de producción.

#### 4.17.3. Simulación en FlexSim® con segunda alternativa de producción.

Después de verificar el comportamiento del sistema de producción del agua envasada, se identificó que se presenta una espera, en una de las operaciones de purificación, más específicamente luz ultravioleta, donde tiene que esperar 26,61 min para poder procesar la capacidad de esta máquina (756 lts), es por esto que, termina de procesar toda la cantidad de litros diarios requeridos a los 426,26 min del proceso, por lo tanto, fue necesario identificar el cuello de botella que condiciona todo el sistema y como es de conocerse se identificó en la operación previo a donde se presenta la espera, filtro de carbon activado, por lo que en esta segunda alternativa se modificó esta estación o operación, colocando otro filtro trabajando en paralelo y bajo la misma configuración (Fig. 72).

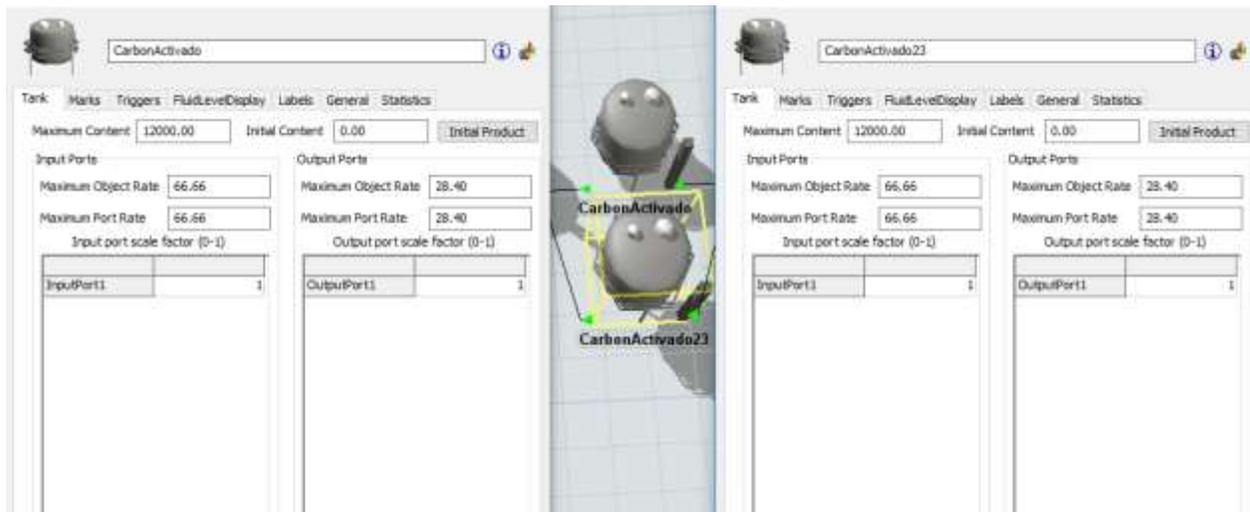


Figura 72. Configuración de cuello de botella, filtros en paralelo.

Por medio de la configuración plasmada en la Fig. 72, se evidenció que luz ultravioleta, logro procesar la cantidad de litros diarios requeridos en 216,29 min del proceso productivo y dejando todo las demas operaciones bajo la misma configuración de la alternativa uno, se logra culminar el proceso de purificación, embotellamiento y envasado en todas las presentaciones en 252 min aproximadamente, es decir, que la planta no tiene la necesidad de trabajar las 8 horas diarias bajo esta alternativa (Fig. 73).

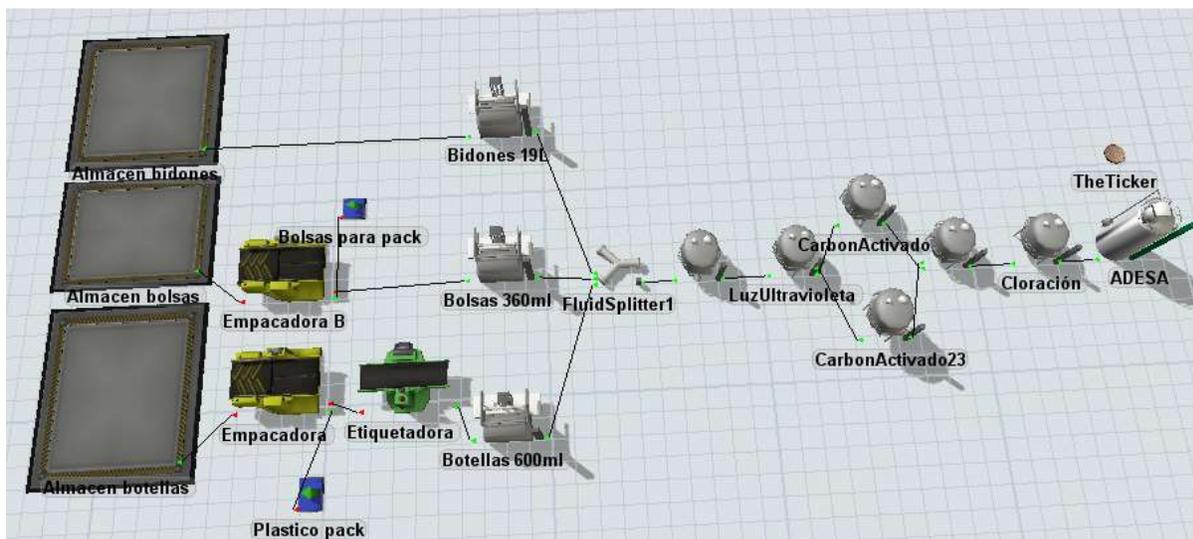


Figura 73. Proceso productivo bajo la segunda alternativa de producción.

#### 4.17.4. Comparativo balanceamiento y FlexSim®.

Tabla 38.

*Comparativo de resultados de balanceamiento y FlexSim®*

Operaciones	Balanceamiento	FlexSim®	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Proveedor	11972 lts/día	11972 lts/día	11972 lts/día
Cloración	143,664 min/día	145,98 min/día	145,98 min/día
Filtro de arena y grava	179,59 min/día	182,96 min/día	182,96 min/día
Filtro de carbón activado	421,54 min/día	425 min/día	215,4 min/día
Luz ultravioleta	15,83 min/día	426,92 min/día	216,29 min/día
Ozonizador	119,72 min/día	427,20 min/día	217,29 min/día
Llenadora y selladora de botellas	7981 botellas/día	7981 botellas/día	7981 botellas/día
Llenadora y selladora de bolsas	8551 bolsas/día	8313 bolsas/día	8313 bolsas/día
Llenadora y selladora de bidones	220 bidones/día	220 bidones/día	220 bidones/día
Etiquetadora de botellas	7981 botellas/día	7981 botellas/día	7981 botellas/día
Empacadora de botellas	332 pack/día	332 pack/día	332 pack/día
Empacadora de bolsas	427 pack/día	415 pack/día	415 pack/día

De acuerdo a la Tabla 38, los resultados obtenidos por el balanceamiento, son efectivamente los que se presentan en la simulación con el software con ciertos porcentaje de errores en algunos de sus procesos, en las primeras operaciones de generacion de litros, cloración y filtro de arena y graba e incluso carbon activado el comportamiento del sistema es muy parecido al expuesto en el balanceamiento, a diferencia de la alternativa 2 de producción, donde se identificó el filtro de carbon activado como el cuello de botella, y se modificó esta operación colocando dos filtros trabajando en paralelo debido a la espera que se estaba presentando con la operación posterior de luz ultravioleta, por medio de esta modificando se logró dismuir el tiempo de

procesamiento de esta operación en un 50,7%, ahora bien, bajo el condicionamiento de esta operación al sistema, todas las operaciones posteriores a esta disminuyen su tiempo de procesamiento en un porcentaje similar, es por esto que en la alternativa 1 y 2, se logra producir todo similar al balanceamiento, pero con la diferencia que la alternativa 2 toma la mitad del tiempo requerido por la alternativa 1.

Por lo tanto, de acuerdo a los resultado, la mejor alternativa seria la 2, debido a que optimiza el sistema, disminuyendo el tiempo de procesamiento de la cantidad de litros diarios, además, se logra identificar que queda mucho tiempo libre en el sistema, es decir, no es necesario que la planta trabaje las 8 horas diarias, lo cual disminuye costos en los que puede incurrir la planta aplicando la alternativa 1, como por ejemplo, energía, salarios (debido a que la parte productiva trabajaria medio tiempo, 5 horas aproximadamente), costos de producción, etc.

Para culminar en la Fig. 74, se puede evidenciar el sistema de produccion en FlexSim® con mejoras relacionadas a la estetica de las maquinarias reales a utilizar y de los productos que se producen.

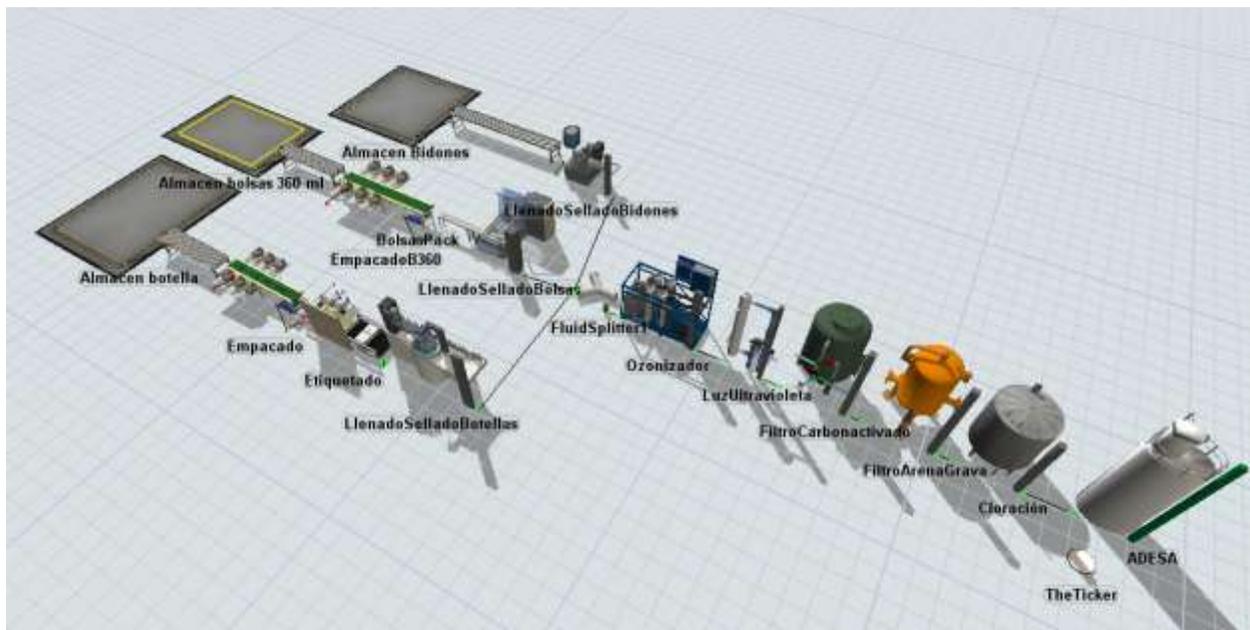


Figura 74. Adecuación del sistema productivo con maquinarias reales.

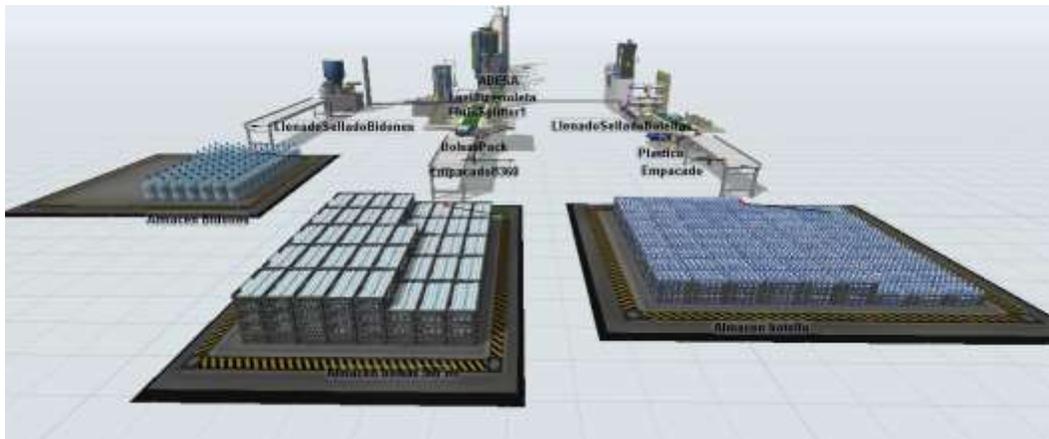


Figura 75. Representación gráfica de las líneas de producción.

#### 4.17.5. Validación del sistema productivo.

Primeramente se estipularon las hipótesis de medias, como se muestra a continuación:

Donde:

$$H_0: \mu (\text{modelo}) = \mu (\text{real})$$

$$H_i: \mu (\text{modelo}) \neq \mu (\text{real})$$

Tabla 39.

*Parámetros de datos de producción simulados y reales.*

Parametros	Modelo simulado	Modelo real
Media	506,25	589,8
Varianza	4518,8	16276,9
Desviación estandar	67,2	127,6

Por lo tanto, haciendo uso de la ecuación 36, se obtuvo que:

$$t = -3.427$$

Ahora bien, con un grado de libertad de 63, y un porcentaje de rechazo de 5%, haciendo uso de la tabla t-student, se obtuvo que:

$$t_c = 1.6694$$

Es decir, ya que  $t$  es menor que  $t_c$ , no se rechaza la hipótesis nula, existe suficiente evidencia estadística para afirmar que los valores medios de los datos simulados y los datos reales no son diferentes, indicando que el modelo de simulación obtenido, es válido para la producción de agua para consumo.

## 5. Conclusiones

De acuerdo a los resultados y análisis realizados a través de una serie de pruebas de laboratorios aplicadas a las marcas de agua que se comercializa en el municipio de Sincelejo, Sucre, se determinó que hay ciertas variables físico-químicas que sobre pasan los valores límites permisibles por la resolución 2115 de 2007, la cual controla y vigila las condiciones en que se deben producir, almacenar y comercializar este tipo de productos, magnesio fue una de las variables evaluadas, la cual brindo valores por encima de los límites permisibles, lo cual genera que el agua sea un poco gruesa y pesada para el organismo, la turbidez fue otra variable elevada en el estudio de la calidad de agua, esto significa que posee mucha materia en suspensión, orgánica e inorgánica, lo cual contamina el agua, en cuanto a la variable nitritos, estas aguas posee concentraciones superiores a lo estipulado en la norma (0,1 mg/l), lo cual trae riesgos a la salud, ya que al reaccionar con la hemoglobina forma metahemoglobina, reduciendo la capacidad de transportar oxígeno por la sangre, es preocupante debido a que el agua envasada es un producto de consumo cotidiano. Por otro lado, a pesar de que en promedio varias variables, como pH, turbidez, conductividad, sulfato y cloruros se encuentran en los rangos permisibles, muchas de las muestras a las cuales se le aplicó las pruebas eran de lotes de producción completamente diferentes y en varias se sobre paso el límite permisible.

Por otro lado, se determinó la localización de la planta por medio del método Brown And Gibson, el cual después de tener en cuenta varios factores objetivos y subjetivos se concluye que la mejor ubicación sería el Bálamo de municipio de Corozal, Sucre, la cual garantiza eficiencia de los procesos y la seguridad de los mismos. Del mismo modo se aplicó una metodología para el diseño y distribución de planta, teniendo en cuenta toda la normativa vigente en cuanto a infraestructura y determinación de espacio. Todo esto, por medio de las formulaciones FLP, métodos gráficos, para determinar un modelo de diseño adecuado, para esto se obtuvieron dos alternativas las cuales se remitieron a evaluación y en una de estas se logró observar que el proceso productivo se veía afectado por la presencia de servicio auxiliares (Baños) próximo a este, lo cual está en contra de las normativas higiénico sanitarias, por lo tanto se determinó como mejor opción

la alternativa uno, ya que el proceso productivo, no se veía afectado y garantiza la eficiencia del mismo.

Por ultimo, haciendo uso del software FlexSim®, se realizó la representación gráfica de todo el proceso productivo diseñado con la respectiva adecuación de espacio, con el fin de verificar el comportamiento de este proceso en comparación al balanceamiento realizado, el cual después de ser analizado, se logró sacar conclusiones y recomendaciones para el mejoramiento del sistema productivo siendo la disminución de bloqueos entre proceso u operaciones y mejoramiento del rendimiento productivo, identificando el cuello de botella.

Para garantizar la eficiencia del sistema productivo, se propusieron alternativas de mejoramiento, como la identificación de cuello de botella (Carbón activado), colocando dos en paralelos, logrando producir la demanda diaria en la mitad del tiempo requerido con uno, reduciendo las horas de producción y gastos de insumos.

## 6. Recomendaciones

Se propone tener en cuenta los resultados obtenidos a través de los tests de cubeta, con la finalidad de tener un indicio sobre la calidad del agua que se comercializa en el municipio de Sincelejo, Sucre, y poder obtener un producto que garantice el cumplimiento de cada uno de los requerimientos exigidos por la normativa, garantizando que la calidad del producto fabricado sea ideal para los consumidores.

Se encontró que al tener máquinas con variedad de capacidades durante el proceso productivo es muy común que se generen bloqueos, por lo tanto, se debe identificar y adecuar ya sea por medio de la implementación de máquinas en paralelo anteriores a esta, o reducción de la capacidad de la máquina posterior al cuello de botella con esto se garantiza el rendimiento óptimo del proceso productivo.

Se propone hacer seguimiento del balanceamiento planteado y los resultados de simulación con la finalidad de mantener control, ya que su impacto es importante dentro del desarrollo del proceso productivo.

## 7. Referencias Bibliográficas

AguaMaquinas. (2018). Recuperado de <http://aguamaquinas.com.ar/>

Aguas del occidente S.A.E.S.P. (s.f.). *ABC Calidad del Agua*.

Aguilar, G. E. (2008) *Manual Teórico-Prá ctico Del Laboratorio Del Curso De Ingeniería De Métodos Con Software De Aplicación* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1844\\_IN.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1844_IN.pdf)

Alibaba. (2018). Alibaba. *Automatic Plastic Film Heat Shrink Wrapping Machine/Shrink Packing Machine For PET Water Bottle*. Recuperado de [https://www.alibaba.com/product-detail/Automatic-Plastic-Film-Heat-Shrink-Wrapping\\_1007700513.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Automatic-Plastic-Film-Heat-Shrink-Wrapping_1007700513.html)

Alibaba. (2018). Alibaba. *Industrial wáter purification machine quartz sand filter*. Recuperado de [https://www.alibaba.com/product-detail/Industrial-Water-Purification-Machine-Quartz-Sand\\_60580092704.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Industrial-Water-Purification-Machine-Quartz-Sand_60580092704.html)

Alibaba. (2018). Alibaba. *Mineral water machine price in india*. Recuperado de [https://www.alibaba.com/product-detail/mineral-water-machine-price-in-india\\_60496744134.html](https://www.alibaba.com/product-detail/mineral-water-machine-price-in-india_60496744134.html)

Alibaba. (2018). Alibaba. *Water cooling oxygen source 30g-50g industrial wáter ozone generator*. Recuperado de [https://www.alibaba.com/product-detail/Water-Cooling-Oxygen-Source-30g-50g\\_60720166520.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Water-Cooling-Oxygen-Source-30g-50g_60720166520.html)

Allain, F. (2014.). Tecnimuebles. *Células de trabajo*. Recuperado de <https://www.tecnimuebles.com/blog/consejos%20-y-recomendaciones/celulas-de-trabajo/>

Alonso, J. (2008). *Flujo en Redes y Gestión de Proyectos. Teoría y Ejercicios Resueltos*. Netbiblo. Recuperado de

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=UQpy6PGbo9MC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Revenge,+J.+M.+A.+\(2008\).+Flujo+en+Redes+y+Gesti%C3%B3n+de+Proyectos.+Teor%C3%ADa+y+Ejercicios+Resueltos.+Netbiblo.&ots=Wdr3uvvHaW&sig=zE6KJiaqLKFPRaUrx9aQp0CrF2w#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=UQpy6PGbo9MC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Revenge,+J.+M.+A.+(2008).+Flujo+en+Redes+y+Gesti%C3%B3n+de+Proyectos.+Teor%C3%ADa+y+Ejercicios+Resueltos.+Netbiblo.&ots=Wdr3uvvHaW&sig=zE6KJiaqLKFPRaUrx9aQp0CrF2w#v=onepage&q&f=false)

Aneiros, G. (2008). Series de tiempo. <http://eio.usc.es/Eipc1/Base/Basemaster/Formularios-Php/Materialesmaster/Tema1.Pdf>

Aparicio, K., y Tapias, M. (2017). *Simulación de proceso productivo de una planta de jamon curado en el municipio de Sincelejo-Sucre Mediante el uso del Software Flexsim* (Tesis de pregrado). Corporación Universitaria Del Caribe - CECAR. Recuperado de <https://repositorio.cecar.edu.co/jspui/bitstream/123456789/86/1/SIMULACI%C3%93ND EPROCESO.pdf>

Armour, G. C., & Buffa, E. S. (1963). A heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities. *Management Science*, 9(2), 294-309.

Arroyo, D. V. (2014). *Diagnóstico general de la planta embotelladora de agua purificada UG. y propuesta de acciones para la optimización de la calidad de su producto* (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil. Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/7210/1/VALENCIA.pdf>

Arvelo, A. (1998). *Muestreo Aleatorio Simple*. Recuperado de <http://www.arvelo.com.ve/pdf/muestreo-aleatorio-arvelo.pdf>

Avila, P., y Orobio, M. (2014). *Creación de una planta Productora y Envasadora de Agua Potable en el Distrito de Buenaventura-Valle* (Tesis de pregrado). Universidad del Valle. Buenaventura. Recuperado de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/10754/1/0523766.pdf>

Bacca, C., y Diaz, L. A. (2009). *Estudio bacteriologico de aguas envasadas producidas por dos empresas en el municipio de girardot* (Trabajo de pregrado). Pontificia Universidad

- Javeriana. Bogotá. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8409/tesis373.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Banks, J. (2000). Introduction to simulation. In *2000 Winter Simulation Conference Proceedings (Cat. No. 00CH37165)* (Vol. 1, pp. 9-16). IEEE. Recuperado de <http://simulation.su/uploads/files/default/2000-banks-1.pdf>
- Barón, D., y Zapata, L. (2012). *Propuesta de redistribución de planta en una empresa del sector textil. Santiago de Cali* (Trabajo de pregrado). Universidad ICESI. Cali. Recuperado de [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/75757/1/propuesta\\_redistribucion\\_planta.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/75757/1/propuesta_redistribucion_planta.pdf)
- Barragán, A., y Caicedo, L. (2017). *Gestión de Procesos Para la Planta Purificadora de Agua Palma de Agua SAS en el Municipio de Madrid en Cundinamarca* (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Recuperado de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6896/1/BarraganMedinaAngelaMaria2017.pdf>
- Bedoya, D., Luna, J. y Jiménez C. (2015). Diagnóstico De Las Condiciones Higiénico-Sanitarias De Las Fábricas Quesilleras Del Municipio De San Vicente Del Caguán. *Alimentos Hoy*, 23(36), 206-220. Recuperado de <http://www.alimentoshoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/download/357/307>
- Bú, R. C. (1996). *Simulación. un enfoque práctico*. Editorial LIMOSA. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/31627551\\_Simulacion\\_Un\\_Enfoque\\_Practico\\_R\\_Coss\\_Bu](https://www.researchgate.net/publication/31627551_Simulacion_Un_Enfoque_Practico_R_Coss_Bu)
- Carbotecnia. (2018). Carbotecnia. *Desinfección UV Polaris Scientific UV Serie UVA (150 y 200 GPM)*. Recuperado de <https://www.carbotecnia.info/producto/lamparas-uv-polaris-scientific-uv-serie-uva/>

- Carollo, M. (2012). *Regresión lineal simple*. Recuperado de [http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat\\_50140116\\_Regr\\_%20simple\\_2011\\_12.pdf](http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat_50140116_Regr_%20simple_2011_12.pdf)
- Central de Maderas G&S S.A.S. (2018). Central de Madera. *Estiba de madera operación en bodega capacidad media 120x105cm – 1.500kg*. Recuperado de <http://www.centraldemaderas.com/site/catalogo/operacion-en-bodega-capacidad-media/>
- Centros Europeos de Empresas Innovadoras de la Comunidad Valenciana (CEEI – CV, 2008). *Distribución en planta 19* (Manual). Recuperado de [http://www.emprenemjunts.es/descargando/1018\\_descarga.pdf](http://www.emprenemjunts.es/descargando/1018_descarga.pdf)
- Chinapak. (2018). Chinapak. *Maquina embolsadora y selladora de líquidos en bolsas SP-A100C*. Recuperado de <https://www.chinapak.es/maquina-embolsadora-ensasadora-y-selladora-de-liquididos-en-bolsas-sp-a100c/>
- Chulluncuy, N. (2011). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Ingeniería Industrial, (029), 153-170. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/3374/337428495008.pdf>
- Córdoba, M., Del Cocco, V. y Basualdo, J. (2010). *Agua y salud humana*. Química Viva, 9. pp. 105 – 119. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/863/86315692002.pdf>
- Defensoría del Pueblo. (2009). *Diagnóstico sobre la calidad del agua para el consumo humano en Colombia, en el marco del derecho humano al agua*. Actualización del informe Defensorial, (39). Recuperado de [http://defensoria.gov.co/attachment/15/informe\\_116.pdf](http://defensoria.gov.co/attachment/15/informe_116.pdf)
- Della Fonte. (2017.). Della Fonte. *Productos*. Recuperado de <https://www.aguadellafonte.com/productos.html>
- Drira, A., Pierreval, H., & Hajri-gabouj, S. (2007). *Facility Layout problems: a survey*. Annual reviews in control No 31. 13p. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2007.04.001>

- Ebay. (2018). Ebay, *SJZF-2000 200-1000ml Automatic Water Filling and Sealing Machine by Sea*. Recuperado de <https://www.ebay.com.au/itm/SJZF-2000-200-1000ml-Automatic-Water-Filling-and-Sealing-Machine-By-Sea-/323184263997>
- Fayad, C., Fortich, M., y Vélez, I. (2009). Proyección de la tasa de cambio de Colombia bajo condiciones de PPA: evidencia empírica usando VAR. *Estudios Gerenciales*, 25(113), 211-228. Recuperado de [https://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios\\_gerenciales/article/view/326/324](https://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios_gerenciales/article/view/326/324)
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3). Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- Fernández, G. (1980). *Modelos matemáticos y de simulación para sistemas continuos* (4ª Ed). Madrid: ETS Ingenieros de Telecomunicaciones
- Flórez, J. (2010). *Determinación porcentual de cumplimiento de las buenas prácticas de manufactura (BMP) en los restaurantes Sushi To Go–Inversiones Makisushi SA e implementación de un plan de mejoramiento de las no conformidades* (Tesis de pregrado). Corporación Universitaria Lasallista. Caldas. Recuperado de [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/669/1/Determinacion\\_porcentua1\\_BPM.pdf.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/669/1/Determinacion_porcentua1_BPM.pdf.pdf)
- Fuentes, A. y Amables, C. (2013). El agua en bioquímica y fisiología. *Acta Pediátrica de México*, 34(2), 86-95. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4236/423640341010.pdf>
- Galbreth, M., Waller, M. A., Vincent, C., & Hyatt, D. G. (2013). Bottled Water Logistics and Forecasting. *Wal-Mart Sustainability Case Project*, 4. Recuperado de <https://scholarworks.uark.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1003&context=scmtwscp>

- García, E. y Azarang, M. (1996). *Simulación y análisis de modelos estocásticos*. Mexico: MCGRAW-HILL / Interamericana. Recuperado de <https://es.slideshare.net/marenamiranda/simulacion-y-analisis-de-modelos-estocasticosoriginal>
- Gestión de operaciones. (2011). *Gestión de Operaciones. Cálculo del MAD y la Señal de Rastreo para un Pronóstico de Demanda*. Recuperado de <https://www.gestiondeoperaciones.net/proyeccion-de-demanda/calculo-del-mad-y-la-senal-de-rastreo-para-un-pronostico-de-demanda/>
- Gómez, C. (2012). *Metodología para la optimización de la distribución de Planta de TECMO Estructuras metálicas* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/10318/GomezSeguraCarlosEnrique2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gómez, J., y Rueda, D. (2016). *Solución al problema de distribución en planta (FLP) de múltiples niveles, un elevador y departamentos desiguales, a través de métodos metaheurísticos* (Trabajo de pregrado). Universidad Del Santander. Bucaramanga. Recuperado de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2016/165486.pdf>
- González, F. (2007). *Diseño de la Distribución en Planta de las Nuevas Instalaciones del Taller de Equipos Eléctricos de Inabesa*. Universidad de Sevilla. Sevilla. Recuperado de <https://www.virtualpro.co/biblioteca/disenio-de-la-distribucion-en-planta-de-las-nuevas-instalaciones-del-taller-de-equipos-electricos-de-inabensa>
- González, Y., y Palomino, C. (2012). Acciones para la gestión de la calidad sanitaria e inocuidad de los alimentos en un restaurante con servicio bufet. *Gerencia y Políticas de Salud*, 11(22). Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54523558009>

- Grupo Paletplastic. (2018). Grupo Paletplastic. *JUG PALET 1085X812X199MM*. Recuperado de <https://grupopaletplastic.es/producto/jug-palet-1085x812x199mm>
- Guzmán, P. (2014). *Diseño de una planta para la obtención de una bebida carbonata de jugo clarificado de mora (Rubus Glaucus Benth) Por Microfiltración Tangencial* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional. Quito Recuperado de [http://irrae.org.ec/Record/0038\\_fce0649bbf5d91142e9373b61fe124d6](http://irrae.org.ec/Record/0038_fce0649bbf5d91142e9373b61fe124d6)
- Huerga, C; Blanco, P., & Abad, J. (2005). Aplicación de los gráficos de control en el análisis de la calidad textil. *Pecvnia: Revista de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de León, (1), 125-148*. Recuperado de <http://revpubli.unileon.es/ojs/index.php/Pecvnia/article/view/744/658>
- Kusiak, A., & Heragu, S. S. (1987). The facility layout problem. *European Journal of operational research, 29(3), 229-251*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0377221787902384>
- Larez, E. (2016). Mindmeister. *Diseño y Gestión de Plantas Industriales*. Recuperado de <https://www.mindmeister.com/es/765909881/dise-o-y-gesti-n-de-plantas-industriales>
- López, P. L. (2004). Población Muestra y Muestreo. *Punto Cero, 9(08), 69-74*. Recuperado de <http://www.scielo.org.bo/pdf/rpc/v09n08/v09n08a12.pdf>
- Manfredo, L. (2014). *Análisis de Regresión Cuadrática*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/250927525/Analisis-de-Regresion-Cuadratica>
- Matos, A., Guzmán, E., Escalona, A., y Otero, M. (2005). Peligros biológicos e inocuidad de alimentos. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, 6, 1-5*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/636/63612657008.pdf>

- Mauricio, J. (2007). *Introducción al Analisis de Series Temporales*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-11-JAM-IASST-Libro.pdf>
- Meller, R., & Gau, K. (1996). The facility Layout problem: Recent and emerging trends and perspectives. *Journal of manufacturing systems*, 15(5), 351-366. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0278612596841987>
- Méndez, G., y López, E. (2014). Metodología para el pronóstico de la demanda en ambientes multiproducto y de alta variabilidad. *Tecnura*, 18(40), 89-102. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v18n40/v18n40a08.pdf>
- Ministerio de la Protección Social, Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Resolución Numero 2115*. Recuperado de [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislacion\\_del\\_agua/Resoluci%C3%B3n\\_2115.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislacion_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf)
- Ministerio de la Protección Social. (2007). *Decreto Numero 1575 de 2007*. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>
- Ministerio De Salud. (1991). *Resolución Numero 12186 De 1991*. Recuperado de <https://www.invima.gov.co/resoluciones-en-alimentos/resolucion-12186-1991-pdf/download.html>
- Montgomery, D. (1997). *Design and analysis of experiment* (5a ed). New York: John Wiley and Sons. 699p. Recuperado de [https://www.academia.edu/23707747/Design\\_and\\_analysis\\_of\\_experiments\\_5th\\_edition\\_douglas\\_c\\_montgomery](https://www.academia.edu/23707747/Design_and_analysis_of_experiments_5th_edition_douglas_c_montgomery)
- Muther, R. (1970). *Distribución en planta* (2ª ed). Barcelona: Hispano Europea. Recuperado de <http://hpcinc.com/wp-content/uploads/2016/07/Spanish-PPL.pdf>

- Olivas, E., Castañeda, R., Díaz, A., Rodríguez, K., Legarreta, A., Medina, V. y Guzmán, Z. (2017). Laboratorio de regresión integración interpolación y derivación (RiidLab). Recuperado de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1236/1/Laboratorio%20de%20regresi%C3%B3n%20integraci%C3%B3n%20interpolaci%C3%B3n%20y%20derivaci%C3%B3n.pdf>
- Orellana, J. A. (2005). Tratamiento de las Aguas. *Unidad Temática (6)*. Rosario: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario. Recuperado de [https://www.firro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria\\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_06\\_Tratamiento\\_de\\_Aguas.pdf](https://www.firro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2018). *Agua residual*. Recuperado de [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/glossary/search.html?lang=es&keywords=Agu+a+residual&submit=Buscar&subjectId=-1&submitBtn=-1&\\_p=100&termId=-1](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/glossary/search.html?lang=es&keywords=Agu+a+residual&submit=Buscar&subjectId=-1&submitBtn=-1&_p=100&termId=-1)
- Pack Leader. (2018). Pack Leader. *PRO-515 Wrap Around Labeling Machine*. Recuperado de <https://www.packleader.com/wrap-around-labeling-machine/PRO-515.html#parentHorizontalTab3>
- Padilla, J. (2014). La simulación y los modelos matemáticos. *Ventana Científica*, 4(8), 68 - 70. Recuperado de [http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rvc/v4n8/v4n8\\_a10.pdf](http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rvc/v4n8/v4n8_a10.pdf)
- Peña, E., y Forero, E. (2012). *Modelo De Simulación Del Proceso De Almacenamiento Y Distribución En La Bodega De La Distribuidora De Papel De La Empresa Muebles y Accesorios S.A., Para El Mejoramiento De Su Sistema De Inventarios* (Tesis de pregrado). Universidad Libre De Colombia. Bogotá. Recuperado de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9271/PROYECTO.pdf?sequence=1>

- Piera, M., Guasch, T., Casanovas, J. y Ramos J. (2006). *Como mejorar la logística de su empresa mediante la simulación 1(01)*, 116. Madrid: Diaz de Santos. Recuperado de <http://www.editdiazdesantos.com/libros/piera-eroles-miquel-angel-como-mejorar-la-logistica-de-su-empresa-mediante-la-simulacion-C27006500106.html#contenido>
- Pombo, L. (2010). *Graficas de control*. Caracas: Instituto Nacional de Higiene “Rafael Ragel”. Recuperado de <http://www.paho.org/hq/dmdocuments/2010/M.%20Pombo%20INHRR.pdf>
- Quijada, R. (2015). *Caracterización bacteriológica del agua embotellada comercializada en la zona centro-oriental de Honduras* (Trabajo de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4520/1/IAD-2015-028.pdf>
- Ramírez, J. E. (2017). *Estudio de mercado y plan de internacionalización CI Agua de la Peña LTDA* (Tesis de pregrado). Universidad del Rosario. Bogotá. Recuperado de <http://repository.urosario.edu.co/flexpaper/handle/10336/14437/RamirezPinedo-JorgeEnrique-2018.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Ramos, D., y Bacca, A. (2014). *Importancia de la planeación de la demanda en una empresa del sector industrial* (Tesis de posgrado). Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá. Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13295/Articulo%20final%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Researchgate. (2014). Researchgate. *Optimización multi-objetivo al problema de distribución de planta usando algoritmos genéticos: cuestiones previas para una propuesta de solución*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-21-Distribucion-por-proceso\\_fig1\\_307180636](https://www.researchgate.net/figure/Figura-21-Distribucion-por-proceso_fig1_307180636)
- Reyes, L. (2014). *Analisis de regresión cuadrática* (Tesis de posgrado). Universidad de san Carlos. Guatemala. Recuperado <https://es.scribd.com/document/230981024/Analisis-de-Regresion-Cuadratica-Estadistica-Matematica-y-Computacion>

- Salazar, A. F., Vargas, L. C., Añasco, C. E., y Orejuela, J. P. (2013). Propuesta De Distribución En Planta Bietapa En Ambientes De Manufactura Flexible Mediante El Proceso Analítico Jerárquico (Biphase Plant Distribution Proposed In Flexible Manufacturing Environment By The Analytic Hierarchy Process). *EIA*, 7(14), 161-175. Medellín: Escuela de Ingeniería de Antioquia. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n14/n14a14.pdf>
- Santana, A. (2017). Máster en Gestión Costera: Modelización y Simulación. *Modelos de Analisis de Datos*. Recuperado <http://www.dma.ulpgc.es/profesores/personal/asp/Docencia/MGC/index.html>
- Seehof, J. M., Evans, W. O., Friederichs, J. W., & Quigley, J. J. (1966). Automated facilities layout programs. In *Proceedings of the 1966 21st national conference* (pp. 191-199). ACM.
- Shannon, R. (1975). *System Simulation: the art and Science*, 387. Prentice Hall
- Shumway, R., & Stoffer, D.(2015). *Time Series Analysis and Its Applications (3<sup>a</sup> ed)*. New York: Springer. Recuperado de <http://db.ucsd.edu/static/TimeSeries.pdf>
- Singh, S. P., & Sharma, R. R. (2006). A review of different approaches to the facility layout problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 30(5-6), 425-433.
- SODIMAC. (2018). SODIMAC HOMECENTER. Plataforma Plegable para Carga 150 kg Redline. Recuperado de <https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/1380087/Plataforma-Plegable-para-Carga-150-kg/1380087>
- SODIMAC. (2018). SODIMAC HOMECENTER. *Tanque 25000 lt*. Recuperado de <https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/1572172/Tanque-25000-L/157217>
- Stubbs, E. (2003). *Control estadístico de calidad en bibliotecología: aplicación de gráficos de control en los procesos técnicos* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de La Plata. La plata. Recuperado de <http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.372/te.372.pdf>

- Tearwattananarattikal, P., Namphacharoen, S., & Chamrasporn, C. (2008). Using ProModel as a simulation tools to assist plant layout design and planning: Case study plastic packaging factory. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 30(1). Recuperado de <http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/journal/30-1/0125-3395-30-1-117-123.pdf>
- Thompkins, J; White, Y. y Bozer, J. (2006). Tanchoco, *Planeación de instalaciones*. (3ª ed). México: Editorial Thomson Learning. P 380.
- TodoAgua. (2018). TodoAgua. *Filtro Carbono Activado 5 ft3 Control por tiempo Válvula Logix Perfoma*. Recuperado de <https://www.purificadoragua.tododeagua.mx/filtro/carbon-activado-residencial-y-comercial-filtro-carbon-activado-5-ft3-control-por-tiempo-valvula-logix-performa-fc50c-263-740-hid.html>
- Velásquez, D. (2013). *Aplicación de diseño experimental para determinar si el proceso de llenado de la línea Mennen cumple con control estadístico de proceso* (Tesis de pregrado). Corporación Universitaria Lasallista. Caldas. Recuperado de [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/912/1/Linea\\_Mennen\\_Control\\_Estadistico\\_Proceso.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/912/1/Linea_Mennen_Control_Estadistico_Proceso.pdf)
- Vidal, J., Consuegra, A., Gomezcaceres, L. y Marrugo, J. (2009). Evaluación de la calidad microbiologica del agua envasada en bolsa producida en Sincelejo-Colombia. MVZ CORDOBA, 1736-1744. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/mvz/v14n2/v14n2a10.pdf>
- Villareal, f. (2016). Introducción a los modelos de pronósticos. *Unión Matemática Argentina*. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur. Recuperado de [http://www.matematica.uns.edu.ar/uma2016/material/Introduccion\\_a\\_los\\_Modelos\\_de\\_Pronosticos.pdf](http://www.matematica.uns.edu.ar/uma2016/material/Introduccion_a_los_Modelos_de_Pronosticos.pdf)
- Winston, L. (2005). *Investigación de Operaciones aplicaciones y algoritmos* (4ª ed), 1440p. México: Thomson. Recuperado de <https://es.calameo.com/read/00084000223a91248b4af>

---

Zandin, K. (2004). *Maynard's industrial engineering handbook*. Mc Graw Hill. 2560p.

## 8. Anexos

### 8.1. Anexo 1

Tabla 40.

*Demanda.*

Mes	Demanda (lts)
ene-10	5689184
feb-10	4384528
mar-10	4900515
abr-10	5507534
may-10	8065261
jun-10	7811560
jul-10	8346130
ago-10	6676620
sept-10	5494629
oct-10	5788105
nov-10	3933052
dic-10	3570809
ene-11	4532111
feb-11	4111564
mar-11	4746769
abr-11	6111275
may-11	5638126
jun-11	6526844
jul-11	8288034
ago-11	5992819
sept-11	5063862
oct-11	5553280
nov-11	5528341
dic-11	6467890

## 8.2. Anexo 2. Ficha Técnica.

La planta envasadora de agua en el municipio de Sincelejo, tendrá la capacidad de producir tres presentaciones de agua envasada, como son:

- Agua en bolsas de 360 ml
- Agua en botellas de 600 ml
- Bidones de 19 L

Tabla 41.

*Ficha técnica de presentación de agua envasada en bolsas.* elaboración propia a partir de Della Fonte (2017).

<b>Ficha técnica de agua en bolsa de 360 ml</b>		
Características física		
	Referencia	
	Volumen neto	360 ml
	Dimensiones	19 cm x 9 cm
	Peso Bruto	370gr
	Material del empaque	Polietileno de baja densidad
	Presentación	Pack de 20 Bolsas plásticas de 360 ml
	Condiciones de conservación	
Refrigeración	No requiere	
Almacenaje	Estibas lisas	
Lugar	Limpio, fresco, sin luz solar directa.	

	Temperatura de almacenamiento	Ambiente
	Vencimiento	4 Meses
Características microbiológica		
Parámetro	Método	Valor de referencia
Recuento de aerobios mesofilos	Filtración por membrana	<100 ufc/ 1ml
Coliformes totales	Filtración por membrana	<2 ufc /100 ml
Pseudomona Aeruginosa	NMP	<2/100ml
Características fisicoquímicas		
Parámetro	Método	Valor de referencia
Ph	Potenciómetro	6.5-9
Color	Filtro de Carbón Activado	15 UPC
Olor y sabor	Filtro de Carbón Activado.	Inobjetables
Turbiedad	Filtro de arena y grava	2 unidades nefelometrías
Solidos disueltos	Filtros pulidores	200 ml/l

Tabla 42.

Ficha técnica de presentación de agua envasada en botella de 600 ml. elaboración propia a partir de Della Fonte (2017).

Ficha técnica agua en botella de 600 ml		
	Características física	
	Referencia	
	Volumen neto	600 ml
	Dimensiones	25 cm x 6.2 cm
	Peso Bruto	630gr
	Material del empaque	PET(Tereftalato de polietileno)
	Presentación	Pack de 24 botellas de 600 ml
	Condiciones de conservación	
	Refrigeración	No requiere
	Almacenaje	Estibas lisas
	Lugar	Fresco, limpio y sin luz solar directa.
	Temperatura de almacenamiento	Ambiente
	Vencimiento	4 Meses
Características microbiológica		
Parámetro	Método	Valor de referencia
Recuento de aerobios mesofilos	Filtración por membrana	<100 ufc/ 1ml
Coliformes totales	Filtración por membrana	<2 ufc /100 ml

Pseudomona Aeruginosa	NMP	<2/100ml
<b>Características fisicoquímicas</b>		
Parámetro	Método	Valor de referencia
Ph	Potenciómetro	6.5-9
Color	Filtro de Carbón Activado	15 UPC
Olor y sabor	Filtro de Carbón Activado.	Inobjetables
Turbiedad	Filtro de arena y grava	2 unidades nefelometrías
Solidos disueltos	Filtros pulidores	200 ml/l

Tabla 43.

*Ficha técnica de presentación de agua envasada en botellón de 19 L.* elaboración propia a partir de Della Fonte(2017).

<b>Ficha técnica agua en botellón de 19 litros</b>		
	<b>Características físicas</b>	
	Referencia	
	Volumen neto	19 L.
	Dimensiones	50 cm x 27 cm
	Peso Bruto	20kg
	Material del empaque	Policarbonato
	Presentación	Garrafa de 19 L
	<b>Condiciones de conservación</b>	
	Refrigeración	No requiere

	Almacenaje	Sobre estibas
	Lugar	Limpio, fresco, sin luz solar directa.
	Temperatura de almacenamiento	Ambiente
	Vencimiento	2 meses, consumirse en los primeros 15 días después de abrirse.
Características microbiológica		
Parámetro	Método	Valor de referencia
Recuento de aerobios mesofilos	Filtración por membrana	<100 ufc/ 1ml
Coliformes totales	Filtración por membrana	<2 ufc /100 ml
Pseudomona Aeruginosa	NMP	<2/100ml
Características fisicoquímicas		
Parámetro	Método	Valor de referencia
pH	Potenciómetro	6.5-9
Color	Filtro de Carbón Activado	15 UPC

Olor y sabor	Filtro de Carbón Activado.	Inobjetables
Turbiedad	Filtro de arena y grava	2 unidades nefelometrías
Solidos disueltos	Filtros pulidores	200 ml/l

### 8.3. Anexo 3. Proceso de Balanceamiento

#### Balanceamiento de la Línea de Producción

Para realizar el balanceamiento de la línea de producción de Agua envasada “Agua de Vida”, es necesario tener conocimiento de la demanda que se tiene, como es de saberse, la demanda estimada anual de agua envasada es de 70.871.322 millones de litro, de acuerdo al pronóstico obtenido anteriormente.

Al observar la demanda estimada, sería imposible cumplir con toda esta capacidad, por lo tanto por decisión propia la empresa agua de vida, prevee cumplir con el 5% del total de la demanda anual estimada, por lo tanto:

$$Da = \frac{\text{Demanda anual estimada} * \text{porcentaje de manda a preever}}{100\%}$$

$$Da = \frac{70872322 \text{ lts} * 5\%}{100\%} = 3543616 \text{ lts}$$

Después de tener conocimiento de la demanda a cumplir, se hace necesario identificar todas las operaciones y el tiempo que deben tomar cada una de estas, con la finalidad de obtener el número de estaciones necesario en las que se debe distribuir la planta, garantizando una mejor eficiencia.

La demanda diaria bajo esta estimación de la demanda a preveer, sería la siguiente;

$$Dd = \frac{\text{Demanda anual a preever}}{\text{Cantidad de días de funcionamiento}}$$

$$Dd = \frac{3543616 \text{ lts/año}}{296 \text{ días/años}} = 11972 \frac{\text{litros}}{\text{días}}$$

Se determino que se laborara 296 días al año, de los cuales se exceptua los domingo y feriados, debido a que para el cumplimiento de la demanda anual, en litros de agua, se debe cumplir con una demanda diaria de 11972 litros de agua al día.

Posterior es necesario obtener el tiempo de ciclo, el cual se halla por medio de la formula;

$$Tc = \frac{\text{Tiempo de producción disponible}}{\text{Unidades requeridad por día}}$$

Para el caso de nuestra planta se tiene un tiempo disponible de 480 min al día, los cuales se obtienen que multiplicar 8 horas del día por 60 que son los min que contiene una hora,

$$Tc = \frac{480 \text{ minutos/día}}{11972 \text{ litros/días}} = 0.04 \frac{\text{minutos}}{\text{litros}}$$

Por lo tanto la planta debe tener la capacidad de cada 0.04 min tratar un litro de agua o purificar un litro de agua.

El tiempo de ciclo es un dato fundamental para el balanceamiento de todas las estaciones que tiene la planta, como se evidenciara a continuacion:

### **Balanceamiento de Purificación del agua**

#### **Balanceamiento del proceso de cloración**

El proceso de cloracion se realizan en tanques de almacenamiento, los cuales tienen una capacidad de 10000 litros, y dicho proceso tarda 2 horas aproximadamente, por lo tanto:

$$\text{Capacidad tanque} = 10000\text{ lts}$$

El tiempo disponible que se tiene es de 480 min/día, como se mencionó anteriormente, pero la cantidad de litros diarios que se deben procesar es de 11972 litros/día, los cuales requieren la siguiente cantidad de min:

$$10000 \text{ lts} \rightarrow 120 \text{ minutos}$$

$$11972 \text{ lts} \rightarrow x \text{ minutos}$$

$$x = \frac{11972 \frac{\text{lts}}{\text{día}} * 120 \text{ min}}{10000 \text{ lts}} = 143.664 \frac{\text{min}}{\text{día}}$$

De acuerdo al resultado, con un tanque de 10000 litros de capacidad, se tomaría 143.664 min al día, procesar toda la cantidad de litros diarios requeridos, pero como se tiene un límite de tiempo disponible, se requieren balancear la línea de tal manera que se pueda conocer la cantidad de tanques que se requiere para eso se debe determinar el dato de balance, de la siguiente manera:

$$\text{Dato de balance} = \frac{\text{producción requerida}}{\text{Capacidad real}}$$

La producción requerida es la cantidad de litros diarios que se requieren procesar que para el caso de nosotros es de 11972 litros/días, y la capacidad real de producción, se determina bajo la capacidad de la maquinaria o tanques en este caso, se determina de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad real} = \frac{10000\text{ lts}}{120 \text{ mins}} * 480 \frac{\text{mins}}{\text{día}} = 40000 \frac{\text{lts}}{\text{día}}$$

Por lo tanto, el dato de balance o cantidad de tanques requeridos para cumplir con la demanda diaria, se muestra a continuación:

$$\text{Dato de balance} = \frac{11972 \text{ lts/día}}{40000 \text{ lts/día}} = 0.29 \approx 1$$

Es decir, para darle cumplimiento a toda la cantidad de litros diarios requerido, se requiere tener a disposición 1 tanque con capacidad de 10000 lts para la cloración.

### **Balanceamiento del proceso de filtros de arena**

Dentro del proceso de purificación encontramos la etapa de filtrado de arena y grava, donde se busca eliminar sólidos en suspensión o partículas más grandes, la capacidad de estos filtros, se muestra a continuación:

$$\text{Capacidad} = 4 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

Por decisión propia se procede a trabajar con el 20% de la capacidad, es decir, que condicionaremos el proceso a una capacidad de:

$$\text{Capacidad a trabajar} = 4 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

Es necesario aclarar que cada metro cúbico contiene 1000 litros, por lo tanto :

$$4000 \text{ lts} \rightarrow 60 \text{ minutos}$$

$$11972 \text{ lts} \rightarrow x$$

$$x = \frac{11972 \frac{lbs}{dia} * 60 min}{4000 lbs} = 179.58 \frac{min}{dia}$$

Por lo tanto, el tiempo requerido por el equipo para procesa la cantidad de litros diarios es de 179.58 min al día.

Determinamos el dato de balance, por medio de la siguiente ecuacion:

$$Dato de balance = \frac{producción requerida}{Capacidad real}$$

La producción requerida es la cantidad de litros diarios que se requieren procesar que para el caso de nosotros es de 14523 litros/días, y la capacidad real de producción, se determina bajo la capacidad de la maquinaria o tanques en este caso, se determina de la siguiente manera:

$$Capacidad real = \frac{4000lbs}{60 min} * 480 \frac{min}{dia} = 32000 \frac{lbs}{dia}$$

Por lo tanto, el dato de balance o cantidad de equipos requeridos para cumplir con la demanda diaria, se muestra a continuación:

$$Dato de balance = \frac{11972 lbs/dia}{32000 lbs/dia} = 0.374 \approx 1$$

Es decir, para darle cumplimiento a toda la cantidad de litros diarios que se requieren procesar, se requiere tener a disposición 1 filtro de arena y grava, para cumplir con la demanda diaria de producción.

### **Balanceamiento del proceso de carbon activado**

En esta etapa del proceso de purificación, se presenta cierta variación debido a que este equipo de purificación realiza dos operaciones, con diferente capacidad y una seguida de la otra, es decir, primeramente realiza la operación de decoloración la cual tiene una capacidad, que se muestra a continuación:

$$\text{Capacidad de decoloración} = 18 \frac{g}{min}$$

Posterior a esa operación de decoloración, sigue la eliminación de color, olor y sabor, en esta subetapa el equipo trabaja con una capacidad de:

$$\text{Capacidad eliminación olor, sabor y color} = 7.5 \frac{g}{min}$$

Como este equipo realiza estas dos operaciones, de forma continua, procedemos a realizar el balanceamiento de esta etapa del proceso de purificación, haciendo uso de la menor capacidad, ya que esta sería el cuello de botella dentro de esta etapa, es decir, eliminación de olores, sabores y color,

Por lo tanto,

$$\text{Capacidad carbon activado} = 7.5 \frac{g}{min}$$

Ahora bien,

$$28.39 \text{ lts} \rightarrow 1 \text{ min}$$

$$11972 \rightarrow x \text{ min}$$

$$x = \frac{11972 \frac{\text{lts}}{\text{dia}} * 1 \text{ min}}{28,39 \text{ lts}} = 421.7 \frac{\text{min}}{\text{dia}}$$

Es decir, el tiempo requerido por el equipo para procesa la cantidad de litros diarios es de 421.7 min al día.

Determinamos el dato de balance, por medio de la siguiente ecuacion:

$$\text{Dato de balance} = \frac{\text{producción requerida}}{\text{Capacidad real}}$$

La produccion requerida es la cantidad de litros diarios que se requieren procesar que para el caso de nosotros es de 11972 litros/dias, y la capacidad real de produccion, se determina bajo la capacidad de la maquinaria o tanques en este caso, se determina de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad real} = \frac{28.39\text{ lts}}{1 \text{ min}} * 480 \frac{\text{min}}{\text{dia}} = 13627,2 \frac{\text{lts}}{\text{dia}}$$

Por lo tanto, el dato de balance o cantidad de equipos requeridos para cumplir con la demanda diaria, se muestra a continuacion:

$$\text{Dato de balance} = \frac{11972 \text{ lts/dia}}{13627,2 \text{ lts/dia}} = 0.87 \approx 1$$

Es decir, para darle cumplimiento a toda la cantidad de litros diarios que se requieren procesar, se requiere tener a disposicion 1 equipos de filtro de carbon activado.

### **Balanceamiento del proceso de luz ultravioleta**

Dentro del proceso de purificacion encontramos la etapa de luz ultravioleta, donde se utiliza la UV como germicida para eliminar microorganismos presenten en el agua purificada, la capacidad de estas luz ultravioleta, se muestra a continuacion:

$$Capacidad = 200 \frac{gal}{min}$$

Es necesario aclarar que cada galon contiene 3.78 litros, por lo tanto :

$$756 \text{ lts} \rightarrow 1 \text{ min}$$

$$14523 \text{ lts} \rightarrow x$$

$$x = \frac{11972 \frac{\text{lts}}{\text{dia}} * 1 \text{ min}}{756 \text{ lts}} = 15.84 \frac{\text{min}}{\text{dia}}$$

Por lo tanto, el tiempo requerido por el equipo para procesa la cantidad de litros diarios es de 15.84 min al día.

Determinamos el dato de balance, por medio de la siguiente ecuacion:

$$Dato \ de \ balance = \frac{producción \ requerida}{Capacidad \ real}$$

La producción requerida es la cantidad de litros diarios que se requieren procesar que para el caso de nosotros es de 11972 litros/días, y la capacidad real de producción, se determina bajo la capacidad de la maquinaria o tanques en este caso, se determina de la siguiente manera:

$$Capacidad \ real = \frac{756 \text{ lts}}{1 \text{ min}} * 480 \frac{\text{min}}{\text{dia}} = 362880 \frac{\text{lts}}{\text{dia}}$$

Por lo tanto, el dato de balance o cantidad de equipos requeridos para cumplir con la demanda diaria, se muestra a continuación:

$$\text{Dato de balance} = \frac{11972 \text{ lts/dia}}{362880 \text{ lts/dia}} = 0.033 \approx 1$$

Es decir, para darle cumplimiento a toda la cantidad de litros diarios que se requieren procesar, se requiere tener a disposición 1 lámpara luz ultravioleta no trabajando al 100% necesariamente.

### **Balanceamiento del proceso de ozonizador**

Dentro del proceso de purificación se encuentra una última etapa llamada ozonizador, la cual tiene el objetivo de impedir que se formen microorganismos que puedan afectar la pureza del agua, el equipo con el que contamos tiene una capacidad de tratar;

$$\text{Capacidad} = 6 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

Con una capacidad de liberar 10 gramos de ozono por hora, como es de saberse un metro cúbico, contiene 1000 lts, la demanda diaria de litros a tratar en nuestra planta es de 11972 lts/diarios, por lo tanto;

$$6000 \text{ lts} \rightarrow 60 \text{ min}$$

$$11972 \text{ lts} \rightarrow x$$

$$x = \frac{11972 \frac{\text{lts}}{\text{dia}} * 60 \text{ min}}{6000 \text{ lts}} = 119.72 \frac{\text{min}}{\text{dia}}$$

Es decir, el tiempo requerido por el equipo para procesar la cantidad de litros diarios es de 119.72 min al día haciendo uso de un solo equipo ozonizador.

Determinamos el dato de balance, por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Dato de balance} = \frac{\text{producción requerida}}{\text{Capacidad real}}$$

La producción requerida es la cantidad de litros diarios que se requieren procesar que para el caso de nosotros es de 14523 litros/días, y la capacidad real de producción, se determina bajo la capacidad de la maquinaria o tanques en este caso, se determina de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad real} = \frac{6000\text{ lts}}{60 \text{ min}} * 480 \frac{\text{min}}{\text{dia}} = 48000 \frac{\text{lts}}{\text{dia}}$$

Por lo tanto, el dato de balance o cantidad de equipos requeridos para cumplir con la demanda diaria, se muestra a continuación:

$$\text{Dato de balance} = \frac{11972 \text{ lts/dia}}{48000 \text{ lts/dia}} = 0.25 \approx 1$$

Es decir, para darle cumplimiento a toda la cantidad de litros diarios que se requieren procesar, se requiere tener a disposición 1 equipo ozonizador.

### **Balanceamiento del proceso de envasado o embotellado**

Después de tener la totalidad de litros de agua diarios requerido necesarios, es necesario distribuir la cantidad de litros entre las diferentes presentaciones que se llevan producirán, como lo son bolsas de aguas de 360 ml, botellas 600 ml y bidones de 19 litros, por políticas internas de la planta se tomó la decisión que el 25% de la totalidad de agua es para presentaciones de bolsas de 360 ml, totalidad de litros, el 40% para botellas de 600 ml y el 35% restante para bidones de 19 lts.

Por lo tanto,

- 4190.2 lts para bidones de 19lts
- 2993 lts para bolsas de 360 ml
- 4788.8 lts para botellas de 600 ml

**Balanceamiento del proceso de lavado interior y exterior, llenado y sellado para bidones de 19lts.**

Despues de tener destinado la cantidad de litros necesarias para la produccion de agua en bidones de 19 lts, se procede a balancear, la capacidad del equipo disponible es;

$$\text{Capacidad llenado bidones} = 120 \frac{\text{bidones}}{\text{hora}}$$

Cada bidon tiene 19 lts litros, por lo tanto esta maquina tiene capacidad de envasado de 2280 litros cada 60 min, por lo tanto;

$$2280\text{lts} \rightarrow 60 \text{ minutos}$$

$$4190.2 \text{ lts} \rightarrow x$$

$$x = \frac{4190.2 \frac{\text{lts}}{\text{dia}} * 60 \text{ min}}{2280 \text{ lts}} = 110.3 \frac{\text{min}}{\text{dia}}$$

Es decir, el tiempo requerido por el equipo para procesa la cantidad de litros diarios para bidones es de 110.3 min al día.

Determinamos el dato de balance, por medio de la siguiente ecuacion:

$$\text{Dato de balance} = \frac{\text{producción requerida}}{\text{Capacidad real}}$$

La producción requerida es la cantidad de litros diarios que se requieren envasar para bidones es de 5083 litros/días, y la capacidad real de producción, se determina bajo la capacidad de la maquinaria, se determina de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad real} = \frac{2280 \text{ lts}}{60 \text{ mins}} * 480 \frac{\text{mins}}{\text{dia}} = 18240 \frac{\text{lts}}{\text{dia}}$$

Por lo tanto, el dato de balance o cantidad de equipos requeridos para cumplir con la demanda diaria, se muestra a continuación:

$$\text{Dato de balance} = \frac{4190.2 \text{ lts/dia}}{18240 \text{ lts/dia}} = 0,23 \approx 1$$

Es decir, para darle cumplimiento a toda la cantidad de litros diarios que se requieren envasar en bidones, se requiere tener a disposición 1 lavadora, envasadora y selladora de bidones, y no necesariamente trabajando al 100%.

### **Balanceamiento del proceso de lavado interior y exterior, llenado y sellado para botellas de 600 ml.**

Después de tener destinado la cantidad de litros necesarias para la producción de agua en botellas de 0.6 lts, se procede a balancear, la capacidad del equipo disponible es;

$$\text{Capacidad llenado botella} = 3000 \frac{\text{botellas}}{\text{hora}}$$

Cada botella tiene 0.6 lts litros, por lo tanto esta maquina tiene capacidad de envasado de 1800 litros cada 60 min, por lo tanto;

$$1800\text{ lts} \rightarrow 60 \text{ minutos}$$

$$4788.8 \text{ lts} \rightarrow x$$

$$x = \frac{4788.8 \frac{\text{lts}}{\text{dia}} * 60 \text{ min}}{1800 \text{ lts}} = 159.62 \frac{\text{min}}{\text{dia}}$$

Es decir, el tiempo requerido por el equipo para procesa la cantidad de litros diarios para botellas es de 159.62 min al día.

Determinamos el dato de balance, por medio de la siguiente ecuacion:

$$\text{Dato de balance} = \frac{\text{producción requerida}}{\text{Capacidad real}}$$

La produccion requerida es la cantidad de litros diarios que se requieren envasar para bidones es de 4788.8 litros/dias, y la capacidad real de produccion, se determina bajo la capacidad de la maquinaria o tanques en este caso, se determina de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad real} = \frac{1800\text{ lts}}{60 \text{ mins}} * 480 \frac{\text{mins}}{\text{dia}} = 14400 \frac{\text{lts}}{\text{dia}}$$

Por lo tanto, el dato de balance o cantidad de equipos requeridos para cumplir con la demanda diaria, se muestra a continuacion:

$$\text{Dato de balance} = \frac{4788.8 \text{ lts/dia}}{14400 \text{ lts/dia}} = 0,33 \approx 1$$

Es decir, para darle cumplimiento a toda la cantidad de litros diarios que se requieren envasar en botellas de 0.6 lts, se requiere tener a disposición 1 lavadora, envasadora y selladora de botellas.

### **Balanceamiento para llenado y sellado de bolsas con agua de 360 ml.**

Después de tener destinado la cantidad de litros necesarias para la producción de agua en bolsas de 0.36 lts, se procede a balancear, la capacidad del equipo disponible es;

$$\text{Capacidad llenado bolsas} = 2100 \frac{\text{bolsas}}{\text{hora}}$$

Cada bolsa tiene 0.36 lts litros, por lo tanto, esta máquina tiene capacidad de envasado de 756 litros cada 60 min, por lo tanto;

$$756 \text{ lts} \rightarrow 60 \text{ minutos}$$

$$2993 \text{ lts} \rightarrow x$$

$$x = \frac{2993 \frac{\text{lts}}{\text{dia}} * 60 \text{ min}}{756 \text{ lts}} = 237.54 \frac{\text{min}}{\text{dia}}$$

Es decir, el tiempo requerido por el equipo para procesar la cantidad de litros diarios para botellas es de 237.54 min al día.

Determinamos el dato de balance, por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Dato de balance} = \frac{\text{producción requerida}}{\text{Capacidad real}}$$

La producción requerida es la cantidad de litros diarios que se requieren envasar para bidones es de 3631 litros/días, y la capacidad real de producción, se determina bajo la capacidad de la maquinaria o tanques en este caso, se determina de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad real} = \frac{756 \text{ lts}}{60 \text{ mins}} * 480 \frac{\text{mins}}{\text{dia}} = 6048 \frac{\text{lts}}{\text{dia}}$$

Por lo tanto, el dato de balance o cantidad de equipos requeridos para cumplir con la demanda diaria, se muestra a continuación:

$$\text{Dato de balance} = \frac{2993 \text{ lts/dia}}{6048 \text{ lts/dia}} = 0.5 \approx 1$$

Es decir, para darle cumplimiento a toda la cantidad de litros diarios que se requieren envasar en botellas de 0.36 lts, se requiere tener a disposición 1 llenadora y selladora de bolsas.

### **Balanceamiento del proceso de etiquetado**

En esta etapa del proceso, solo ingresan las botellas de 600 ml, que se obtienen, ya que los bidones pasan de llenado y tapado, directo a almacén final y las bolsas de 360 ml, proceden a la etapa de empacado, o embalaje, donde se acumulan montos de 20 bolsas por pacas, por lo tanto, para conocer la cantidad de botellas a procesar por el etiquetado se realiza, la siguiente relación;

$$1 \text{ botella} \rightarrow 0.6 \text{ lts}$$

$$x \text{ botella} \rightarrow 4788.8 \text{ lts}$$

Por lo tanto,

$$x = \frac{4788.8 \frac{\text{lts}}{\text{dia}} * 1 \text{ botella}}{0.6 \frac{\text{lts}}{\text{botella}}} = 7982 \frac{\text{botella}}{\text{dia}}$$

La maquina disponible para el etiquetado tiene una capacidad,

$$\text{Capacidad de etiquetadora} = 110 \frac{\text{botella}}{\text{min}}$$

Ya que cada botella tiene una etiqueta de 0.2 m de largo y la maquina tiene una capacidad de 22m / minuto, por lo tanto 110 botellas pueden ser etiquetadas en un minuto.

$$110 \text{ botella} \rightarrow 1 \text{ min}$$

$$7982 \text{ botella} \rightarrow x \text{ min}$$

$$x = \frac{7982 \text{ botellas/dia} * 1 \text{ min}}{110 \text{ botellas}} = 72.6 \frac{\text{min}}{\text{dia}}$$

Es decir, el tiempo requerido por el equipo para etiquetar la cantidad de botellas diarias es de 72.6 min al día.

Determinamos el dato de balance, por medio de la siguiente ecuacion:

$$\text{Dato de balance} = \frac{\text{producción requerida}}{\text{Capacidad real}}$$

La produccion requerida es la cantidad de litros diarios que se requieren envasar para bidones es de 5809 litros/dias, y la capacidad real de produccion, se determina bajo la capacidad de la maquinaria o tanques en este caso, se determina de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad real} = \frac{110 \text{ botellas}}{1 \text{ min}} * 480 \frac{\text{min}}{\text{dia}} = 52800 \frac{\text{botellas}}{\text{dia}}$$

Por lo tanto, el dato de balance o cantidad de equipos requeridos para cumplir con la demanda diaria, se muestra a continuación:

$$\text{Dato de balance} = \frac{7982 \frac{\text{botellas}}{\text{dia}}}{52800 \frac{\text{botellas}}{\text{dia}}} = 0.16 \approx 1$$

Es decir, para darle cumplimiento a toda la cantidad de botellas que se requiere etiquetar diario, se requiere tener a disposición 1 etiquetadora.

### **Balanceamiento del proceso de empaclado o embalaje**

#### **Embalaje de botellas de 600 ml**

De las tres líneas de presentaciones de agua envasada o envasada, solo las botellas de 600 ml y bolsas de 360 ml, pasa por esta etapa de proceso, donde son empacladas en pack de 24 en el caso de las botellas y de 20 en el caso de las bolsas.

Para las botellas se cuenta con una máquina cuya capacidad de empaclado, se muestra a continuación;

$$\text{Capacidad empacladora de botella} = 2 \frac{\text{pacas}}{\text{min}}$$

La cantidad de pack de botellas diarios que debe empaclar esta máquina es de 332 pack, por lo tanto,

$$2 \text{ pack} \rightarrow 1 \text{ min}$$

$$332 \text{ pack} \rightarrow x \text{ min}$$

$$x = \frac{332 \text{ pack/dia} * 1 \text{ min}}{2 \text{ pack}} = 161 \frac{\text{min}}{\text{dia}}$$

Es decir, el tiempo requerido por el equipo para el embalaje la cantidad de botellas diarias es de 161 min al día.

Determinamos el dato de balance, por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Dato de balance} = \frac{\text{producción requerida}}{\text{Capacidad real}}$$

La producción requerida es la cantidad de litros diarios que se requieren envasar para botellas es de 4788.8 litros/días, y la capacidad real de producción, se determina bajo la capacidad de la maquinaria o tanques en este caso, se determina de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad real} = \frac{2 \text{ pack}}{1 \text{ mins}} * 480 \frac{\text{mins}}{\text{dia}} = 960 \frac{\text{pack}}{\text{dia}}$$

Por lo tanto, el dato de balance o cantidad de equipos requeridos para cumplir con la demanda diaria, se muestra a continuación:

$$\text{Dato de balance} = \frac{332 \frac{\text{pack}}{\text{dia}}}{960 \frac{\text{pack}}{\text{dia}}} = 0.34 \approx 1$$

Es decir, para darle cumplimiento a toda la cantidad de botellas que se requiere empacar en pack de 24 diario, se requiere tener a disposición 1 empacadora.

### **Embalaje de las bolsas de 360 ml**

Para las bolsas de agua de 360 ml, no se cuenta con máquina para el embalaje automático o semi-automático, este se realiza de forma manual, con ayuda de operario que se encargan de realizar pack de 20 unidades cada uno, estos trabajan con una capacidad, de;

$$\text{Capacidad empacadores de bolsas} = 3 \frac{\text{pacasbolsas}}{\text{min}}$$

La cantidad de pack de bolsas diarios que debe embalaje esta planta es de 504 pack, por lo tanto,

$$2 \text{ pack bolsas} \rightarrow 1 \text{ min}$$

$$416 \text{ pack} \rightarrow x \text{ min}$$

$$x = \frac{416 \text{ pack/dia} * 1 \text{ min}}{2 \text{ pack}} = 208 \frac{\text{min}}{\text{dia}}$$

Es decir, el tiempo requerido por el personal para el embalaje la cantidad de bolsas de 360 ml diarias es de 208 min al día.

Determinamos el dato de balance, por medio de la siguiente ecuacion:

$$\text{Dato de balance} = \frac{\text{producción requerida}}{\text{Capacidad real}}$$

La producción requerida es la cantidad de litros diarios que se requieren envasar para bolsas es de 3631 litros/dias, y la capacidad real de producción, se determina bajo la capacidad de la maquinaria o tanques en este caso, se determina de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad real} = \frac{2 \text{ pack}}{1 \text{ min}} * 480 \frac{\text{min}}{\text{dia}} = 960 \frac{\text{pack}}{\text{dia}}$$

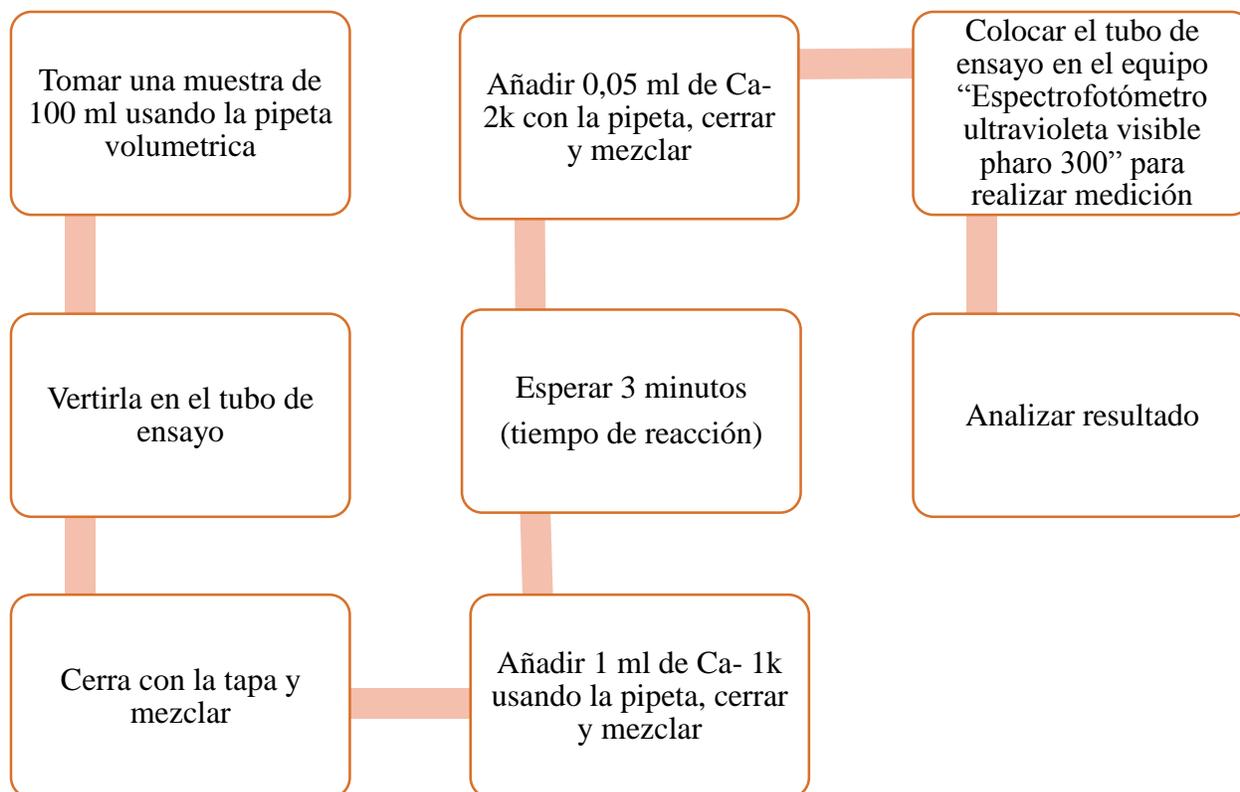
Por lo tanto, el dato de balance o cantidad de personal requeridos para cumplir con la demanda diaria de pacas de bolsas con , se muestra a continuación:

$$\text{Dato de balance} = \frac{416 \frac{\text{pack}}{\text{dia}}}{960 \frac{\text{pack}}{\text{dia}}} = 0.44 \approx 1$$

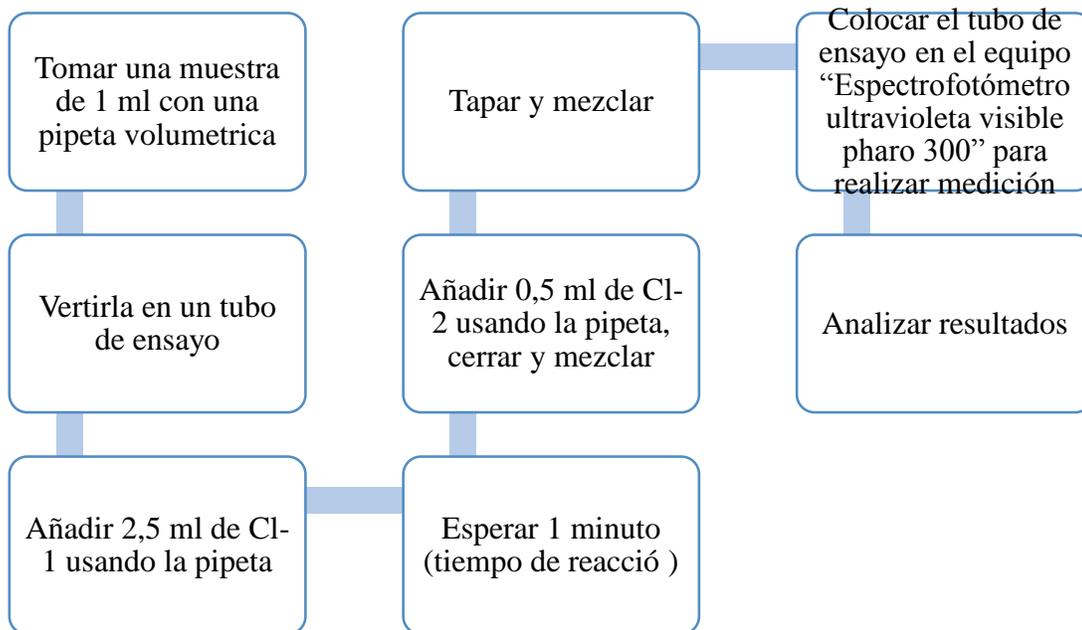
Es decir, para darle cumplimiento a toda la cantidad de bolsas que se requiere empacar en pack de 20 unidades diario, se requiere tener a disposición 1 personas para esta operación.

#### 8.4. Anexo 4. Procesos para aplicaciones de pruebas de laboratorio

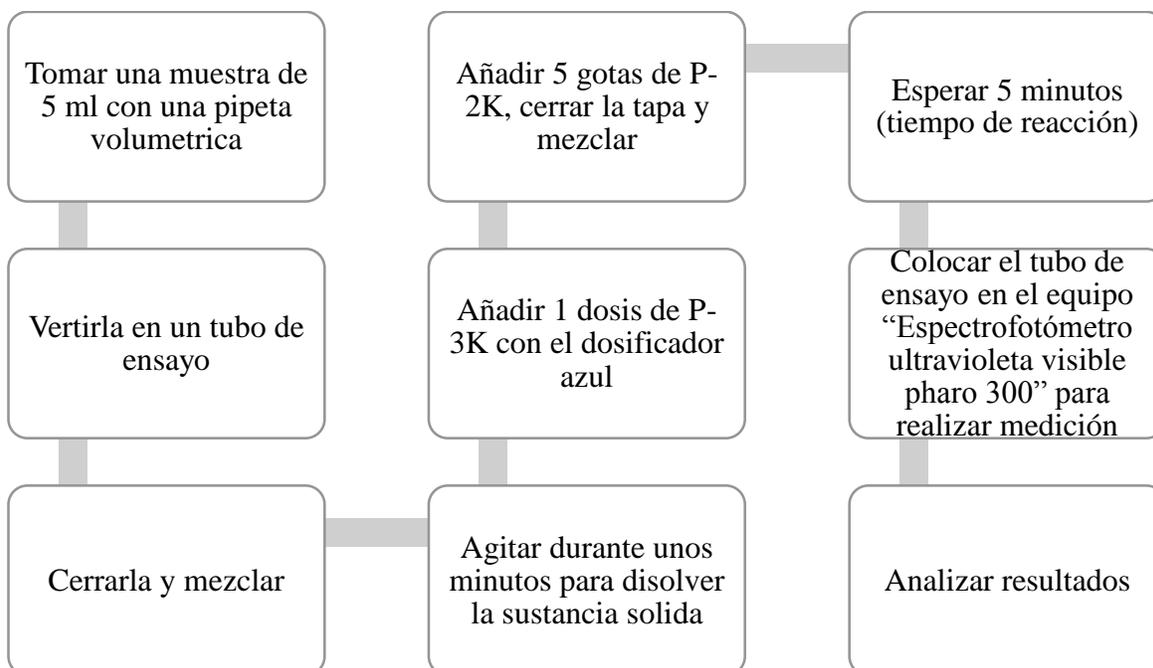
➤ Calcio (Ca)



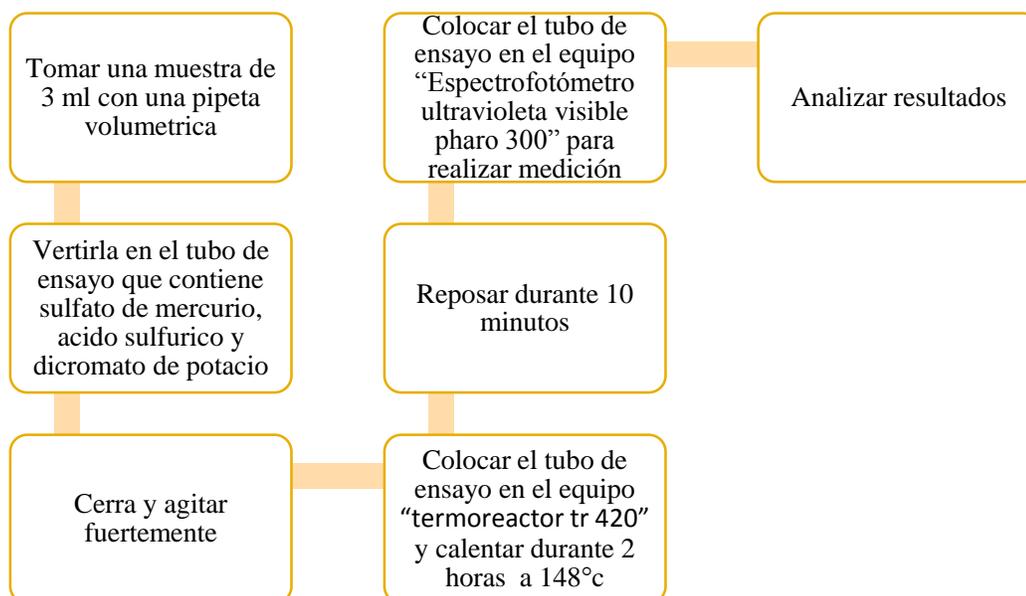
➤ Cloruro (Cl)



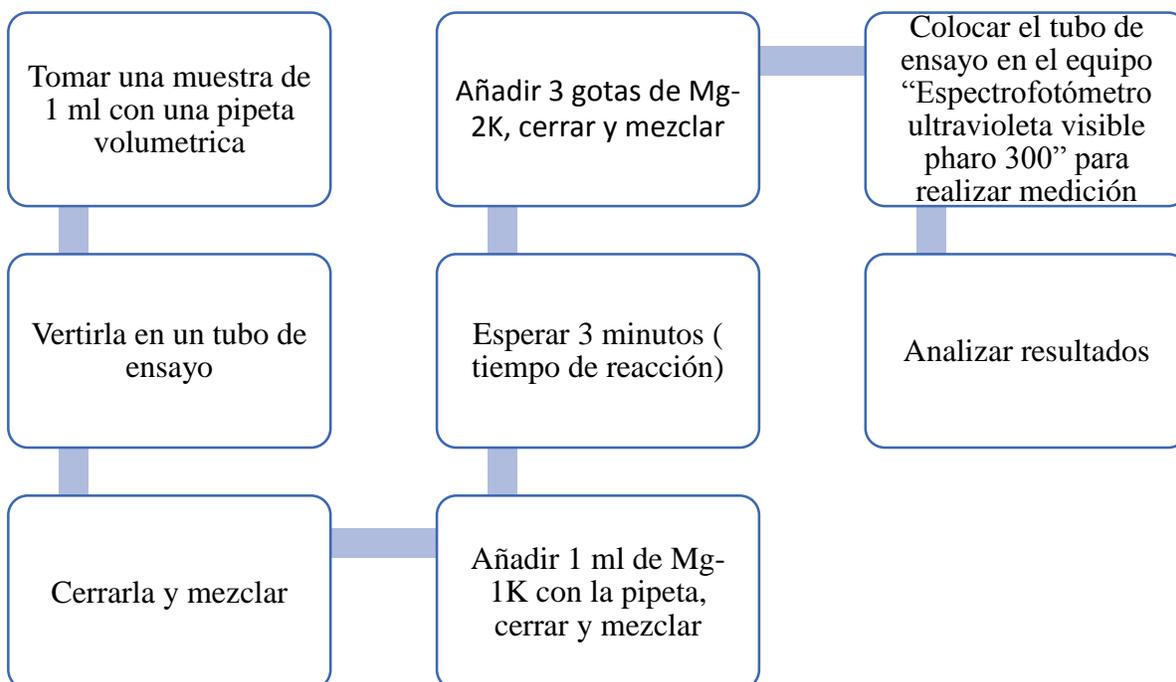
➤ Fosfato – Orto fosfatos



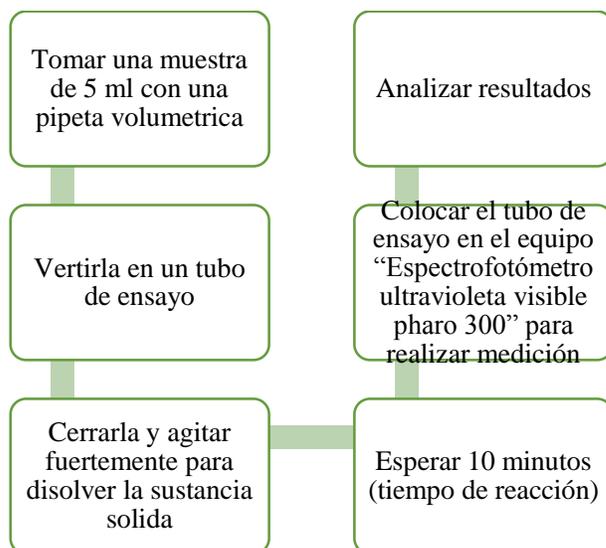
➤ Demanda Química de Oxígeno (DQO)



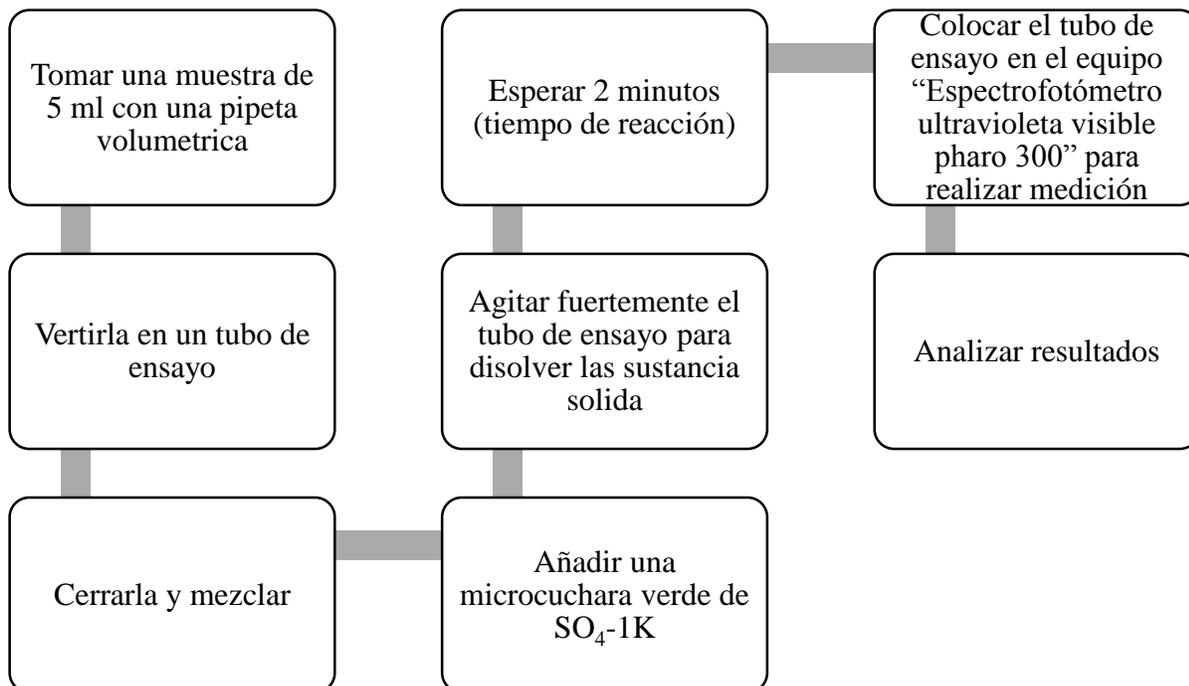
➤ Magnesio (Mg)



➤ Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )



➤ Sulfato ( $\text{SO}_4$ )



### 8.5. Anexo 5. Evidencia de Aplicación de Pruebas de Laboratorio



**8.6. Anexo 5. Datos de Producción Real**

Empresa		Hielo hindurod			
Producto		Pack de bolsas de agua de 360 ml			
Mes	Día	Producción	Mes	Día	Producción
Enero	1	800	Febrero	1	790
	2	560		2	600
	3	600		3	420
	4	600		4	600
	5	629		5	720
	6	800		6	516
	7	800		7	500
	8	600		8	462
	9	698		9	670
	10	420		10	800
	11	540		11	700
	12	410		12	750
	13	760		13	650
	14	760		14	750
	15	576		15	640
	16	582		16	520
	17	445		17	440
	18	420		18	660
	19	420		19	640
	20	440		20	640
	21	564		21	550
	22	415		22	750
	23	616		23	460
	24	609		24	750
	25	520		25	790
	26	520		26	480
	27	720		27	670
	28	430		28	600
	29	590			
	30	720			
	31	720			
<b>Total producción mes Enero</b>		<b>18284</b>	<b>Total producción mes febrero</b>		<b>17518</b>

**8.7.Datos de Producción de Simulado**

<b>Escenarios</b>	<b>Producción</b>
1	420
2	415
3	600
4	452
5	558
6	598
7	448
8	537
9	420
10	573
11	420
12	595
13	418
14	503
15	576
16	581
17	615
18	510
19	415
20	546
21	605
22	419
23	500
24	438
25	576
26	547
27	422
28	475
29	487
30	475
31	506
32	554
33	459
34	532
35	524