Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

# ESTUDIO Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA REUTILIZACIÓN DEL AGUA EN ENJUAGADOR DE BOTELLAS EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN EN EMPRESA ENVASADORA DE BEBIDAS

**María Alejandra Sánchez García**
Asesorado por el Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez

Guatemala, octubre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA REUTILIZACIÓN DEL AGUA EN ENJUAGADOR DE BOTELLAS EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN EN EMPRESA ENVASADORA DE BEBIDAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

**MARÍA ALEJANDRA SÁNCHEZ GARCÍA**
ASESORADO POR EL ING. VÍCTOR MANUEL MONZÓN VALDÉZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

| | |
|---|---|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL I | Ing. Angel Roberto Sic García |
| VOCAL II | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III | Ing. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova |
| VOCAL V | Br. Henry Fernando Duarte García |
| SECRETARIA | Ing. Lesbia Magalí Herrera López |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

| | |
|---|---|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Víctor Herbert de León Morales |
| EXAMINADOR | Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus |
| EXAMINADORA | Inga. Mercedes Esther Roquel Chávez |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

# HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA REUTILIZACIÓN DEL AGUA EN ENJUAGADOR DE BOTELLAS EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN EN EMPRESA ENVASADORA DE BEBIDAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha julio de 2013.

**María Alejandra Sánchez García**

USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Edificio T-5, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 20 de Abril, de 2016

Sr. Director de Escuela de Ingeniería Química
Carlos Salvador Wong Davi

Me dirijo a usted en relación al Informe Final del Trabajo de Graduación de la estudiante María Alejandra Sánchez García, con número de carné 200819127, el trabajo titulado "Estudio y Análisis de Factibilidad para Reutilización del Agua en Enjuagador de Botellas en una Línea de Producción en Empresa Envasadora de Bebidas".

Al respecto le comento que he revisado los aspectos metodológicos de la investigación y dado que se ajustan al perfil requerido por nuestra escuela no tengo objeción en aprobar el Informe Final del presente proyecto para su trámite correspondiente.

Atentamente

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
Ingeniero Químico
Colegiado No. 656

**Ing. Qco. Víctor Manuel Monzón Valdez**
**Colegiado No. 656**

Guatemala, 25 de julio de 2016.
Ref. EIQ.TG-IF.035.2016.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **103-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Solicitado por la estudiante universitaria: **María Alejandra Sánchez García.**
Identificada con número de carné: **2008-19127.**
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**ESTUDIO Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA REUTILIZACIÓN DEL AGUA EN ENJUAGADOR DE BOTELLAS EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN EN EMPRESA ENVASADORA DE BEBIDAS**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Víctor Manuel Monzón Valdez.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

ESCUELA INGENIERIA QUIMICA
AREA TRABAJOS DE GRADUACION
FIUSAC

C.c.: archivo

Ref.EIQ.TG.061.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **MARÍA ALEJANDRA SÁNCHEZ GARCÍA** titulado: **"ESTUDIO Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA REUTILIZACIÓN DEL AGUA EN ENJUAGADOR DE BOTELLAS EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN EN EMPRESA ENVASADORA DE BEBIDAS"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECTOR
ESCUELA
INGENIERÍA QUÍMICA
U. S. A. C.

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, octubre 2016

Cc: Archivo
CSWD/ale

Universidad de San Carlos
De Guatemala

Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.516-2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA REUTILIZACIÓN DEL AGUA EN ENJUAGADOR DE BOTELLAS EN UNA LÍNEA DE PRODUCIÓN EN EMPRESA ENVASADORA DE BEBIDAS,** presentado por la estudiante universitaria: **María Alejandra Sánchez García,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, octubre de 2016

/cc

## ACTO QUE DEDICO A:

| | |
|---|---|
| **Dios** | Por darme la gran bendición de entregarme la vida. |
| **Mi mamá** | Marisa García, porque con su amor incondicional, apoyo y entrega me llevó hasta ser la mujer que soy el día de hoy. |
| **Mi papá** | Marvin Sánchez, ya que con su ejemplo de responsabilidad y trabajo duro me demostró que puedo lograr todo lo que me proponga. |
| **Mi hermana** | Isabel Sánchez, por ser mi mejor amiga y por acompañarme en todo momento en mi vida. |
| **Mi hijo** | Juan Ignacio Pozuelos, porque es la luz que me guía y quien me inspira a ser una mejor persona todos los días. |
| **Mi esposo** | Abraham Pozuelos, por ser mi compañero de vida, por todo su amor y por estar conmigo en los momentos en los que más lo he necesitado. |
| **Mis tías y abuela** | Rosita y Fabiola García, Blanca Duque y Rosa María Alvarado, por ser ejemplos de mujer, |

| | |
|---|---|
| | madre y amiga, porque me han dado su apoyo incondicional. |
| **Familia Pozuelos Polanco** | Por todo el apoyo y cariño que me han brindado los últimos años. |
| **Mis amigas** | Valeska García, Laura Zetina, Isabel Cienfuegos, María José Navarro y Aurora Ortiz, por cada una de las alegrías y tristezas que vivimos juntas en la universidad y sin ellas no hubiera sido lo mismo. |

## AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---|---|
| **Dios** | Por todas sus bendiciones y por permitirme cumplir esta meta. |
| **Mis papás** | Por creer en mí; sin ellos esto no sería posible. |
| **La Facultad de Ingeniería** | Por formarme como Ingeniera Química. |
| **Empresa envasadora de bebidas** | Por permitirme realizar el trabajo de graduación en sus instalaciones. |
| **Personal del Laboratorio de Control de Calidad** | Por su apoyo y sus conocimientos compartidos durante la realización de este trabajo. |

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES ..... V
LISTA DE SÍMBOLOS ..... IX
GLOSARIO ..... XI
RESUMEN ..... XV
OBJETIVOS ..... XVII
HIPÓTESIS ..... XIX
INTRODUCCIÓN ..... XXI

1. ANTECEDENTES ..... 1

2. MARCO TEÓRICO ..... 5
2.1. Recursos hídricos en Guatemala ..... 5
2.2. Norma Coguanor NGO 29001-99 agua potable ..... 6
2.2.1. Agua potable ..... 6
2.2.2. Características físicas y organolépticas del agua ..... 6
2.2.3. Características químicas del agua ..... 6
2.2.4. Características microbiológicas del agua ..... 7
2.2.5. Cloro residual libre ..... 7
2.2.6. Límite máximo aceptable (LMA) ..... 7
2.2.7. Límite máximo permisible (LMP) ..... 7
2.2.8. Programa de análisis mínimo ..... 7
2.2.9. Redes de distribución ..... 8
2.3. Parámetros establecidos por la empresa ..... 9
2.4. Situación actual de los usos del agua (demanda) ..... 10
2.5. Microbiología del agua ..... 12
2.6. Bacterias indicadoras de contaminación ..... 13

2.7. Tuberías y tubos ..... 15
2.8. Selección y aplicación de bombas ..... 16
2.8.1. Tipos de bombas ..... 16
2.8.2. Bombas cinéticas ..... 16
2.8.3. Datos de rendimiento de bombas centrífugas ..... 17
2.8.4. Leyes de afinidad para bombas centrífugas ..... 19
2.9. Análisis costo/beneficio de un proyecto ..... 19

3. DISEÑO METODOLÓGICO ..... 23
3.1. Variables ..... 23
3.1.1. Variables independientes ..... 23
3.1.2. Variables dependientes ..... 23
3.2. Delimitación del campo de estudio ..... 25
3.2.1. Recursos humanos disponibles ..... 25
3.2.2. Recursos materiales disponibles ..... 25
3.2.3. Materia prima y reactivos en fase experimental ..... 25
3.2.4. Cristalería de la fase experimental ..... 26
3.2.5. Equipos de la fase experimental ..... 27
3.2.6. Equipo de protección personal ..... 27
3.3. Técnica cuantitativa ..... 28
3.3.1. Recolección y ordenamiento de la información ..... 28
3.3.2. Tabulación, ordenamiento y Procesamiento de la información ..... 31
3.4. Análisis estadístico ..... 31
3.4.1. Tamaño del muestreo ..... 34

4. RESULTADOS ..... 35
4.1. Análisis beneficio – costo del proyecto ..... 60
4.1.1. Costo de agua potable ..... 60

4.1.2. Cálculo del gasto de agua potable ..... 61
4.2. Cálculo aproximado del costo de la implementación del sistema de reutilización ..... 62
4.3. Diagrama del sistema de reutilización de agua ..... 65
4.4. Análisis beneficio/costo ..... 66

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS ..... 67

CONCLUSIONES ..... 75
RECOMENDACIONES ..... 77
BIBLIOGRAFÍA ..... 79
ANEXO ..... 83

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS


1. Corte transversal de una bomba centrífuga. ..... 17
2. Curva de rendimiento de la bomba centrífuga; carga total versus capacidad..... 18
3. Gráfico comparativo del comportamiento de los resultados, sulfatos..... 36
4. Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de silicatos en cada uno de los puntos de muestreo..... 38
5. Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de cloruros en cada uno de los puntos de muestreo..... 40
6. Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de fosfatos en cada uno de los puntos de muestreo..... 42
7. Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de pH en cada uno de los puntos de muestreo..... 44
8. Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de conductividad, sólidos disueltos (ppm), en cada uno de los puntos de muestreo. ..... 46
9. Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de turbidez (NTU), en cada uno de los puntos de muestreo..... 48
10. Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de color (UIC), en cada uno de los puntos de muestreo. ..... 50
11. Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de dureza total (ppm), en cada uno de los puntos de muestreo. ..... 52
12. Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis

de temperatura (°C), en cada uno de los puntos de muestreo. ..... 54
13. Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de presión (°C), en cada uno de los puntos de muestreo. ..... 56
14. Diagrama del sistema de reutilización de agua. ..... 65

**TABLAS**

I. Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano. ..... 8
II. Características químicas que debe tener el agua para el consumo humano ..... 9
III. Uso actual y potencial del agua en Guatemala (millones de $m^3$)..... 11
IV. Tamaño nominal de tubería considerada para el proyecto. ..... 15
V. Definición operacional de los parámetros que se analizarán durante la investigación, análisis fisicoquímico, microbiológico y variables del proceso. ..... 24
VI. Recolección de datos para el análisis fisicoquímico 1 ..... 28
VII. Recolección de datos para el análisis fisicoquímico 2 ..... 29
VIII. Recolección de datos para el análisis fisicoquímico 3 ..... 29
IX. Recolección de datos para el análisis microbiológico ..... 30
X. Recolección de datos para condiciones de trabajo..... 30
XI. Datos típicos para el diseño de bloques al azar ..... 32
XII. Análisis de varianza para experimento de bloque aleatorio..... 33
XIII. Resultados de sulfatos (ppm) obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo)..... 35
XIV. Análisis de varianza, sulfatos..... 36
XV. Resultados de silicatos (ppm) obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida de *rinser*, pozo)..... 37
XVI. Análisis de varianza, silicatos ..... 38
XVII. Resultados de cloruros (ppm) obtenidos para los tres puntos

de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo) ..... 39
XVIII. Análisis de varianza, cloruros..... 40
XIX. Resultados de fosfatos (ppm) obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo) ..... 41
XX. Análisis de varianza, fosfatos..... 42
XXI. Resultados de pH obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo) ..... 43
XXII. Análisis de varianza pH..... 44
XXIII. Resultados de conductividad, sólidos disueltos (ppm), obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo) ..... 45
XXIV. Análisis de varianza, conductividad ..... 46
XXV. Resultados de turbidez (NTU), obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida de *rinser*, pozo) ..... 47
XXVI. Análisis de varianza, turbidez..... 48
XXVII. Resultados de color (UIC), obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo) ..... 49
XXVIII. Análisis de varianza, color ..... 50
XXIX. Resultados de dureza total (ppm), obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo) ..... 51
XXX. Análisis de varianza, dureza total..... 52
XXXI. Resultados de temperatura (°C), obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo) ..... 53
XXXII. Análisis de varianza, temperatura ..... 54
XXXIII. Resultados de presión (psi), obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida de *rinser*, pozo)..... 55
XXXIV. Análisis de varianza, presión..... 56
XXXV. Resultados del análisis microbiológico coliformes totales, obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida

del *rinser*, pozo) ..... 57
XXXVI. Resultados del análisis microbiológico *Escherichia coli*, obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo) ..... 58
XXXVII. Resultados del análisis microbiológicos recuento UFC, obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo) ..... 59
XXXVIII. Servicios a organismos del Estado, sus entidades descentralizadas, autónomas y semiautónomas, y las empresas privadas que prestan servicios ..... 60
XXXIX. Gasto de agua potable ..... 61
XL. Costo promedio anual del gasto de agua en la enjuagadora de botellas; tomando en cuenta 5 días laborales de la semana y 52 semanas al año ..... 62
XLI. Cálculo del costo aproximado de la instalación del sistema ..... 63
XLII. Consideraciones adicionales de la implementación del sistema ..... 63
XLIII. Costo final del proyecto ..... 64

# LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|---|---|
| $h_a$ | Carga total de la bomba |
| **Cm** | Centímetros |
| $\in$ | Eficiencia |
| **Gal** | Galones |
| **Gpm** | Galones por minuto |
| **°C** | Grados |
| **Psi** | Libra por pulgada cuadrada |
| **L** | Litros |
| **MPa** | Mega Pascales |
| **µm** | Micrómetros |
| **µS** | Micro Siemens |
| **Min** | Minuto |
| **Mg** | Miligramos |
| **P** | Presión |
| **Rpm** | Revoluciones por Minuto |
| **UFC** | Unidades Formadoras de Colonias |

| | |
|---|---|
| **UIC** | Unidades Internacionales de Color |
| **UNT** | Unidades Nefelometrías de Color |
| **Q** | Quetzales |

# GLOSARIO

**Agua potable** Agua dulce que tras ser sometida a un proceso de potabilización, queda lista para el consumo humano como consecuencia del equilibrado valor que le imprimirán sus minerales y por lo tanto podrá ser consumida sin ningún tipo de restricciones.

**Agua residual** Conjunto de aguas que lleva elementos extraños, bien por causas naturales, bien provocadas de forma directa o indirecta por la actividad humana, estando compuestas por una combinación de líquidos de desagüe de viviendas, comercios, edificios y líquidos efluentes de establecimientos industriales.

**Alcalinidad** Capacidad de una solución para neutralizar un ácido.

**Bomba centrífuga** Tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible.

**Caudal** Cantidad o nivel de una determinada sustancia que pasa por un cierto punto durante un cierto periodo de tiempo.

| | |
|---|---|
| **Cloro** | Es el elemento número 17 de la tabla periódica de los elementos. En condiciones normales de temperatura y presión es un gas verde, poderoso oxidante, dos y media veces más pesado que el aire. |
| **Conductividad** | Propiedad física que disponen aquellos objetos capaces de transmitir la electricidad o el calor. |
| **Dureza del agua** | Es la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes (iones de calcio y magnesio en forma de carbonatos y bicarbonatos). |
| **Espectrofotómetro** | Instrumento usado en el análisis químico que sirve para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones y a la concentración o reacciones químicas que se miden en una muestra. |
| **Filtro de carbón Activado** | Equipo que trabaja como tamiz extrayendo los materiales pesados que se encuentran en un fluido, por ejemplo, en el agua y el aire; actuando así como un purificador. El carbón activado es un material extremadamente poroso, posee poros menores a 2 nanómetros y son muy eficientes en los fenómenos de adsorción. |

| | |
|---|---|
| **Límite máximo aceptable (LMA)** | Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial, pero sin que implique un daño a la salud del consumidor. |
| **Límite máximo permisible (LMP)** | Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual, el agua no es adecuada para el consumo humano. |
| **Potabilización** | Proceso que se lleva a cabo sobre cualquier agua para transformarla en potable y de esta manera hacerla absolutamente apta para el consumo humano. |
| **Turbidez** | Se refiere a la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido (generalmente se hace referencia al agua), más sucia parecerá esta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad. |
| **Reutilización** | Proceso que consiste en someter un producto o un material a un determinado proceso para que se pueda volver a utilizar. |

# RESUMEN

El trabajo de graduación tiene como objetivo principal, establecer y diseñar el proceso para la reutilización del agua de proceso utilizada en una de las líneas de producción de una empresa envasadora de bebidas; el primer proceso en la línea es el enjuague de las botellas; las botellas utilizadas han sido prelavadas, por lo que no se utiliza ningún tipo de producto químico en este punto, y el agua utilizada es potable y previamente tratada.

El proceso para la reutilización del agua se determinó por medio de los resultados obtenidos de los análisis realizados en tres puntos: en la entrada y salida del enjuagador y en el pozo de la empresa. Con esto se determinó que es posible reutilizar el agua, pero es necesario realizar un postratamiento de la misma, para poder reingresarla al proceso y seguir cumpliendo con las normas de calidad y mantener la inocuidad en la producción.

De igual forma se realizó un análisis beneficio/costo de la implementación del proyecto, y se determinó que no es factible económicamente para la empresa, debido a que los costos de montaje del sistema de postratamiento del agua son muy elevados en comparación con el costo del ahorro de utilización de agua potable; se recomienda a la empresa que evalúe no solamente el valor económico del agua sino el valor ambiental y social de esta.

# OBJETIVOS

## General

Diseñar un sistema de reuso del agua para mejorar la utilización de los recursos hídricos en los procesos de enjuague de botellas en una empresa envasadora de bebidas.

## Específicos

1. Evaluar y establecer parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para reutilizar el agua.

2. Analizar la inocuidad en la reutilización de las aguas residuales.

3. Establecer el proceso de tratamiento de agua adecuado para la reutilización del agua residual.

4. Determinar la relación beneficio/costo que presenta la implementación de un sistema de recirculación de agua.

5. Diseñar un sistema de redistribución del agua.

## HIPÓTESIS

Es posible realizar una reinserción del agua ya usada al sistema de enjuague de envase; debido a que no existe una variación entre la calidad del agua en la entrada del enjuagador y la de la salida de este mismo, determinada por los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados.

1. Ho: Existe diferencia significativa entre la calidad del agua de la entrada del enjuagador y en la salida de este.

2. Ha: No existe diferencia significativa entre la calidad del agua de la entrada del enjuagador y en la salida de este.

3. Ho: Es necesario realizar tratamiento al agua de salida del enjuagador para que se encuentre dentro de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos.

4. Ha: No es necesario realizar tratamiento al agua de salida del enjuagador para que se encuentre dentro de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos.

5. Ho: Es posible recircular el agua desechada en el enjuagado de envase.

6. Ha: No es posible recircular el agua desechada en el enjuagado del envase.

# INTRODUCCIÓN

El agua juega un papel complejo y multifacético, tanto en las actividades humanas como en los sistemas naturales.

Se reconoce que el agua es un elemento finito y frágil, y que para que sea un bien de dominio público se debe llevar a cabo una gestión con varios objetivos, con la participación de la comunidad, los técnicos y de aquellos que toman las decisiones.

Como lo han evidenciado los acontecimientos recientes, Guatemala es un país vulnerable que puede verse amenazado por conflictos por sus recursos hídricos, si su capacidad de sostener el ecosistema acuático y proveer a la población del nivel deseado de desarrollo social y económico no está sustentado en el conocimiento y la calidad en la gestión de su sistema hidrológico y la infraestructura de los recursos hídricos.

Por lo que es necesaria la consideración de la reutilización de agua con el fin de reducir los desechos y evitar el desperdicio de esta misma.

La reutilización de aguas residuales urbanas es una práctica muy extendida en numerosos países áridos o semiáridos, de manera que hoy día este tipo de aguas ha entrado a formar parte del ciclo hidrológico y a ser considerado como recurso hídrico alternativo que debe ser tenido en cuenta en todo balance. La depuración previa de estas aguas, en sus diferentes niveles, mejora su calidad y abre notablemente las posibilidades de su utilización.

Algunas compañías han puesto ya las unidades del pretratamiento para tratar aguas residuales. En muchos casos postratamiento del agua es también posible, por lo tanto pude hacerse conveniente para su reutilización en el proceso. Las aguas residuales pueden también experimentar un tratamiento menos eficaz y se puede utilizar como agua de enfriamiento o de limpieza, cuando no se elige ninguna de las opciones de la reutilización, por lo que en el presente trabajo se proporcionan métodos alternativos de tratar las aguas residuales antes del drenaje. De esta manera disminuyen las tarifas del drenaje, y se reducen los costos de utilización de este recurso y se realiza una producción más limpia.

# 1. ANTECEDENTES

En 1958, el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas propugnó la política de no utilización de recursos de mayor calidad en usos que pueden tolerar calidades más bajas. Esta política equivale en la práctica a una mejor planificación en el uso de los recursos hídricos, teniendo en consideración su calidad, y conduce obligatoriamente al desarrollo del concepto de reutilización.

El continuo aumento de la población, el progresivo deterioro de las aguas superficiales y subterráneas, la desigual distribución de los recursos hídricos y las sequías periódicas, han forzado a los agentes involucrados en la gestión del agua a la búsqueda de nuevas fuentes de suministro. La dificultad para atender demandas crecientes y proteger a la vez los recursos disponibles, ha afianzado el criterio, hoy ya universal, de que la utilización de las aguas una sola vez, antes de su devolución al ciclo natural, es un verdadero lujo.

El aprovechamiento de las aguas residuales tratadas, que actualmente se vierten a los cauces y mares, está recibiendo cada vez más atención como una fuente adecuada de nuevos recursos. La regeneración y posterior reutilización de las aguas supone un importante medio de reducción del vertido de sustancias contaminantes al medio ambiente.

El agua regenerada constituye una fuente idónea para sustituir recursos de primera utilización en usos que no requieren un grado de calidad tan alto. Muchas aplicaciones urbanas, comerciales e industriales del agua pueden satisfacerse con calidad inferior a la potable.

El agua es empleada en acondicionamiento de aire y torres de refrigeración, en algunos procesos industriales, en la higiene de servicios sanitarios, en la construcción, labores de limpieza y mantenimiento; las aguas utilizadas en fuentes y otros usos ornamentales en aplicaciones medioambientales y recreativas, son algunos ejemplos de usos potenciales del agua regenerada que no requiere niveles de calidad de agua potable.

La reutilización directa para consumo humano no es, todavía hoy, una opción disponible, dada su especial incidencia sobre la salud pública.

La reutilización es una práctica que viene desarrollándose desde hace más de 2000 años, bien sea de modo organizado, espontáneo, directo o indirecto. Actualmente, son cada vez más los países que consideran la reutilización de las aguas residuales un elemento fundamental de sus políticas hídricas. Cabe citar a los Estados Unidos, Japón o Israel, como ejemplos de vanguardia en el aprovechamiento de agua regenerada. Todos ellos comparten una gran dificultad para la adaptación de los recursos a la demanda.

En ocasiones, el desarrollo de un programa de reutilización de aguas residuales choca con la resistencia del público, por temores a riesgos contra la salud o el medio natural.

Estas reacciones son más frecuentes en las zonas con abundancia de agua. Sin embargo, la experiencia muestra que, tras una adecuada explicación de los beneficios de la reutilización en un proceso de información pública comprensible y que responda a las inquietudes de los usuarios, los programas de reutilización son aceptados y, posteriormente, muy bien valorados.

En los Estados Unidos, que es probablemente el país occidental con mayor experiencia en recuperación y reutilización de agua, la práctica se ha extendido tanto a las regiones áridas del suroeste, como a las húmedas; tal es el caso del estado de Florida.

El inicio de los programas de reutilización, con frecuencia ha sido propiciado por la demanda de grandes consumidores de agua.

Existen diversos ejemplos al respecto, como la ciudad de Baltimore, que en 1942 inició el suministro de 4,5 $m^3/s$ de efluente secundario clorado a una planta de fabricación de acero situada a 7,2 km; o el de la construcción, en 1982, de una conducción de agua residual de 58 km de longitud entre Phoenix (Arizona). Ambos casos supusieron el inicio de posteriores planes de aprovechamiento de agua regenerada.

El empleo en áreas urbanas de redes duales (agua regenerada/agua potable) de distribución es una práctica cada vez más extendida. El primer sistema de este tipo se instaló en 1926, en Grand Canyon Village (Arizona), donde la escasa agua potable disponible debía bombearse desde un manantial situado en el fondo del Gran Cañón, salvando un desnivel de 1 000 m. El agua regenerada así distribuida, se emplea en la mayoría de los usos urbanos no potables, incluyendo riego de parques, extinción de incendios y uso en cisternas de servicios sanitarios.

El mayor sistema dual de distribución en operación hoy día, comenzó a instalarse en 1977 en la ciudad de St. Petersburg (Florida). Su desarrollo fue motivado por las elevadas exigencias impuestas por las autoridades para el vertido de efluentes a la Bahía de Tampa y la fuerte sobreexplotación sufrida por los acuíferos regionales, ante el vertiginoso aumento de la población.

Si bien la implantación de la red dual fue al principio muy costosa, la reutilización en medio urbano permitió reducir los costes de tratamiento, disminuir la presión sobre los recursos subterráneos y suprimir totalmente los vertidos al mar.

Los volúmenes reutilizados han ido creciendo al desarrollarse la red y, actualmente, 0,9 $m^3/s$ de los 2,7 $m^3/s$ que abastecen a la ciudad, son de agua regenerada. El establecimiento de un programa eficaz de reutilización es hoy en Florida un requisito obligatorio para el otorgamiento de concesiones de gestión de aguas residuales.

# 2. MARCO TEÓRICO

## 2.1. Recursos hídricos en Guatemala

Guatemala es un país rico en recursos hídricos, donde el volumen de agua disponible sobrepasa la demanda actual. Solo el 1% del caudal disponible es utilizado para fines domésticos en las principales cuencas de Guatemala. En la ciudad de Guatemala el requerimiento de agua potable es de 230l/ persona/día; en los pueblos es de 130 l y en el área rural de 90. En la ciudad capital se perciben 15 l/persona/día, siendo también evidente que la contaminación de las aguas superficiales por descargas es cada día mayor debido al crecimiento urbano desordenado.

"Actualmente se descarga un total de 33 995 metros cúbicos de aguas residuales a los cuerpos de agua. Estas descargas proceden de las grandes concentraciones humanas y de las industrias, de la ganadería y de la agricultura, provocando la degradación en la calidad del recurso. En el área rural, la mayor parte del abastecimiento de agua para consumo humano se hace a través de los cuerpos de agua superficiales".[1]

En muchos casos el agua se capta directamente del río o lago y se distribuye directamente, sin realizar tratamiento alguno, lo que pone en riesgo la salud de la población. Algunas veces, los problemas sanitarios se relacionan directamente con la red de distribución o abastecimiento, y se pone de

---

[1]Autoridad para el manejo sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce AMASURLI. *Agenda Estratégica Institucional* 2005-2015. p. 45.

manifiesto la contaminación del recurso al disminuir la calidad del agua debido a filtraciones que se producen en el alcantarillado.

## 2.2. Norma Coguanor NGO 29001-99 agua potable

La Norma Técnica Guatemalteca, creada por la Comisión Guatemalteca de Normas, Coguanor NGO agua potable, es la que presenta las especificaciones nacionales para los parámetros del agua para consumo humano, también llamada agua potable.

Esta norma se aplica a toda agua para consumo humano, destinada para alimentación y uso doméstico, que provenga de fuentes como: pozos, nacimientos, ríos, entre otros. El agua podrá estar ubicada en una red de distribución, en reservorios o depósitos.

### 2.2.1. Agua potable

Es aquella que por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor y cumple con lo establecido en la norma.

### 2.2.2. Características físicas y organolépticas del agua

Son aquellas que se detectan sensorialmente o por medios analíticos de laboratorio.

### 2.2.3. Características químicas del agua

Son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos orgánicos e inorgánicos.

### 2.2.4. Características microbiológicas del agua

Son aquellas que se originan por presencia de microorganismos que determinan su calidad.

### 2.2.5. Cloro residual libre

Parámetro que indica la concentración de cloro disuelto y químicamente disponible después de la cloración.

### 2.2.6. Límite máximo aceptable (LMA)

Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual estas características son percibidas por los consumidores desde el punto de vista sensorial, pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

### 2.2.7. Límite máximo permisible (LMP)

Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para consumo humano.

### 2.2.8. Programa de análisis mínimo

Los análisis en esta etapa de control son:

- Análisis microbiológico: coliformes totales y *Escherichia coli*.
- Análisis fisicoquímico: color, turbiedad, potencial de hidrógeno (pH), conductividad, cloro residual libre, cloruros, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro total y manganeso total.

### 2.2.9. Redes de distribución

Conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten la entrega del agua a los consumidores de forma constante, con presión apropiada y en cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades. Se consideran parte de una red de distribución: camiones cisterna y depósitos de cualquier naturaleza.

Tabla I. **Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano**

| Características | LMA | LMP |
|---|---|---|
| Color | 5,0 u | 35,0 u |
| Olor | No rechazable | No rechazable |
| Turbiedad | 5,0 UNT | 15 UNT |
| Conductividad eléctrica | 750 µS/cm | 1500 µS/cm |
| Potencial de hidrógeno | 7,0-7,5 | 6,5-8,5 |
| Sólidos disueltos totales | 500,00 mg/L | 1000,0 mg/L |

Fuente: *Norma Coguanor NGO 29001-99 agua potable.* p. 2.

Donde:

U = unidades de color en escala de platino- cobalto
UNT = unidades nefelometrías de turbiedad

Tabla II. **Características químicas que debe tener el agua para consumo humano**

| Características | LMA (mg/L) | LMP (mg/L) |
|---|---|---|
| Cloro residual libre | 0,50 | 1,00 |
| Cloruro ($Cl^-$) | 100,00 | 250,00 |
| Dureza total ($CaCO_3$) | 100,00 | 500,00 |
| Sulfato ($SO^{-2}$) | 100,00 | 250,00 |
| Aluminio ($Al^-$) | 0,05 | 0,10 |
| Calcio (Ca) | 75,00 | 150,00 |
| Cinc (Zn) | 3,00 | 70,00 |
| Cobre (Cu) | 0,05 | 1.500,00 |
| Magnesio (Mg) | 50,00 | 100,00 |
| Manganeso total (Mn) | 0,10 | 0,40 |
| Hierro total (Fe) | 0,30 | ---- |

Fuente: *Norma Coguanor NGO 29001-99 agua potable.* p. 2.

## 2.3. Parámetros establecidos por la empresa

La empresa envasadora de bebidas tiene como parámetros para el uso del agua potable, los establecidos por la Norma Coguanor, agregándole dos establecimientos más. El agua utilizada durante el proceso de enjuagado de botellas debe ser de cero dureza y no debe contener cloro residual, debido a las necesidades de cumplir con estándares para la calidad e inocuidad de los productos.

## 2.4. Situación actual de los usos del agua (demanda)

En lo referente a la información de los diferentes usos que se le da al recurso, en la mayoría de los casos no se cuenta con estadísticas actualizadas, por lo que se recurre a estimaciones gruesas en los usos más importantes del agua: agua potable y saneamiento, agricultura, energía, industria, pesca, turismo y otros. Para fines de esta investigación solamente se presentará la demanda de agua potable por la Industria.

"No existen estadísticas confiables sobre el uso del agua por el sector industrial, por lo que con base en el proceso de destilación, rectificación y mezcla de bebidas espirituosas, productos vinícolas, fabricación de cerveza y la producción de bebidas gaseosas, jugos y otras, se estima una utilización de 425 millones de metros cúbicos (80 % del volumen producido)". [2]

En este sector los únicos costos que se consideran son los de operación o extracción del agua. Es importante hacer notar que hay otros usos considerables de agua en la industria alimenticia, así como la limpieza de equipo e instalaciones, la alimentación de calderas, y el agua utilizada para refrigeración y enfriamiento.

El acondicionamiento del agua para fines industriales es cada día más complejo debido a altas exigencias de calidad. Los anteriores demandantes de agua utilizan el agua como medio para eliminación de desechos, los que inhiben usos ulteriores del recurso hídrico.

---

[2]MORALES DE LA CRUZ, Marco. *Cuando un país con agua se puede morir de sed.* p.10.

A pesar de su importancia, los datos no permiten estimar estos volúmenes. Una estimación *a priori* permite fácilmente inferir que esos usos podrían duplicar a 850 millones el uso total por la industria.

Tabla III. **Uso actual y potencial del agua en Guatemala (millones de $m^3$)**

| Uso del agua | Uso actual | Uso potencial |
|---|---|---|
| Oferta hídrica bruta o disponibilidad bruta (Incluye agua superficial y subterránea) | 84 991,00 | 84 991,00 |
| Caudal ecológico | 21 248,00 | 21 248,00 |
| Agua contaminada por descargas | 33 996,00 | 339 966,00 |
| Oferta hídrica neta o disponibilidad neta | 29 747,00 | 29 747,00 |
| Agua potable | 248,00 | 1 211,00 |
| Riego | 2 200,00 | 10 200,00 |
| Industria | 850,00 | 3 625,00 |
| Energía | 2 883,00 | 15 000,00 |
| Usos total | 6 217,00 | 30 036,00 |
| Excedente hídrico | 23 530,00 | 289,00 |

Fuente: MORALES DE LA CRUZ, Marco. *Cuando un país con agua se puede morir de sed.* p.9.

En la tabla I se presenta la distribución del uso actual y potencial del agua en Guatemala. El volumen de agua utilizada en energía es solo para fines comparativos, pues al pasar por la turbina esta queda disponible para usarla nuevamente.

"En cuanto a los usos por la industria, esta consume aproximadamente el 4 % del caudal nacional (en procesos de producción: tratamiento superficial, química orgánica, elaboración de plaguicidas, preservación de la madera,

elaboración de tinta, derivados de carbón y subproductos, elaboración de pinturas, curtiembres y en labores de limpieza de equipo e instalaciones, lavado general, y transferencia de calor)”.[3]

## 2.5. Microbiología del agua

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en sus “*Guías para la calidad del agua potable y otras normas internacionales*”, establece o recomienda requisitos de calidad para el agua de consumo humano. En general, la normativa establece que el agua es apta bacteriológicamente para consumo si se encuentra exenta de microorganismos patógenos de origen entérico y parasitario intestinal.

Ellos transmiten enfermedades tales como salmonelosis (*Salmonella*), shigelosis (*Shigella*), cólera (*Vibrio choleare*), amebiasis (*Entamoeba histolytica*), alteraciones gastrointestinales (*Aeromonas, mesófilas*, *Helicobacter pylori*, *Campylobacter*); giardiasis (*Giardia lambia*), cristosporidiosis (*Crystosporidium*), esquistosomiasis (*Schistosoma*), desórdenes hepáticos (virus de hepatitis), entre otras.

La presencia de microorganismos patógenos en el agua de bebida es un riesgo que se incrementa en las áreas marginales de mayor densidad poblacional o en zonas sin disponibilidad de agua potable. La seguridad que un agua contaminada puede ser causal de enfermedades ha conducido a la necesidad de controlar rutinariamente la calidad microbiológica de muestras de diversos orígenes.

---

[3]Universidad Rafael Landíva. *Perfil ambiental de Guatemala*, 2012. p. 10.

Los controles rutinarios de la totalidad de los microorganismos hídricos, potencialmente riesgosos para la salud, resultan difíciles de llevar a cabo debido a la gran variedad de bacterias patógenas cultivables, a la complejidad de los ensayos de aislamientos y a la presencia en baja concentración de varias especies altamente agresivas, sin que el orden detallado indique prioridad. Por esta razón, los análisis bacteriológicos apuntan a la búsqueda de microorganismos indicadores de contaminación fecal y se centralizan en la cuantificación de coliformes. Este grupo está integrado por enterobacterias, siendo *Escherichia* coli el indicador universal de contaminación fecal.

## 2.6. Bacterias indicadoras de contaminación

Las condiciones bacteriológicas del agua son fundamentales desde el punto de vista sanitario. La norma bacteriológica de calidad establece que el agua debe estar exenta de patógenos de origen entérico y parasitario intestinal que son los responsables de transmitir enfermedades como salmonelosis, shigelosis, amebiasis, entre otras.

Los microorganismos indicadores de contaminación deben cumplir los siguientes requisitos: fáciles de aislar y crecer en el laboratorio ser relativamente inocuos para el hombre y animales y presencia en agua relacionada, cualitativa y cuantitativamente con la de otros microorganismos patógenos de aislamiento más difícil. Tres tipos de bacterias califican para tal fin:

- Coliformes fecales: indican contaminación fecal.
- Aerobias mesófilas: determinan efectividad del tratamiento de aguas.
- Pseudomonas: señalan deterioro en la calidad del agua o una recontaminación.

Desde el punto de vista bacteriológico, para definir la potabilidad del agua, es preciso investigar bacterias aerobias mesófilas y coliformes totales y fecales.

La gran sensibilidad de las bacterias aerobias mesófilas a los agentes de cloración, las ubica como indicadoras de la eficacia del tratamiento de potabilización del agua.

La existencia de una contaminación microbiológica de origen fecal se restringe a la presencia de coliformes fecales, mientras que la presencia de coliformes totales que desarrollan a 35 °C, solo indica existencia de contaminación, sin asegurar su origen.

Los enterococos fecales, cuyo desarrollo ocurre a 35 °C se usan como indicadores complementarios de contaminación fecal.

La validez de todo examen bacteriológico se apoya en una apropiada toma de muestra (recipiente estéril de boca ancha y metodología precisa), y en las adecuadas condiciones de transporte desde el lugar de la fuente de agua hacia el laboratorio (refrigeración y tiempo).

El sistema de conservación de la muestra debe ser confiable, y la misma analizada inmediatamente o al cabo de un corto período entre extracción y análisis.

El análisis cuantitativo de bacterias indicadoras de contaminación en una muestra de agua puede realizarse por dos metodologías diferentes:

- Recuento directo de microorganismos cultivables por siembra de la muestra sobre o en un medio de cultivo agarizado.

- Recuento indirecto (basado en cálculos estadísticos) después de sembrar diluciones seriadas de la muestra en medios de cultivos líquidos específicos. Se consideran, al cabo de una incubación adecuada, los números de cultivos positivos y negativos.

## 2.7. Tuberías y tubos

Es de gran importancia especificar los ductos y tuberías de una aplicación en particular, ya que esto tiene una influencia significativa en el costo, duración, seguridad y rendimiento del sistema.

El tipo de tubería más adecuado debido a las necesidades del proyecto debe ser de hierro galvanizado (HG), NPS 4 Sch 30 (4.77 mm) para las tuberías exteriores y de hierro dúctil para las tuberías con instalaciones subterráneas.

Tabla IV. **Tamaño nominal de tubería considerada para el proyecto**

| Tamaño estándar tradicional (pulg) | Tamaño métrico DN (mm) |
|---|---|
| 4 | 100 |

Fuente: MOTT, Robert. *Mecánica de fluidos*, p. 159.

Es frecuente que las líneas para agua, gas y drenaje estén hechas de tubo de hierro dúctil, debido a la relativa resistencia, ductilidad y facilidad de manejo de este material. En muchas aplicaciones ha remplazado al hierro fundido. Junto con los tubos se suministran accesorios estándar es para hacer una instalación conveniente en la superficie o en el subsuelo. Se dispone de varias clases de tubería de hierro dúctil para uso en sistemas con un rango de

presiones. Los diámetros reales interior y exterior son más grandes que los tamaños nominales.

## 2.8. Selección y aplicación de bombas

A continuación se detalla el procedimiento para la selección de la bomba a utilizar en el proyecto.

### 2.8.1. Tipos de bombas

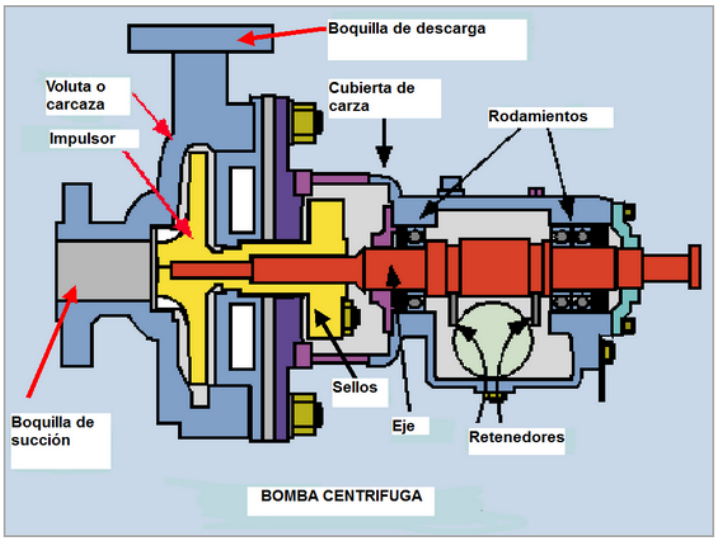
Es común que se clasifiquen las bombas como de desplazamiento positivo o cinéticas, bomba de chorro o eyectora, es una versión especial de bomba cinética centrífuga. Existen varias estructuras de clasificación más amplia, con muchas de las variantes que tienen que ver con la orientación de la bomba (horizontal, vertical, en línea), el tipo impulsor de la bomba (acoplamiento cercano, acoplamiento alejado, impulso magnético) o el diseño mecánica de ciertas características, como los apoyos y montajes de los rodamientos.

### 2.8.2. Bombas cinéticas

Las bombas cinéticas agregan energía al fluido cuando lo aceleran con la rotación de impulsor. La configuración básica de una bomba centrífuga de flujo radial, que es el tipo más común de la bomba cinética. El fluido se lleva al centro del impulsor y después es lanzado hacia afuera por las aspas. Al salir del impulsor, el fluido pasa por una voluta en forma de espiral, donde baja en forma gradual y ocasiona que parte de la energía cinética se convierta en presión del fluido.

El tipo de impulsor que la bomba tenga (flujo axial) depende de la acción hidrodinámica de las aspas del impulsor para elevar y acelerar el fluido en forma axial, a lo largo de una trayectoria paralela al eje de este. La bomba de flujo mixto incorpora ciertas acciones tanto del tipo centrífugo radial como del impulsor.

Figura 1. **Corte transversal de una bomba centrífuga**



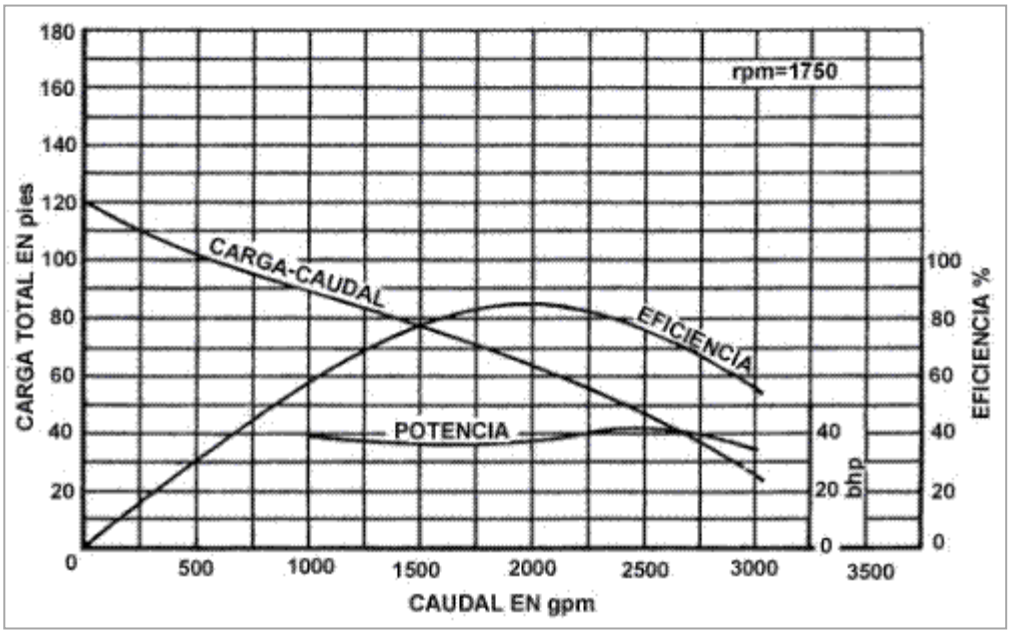

Fuente: MOTT, Robert. *Mecánica de fluidos*. p. 393.

### 2.8.3. Datos de rendimiento de bombas centrífugas

Debido a que las bombas centrífugas no son de los tipos de desplazamiento positivo, existe una dependencia fuerte entre la capacidad y la presión que debe desarrollar la bomba. Esto hace que la medición de su rendimiento sea algo complicada. La curva de rendimiento común grafica la carga total sobre la bomba $h_A$ versus la capacidad o descarga Q. La carga total $h_A$ se calcula con la ecuación general de la energía y representa la cantidad de

energía que se agrega a una unidad de peso del fluido conforme pasa por la bomba.

Figura 2. **Curva de rendimiento de la bomba centrífuga; carga total versus capacidad**




Fuente: MOTT, Robert. *Mecánica de fluidos*. p. 399.

Hay espacios grandes entre el impulsor rotatorio y la carcasa de la bomba. Esto tiene que ver con la disminución de la capacidad conforme se incrementa la carga total. De hecho, a una carga de corte el flujo se detiene por completo cuando toda la entrada de energía de la bomba va a mantener la carga. Por supuesto, la carga de operación común está muy por debajo de la carga de corte, de modo que se logra una capacidad elevada.

Para operar con éxito una bomba, también son importantes la eficiencia y la potencia requeridas. En la figura 2 se presenta una medición más completa

del rendimiento de una bomba, en la que se superponen las curvas de carga, eficiencia y potencia, y se grafican estas tres, versus la capacidad. La operación normal debe estar en la vecindad del pico de la curva de eficiencia, con eficiencias que por lo común están en el rango de 60 a 80 %, para bombas centrífugas.

### 2.8.4. Leyes de afinidad para bombas centrífugas

La mayoría de las bombas centrífugas se operan a velocidades distintas para obtener capacidades variables. Además, una carcasa de bomba de tamaño dado es susceptible de dar acomodo a impulsores de diámetros diferentes. Es importante entender la manera en la que varían la capacidad, la carga y la potencia, cuando se modifican los diámetros del impulsor o la velocidad.

Al realizar el cálculo de las capacidades y eficiencia de una bomba centrífuga en la práctica son necesarias las denominadas leyes de afinidad de las bombas centrífugas. A continuación se presenta una lista de estas relaciones, denominadas leyes de afinidad, ecuaciones que relacionan las diferentes variables tal como presión, diámetro de la bomba, capacidad, potencia y carga.

## 2.9. Análisis costo/beneficio de un proyecto

El análisis costo-beneficio es una herramienta financiera que mide la relación entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión con el fin de evaluar su rentabilidad, entendiéndose por proyecto de inversión no solo la creación de un nuevo negocio, sino también, las inversiones que se pueden hacer en un negocio en marcha, tales como el desarrollo de nuevo

producto o la adquisición de nueva maquinaria, donde el segundo punto mencionado es el caso evaluado, la modificación de los procesos actuales del enjuague de botellas en la empresa.

Mientras que la relación costo-beneficio (C/B), también conocida como índice neto de rentabilidad, es un cociente que se obtiene al dividir el valor actual de los ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el valor actual de los costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto.

En el análisis costo/beneficio del proyecto que se evalúa en el presente trabajo de investigación, se tomó en cuenta como valor actual de los ingresos totales netos (VAI) el costo del caudal de agua potable que se utiliza en la línea de producción actualmente, y el valor actual de los costos de inversión (VAC), el costo de construcción, implementación y montaje del proyecto.

$$\frac{B}{C} = \frac{VAI}{VAC}$$

Según el análisis costo-beneficio, un proyecto o negocio será rentable cuando la relación costo-beneficio es mayor que la unidad.

$$\frac{B}{C} > 1 \; Proyecto\ rentable$$

Los pasos realizados para hallar y analizar la relación costo-beneficio fueron los siguientes:

- Hallar costos y beneficios: en primer lugar se determina la proyección de los costos de inversión o costos totales y los ingresos totales netos o

beneficios netos del proyecto o negocio para un periodo de tiempo determinado.

- Convertir costos y beneficios a un valor actual: debido a que los montos que se han proyectado no toman en cuenta el valor del dinero en el tiempo (hoy en día tendrían otro valor); deben actualizarse a través de una tasa de descuento.

- Hallar relación costo-beneficio: sed divide el valor actual de los beneficios entre el valor actual de los costos del proyecto.

- Analizar relación costo-beneficio: si el valor resultante es mayor que 1 el proyecto es rentable, pero si es igual o menor que 1 el proyecto no es viable pues significa que los beneficios serán iguales o menores que los costos de inversión o costos totales.

- Comparar con otros proyectos: si se tuviera que elegir entre varios proyectos de inversión, teniendo en cuenta el análisis costo-beneficio, se elegiría aquel que tenga la mayor relación costo-beneficio.

# 3. DISEÑO METODOLÓGICO

## 3.1. Variables

Como resultado de la revisión bibliográfica sobre los factores que influyen en el presente trabajo, se determinaron los parámetros de entrada a modificar para medir el efecto sobre los resultados; además se determinó qué factores se mantendrían constantes.

### 3.1.1. Variables independientes

El agua utilizada dentro del proceso de enjuagado de envases es extraída del pozo local, por lo tanto las variables independientes del proceso son todas aquellas que dependan de la composición del agua, tales como: sulfatos, hierro, silicatos, fosfatos, conductividad, color y turbidez.

Estas pueden variar debido a la posible contaminación presente en los envases enjuagados en la línea de producción; por lo tanto los parámetros mencionados anteriormente son independientes, tanto en la entrada del enjuagador como en la salida de este.

### 3.1.2. Variables dependientes

Para esta investigación se tienen como variables dependientes, la dosificación de cloro al agua durante su tratamiento, previo a ser utilizada en el enjuagador. Debido a los requisitos de la empresa y de la norma Coguanor se tienen el cloro libre y total, y dureza del agua como parámetros dependientes

del proceso a realizar, debido a que no es permitida su variabilidad durante el proceso.

Tabla V. **Definición operacional de los parámetros que se analizarán durante la investigación, análisis fisicoquímico, microbiológico y variables de proceso**

| Parámetro | | Fórmula química | Factor potencial de diseño | | Factores perturbadores | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Constante | Variable | Controlables | No controlables |
| **Análisis fisicoquímico** | | | | | | |
| 1 | Dosificación de cloro | NaClO | | X | X | |
| 2 | Cloro libre | Cl | | X | X | |
| 3 | Cloro total | | | X | X | |
| 4 | Sulfatos | $SO_4^{-2}$ | | X | | X |
| 5 | Hierro | $Fe^-$ | | X | | X |
| 6 | Silicatos | | | X | | X |
| 7 | Cloruros | | | X | | X |
| 8 | Fosfatos | | | X | | X |
| 9 | Dureza total | | | X | X | |
| 10 | pH | | | X | | X |
| 11 | Conductividad | | | X | | X |
| 12 | Alcalinidad | | | X | | X |
| 13 | Color | | | X | | X |
| 14 | Turbidez | | | X | | X |
| | Recuento UFC | | | X | | X |
| | *E. coli* | | | | | |
| **Variables de proceso** | | | | | | |
| 1 | Temperatura del agua | | X | | | X |
| 2 | Presión de trabajo | | X | | | X |
| 3 | Caudal de agua | | | X | X | |

Fuente: elaboración propia.

## 3.2. Delimitación del campo de estudio

El trabajo de investigación se realizó en una de las líneas de envasado, en el área de producción en empresa envasadora de bebidas. Dentro de esta línea de producción se trabajará específicamente en el área del lavado del envase. El envase utilizado en la línea de producción es de vidrio y prelavado, de diferentes capacidades volumétricas.

### 3.2.1. Recursos humanos disponibles

Investigadora: María Alejandra Sánchez García
Asesor: Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez

### 3.2.2. Recursos materiales disponibles

Durante el desarrollo de la investigación se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua utilizada en la enjuagadora de botellas en la línea de producción. Estas pruebas se llevaron a cabo dentro del laboratorio de control de calidad de la empresa envasadora. La materia prima es el agua utilizada dentro del enjuagador en envases en la línea de envasado.

### 3.2.3. Materia prima y reactivos en fase experimental

La materia prima es el agua utilizada dentro del enjuagador en envases en la línea de envasado. Los reactivos a utilizar son los necesarios para realizar el análisis fisicoquímico; para varios de los análisis a realizar se tendrá el *kit* de determinación MERCK.

De tal manera que los reactivos y materia prima necesarios para realizar los análisis son los siguientes:

- Agua desmineralizada
- Solución *buffer* amoniacal
- Indicador negro de ericromo T
- Indicador naranja de metilo
- EDTA
- Ácido sulfúrico 0.02N
- Kit de sulfatos MERCK
- Kit cloro MERCK (cloro libre y cloro total)
- Kit de cloruros MERCK
- Kit de fosfatos MERCK
- Kit de silicatos MERCK
- Kit de hierro MERCK
- Membrana filtrante para microbiología
- Ampolletas MERCK de cultivo para determinación de *E. coli*.
- Ampolletas MERCK de cultivo para determinación de UFC
- Cajas de petri plásticas

### 3.2.4. Cristalería de la fase experimental

La siguiente cristalería es la necesaria para realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua

- Erlenmeyer 100 ml
- Bureta 25 ml
- Espátula

- Pipeta volumétrica 5 ml
- Pipeta volumétrica 1 ml
- Tubo de ensayo 15 ml
- Envase para muestreo 100 ml
- Pinzas

### 3.2.5. Equipos de la fase experimental

La empresa envasadora de bebidas proveyó el equipo utilizado durante el proceso de investigación para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua. Los equipos utilizados durante el proceso fueron los siguientes:

- Termómetro
- Potenciómetro
- Espectrofotómetro
- Conductímetro
- NOVA Spectroquant 60
- Campana de extracción
- Horno de Pasteur
- Mechero de tolueno

### 3.2.6. Equipo de protección personal

- Guantes
- Lentes de seguridad
- Mascarilla
- Bata blanca de manga larga

## 3.3. Técnica cuantitativa

El objetivo principal de la investigación es determinar si es posible usar o no el agua de la salida del enjuagador de envases en una línea de producción. Esto se logrará realizando análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua en la entrada y salida del equipo, y en diferentes puntos del proceso de envasado. Los análisis que se realizarán presentan resultados numéricos y admiten una escala numérica de clasificación que consiste en información estructurada y estandarizada, por lo que la técnica a utilizar durante esta investigación es cuantitativa.

Los resultados se validaron por medio de criterios estadísticos, con los cuales es posible probar la hipótesis planteada, y mantener el control sobre los factores que puedan inferir en los resultados minimizando los posibles errores.

### 3.3.1. Recolección y ordenamiento de la información

Tablas utilizadas para la recolección de datos durante las pruebas.

Tabla VI. **Recolección de datos para el análisis fisicoquímico 1**

| Corrida núm. _____ Muestra núm. _____ Punto de muestreo:_____ | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Núm. repetición | Dosificación de cloro | Cloro libre | Cloro total | Dureza total |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Recolección de datos para el análisis fisicoquímico 2**

| Corrida Núm. _____ Muestra Núm. _____ Punto de Muestreo:_____ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Núm. de repetición | Sulfatos | Hierro | Silicatos | Cloruros | Fosfatos |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Recolección de datos para el análisis fisicoquímico 3**

| Corrida Núm. _____ Muestra Núm. _____ Punto de muestreo:_____ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Núm. de repetición | pH | Conductividad | Alcalinidad | Color | Turbidez |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Recolección de datos para el análisis microbiológico**

| Corrida núm. _____ Muestra núm. _____ Punto de muestreo:_____ | | | |
|---|---|---|---|
| Num. de repetición | Recuento UFC | Coliformes totales | *E. coli* |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Recolección de datos para condiciones de trabajo**

| Corrida núm. _____ Muestra núm. _____ Punto de muestreo:_____ | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Núm. de repetición | Temperatura entrada enjuagador | Temperatura salida del enjuagador | Presión de trabajo | Flujo volumétrico |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2. Tabulación, ordenamiento y Procesamiento de la información

Toda la información y resultados obtenidos a partir de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados, fueron tabulados y ordenados por medio de hojas de cálculo del programa Microsoft Excel, por medio de gráficas y análisis estadísticos para la determinación de posibles errores cometidos durante la investigación, para luego utilizar esta información que permitirá interpretar los resultados y concluir aceptando o rechazando la hipótesis propuesta.

## 3.4. Análisis estadístico

Durante el proceso del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua se tendrán más de dos muestras tomadas del mismo punto del proceso, lo que significa que tienen el mismo planteamiento, por lo que es posible realizar un análisis de varianza para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias obtenidas. Se realizarán 7 repeticiones por cada prueba a realizar, en 3 puntos de control, de cada una de los parámetros.

Este análisis se realizará por medio de un diseño de bloques al azar con la distribución de Fisher; donde se obtuvo el siguiente arreglo de variables.

Tabla XI. **Datos típicos para el diseño de bloques al azar**

| **Parámetro** | **Muestra 1** | **Muestra 2** | **Muestra 3** | **Promedio** |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Y1,1 | Y1,2 | Y1,3 | Y1prom |
| 2 | Y2,1 | Y2,2 | Y2,3 | Y2prom |
| 3 | Y3,1 | Y3,2 | Y3,3 | Y3prom |
| 4 | Y4,1 | Y4,2 | Y4,3 | Y4prom |
| 5 | Y5,1 | Y5,2 | Y5,3 | Y5prom |
| 6 | Y6,1 | Y6,2 | Y6,3 | Y6prom |
| 7 | Y7,1 | Y7,2 | Y7,3 | Y7prom |
| Promedio | Y1prom | Y2prom | Y3prom | Y |

Fuente: elaboración propia.

Donde:

$Y_{i,j} =$ total de observaciones bajo la i,j ésima muestra

$Y =$ promedio total de las observaciones

$Y_{a,b} =$ datos obtenidos para cada observación de cada muestra

Generalmente el procedimiento para un diseño de bloque aleatorio consiste en seleccionar b bloques y en ejecutar una repetición completa del experimento en cada bloque, con un solo factor con “a” niveles.

Las observaciones pueden representarse por medio de un modelo estadístico lineal:

$$i = 1,2, \dots a$$
$$Y_{ij} = \mu + Ti + \beta j + \varepsilon ij$$
$$j = 1,2, \dots b$$

Donde:

$Y_{ij} =$ observaciones

$\mu =$ media general

Ti = efecto de la formulación iésima

$\beta j =$ efecto del bloque jésimo

$\varepsilon ij =$ error aleatorio

Los efectos de bloque y de la formulación se definen como desviaciones respecto de la media general. Como el interés es probar la igualdad de los efectos del tratamiento, siendo Ho: τ1 = τ2 =...= τa = 0 H1: τi ≠ 0 al menos una i.

Las operaciones para el análisis de varianza se resumen en la siguiente tabla, así como las fórmulas para el cálculo de suma de cuadrados.

Tabla XII. **Análisis de varianza para experimento de bloque aleatorio**

| Fuentes de variación (F.V.) | Grados de libertad (G.L.) | Suma de cuadrados (S.C) | Cuadrados medios (C.M.) | $F_o$ |
|---|---|---|---|---|
| Tratamientos | t-1 | $\sum_{i=1}^{t} \frac{Y_i^2}{b} - \frac{Y_{...}^2}{bt}$ | $\frac{SC * Trat}{t-1}$ | $\frac{CM * Trat}{CM * Error}$ |
| Bloques | b-1 | $\sum_{j=1}^{b} \frac{Y_j^2}{b} - \frac{Y_{...}^2}{bt}$ | $\frac{SC * Error}{(t-1)(b-1)}$ | |
| Error | (t-1)(b-1) | $\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{b} Y_{ij}^2 - \sum_{i=1}^{t} \frac{Y_i^2}{b} - \sum_{j=1}^{b} \frac{Y_j^2}{t} + \frac{Y_{...}^2}{bt}$ | | |
| Total | (bt-1) | $\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{b} Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{bt}$ | | |

Fuente: WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. p. 266.

La hipótesis nula de ningún efecto se prueba mediante la razón de Fisher, que se define como $F = \frac{MS}{MSE}$ donde MS es la media cuadrática y MSE es la media cuadrática del error; y que para un nivel de confianza α = 0,05 y con 2 grados de libertad para formulaciones y 5 para bloques.

### 3.4.1. Tamaño del muestreo

El número de repeticiones para el experimento a realizar se encontrará con base en los criterios de confiabilidad del 95 %, y con un error estimado del 16 %, debido a la precisión de los aparatos utilizados para la determinación del análisis fisicoquímico.

Para estimar la cantidad de repeticiones a evaluar se utiliza la ecuación:

$$N = \frac{Z_{A\ 2}{}^{2} PQ}{E^2}$$

Donde:

N = número de repeticiones

$Z_{A\ 2}{}^{2} =$ confiabilidad

P = probabilidad de éxito

Q = probabilidad de fracaso

E = error porcentual

Con el propósito de obtener resultados con un mínimo de error y gráficas y análisis matemáticos adecuados se utiliza un valor de Zα/2 = 1,96, P = 0,95, Q = 0,05 y E = 0,16.

$$N = \frac{1{,}96\ ^{2} * 0{,}95 * 0{,}05}{0{,}16^2} = 7{,}12 \cong 7$$

# 4. RESULTADOS

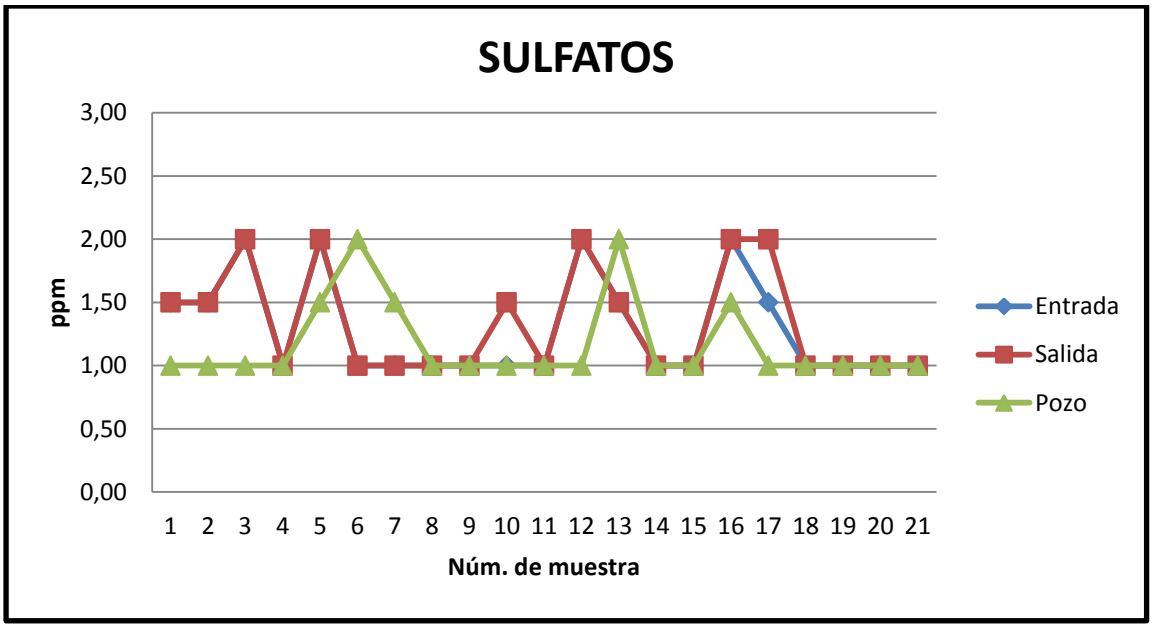
En las tablas y figuras siguientes se incluyen los resultados.

Tabla XIII. **Resultados de sulfatos (ppm) obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser,* pozo)**

| Núm. corrida | Entrada | Salida | Pozo | PROMEDIO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1,50 | 1,50 | 1,00 | 1,33 |
| 2 | 1,50 | 1,50 | 1,00 | 1,33 |
| 3 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 1,67 |
| 4 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 5 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,83 |
| 6 | 1,00 | 1,00 | 2,00 | 1,33 |
| 7 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 1,17 |
| 8 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 9 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 10 | 1,00 | 1,50 | 1,00 | 1,17 |
| 11 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 12 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 1,67 |
| 13 | 1,50 | 1,50 | 2,00 | 1,67 |
| 14 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 15 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 16 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,83 |
| 17 | 1,50 | 2,00 | 1,00 | 1,50 |
| 18 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 19 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 21 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| PROMEDIO | 1,29 | 1,33 | 1,17 | 1,26 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Gráfico comparativo del comportamiento de los resultados, sulfatos**




Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Análisis de varianza, sulfatos**

| RESUMEN | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Grupos | Cuenta | Suma | Promedio | Varianza |
| Entrada | 21,00 | 27,00 | 1,29 | 0,16 |
| Salida | 21,00 | 28,00 | 1,33 | 0,18 |
| Pozo | 21,00 | 24,50 | 1,17 | 0,11 |

| ANÁLISIS DE VARIANZA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
| Entre grupos | 0,31 | 2,00 | 0,15 | 1,02 | 0,37 | 3,15 |
| Dentro de los grupos | 9,12 | 60,00 | 0,15 | | | |
| | | | | | | |
| Total | **9,43** | **62,00** | | | | |

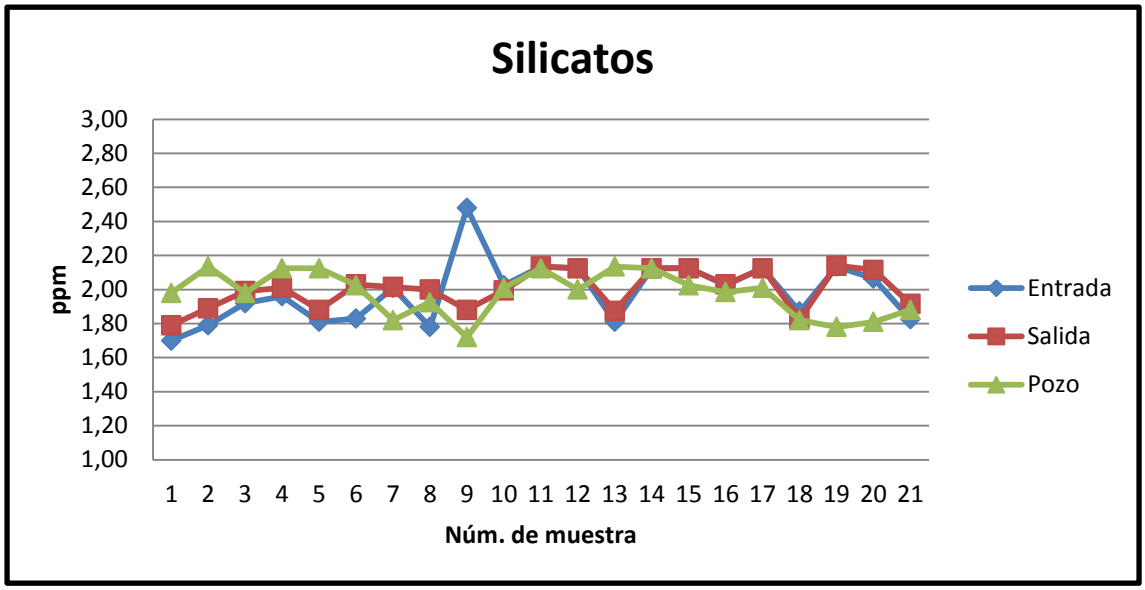
Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Resultados de silicatos (ppm) obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo)**

| Núm. de corrida | Entrada | Salida | Pozo | PROMEDIO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1,70 | 1,79 | 1,98 | 1,82 |
| 2 | 1,79 | 1,89 | 2,14 | 1,94 |
| 3 | 1,92 | 1,99 | 1,98 | 1,96 |
| 4 | 1,96 | 2,01 | 2,13 | 2,03 |
| 5 | 1,81 | 1,88 | 2,13 | 1,94 |
| 6 | 1,83 | 2,03 | 2,03 | 1,96 |
| 7 | 2,01 | 2,02 | 1,82 | 1,95 |
| 8 | 1,78 | 2,00 | 1,93 | 1,90 |
| 9 | 2,48 | 1,88 | 1,72 | 2,03 |
| 10 | 2,03 | 2,00 | 2,01 | 2,01 |
| 11 | 2,14 | 2,14 | 2,13 | 2,13 |
| 12 | 2,13 | 2,13 | 2,00 | 2,08 |
| 13 | 1,81 | 1,88 | 2,14 | 1,94 |
| 14 | 2,13 | 2,13 | 2,13 | 2,13 |
| 15 | 2,13 | 2,13 | 2,03 | 2,09 |
| 16 | 2,03 | 2,03 | 1,99 | 2,01 |
| 17 | 2,13 | 2,13 | 2,01 | 2,09 |
| 18 | 1,87 | 1,83 | 1,82 | 1,84 |
| 19 | 2,14 | 2,14 | 1,78 | 2,02 |
| 20 | 2,07 | 2,12 | 1,81 | 2,00 |
| 21 | 1,83 | 1,92 | 1,88 | 1,87 |
| PROMEDIO | 1,98 | 2,00 | 1,98 | 1,99 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de silicatos en cada uno de los puntos de muestreo**




Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Análisis de varianza silicatos**

| RESUMEN | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Grupos | Cuenta | Suma | Promedio | Varianza |
| Entrada | 21,00 | 41,67 | 1,98 | 0,03 |
| Salida | 21,00 | 42,02 | 2,00 | 0,01 |
| Pozo | 21,00 | 41,54 | 1,98 | 0,02 |

| ANÁLISIS DE VARIANZA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
| Entre grupos | 0,01 | 2,00 | 0,00 | 0,14 | 0,87 | 3,15 |
| Dentro de los grupos | 1,26 | 60,00 | 0,02 | | | |
| | | | | | | |
| Total | **1,27** | **62,00** | | | | |

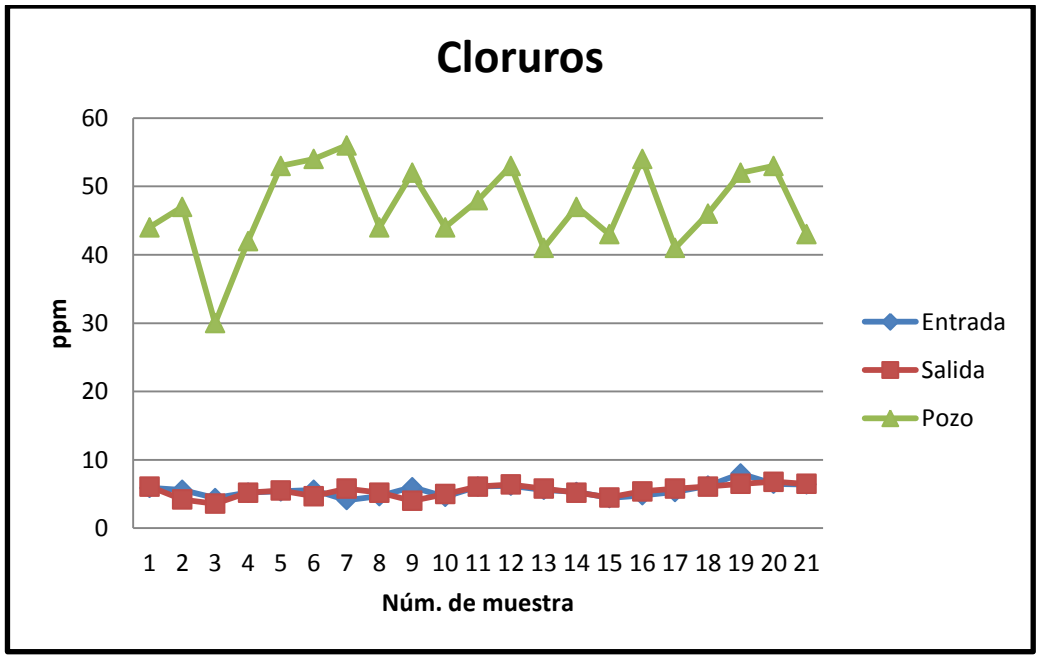
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resultados de cloruros (ppm) obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo)**

| Núm. de corrida | Entrada | Salida | Pozo | PROMEDIO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 5,9 | 6,10 | 44 | 6,00 |
| 2 | 5,6 | 4,20 | 47 | 4,90 |
| 3 | 4,4 | 3,60 | 30 | 4,00 |
| 4 | 5,2 | 5,20 | 42 | 5,20 |
| 5 | 5,4 | 5,50 | 53 | 5,45 |
| 6 | 5,6 | 4,70 | 54 | 5,15 |
| 7 | 4,1 | 5,80 | 56 | 4,95 |
| 8 | 4,7 | 5,20 | 44 | 4,95 |
| 9 | 6 | 4,00 | 52 | 5,00 |
| 10 | 4,6 | 5,00 | 44 | 4,80 |
| 11 | 6,1 | 6,10 | 48 | 6,10 |
| 12 | 6,2 | 6,40 | 53 | 6,30 |
| 13 | 5,6 | 5,80 | 41 | 5,70 |
| 14 | 5,3 | 5,20 | 47 | 5,25 |
| 15 | 4,4 | 4,50 | 43 | 4,45 |
| 16 | 4,8 | 5,40 | 54 | 5,10 |
| 17 | 5,3 | 5,80 | 41 | 5,55 |
| 18 | 6,2 | 6,10 | 46 | 6,15 |
| 19 | 8 | 6,50 | 52 | 7,25 |
| 20 | 6,5 | 6,80 | 53 | 6,65 |
| 21 | 6,4 | 6,50 | 43 | 6,45 |
| PROMEDIO | 5,54 | 5,45 | 47 | 19,33 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de cloruros en cada uno de los puntos de muestreo**




Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Análisis de varianza, cloruros**

| RESUMEN | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Grupos | Cuenta | Suma | Promedio | Varianza |
| Entrada | 21,00 | 116,30 | 5,54 | 0,82 |
| Salida | 21,00 | 114,40 | 5,45 | 0,78 |
| Pozo | 21,00 | 987,00 | 47,00 | 39,20 |

| ANÁLISIS DE VARIANZA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
| Entre grupos | 24119,89 | 2,00 | 12059,94 | 886,95 | 0,00 | 3,15 |
| Dentro de los grupos | 815,82 | 60,00 | 13,60 | | | |
| | | | | | | |
| Total | **24935,71** | **62,00** | | | | |

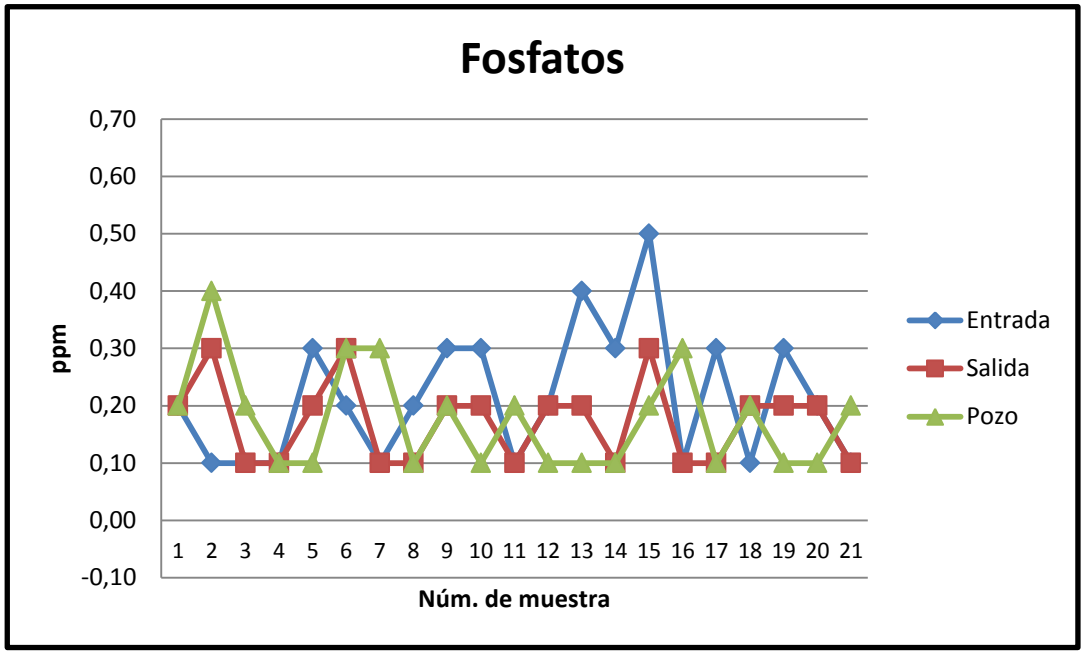
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Resultados de fosfatos (ppm) obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo)**

| Núm. de corrida | Entrada | Salida | Pozo | PROMEDIO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,2 | 0,20 | 0,2 | 0,20 |
| 2 | 0,1 | 0,30 | 0,7 | 0,37 |
| 3 | 0,1 | 0,00 | 0,2 | 0,10 |
| 4 | 0,1 | 0,10 | 0,1 | 0,10 |
| 5 | 0,3 | 0,20 | 0,1 | 0,20 |
| 6 | 0,2 | 0,30 | 0,3 | 0,27 |
| 7 | 0,1 | 0,10 | 0,3 | 0,17 |
| 8 | 0,2 | 0,10 | 0,1 | 0,13 |
| 9 | 0,3 | 0,20 | 0,2 | 0,23 |
| 10 | 0,3 | 0,20 | 0,10 | 0,20 |
| 11 | 0,1 | 0,10 | 0,20 | 0,13 |
| 12 | 0,2 | 0,20 | 0,10 | 0,17 |
| 13 | 0,4 | 0,20 | 0,10 | 0,23 |
| 14 | 0,3 | 0,10 | 0,10 | 0,17 |
| 15 | 0,5 | 0,30 | 0,20 | 0,33 |
| 16 | 0,1 | 0,10 | 0,30 | 0,17 |
| 17 | 0,3 | 0,10 | 0,10 | 0,17 |
| 18 | 0,1 | 0,20 | 0,20 | 0,17 |
| 19 | 0,3 | 0,20 | 0,10 | 0,20 |
| 20 | 0,2 | 0,20 | 0,10 | 0,17 |
| 21 | 0,1 | 0,10 | 0,20 | 0,13 |
| PROMEDIO | 0,21 | 0,17 | 0,19 | 0,19 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de fosfatos en cada uno de los puntos de muestreo**




Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Análisis de varianza, fosfatos**

| RESUMEN | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Grupos | Cuenta | Suma | Promedio | Varianza |
| Entrada | 21,00 | 4,50 | 0,21 | 0,01 |
| Salida | 21,00 | 3,60 | 0,17 | 0,01 |
| Pozo | 21,00 | 3,70 | 0,18 | 0,01 |

| ANÁLISIS DE VARIANZA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
| Entre grupos | 0,02 | 2,00 | 0,01 | 1,32 | 0,27 | 3,15 |
| Dentro de los grupos | 0,53 | 60,00 | 0,01 | | | |
| | | | | | | |
| Total | **0,55** | **62,00** | | | | |

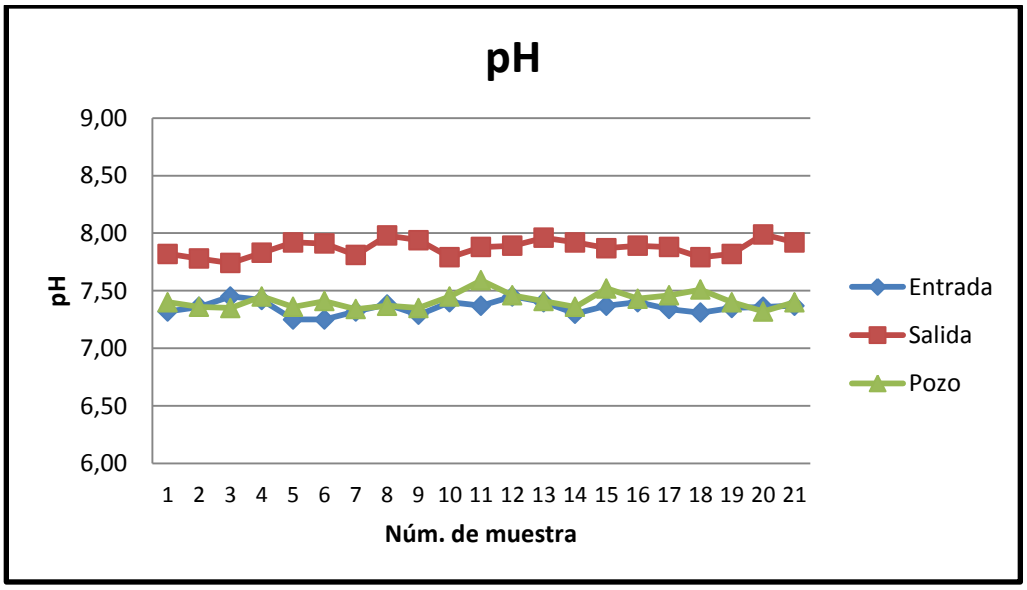
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Resultados de pH obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo)**

| Núm. de corrida | Entrada | Salida | Pozo | PROMEDIO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 7,32 | 7,82 | 7,4 | 7,51 |
| 2 | 7,36 | 7,78 | 7,36 | 7,50 |
| 3 | 7,45 | 7,74 | 7,35 | 7,51 |
| 4 | 7,42 | 7,83 | 7,45 | 7,57 |
| 5 | 7,25 | 7,92 | 7,36 | 7,51 |
| 6 | 7,25 | 7,91 | 7,41 | 7,52 |
| 7 | 7,32 | 7,81 | 7,34 | 7,49 |
| 8 | 7,38 | 7,98 | 7,37 | 7,58 |
| 9 | 7,29 | 7,94 | 7,35 | 7,53 |
| 10 | 7,4 | 7,79 | 7,45 | 7,55 |
| 11 | 7,37 | 7,88 | 7,59 | 7,61 |
| 12 | 7,45 | 7,89 | 7,46 | 7,60 |
| 13 | 7,4 | 7,96 | 7,41 | 7,59 |
| 14 | 7,3 | 7,92 | 7,36 | 7,53 |
| 15 | 7,37 | 7,87 | 7,52 | 7,59 |
| 16 | 7,4 | 7,89 | 7,43 | 7,57 |
| 17 | 7,34 | 7,88 | 7,46 | 7,56 |
| 18 | 7,31 | 7,79 | 7,51 | 7,54 |
| 19 | 7,35 | 7,82 | 7,4 | 7,52 |
| 20 | 7,36 | 7,99 | 7,32 | 7,56 |
| 21 | 7,37 | 7,92 | 7,4 | 7,56 |
| PROMEDIO | 7,36 | 7,87 | 7,41 | 7,55 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de pH en cada uno de los puntos de muestreo**




Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Análisis de varianza, pH**

| RESUMEN | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Grupos** | **Cuenta** | **Suma** | **Promedio** | **Varianza** |
| **Entrada** | 21,00 | 153,30 | 7,30 | 0,01 |
| **Salida** | 21,00 | 165,33 | 7,87 | 0,00 |
| **Pozo** | 21,00 | 147,58 | 7,03 | 0,00 |

| ANÁLISIS DE VARIANZA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Origen de las variaciones** | **Suma de cuadrados** | **Grados de libertad** | **Promedio de los cuadrados** | **F** | **Probabilidad** | **Valor crítico para F** |
| **Entre grupos** | 7,82 | 2,00 | 3,91 | 582,51 | 0,00 | 3,15 |
| **Dentro de los grupos** | 0,40 | 60,00 | 0,01 | | | |
| | | | | | | |
| **Total** | **8,22** | **62,00** | | | | |

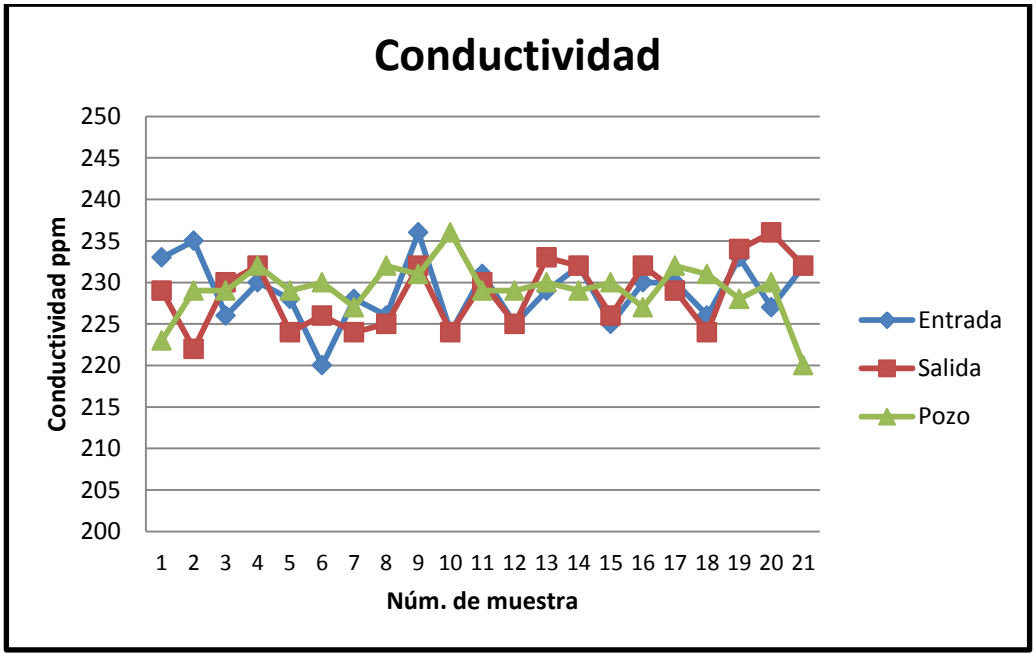
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Resultados de conductividad, sólidos disueltos (ppm), obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo)**

| Núm. de corrida | Entrada | Salida | Pozo | PROMEDIO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 233 | 229 | 223 | 228 |
| 2 | 235 | 222 | 229 | 229 |
| 3 | 226 | 230 | 229 | 228 |
| 4 | 230 | 232 | 232 | 231 |
| 5 | 228 | 224 | 229 | 227 |
| 6 | 220 | 226 | 230 | 225 |
| 7 | 228 | 224 | 227 | 226 |
| 8 | 226 | 225 | 232 | 228 |
| 9 | 236 | 232 | 231 | 233 |
| 10 | 224 | 224 | 236 | 228 |
| 11 | 231 | 230 | 229 | 230 |
| 12 | 225 | 225 | 229 | 226 |
| 13 | 229 | 233 | 230 | 231 |
| 14 | 232 | 232 | 229 | 231 |
| 15 | 225 | 226 | 230 | 227 |
| 16 | 230 | 232 | 227 | 230 |
| 17 | 230 | 229 | 232 | 230 |
| 18 | 226 | 224 | 231 | 227 |
| 19 | 233 | 234 | 228 | 232 |
| 20 | 227 | 236 | 230 | 231 |
| 21 | 232 | 232 | 220 | 228 |
| PROMEDIO | 229 | 229 | 229 | 229 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de conductividad, sólidos disueltos (ppm), en cada uno de los puntos de muestreo**




Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Análisis de varianza, conductividad**

| RESUMEN | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Grupos | Cuenta | Suma | Promedio | Varianza |
| Entrada | 21,00 | 4806,00 | 228,86 | 15,63 |
| Salida | 21,00 | 4801,00 | 228,62 | 16,65 |
| Pozo | 21,00 | 4813,00 | 229,19 | 10,66 |

| ANÁLISIS DE VARIANZA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
| Entre grupos | 3,46 | 2,00 | 1,73 | 0,12 | 0,89 | 3,15 |
| Dentro de los grupos | 858,76 | 60,00 | 14,31 | | | |
| | | | | | | |
| Total | **862,22** | **62,00** | | | | |

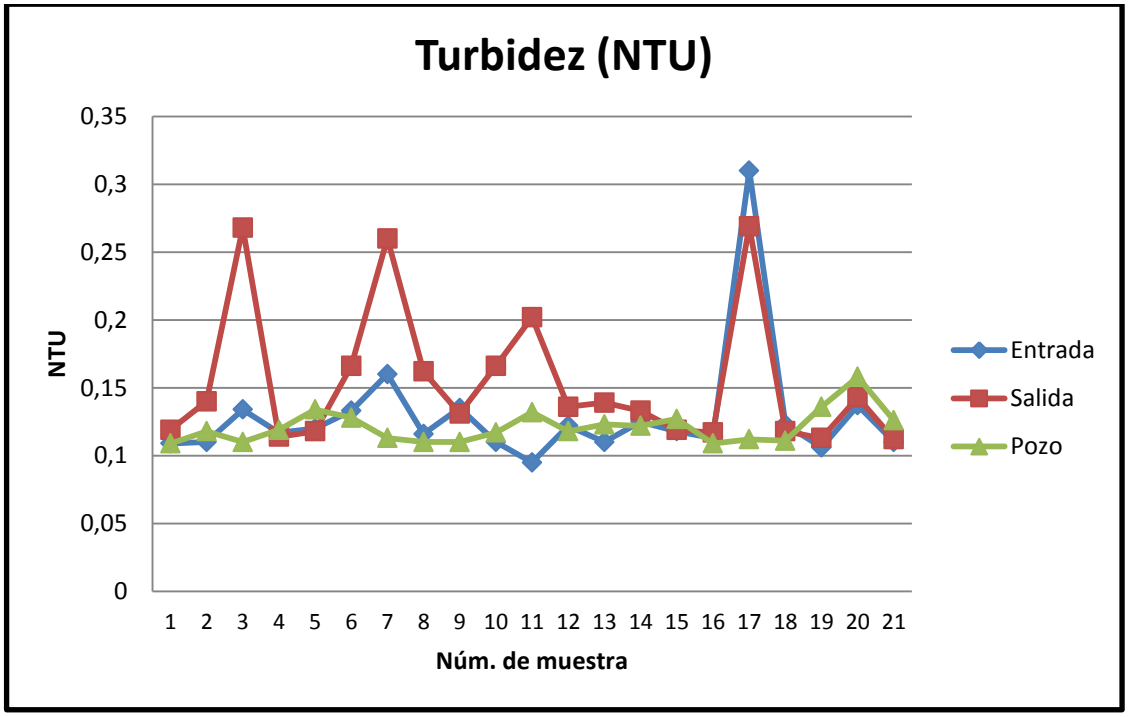
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Resultados de turbidez (NTU), obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo)**

| Núm. de corrida | Entrada | Salida | Pozo | PROMEDIO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,109 | 0,119 | 0,109 | 0,112 |
| 2 | 0,11 | 0,14 | 0,118 | 0,123 |
| 3 | 0,134 | 0,268 | 0,11 | 0,171 |
| 4 | 0,117 | 0,114 | 0,119 | 0,117 |
| 5 | 0,12 | 0,118 | 0,134 | 0,124 |
| 6 | 0,133 | 0,166 | 0,128 | 0,142 |
| 7 | 0,16 | 0,26 | 0,113 | 0,178 |
| 8 | 0,116 | 0,162 | 0,11 | 0,129 |
| 9 | 0,135 | 0,131 | 0,11 | 0,125 |
| 10 | 0,11 | 0,166 | 0,117 | 0,131 |
| 11 | 0,095 | 0,202 | 0,132 | 0,143 |
| 12 | 0,122 | 0,136 | 0,118 | 0,125 |
| 13 | 0,11 | 0,139 | 0,123 | 0,124 |
| 14 | 0,125 | 0,133 | 0,122 | 0,127 |
| 15 | 0,118 | 0,119 | 0,127 | 0,121 |
| 16 | 0,113 | 0,117 | 0,109 | 0,113 |
| 17 | 0,31 | 0,269 | 0,112 | 0,230 |
| 18 | 0,123 | 0,118 | 0,111 | 0,117 |
| 19 | 0,106 | 0,113 | 0,136 | 0,118 |
| 20 | 0,137 | 0,143 | 0,158 | 0,146 |
| 21 | 0,11 | 0,112 | 0,126 | 0,116 |
| PROMEDIO | 0,129 | 0,155 | 0,121 | 0,135 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de turbidez (NTU), en cada uno de los puntos de muestreo**




Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Análisis de varianza, turbidez**

| RESUMEN | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Grupos** | **Cuenta** | **Suma** | **Promedio** | **Varianza** |
| **Entrada** | 21,00 | 2,71 | 0,13 | 0,00 |
| **Salida** | 21,00 | 3,25 | 0,15 | 0,00 |
| **Pozo** | 21,00 | 2,54 | 0,12 | 0,00 |

| ANÁLISIS DE VARIANZA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Origen de las variaciones** | **Suma de cuadrados** | **Grados de libertad** | **Promedio de los cuadrados** | **F** | **Probabilidad** | **Valor crítico para F** |
| **Entre grupos** | 0,01 | 2,00 | 0,01 | 4,06 | 0,02 | 3,15 |
| **Dentro de los grupos** | 0,09 | 60,00 | 0,00 | | | |
| | | | | | | |
| **Total** | **0,11** | **62,00** | | | | |

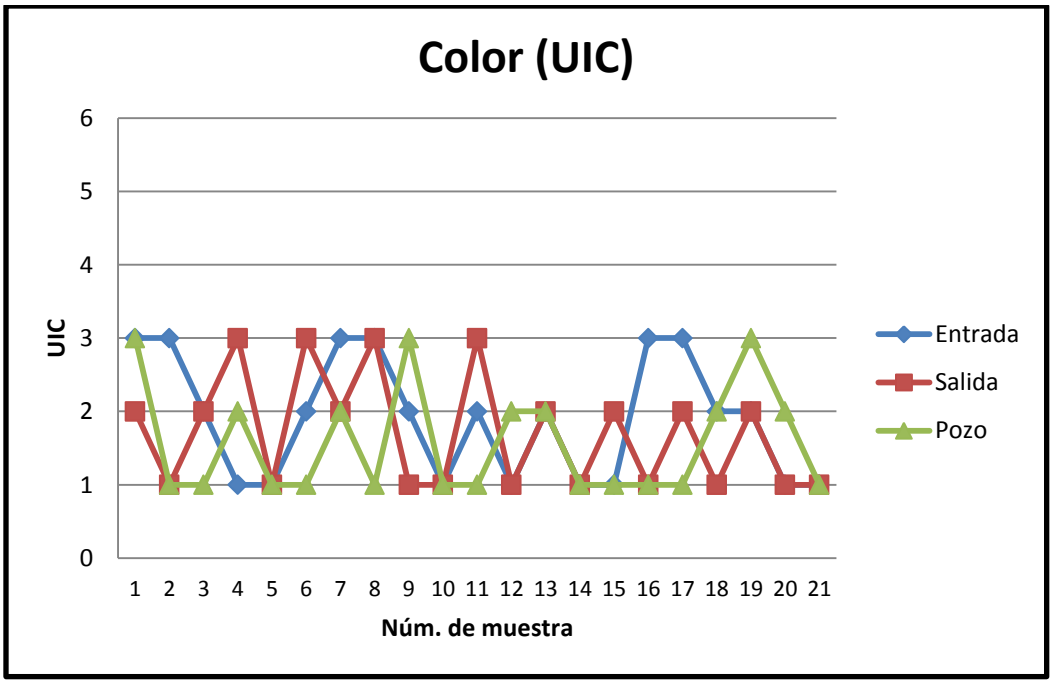
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Resultados de color (UIC), obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo)**

| Núm. de corrida | Entrada | Salida | Pozo | PROMEDIO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 4 | 4 | 3 | 4 |
| 2 | 3 | 1 | 1 | 2 |
| 3 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 4 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 7 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 8 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| 9 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | 5 | 3 | 1 | 3 |
| 12 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 13 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 14 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 16 | 3 | 1 | 1 | 2 |
| 17 | 4 | 2 | 1 | 2 |
| 18 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 19 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| 20 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 21 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| PROMEDIO | 2,14 | 1,81 | 1,57 | 1,84 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de color (UIC), en los puntos de muestreo**




Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Análisis de varianza, color**

| RESUMEN | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Grupos** | **Cuenta** | **Suma** | **Promedio** | **Varianza** |
| **Entrada** | 21,00 | 40,00 | 1,90 | 0,69 |
| **Salida** | 21,00 | 36,00 | 1,71 | 0,61 |
| **Pozo** | 21,00 | 33,00 | 1,57 | 0,56 |

| ANÁLISIS DE VARIANZA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Origen de las variaciones** | **Suma de cuadrados** | **Grados de libertad** | **Promedio de los cuadrados** | **F** | **Probabilidad** | **Valor crítico para F** |
| **Entre grupos** | 1,17 | 2,00 | 0,59 | 0,95 | 0,39 | 3,15 |
| **Dentro de los grupos** | 37,24 | 60,00 | 0,62 | | | |
| | | | | | | |
| **Total** | **38,41** | **62,00** | | | | |

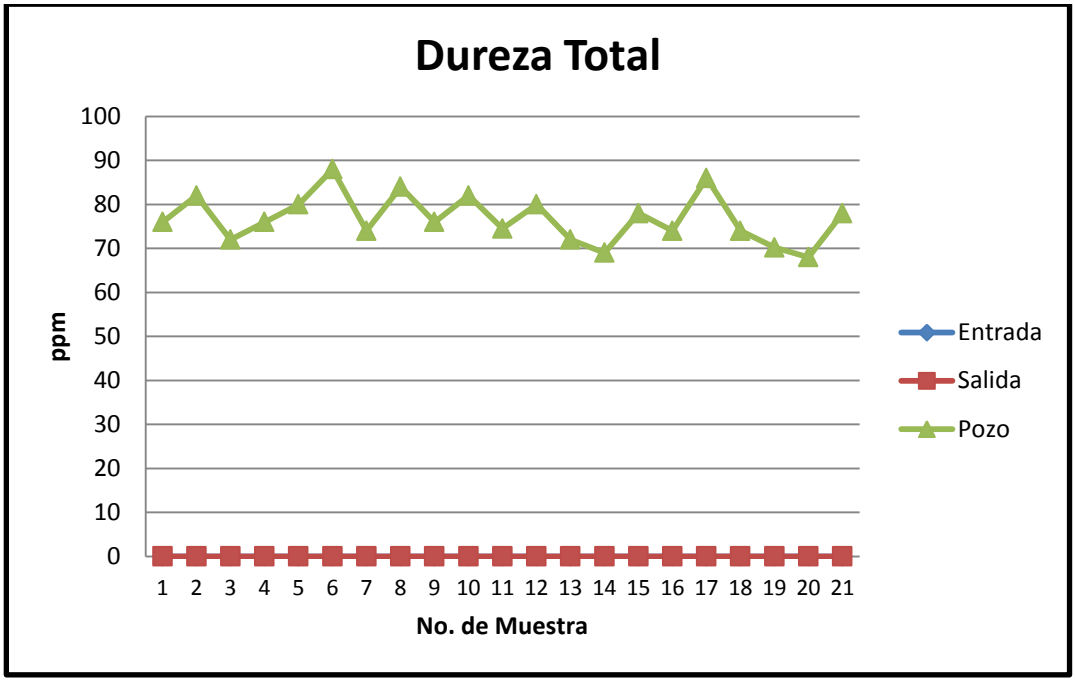
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Resultados de dureza total (ppm), obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo)**

| Núm. de corrida | Entrada | Salida | Pozo | PROMEDIO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 76 | 25 |
| 2 | 0 | 0 | 82 | 27 |
| 3 | 0 | 0 | 72 | 24 |
| 4 | 0 | 0 | 76 | 25 |
| 5 | 0 | 0 | 80 | 27 |
| 6 | 0 | 0 | 88 | 29 |
| 7 | 0 | 0 | 74 | 25 |
| 8 | 0 | 0 | 84 | 28 |
| 9 | 0 | 0 | 76 | 25 |
| 10 | 0 | 0 | 82 | 27 |
| 11 | 0 | 0 | 75 | 25 |
| 12 | 0 | 0 | 80 | 27 |
| 13 | 0 | 0 | 72 | 24 |
| 14 | 0 | 0 | 69 | 23 |
| 15 | 0 | 0 | 78 | 26 |
| 16 | 0 | 0 | 74 | 25 |
| 17 | 0 | 0 | 86 | 29 |
| 18 | 0 | 0 | 74 | 25 |
| 19 | 0 | 0 | 70 | 23 |
| 20 | 0 | 0 | 68 | 23 |
| 21 | 0 | 0 | 78 | 26 |
| PROMEDIO | 0,00 | 0,00 | 76,84 | 25,61 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de dureza total (ppm), en cada uno de los puntos de muestreo**




Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Análisis de varianza, dureza total**

| RESUMEN | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Grupos** | **Cuenta** | **Suma** | **Promedio** | **Varianza** |
| **Entrada** | 21,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| **Salida** | 21,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| **Pozo** | 21,00 | 1613,70 | 76,84 | 29,90 |

| ANÁLISIS DE VARIANZA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Origen de las variaciones** | **Suma de cuadrados** | **Grados de libertad** | **Promedio de los cuadrados** | **F** | **Probabilidad** | **Valor crítico para F** |
| **Entre grupos** | 82667,55 | 2,00 | 41333,77 | 4147,40 | 0,00 | 3,15 |
| **Dentro de los grupos** | 597,97 | 60,00 | 9,97 | | | |
| | | | | | | |
| **Total** | **83265,52** | **62,00** | | | | |

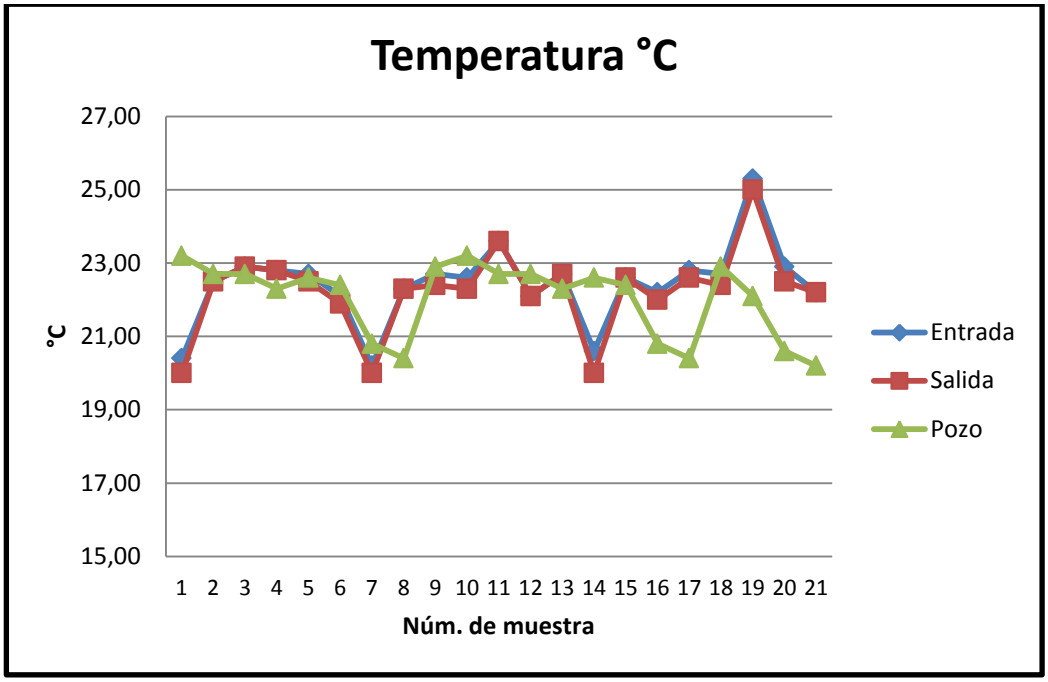
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Resultados de temperatura (°C), obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo)**

| No. de corrida | Entrada | Salida | Pozo | PROMEDIO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 20,40 | 20,00 | 23,20 | 21,20 |
| 2 | 22,50 | 22,50 | 22,70 | 22,57 |
| 3 | 22,90 | 22,90 | 22,70 | 22,83 |
| 4 | 22,80 | 22,80 | 22,30 | 22,63 |
| 5 | 22,70 | 22,50 | 22,60 | 22,60 |
| 6 | 22,10 | 21,90 | 22,40 | 22,13 |
| 7 | 20,20 | 20,00 | 20,80 | 20,33 |
| 8 | 22,30 | 22,30 | 20,40 | 21,67 |
| 9 | 22,70 | 22,40 | 22,90 | 22,67 |
| 10 | 22,60 | 22,30 | 23,20 | 22,70 |
| 11 | 23,60 | 23,60 | 22,70 | 23,30 |
| 12 | 22,10 | 22,10 | 22,70 | 22,30 |
| 13 | 22,70 | 22,70 | 22,30 | 22,57 |
| 14 | 20,60 | 20,00 | 22,60 | 21,07 |
| 15 | 22,60 | 22,60 | 22,40 | 22,53 |
| 16 | 22,20 | 22,00 | 20,80 | 21,67 |
| 17 | 22,80 | 22,60 | 20,40 | 21,93 |
| 18 | 22,70 | 22,40 | 22,90 | 22,67 |
| 19 | 25,30 | 25,00 | 22,10 | 24,13 |
| 20 | 22,90 | 22,50 | 20,60 | 22,00 |
| 21 | 22,20 | 22,20 | 20,20 | 21,53 |
| PROMEDIO | 22,42 | 22,25 | 22,04 | 22,24 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de temperatura (°C), en cada uno de los puntos de muestreo**




Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Análisis de varianza, temperatura**

| RESUMEN | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Grupos** | **Cuenta** | **Suma** | **Promedio** | **Varianza** |
| **Salida** | 21,00 | 467,30 | 22,25 | 1,31 |
| **Pozo** | 21,00 | 462,90 | 22,04 | 1,04 |
| **PROMEDIO** | 21,00 | 467,03 | 22,24 | 0,68 |

| ANÁLISIS DE VARIANZA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Origen de las variaciones** | **Suma de cuadrados** | **Grados de libertad** | **Promedio de los cuadrados** | **F** | **Probabilidad** | **Valor crítico para F** |
| **Entre grupos** | 0,58 | 2,00 | 0,29 | 0,29 | 0,75 | 3,15 |
| **Dentro de los grupos** | 60,68 | 60,00 | 1,01 | | | |
| | | | | | | |
| **Total** | **61,26** | **62,00** | | | | |

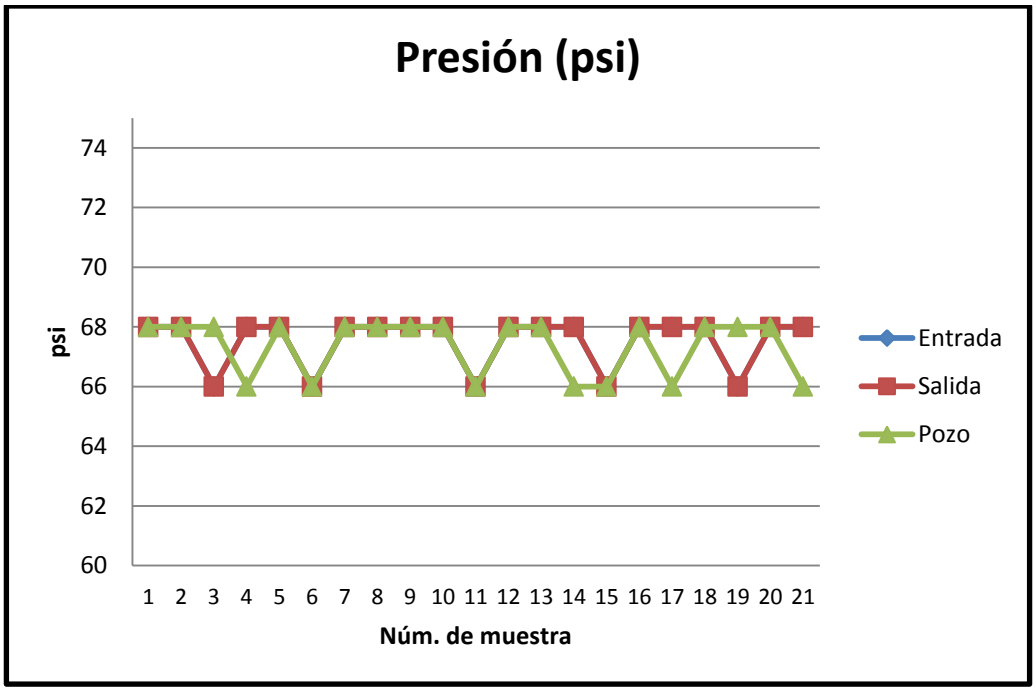
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Resultados de presión (psi), obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo)**

| Núm. de corrida | Entrada | Salida | Pozo | PROMEDIO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| 2 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| 3 | 66 | 66 | 68 | 67 |
| 4 | 68 | 68 | 66 | 67 |
| 5 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| 6 | 66 | 66 | 66 | 66 |
| 7 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| 8 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| 9 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| 10 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| 11 | 66 | 66 | 66 | 66 |
| 12 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| 13 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| 14 | 68 | 68 | 66 | 67 |
| 15 | 66 | 66 | 66 | 66 |
| 16 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| 17 | 68 | 68 | 66 | 67 |
| 18 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| 19 | 66 | 66 | 68 | 67 |
| 20 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| 21 | 68 | 68 | 66 | 67 |
| PROMEDIO | 68 | 68 | 67 | 67 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Gráfico comparativo de los resultados obtenidos para el análisis de presión (°C), en los puntos de muestreo**




Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Análisis de varianza, presión**

| RESUMEN | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Grupos | Cuenta | Suma | Promedio | Varianza |
| Entrada | 21,00 | 1418,00 | 67,52 | 0,76 |
| Salida | 21,00 | 1418,00 | 67,52 | 0,76 |
| Pozo | 21,00 | 1414,00 | 67,33 | 0,93 |

| ANÁLISIS DE VARIANZA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
| Entre grupos | 0,51 | 2,00 | 0,25 | 0,31 | 0,73 | 3,15 |
| Dentro de los grupos | 49,14 | 60,00 | 0,82 | | | |
| | | | | | | |
| Total | **49,65** | **62,00** | | | | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Resultados del análisis microbiológico coliformes totales, obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo)**

| Núm. de corrida | Entrada | Salida | Pozo |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | Incontable | 0 |
| 2 | 0 | Incontable | 0 |
| 3 | 0 | Incontable | 0 |
| 4 | 0 | Incontable | 0 |
| 5 | 0 | Incontable | 0 |
| 6 | 0 | Incontable | 0 |
| 7 | 0 | Incontable | 0 |
| 8 | 0 | Incontable | 0 |
| 9 | 0 | Incontable | 0 |
| 10 | 0 | Incontable | 0 |
| 11 | 0 | Incontable | 0 |
| 12 | 0 | Incontable | 0 |
| 13 | 0 | Incontable | 0 |
| 14 | 0 | Incontable | 0 |
| 15 | 0 | Incontable | 0 |
| 16 | 0 | Incontable | 0 |
| 17 | 0 | Incontable | 0 |
| 18 | 0 | Incontable | 0 |
| 19 | 0 | Incontable | 0 |
| 20 | 0 | Incontable | 0 |
| 21 | 0 | Incontable | 0 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Resultados del análisis microbiológico *Escherichia coli*, obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo)**

| No. de corrida | Entrada | Salida | Pozo |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 3 | 0 |
| 2 | 0 | 2 | 0 |
| 3 | 0 | 3 | 0 |
| 4 | 0 | 4 | 0 |
| 5 | 0 | 5 | 0 |
| 6 | 0 | 4 | 0 |
| 7 | 0 | 4 | 0 |
| 8 | 0 | 3 | 0 |
| 9 | 0 | 4 | 0 |
| 10 | 0 | 2 | 0 |
| 11 | 0 | 2 | 0 |
| 12 | 0 | 4 | 0 |
| 13 | 0 | 3 | 0 |
| 14 | 0 | 4 | 0 |
| 15 | 0 | 3 | 0 |
| 16 | 0 | 5 | 0 |
| 17 | 0 | 4 | 0 |
| 18 | 0 | 4 | 0 |
| 19 | 0 | 3 | 0 |
| 20 | 0 | 3 | 0 |
| 21 | 0 | 3 | 0 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Resultados del análisis microbiológico recuento UFC, obtenidos para los tres puntos de muestreo (entrada y salida del *rinser*, pozo)**

| No. de corrida | Entrada | Salida | Pozo |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | Incontable | 0 |
| 2 | 0 | Incontable | 0 |
| 3 | 0 | Incontable | 0 |
| 4 | 0 | Incontable | 0 |
| 5 | 0 | Incontable | 0 |
| 6 | 0 | Incontable | 0 |
| 7 | 0 | Incontable | 0 |
| 8 | 0 | Incontable | 0 |
| 9 | 0 | Incontable | 0 |
| 10 | 0 | Incontable | 0 |
| 11 | 0 | Incontable | 0 |
| 12 | 0 | Incontable | 0 |
| 13 | 0 | Incontable | 0 |
| 14 | 0 | Incontable | 0 |
| 15 | 0 | Incontable | 0 |
| 16 | 0 | Incontable | 0 |
| 17 | 0 | Incontable | 0 |
| 18 | 0 | Incontable | 0 |
| 19 | 0 | Incontable | 0 |
| 20 | 0 | Incontable | 0 |
| 21 | 0 | Incontable | 0 |

Fuente: elaboración propia.

## 4.1. Análisis beneficio – costo del proyecto

A continuación se presentan los cálculos realizados para la estimación del costo de aplicación del proyecto.

### 4.1.1. Costo de agua potable

Con base en el Acuerdo No. COM-036-03 de la Municipalidad de Guatemala que tiene por nombre *Modificación en la forma que se indica el cobro por servicio público de agua potable y alcantarillado, cobros por diversos servicios y venta de derechos de servicios de agua potable un inmueble, en la ciudad de Guatemala y su área de influencia*.

Se determinó el costo de la utilización y gasto del agua potable para enjuagar las botellas, respecto del volumen de agua que se utiliza en el enjuagador en una hora de trabajo en la línea de producción.

Tabla XXXVIII. **Servicios a organismos del Estado, sus entidades descentralizadas, autónomas y semiautónomas, y las empresas privadas que prestan servicios**

| Rango de consumo en metros cúbicos | Cargo fijo | Precio $m^3$ |
|---|---|---|
| De 01 a 20 $m^3$ | Q 16,00 | Q 2,24 |
| De 21 a 40$m^3$ | Q 16,00 | Q 3,60 |
| De 41 a 60 $m^3$ | Q 16,00 | Q 4,48 |
| De 61 a 120 $m^3$ | Q 16,00 | Q 8,96 |
| De 121 $m^3$ en adelante | Q 16,00 | Q 11,20 |

Fuente: *Acuerdo No. COM-036-03 de la Municipalidad de Guatemala*. p. 2.

### 4.1.2. Cálculo del gasto de agua potable

El cálculo del gasto de agua potable en la línea de producción, se hizo para 8 horas de trabajo al día, 5 días a la semana, y 20 días al mes; el conteo se realizó durante 20 días, de los cuales 10 días se encontraba la planta en producción baja y 10 en producción alta, donde el costo en quetzales (Q) por $m^3$ de agua utilizado para la realización del siguiente cálculo, el cual está indicado en la tabla XL., para un gasto mayor de 121 $m^3$ en adelante, debido al gasto total de la empresa, siendo un costo de Q11,20 por $m^3$.

Tabla XXXIX. **Gasto agua potable**

| **$cm^3$/min** | **$m^3$ min** | **$m^3$ día** | **Q/día** |
|---|---|---|---|
| 20 000 | 0,02 | 9,60 | 107,52 |
| 22 500 | 0,02 | 10,80 | 120,96 |
| 20 000 | 0,02 | 9,60 | 107,52 |
| 22 500 | 0,02 | 10,80 | 120,96 |
| 20 000 | 0,02 | 9,60 | 107,52 |
| 22 500 | 0,02 | 10,80 | 120,96 |
| 20 000 | 0,02 | 9,60 | 107,52 |
| 22 500 | 0,02 | 10,80 | 120,96 |
| 22 500 | 0,02 | 10,80 | 120,96 |
| 20 000 | 0,02 | 9,60 | 107,52 |
| 22 500 | 0,02 | 10,80 | 120,96 |
| 27 500 | 0,03 | 13,20 | 147,84 |
| 22 500 | 0,02 | 10,80 | 120,96 |
| 27 500 | 0,03 | 13,20 | 147,84 |
| 25 000 | 0,03 | 12,00 | 134,4 |
| 30 000 | 0,03 | 14,40 | 161,28 |
| 25 000 | 0,03 | 12,00 | 134,4 |
| 27 500 | 0,03 | 13,20 | 147,84 |
| 27 500 | 0,03 | 13,20 | 147,84 |
| 30 000 | 0,03 | 14,40 | 161,28 |
| **PROMEDIO** | **0,02** | **11,46** | **128,35** |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Costo promedio anual del gasto de agua en la enjuagadora de botellas; tomando en cuenta 5 días laborales en la semana, y 52 semanas al año**

| Costo promedio (Q/día) | Total días/año | Total costo aproximado al año (Q/año) |
|---|---|---|
| 128,35 | 260 | 33 371,52 |

Fuente: elaboración propia.

## 4.2. Cálculo aproximado del costo de la implementación del sistema de reutilización

Al realizar la evaluación económica del proyecto se tomó en cuenta el costo aproximado de los materiales a utilizar para la implementación y construcción del sistema de reutilización del agua, y del equipamiento que se deba adquirir. También se incluyeron los costos de materia prima necesaria dentro de la línea de producción, la cual será empleada cuando ya se encuentre instalado el sistema, considerado un 2 % mensual de la inversión inicial.

El costo mensual del mantenimiento del equipo, se asumió como un 5 % anual del costo de la instalación del sistema.

Adicionalmente se consideró 10 % de costos asociados como los administrativos, legales, servicios de ingeniería o arquitectura, inspecciones e imprevistos. Estos se añadieron al costo total del proyecto. Dichos costos se asumieron respecto de la información compartida por el equipo de mantenimiento de la empresa envasadora de bebidas.

Tabla XLI. **Cálculo del costo aproximado de la instalación del sistema**

| Costo de equipo y materiales | Precio unitario | Unidades | Subtotal |
|---|---|---|---|
| Tubería de hierro galvanizado NPS 4 Sch 30 | Q 410,00 | 12 | Q 4 920,00 |
| Anclajes de hierro (90 grados) | Q 79,00 | 20 | Q 1 580,00 |
| Anclajes de hierro (180 grados) | Q 80,00 | 15 | Q 1 200,00 |
| Acoples | Q 35,00 | 20 | Q 700,00 |
| Codos 1" | Q 20,00 | 12 | Q 240,00 |
| Válvulas de paso | Q 1 350,00 | 3 | Q 4 050,00 |
| Adaptadores de válvulas | Q 55,00 | 3 | Q 165,00 |
| Bomba + instalación (3HP) | Q 19 000,00 | 2 | Q 38 000,00 |
| Tanque captación acero inoxidable 50*50*50 | Q 1 600,00 | 1 | Q 1 600,00 |
| Filtro carbón activado + instalación | Q 75 000,00 | 1 | Q 75 000,00 |
| Instalación tubería subterránea | Q 10 000,00 | 1 | Q 10 000,00 |
| Dosificador de cloro | Q 2 700,00 | 1 | Q 2 700,00 |
| Sensores de apertura y cierre | Q 3 000,00 | 1 | Q 3 000,00 |
| | | **TOTAL** | **Q 143 155,00** |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Consideraciones adicionales de la implementación del sistema**

| Aspecto | **Porcentaje** | **Subtotal** |
|---|---|---|
| Materia prima, mensual | 2 % | Q2.863,10 |
| | Anual | **Q34.357,20** |
| Mantenimiento de equipo, anual | 5 % | Q7.157,75 |
| Gastos adicionales, único | 10 % | Q 14.315,50 |
| | **TOTAL** | **Q55.830,45** |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Costo final del proyecto**

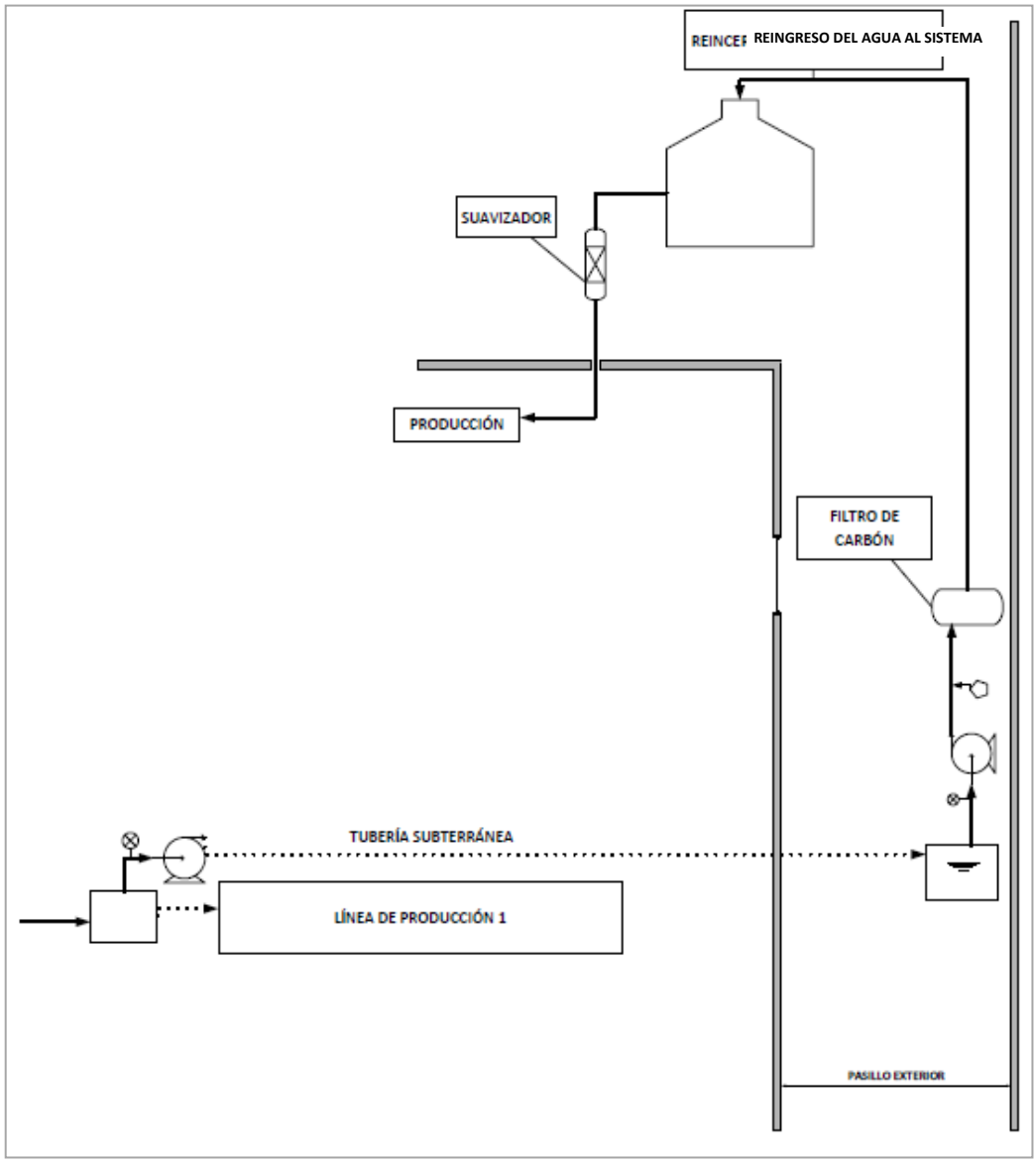
| | |
|---|---|
| Instalación | Q143 155,00 |
| Gastos adicionales | Q55 830,45 |
| **TOTAL** | **Q198 985,45** |

Fuente: elaboración propia.

## 4.3. Diagrama del sistema de reutilización de agua

Diagrama aproximado para la instalación del sistema de reutilización.

Figura 14. **Diagrama del sistema de reutilización de agua**




Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

## 4.4. Análisis beneficio/costo

Se realizó el análisis beneficio/costo obteniendo los siguientes resultados:

$$\frac{B}{C} = \frac{3.371,52}{198.985,45} = 0,0169$$

$$\frac{B}{C} = 0.0169 \ll 1$$

Donde B, beneficio, es el costo anual del agua a utilizar en la línea de producción cuyo gasto se eliminará al implementar el proyecto; y donde C, costo, es el costo final de la implementación del sistema, dando como resultado 0,0169; lo que significa que proyecto no es rentable, tomando en cuenta la inversión inicial.

# 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El objetivo principal de este proyecto era realizar el diseño de un sistema de reuso del agua en el proceso de enjuague de botellas en una empresa envasadora de bebidas, esto con el fin de optimizar la utilización de los recursos hídricos en el proceso de envasado.

Para determinar el proceso adecuado y su posterior diseño fue necesario establecer los parámetros bajo los que se realizaría el análisis; por lo tanto, se estableció que se trabajaría en una de las líneas de producción de la empresa; el primer procedimiento realizado en esta línea es el enjuague de las botellas; las botellas utilizadas están hechas de vidrio y son completamente nuevas (estas se califican como nuevas, ya que en otras líneas de producción de la empresa se utilizan recicladas; las mismas son sometidas a procesos de limpieza diferentes al que se realiza en esta línea).

El agua utilizada para el enjuague de las botellas es potable, y ha sido previamente tratada, ya que debe cumplir con las condiciones de inocuidad y estándares de calidad establecidos por la empresa. Para hacer posible la reutilización del agua es necesario que el reflujo cumpla de igual forma con dichos parámetros.

El proceso de tratamiento establecido por la empresa es el siguiente: al salir del pozo principal el agua pasa por un dosificador de cloro, el cual elimina cualquier presencia de organismos microbiológicos que la contaminen; la dosificación de cloro se mantiene constante en un rango de 0,5 a 2 ppm; luego es transportada hacia un filtro de carbón activado para eliminar el cloro del paso

anterior; este es un punto crítico debido a que las normas de calidad de la empresa establecen que el agua no debe presentar restos de cloro en el enjuagador de botellas, ni ningún tipo de contaminación microbiológica.

El agua también es llevada a un suavizador, etapa en la cual se eliminan las sales minerales disueltas en el agua; las cuales pueden convertirse en incrustaciones y afectar el funcionamiento de los equipos utilizados en procesos posteriores en la producción; este es otro de los puntos críticos de control del tratamiento del agua que debe realizarse antes del enjuague de las botellas. Por lo tanto, también debe encontrarse cero dureza en el flujo de agua en esta etapa, para lo que se realizaron análisis de dureza, cloro disuelto, cloruros y análisis microbiológicos de unidades formadoras de colonias (UFC), coliformes totales y presencia de *Echerichia coli*.

Estos análisis de dureza se realizaron con el fin de establecer si se cumple o no con dichas variables, y con esto determinar si es posible reutilizar el agua, sin afectar la inocuidad en la producción y mantener los estándares de calidad.

Se realizaron además los análisis establecidos por la empresa usando como guía la normativa Coguanor NGO 029001; estos fueron los siguientes: determinación de sulfatos, silicatos, fosfatos, pH, conductividad, turbidez y color; en dicha norma se establecen los límites máximos aceptables (LMA) y los límites máximos permitidos (LMP), los cuales deben ser respetados para que el agua sea considerada potable, y que de esta manera no afecte la salud de los consumidores, manteniendo los estándares de calidad de nuevo, para que el agua pueda ser reutilizada.

Durante el proceso se establecieron las condiciones de temperatura y presión, con el fin de que los resultados no se vieran afectados por las condiciones externas al proceso.

Los análisis se llevaron a cabo durante 21 días en los meses de octubre y noviembre, en los cuales la producción es alta. Tomando tres puntos de muestreo, en la entrada del *rinser* (enjuagador), el cual se estableció como el punto base para la comparación de los resultados, la salida del *rinser* y el pozo. Las condiciones de trabajo fueron estándar, con una temperatura entre los 20 y 26 °C, y la presión de trabajo oscilaba entre los 64 a 68 psi.

Se realizó un análisis de varianza (Anova), esto con el fin de determinar si existe diferencia significativa entre los resultados obtenidos en los diferentes puntos de muestreo; si este resulta positivo significa que el agua del flujo de salida del *rinser* no puede ser reutilizada para otro lavado, a menos que se haga un tratamiento de esta para que no tenga mayor diferencia respecto del agua que ingresa al *rinser*. Con esto fue posible determinar en qué puntos del proceso es necesario hacerle algún tratamiento al agua; para que no se vea afectada la inocuidad del producto.

Establecidos los parámetros a evaluar se realizaron dichos análisis, en los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

- Análisis de existencia de sulfatos, donde se obtuvo un promedio de 1,26 ppm; en la Norma Coguanor 29001-99 se indica un LMA (límite máximo aceptable) de 250 ppm; el resultado obtenido se encuentra por debajo de este límite aceptable; en la entrada se registró un dato promedio de 1,29 ppm, en la salida 1,33 ppm y en el pozo 1,17 ppm.

- Se realizó el análisis de varianza obteniendo un valor para F de 1,02, para este y el resto de análisis, ya que para todos se manejó un nivel de confianza del 95 % y la misma cantidad (N) de datos, se tiene un valor crítico para F de 3,15. Por lo tanto, para los resultados del análisis de sulfatos, se encuentran dentro de los límites de confianza, no hay variación representativa entre los tres puntos de muestreo. Por lo tanto este análisis no es crítico en el proceso, no genera cambios significativos en los resultados, ni afecta la inocuidad del producto.

- El análisis de silicatos dio como resultado un promedio de 1,99 ppm; para este análisis la Norma Coguanor NGO 29001-99 agua potable, no establece límites y al realizar el análisis de varianza se obtuvo un resultado para F de 0,14; esto no representa cambios significativos entre los tres puntos de muestreo no afecta al flujo del agua y es posible reutilizar el agua sin postratamiento.

- Análisis de cloruros; para este se obtuvo un valor promedio de 5.54 ppm en la entrada del *rinser*, 5.45 ppm en la salida y 47 ppm en el pozo, en la norma Coguanor se establece un LMA de 100 ppm, y en el análisis de varianza se obtuvo un valor de F de 886,95 y respecto del crítico 3,15; este sí representa una diferencia significativa, valores que se encuentran dentro de los LMA por la norma Coguanor; sin embargo, la empresa estableció que no debe haber presencia de cloruros en el agua del flujo de entrada al *rinser* y es considerado un punto crítico de control, por esto el agua pasa por un filtro de carbón antes de ingresar a la línea de producción, para eliminar todo rastro de cloruros y evitar contaminación, conservando la inocuidad en la producción y el cumplimiento de los límites establecidos tanto por la norma como por la empresa.

- Para el análisis de fosfatos se obtuvo en la entrada 0.21 ppm, en la salida 0,17 ppm, y en el pozo 0,19 ppm, con una F de 1,32 en el análisis de varianza, debajo del valor crítico 3,15; la norma Coguanor no establecen límites; debido al análisis de varianza se puede concluir que no hay una fuente de contaminación por fosfatos en ninguno de los tres puntos de muestreo y no es un punto crítico en el proceso.

- Del análisis de pH en la entrada se obtuvo un pH promedio de 7,36, en la salida 7,87 y 7,41 a la salida, con una F calculada de 582,51 muy por encima del valor crítico; el punto de variación de los resultados es en la salida del *rinser*, esto probablemente es debido a la contaminación microbiológica encontrada, la cual se explicará más adelante.

- En el análisis de conductividad o sólidos disueltos en promedio se obtuvo el mismo resultado en los tres puntos analizados, entrada, salida y pozo, 229 ppm; el análisis de varianza con una F de 0,12, debajo del valor crítico. Respecto de la norma Coguanor el resultado se encuentra debajo del LMA, que en este caso es de 500 ppm.

- Turbidez: en este análisis se obtuvieron los resultados de 0,129 UNT en la entrada, 0,155 UNT en la salida y 0,121 UNT en el pozo, en el análisis de varianza se obtuvo una F de 4,05; este valor es más alto del crítico, y el punto en donde se encuentra la diferencia es en la salida del *rinser*. En comparación con la norma Coguanor los resultados se encuentran debajo del LMA que es 5,00 UNT.

Para el análisis de color se determinó una F de 0,95; de igual forma que el análisis anterior se encuentra debajo del valor crítico y los valores promedio están por debajo de 5 UIC que es el LMA.

Al analizar la dureza del agua en dos puntos, la entrada y salida del *rinser,* se obtuvo cero dureza, esto debido al tratamiento que se le da al agua antes entrar a la línea de producción, y donde se eliminan todas las sales minerales en un suavizador; esto para evitar cualquier incrustación en los equipos utilizados en el proceso de envasado; el punto de muestreo en el cual se determinó que era agua dura, fue el pozo y este punto de muestreo se encuentra físicamente previo al suavizador.

Los resultados para los análisis microbiológicos realizados fueron los siguientes: para coliformes totales y recuento de UFC se encontró una cantidad incontable de microorganismos en la salida del *rinser* en todas las muestras, y cero en la entrada y el pozo. Esto se debe a que la tubería de salida del agua se encuentra abierta y conectada el desagüe del resto de líneas de producción del complejo; con esto se creó una fuente de contaminación, ya que incluso el análisis para determinar contaminación por *Escherichia coli* resultó positivo con un promedio de 3 unidades por muestra.

Las condiciones en las que se trabajaron y se realizaron todos los análisis fueron a una temperatura promedio de 22,24 °C y 67 psi de presión, en los tres puntos de trabajo.

Al finalizar todos los análisis es necesario establecer el proceso de tratamiento de agua adecuado para la reutilización del agua residual y realizar el diseño del sistema, por lo que se determinaron dos puntos críticos respecto de los resultados obtenidos; el primero de ellos y el más importante es la contaminación microbiológica encontrada en la salida del *rinser*, ya que esto atenta con el mantenimiento de la inocuidad de la producción de las bebidas; por lo que es imposible utilizar el agua con esta cantidad de carga

microbiológica; de esta manera es indispensable clorar el agua a la salida del *rinser*.

Este procedimiento lleva al siguiente punto crítico en el análisis; al inicio se determinó que no debe de existir cloro residual ni cloruros en el agua que se utiliza en la línea de producción, así que al clorar el agua es necesario de la misma manera eliminar el cloro que ya se utilizó para suprimir la carga microbiológica que se encontró en el agua. Así que se agregó un filtro de carbón activado para que este filtre el agua y elimine el cloro y cualquier otro residuo orgánico que pueda contener el agua a la salida del *rinser*.

Luego del filtro de carbón se obtendría un flujo de agua que cumple con dos de las tres condiciones críticas, cero presencia de microorganismos, cero cloruros y cloro residual, y la tercera de las condiciones es cero dureza, para lo cual se decidió realizar una conexión de la salida del filtro de carbón hacia el flujo que proviene del pozo y que se dirige hacia el suavizador para que sea tratado y se eliminen todas las sales minerales que puedan estar presentes.

Después del suavizador el agua se distribuye hacia las diferentes líneas de producción, y de esa manera se cierra el sistema propuesto para la reutilización del agua del *rinser*.

En la relación beneficio/costo se realizó un cálculo aproximado del costo de instalación, de los nuevos equipos y modificación del sistema ya existente; se obtuvo un valor total de Q 198 985,45; este incluye la compra del filtro de carbón activado, dos bombas y las tuberías de hierro galvanizado; se determinó que se utilizaría este material debido a su precio y que este puede ser utilizado en una empresa de producción de alimentos sin que afecte la inocuidad de las bebidas en este caso; toda la instalación de estos, y los costos adicionales de

mantenimiento del equipo y materia prima utilizada para el tratamiento del agua también fue tomada en cuenta.

De igual manera se realizó un cálculo aproximado del costo del volumen de agua que se utiliza en la línea de producción, y se determinó que aproximadamente se pagan Q3 371, 52 al año. Con estos dos valores se calculó el factor beneficio/costo donde se obtuvo 0,0169; el análisis B/C indica que: “Un proyecto es rentable si se obtiene un factor B/C mayor a uno”. [4]

En este caso se obtuvo un valor mucho menor a uno, lo que significa que el proyecto no es rentable para la empresa al momento de hacer la relación del ahorro respecto de la inversión inicial.

Sin embargo, en este caso en particular, es importante tomar en cuenta la dimensión del flujo de agua que se podría reutilizar y cuánto pesa en relación con un valor de conciencia ambiental. Para este proyecto en específico significa 11,46 $m^3$de agua al día, que es igual a 3.021 galones al día; en un año son aproximadamente 788 481,00 galones, los cuales se pueden reutilizar y así disminuir el gasto de agua potable en esta línea de producción. De esta manera contribuirá a que la empresa tenga en general una producción más limpia y con menos desechos.

[4]BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony. *Ingeniería económica*. p. 10.

# CONCLUSIONES

1. Las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas adecuadas para la re utilización del agua son las establecidas por la Norma Coguanor 29001 99 y por la empresa, de las cuales tres son críticas para el proceso: la cantidad de cloro residual y cloruros, dureza y presencia de microorganismos tales como las unidades formadoras de colonias UFC, *Escherichia coli* y coliformes totales, donde los resultados de cloro residual, cloruros y determinación de microorganismos resultaron con diferencias significativas, comparando el flujo de entrada y el de salida del enjuagador.

2. Se determinó que es posible reutilizar el flujo de agua que sale del enjuagador de bebidas, una vez que se haya realizado el postratamiento del mismo, ya que este proceso secundario asegura que se mantendrá la inocuidad en la producción de bebidas.

3. Se determinó el proceso para que el agua residual pueda ser reinsertada al sistema, el cual incluye un dosificador de cloro y un filtro de carbón; también establece que el agua debe reconectarse al sistema antes del paso por el suavizador, para cumplir con los límites establecidos de cloro residual, dureza y contaminación microbiológica; esto para mantener las condiciones inocuas del proceso.

4. Al realizar el cálculo de la relación beneficio/costo se determinó que respecto de la inversión inicial del proyecto, no es viable poner en funcionamiento el sistema de reutilización de agua, debido al alto costo

de este en comparación con el valor del volumen de agua utilizada en el enjuagador de botellas.

5. El diseño del sistema de reuso del agua se estableció con base en el análisis de las condiciones de esta a la salida del enjuagador, y se determinó que sí es posible mejorar la utilización de los recursos hídricos, instalando el nuevo sistema de reuso del agua en el proceso de enjuague de botellas y de esta manera se ahorrarían aproximadamente 11,5 $m^3$ al día de agua.

# RECOMENDACIONES

1. Estudiar la posibilidad de la compra del equipo enjuagador de botellas con un sistema cerrado de recirculación del agua, y que incluye varios subprocesos de potabilización del agua, y luego realizar una comparación entre la compra e instalación de este y la implementación del sistema propuesto en este proyecto.

2. Tomar en cuenta el valor social y ambiental que puede tener el reutilizar más de setecientos mil galones de agua al año, ya que si este proyecto no se apega a las normas de inocuidad de la empresa, puede realizarse un segundo estudio donde el agua se utilice en otro de los puntos del complejo no específicamente del área de producción, como por ejemplo, en sanitarios o en jardinización.

3. Realizar una segunda cotización del costo de la implementación del proceso de reutilización del agua en el enjuagador de bebidas, que implica la instalación y compra de los nuevos equipos.

# BIBLIOGRAFÍA


1. BLANK, Leland; TARQUÍN, Anthony. *Ingeniería económica*, 6a ed. México: McGraw Hill, 2006. 831 p.

2. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, MARN. *Agenda Estratégica Institucional 2005-2015, Autoridad para el manejo sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce*. Guatemala: AMASURLI. 2007. 63 p.

3. Ministerio de Economía. *Norma COGUANOR NGO 29001-99 AGUA POTABLE29001-99, Norma Técnica de Guatemala, agua para consumo humano*, *especificaciones*. Guatemala: Comisión Guatemalteca de Normas. 2013. 15 p.

4. MORALES DE LA CRUZ, Marco. *Cuando un país con agua se puede morir de sed*. España: Jornadas Técnicas de Ciencias Ambientales. Universidad Politécnica de Valencia, 2004. 16 p.

5. MOTT, Robert. *Mecánica de fluidos*. 6a ed. México: Pearson Education, 2006, 644 p. ISBN 970-26-0805-8.

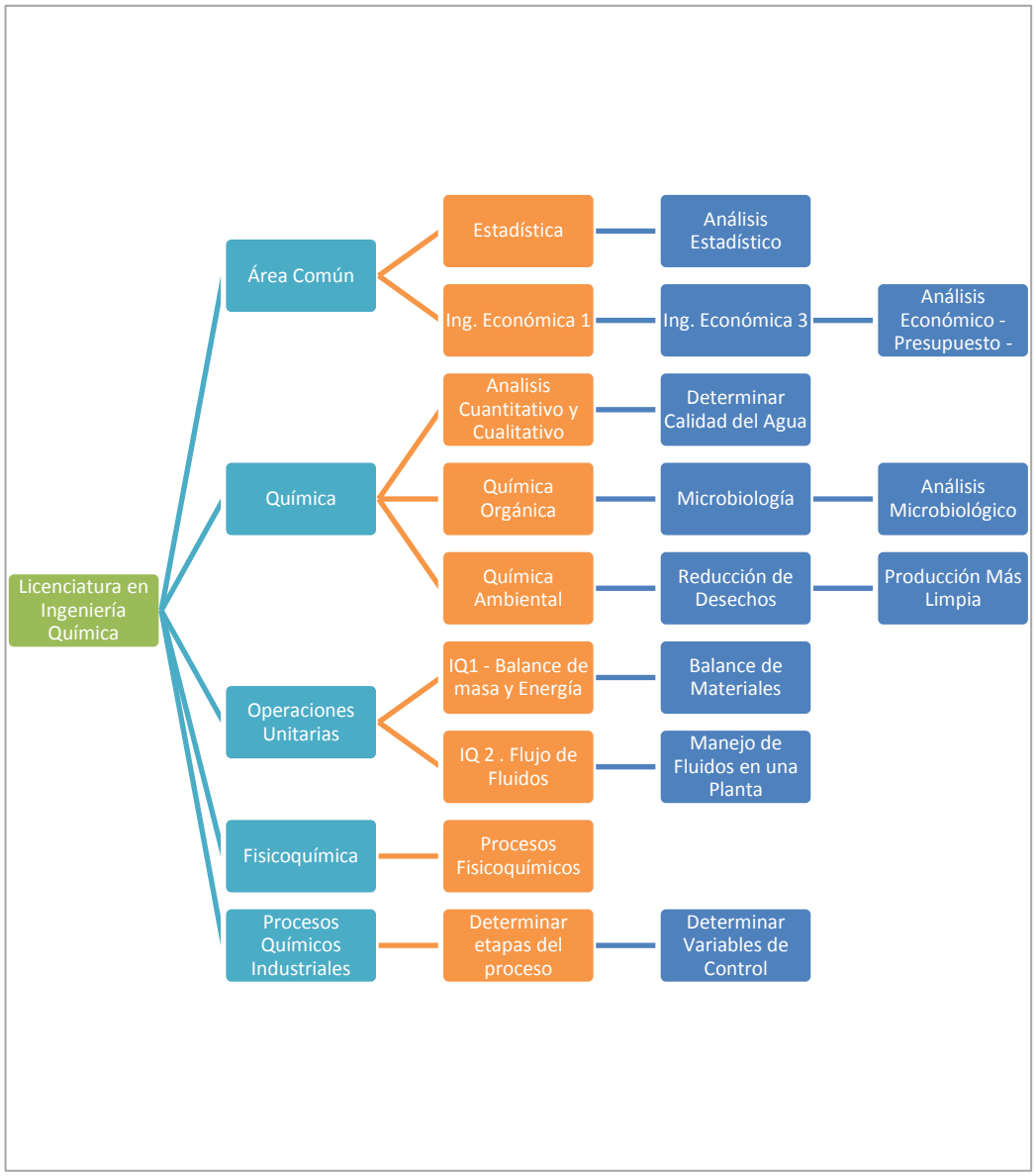
6. Municipalidad de Guatemala. *Acuerdo COM-036-03; Modificaciones por cobros de servicio público de agua potable y alcantarillado*. Guatemala: 2003.10 p.

7. OLIVA HERNÁNDEZ, Bessie Evelyn*. La contaminación del agua y su impacto en la salud de Guatemala.* Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2008. 9 p.

8. Universidad Rafael Landívar. *Perfil ambiental de Guatemal*a. Guatemala: URL, 2012, 32 p.

9. WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 6a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana S. A., 1999. 752 p. ISBN: 970-17-964-6.

**Apéndice 1.** Tabla de requisitos académicos




Fuente: elaboración propia.

# ANEXO

## Anexo 1. **Procedimientos realizados durante análisis**

Los procedimientos que se llevaron a cabo durante la realización de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos para la obtención de resultados, son los que han sido establecidos y estandarizados por la empresa, los procedimientos son los siguientes:

Medición de pH:

Equipo y materiales utilizados: potenciómetro WR Symphony con electrodo de Ag/AgCl, soluciones *buffer* certificadas, agua desmineralizada, *beackers*, agitadores magnéticos y papel limpia lentes. El procedimiento para la medición del pH es el siguiente:

- Encender el potenciómetro y dejarlo estabilizar por lo menos 15 minutos antes de usarlo;
- Verificar que el equipo esté calibrado;
- Destapar el agujero para relleno del electrodo y lavar este con agua desmineralizada;
- Eliminar el exceso de agua del electrodo con papel absorbente, que no deje residuos y que no ralle el electrodo;
- Lavar el electrodo con un poco de la muestra;
- Transferir aproximadamente 50 o 100 mL de muestra a un *beacker.* La muestra debe de estar a menos de 30 °C para realizar la medición;
- Introducir en la muestra el electrodo limpio y seco;

- Presionar la tecla *MEASURE* para realizar la lectura, agitando constantemente con el magneto;
- Una vez que la lectura se estabilice, tomar ese dato como resultado;
- Expresar los resultados directamente de la lectura del potenciómetro.

Medición de dureza:

Equipos y materiales utilizados; solución titulante de EDTA (0,01M), solución *buffer* y como indicador negrode ericromo T; se realizó el siguiente procedimiento:

- Agregar 50 mL de la muestra a un *erlenmeyer*;
- Agregar 1 o 2 mL de la solución *buffer* y mezclar;
- Agregar 0,1 g de indicador y mezclar;
- Si al agregar el indicador la muestra se torna azul o celeste de una vez no se te titula con EDTA, pero si la muestra se torna un color morado, la muestra se titula con EDTA;
- Agregar la solución de EDTA, agitando continuamente bajo condiciones normales; el color final de la solución es azul;
- Si no se titula con EDTA se toma que la muestra tiene 0 ppm de dureza, y se titula; el volumen titulado se multiplica por un factor de 20 y se obtienen las ppm de dureza.

Determinación de alcalinidad:

Para realizar este método basado en la Norma *US Standard Methods*, se utilizan los siguientes reactivos: indicador naranja de metilo y solución de ácido sulfúrico al 0,02 N y se aplica el siguiente procedimiento:

- Agregar 2 gotas de naranja de metilo a 50 mL de muestra de agua;
- Titular la muestra con la solución de ácido sulfúrico al 0,02 N hasta que la solución vire a color rosa;
- Para calcular y encontrar la cantidad de ppm de alcalinidad se multiplica por 50 el volumen de ácido utilizado para la titulación.

Determinación de fosfatos:

Equipos y materiales utilizados; kit de Merck basado en la Norma *US Standard Methods* y utilizando un fotómetro NOVA para su medición; entre los reactivos que se utilizan están, el ion fosfato ($PO_4^{-1}$) y se utiliza la siguiente técnica para su determinación:

- Se pipetean 5 mL de la muestra de agua a un tubo de ensayo;
- Se agregan con pipeta 1,2 mL del reactivo $PO_4^{-1}$; se tiene que tapar el tubo de ensayo con tapón o papel parafilm, mezclar;
- Luego verter la muestra en una cubeta de 10 mm y medir con el método adecuado en el fotómetro.
- Anotar los resultados de acuerdo a los obtenidos por el equipo.

Determinación de silicatos:

Para la realización de este análisis era necesario el kit de Merck basado en la Norma *US Standard Methods* 4500-Si E y un fotómetro NOVA para su medición; entre los reactivos que se utilizan están los iones silicato (Si-1, Si-2, Si-3) y se aplica la siguiente técnica para su determinación:

- Agregar 5 mL con pipeta de agua destilada a un tubo de ensayo;
- Agregar 0,5 mL de la muestra preparada, con pipeta al tubo de ensayo;

- Agregar 4 gotas de reactivo Si-1 y mezclar;
- Añadir 2,0 mL de reactivo Si-2 y mezclar;
- Dejar reposar por 3 minutos para que se dé la primera reacción;
- Agregar 4 gotas del reactivo Si-3 y mezclar;
- Dejar en reposo por 2 minutos para que se dé la segunda reacción;
- Introducir la muestra en una cubeta de vidrio de 10 mm y medir en el fotómetro;
- Anotar los datos dados por el fotómetro.

Determinación de cloruros:

Se utilizó el kit de Merck basado en la Norma *US Standard Methods* y en la EPA 325.1 y utilizando un fotómetro NOVA para su medición; entre los reactivos que se utilizan están los iones cloruro (Cl-1, Cl-2); el procedimiento es el siguiente:

- Se agregan con pipeta 5 mL de muestra a un tubo de ensayo;
- Se agregan 2,5 mL de reactivo Cl-1 añadirlos con pipeta y mezclar;
- Luego agregar 0,5 mL de reactivo Cl-2 añadirlos con pipeta y mezclar;
- Dejar por tiempo de 1 minuto tapado el tubo de ensayo en reposo para que la reacción se lleve a cabo y se estabilice;
- Verter la muestra del tubo de ensayo a una celda de 10 mm y luego con el método de cloruros en el fotómetro realizar la medición;
- Anotar los datos que da el equipo en la pantalla.

Determinación de hierro:

Para poder realizar esta determinación de hierro se utiliza el kit de Merck basado en la Norma *US Standard Methods* y utilizando un fotómetro NOVA

para su medición; entre los reactivos que se utilizan están los iones hierro ($Fe^{-}$) y se utiliza la siguiente técnica para su determinación:

- Agregar 5 mL de muestra a un tubo de ensayo con pipeta;
- Luego añadir 3 gotas del reactivo Fe-1, tapar el tubo de ensayo y mezclar;
- Luego dejar en reposo por 3 minutos para que la reacción se lleve a cabo;
- Verter la muestra a una cubeta de 10 mm de vidrio y medir en el fotómetro.

Determinación de cloro total:

Para realizar esta determinación de cloro total, se utiliza el kit de Merck basado en la Norma *US Standard Methods* y utilizando un fotómetro NOVA para su medición; entre los reactivos que se utilizan están los iones cloruro (Cl-1, Cl-2) y se utiliza la siguiente técnica para su determinación:

- Agregar 10 mL de la muestra a un tubo de ensayo;
- Agregar una microcuchara del reactivo Cl2-1, añadir y agitar vigorosamente;
- Agregar 2 gotas del reactivo Cl2-2 y mezclar;
- Dejar por un minuto que repose la muestra para que se termine de llevar a cabo la reacción;
- Verter la muestra a una celda de vidrio de 10 mm y medir en el fotómetro;
- Anotar los datos dados por el equipo.

Determinación de sulfatos:

Se utilizó el *kit* de Merck basado en la Norma *US Standard Methods* y se utilizó un fotómetro NOVA para su medición; entre los reactivos que se utilizaron están los iones sulfato ($SO_3^{-1}$, $SO_3^{-2}$) y el procedimiento fue el siguiente:

- Añadir 5 mL de la muestra a un recipiente de medición;
- Añadir 2 gotas de reactivo $SO_3^{-1}$, y agitar por balanceo;
- Añadir 2 gotas de reactivo $SO_3^{-2}$, y agitar por balanceo;
- Colocar la pipeta de valoración suelta sobre el frasco de reactivo $SO_3^{-3}$, abierto.
- Tirar lentamente del émbolo de la pipeta de valoración desde la posición más baja, hasta que el borde inferior de la junta negra del émbolo coincida con la raya de marcado cero de la escala (aquí se llena solamente el tubo cuentagotas con solución valorante);
- Sacar la pipeta de valoración y rozar brevemente la punta del tubo cuentagotas para eliminar el exceso del líquido adherido. Lentamente y agitando por balanceo gotear luego la solución de valoración a la muestra, hasta que su color vire a azul. Poco antes de llegar al viraje de color esperar unos segundos después de cada gota;
- En el borde inferior de la junta negra del émbolo leer el valor de medición en ppm de sulfato de sodio ($Na_2SO_3$) en la escala de la pipeta de valoración.

Determinación de color:

Para este método se utilizó un espectrofotómetro Spectronic Genesys 20, alcohol absoluto y el procedimiento es el siguiente:

- Ajustar el espectrofotómetro usando alcohol absoluto como blanco, a una longitud de onda de 430 nm;
- Colocar en una celda la muestra y esperar a que no tenga burbujas para leer su absorbancia;
- Los datos se expresan en UIC (unidades de internacionales de color) y se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$UIC = Absorbancia*1000$$

Determinación de turbidez:

Se utilizó el turbidímetro *Hach Ratio* modelo 2100 N, viales o celdas para medición, silicón y paño. El procedimiento es el siguiente:

- Encender el turbidímetro, el tiempo para calentar es de aproximadamente 15 a 20 minutos;
- Verificar que el turbidímetro esté en la unidad de medida correcta (NTU);
- Trasvasar la muestra a un vial limpio, evitando las burbujas y llegando el nivel indicado por la línea del vial;
- Agregar aceite de silicón a la superficie del vial, limpiarlo con el paño para remover el exceso de aceite y las manchas de huellas digitales; sostener el vial de la parte de arriba;
- Colocar el vial con la muestra en el compartimiento y bajar la tapadera;
- Permitir que el instrumento se estabilice, luego leer y guardar el valor;
- Anotar los resultados expresados por el equipo.

Análisis microbiológico:

Para el análisis microbiológico se utiliza la técnica de filtración al vacío por membrana. El procedimiento es el siguiente:

- Se toma la muestra en frascos estériles;
- Luego se arma la unidad de filtración compuesta por un *kitasato*, el embudo, las pinzas y la bomba de vacío;
- En un disco filtrante estéril se pone en la unidad de filtración;
- Se hace pasar un volumen de 100 mL de la muestra por el disco filtrante; las bacterias serán detenidas en la superficie de la membrana;
- Se quita el disco filtrante con unas pinzas que se esterilizan anteriormente y esta membrana se coloca dentro del medio para coliformes, *Escherichia coli* o recuento total según corresponda; estos medios han sido hidratados previamente;
- Luego estos medios (cajas de Petri) se introducen en la incubadora y se dejan durante 24 horas para realizar la lectura de los medios.

Fuente: Manual de procedimientos del laboratorio de control de calidad de la empresa envasadora de bebidas.