



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN PARA AUMENTAR LA CALIDAD DEL
AGUA POTABLE ENTUBADA SUMINISTRADA EN EL SECTOR DE
SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**

Mariajosé Santizo Lemus

Asesorada por la Mtra. Martha Mercedes Paz Trujillo

Guatemala, abril de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN PARA AUMENTAR LA CALIDAD DEL
AGUA POTABLE ENTUBADA SUMINISTRADA EN EL SECTOR DE
SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIAJOSÉ SANTIZO LEMUS

ASESORADO POR LA MTRA. MARTHA MERCEDES PAZ TRUJILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA INDUSTRIAL

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Jerez Juarez
EXAMINADOR	Ing. Selvin Estuardo Joachin Juarez
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Federico Mijangos Martínez
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:

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN PARA AUMENTAR LA CALIDAD DEL
AGUA POTABLE ENTUBADA SUMINISTRADA EN EL SECTOR DE
SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 7 de agosto de 2021.

Mariajosé Santizo Lemus



EEPM-PP-0307-2022

Guatemala, 14 de enero de 2022

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

Estimado Ing. Urquizú

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **PROPUESTA DE UN SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN PARA AUMENTAR LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE ENTUBADA SUMINISTRADA EN EL SECTOR DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Sistemas Integrados de Gestión - Calidad**, presentado por la estudiante **Mariajose Santizo Lemus** carné número **201612273**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Gestión Industrial.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

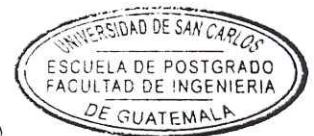
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Martha Mercedes Paz Trujillo
Ingeniera Industrial
Colegiado No. 15,407

Mtro. Martha Mercedes Paz Trujillo De Menendez
Asesor(a)

Mtro. Hugo Humberto Rivera Perez
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIMI-0307-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **PROPUESTA DE UN SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN PARA AUMENTAR LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE ENTUBADA SUMINISTRADA EN EL SECTOR DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA.** , presentado por el estudiante universitario **Mariajose Santizo Lemus**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.260.2022

La Decana 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 Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE UN SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN PARA AUMENTAR LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE ENTUBADA SUMINISTRADA EN EL SECTOR DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**, presentado por: **Mariajosé Santizo Lemus**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, abril de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por haberme dado la sabiduría y salud para completar esta etapa de mi vida.
Mi madre	Quien con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido cumplir una meta más.
Mi padre	Quien me demostró amor, apoyo y paciencia en todo momento. Celebro mi triunfo contigo, aunque tenga que ver hacia al cielo.
Mi hermana	Por estar para mí, creer en mí y demostrarme su amor y apoyo.
Mi novio	Por haber estado a mi lado en todo momento de la trayectoria de la carrera universitaria; por su amor y apoyo incondicional.
Mi familia	Por haberme dado su apoyo y motivarme cada día a seguir adelante.
Mis amigos	Por aconsejarme, apoyarme y motivarme en cada etapa del proceso.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por brindarme una educación de calidad.

Mis catedráticos

Por darme los conocimientos necesarios para desempeñar mi carrera como profesional.

**Mis mentores y
asesores**

Mtro. Martha Mercedes Paz Trujillo y Mtro. Hugo Humberto Rivera Pérez, por sus consejos, el apoyo que me brindaron para el desarrollo de mi trabajo y mi desenvolvimiento profesional y desarrollo humano.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. Descripción y contexto del problema	7
3.2. Preguntas de investigación.....	7
3.2.1. Formulación de pregunta central	7
3.2.2. Formulación de preguntas auxiliares	7
3.3. Delimitación del problema	8
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
5.1. General.....	11
5.2. Específicos	11
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN	13
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Historia de proceso de potabilización	17

7.2.	Posibles efectos en salud humana por consumir agua no adecuada	19
7.3.	Importancia de la potabilización del agua	20
7.4.	Control en el proceso de potabilización de agua.....	20
7.5.	Descripción del sistema de control de calidad	20
7.5.1.	Requisitos.....	22
7.5.2.	Elementos de un SGC.....	27
7.5.3.	Importancia de un SGC.....	29
7.5.4.	Beneficios de sistema de Gestión de Calidad	29
7.6.	Tipos de análisis de control de calidad.....	30
7.6.1.	Medición de Cloro Libre	30
7.6.2.	Análisis Físicoquímico	31
7.6.3.	Análisis Microbiológico	32
7.6.4.	Análisis de metales pesados en muestras de agua	33
7.7.	Descripción del sistema de aceptación o rechazo del servicio	35
7.8.	Descripción del sistema de control de muestras y mediciones	36
7.9.	Desempeño en el mercado	38
7.9.1.	Nivel de satisfacción de los clientes respecto al servicio prestado	38
7.10.	Costos relacionados a la calidad de un servicio vs. Beneficios esperados de la calidad.....	40
7.11.	Trabajo estandarizado.....	45
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO	47
9.	METODOLOGÍA	51

9.1.	Características del estudio	51
9.1.1.	Enfoque	51
9.2.	Alcance.....	51
9.2.1.	Diseño	52
9.3.	Unidad de análisis	52
9.4.	Variables.....	52
9.4.1.	Variable Independiente	52
9.4.2.	Variable Dependiente	53
9.5.	Fases del estudio	53
9.5.1.	Fase 1: Definir el problema.....	53
9.5.2.	Fase 2: Medir el rendimiento del sistema actual.....	53
9.5.3.	Fase 3: Analizar la información obtenida a partir de registros actuales.....	53
9.5.4.	Fase 4: Buscar oportunidades de mejora en el proceso.....	54
9.5.5.	Fase 5: Controlar los resultados obtenidos	54
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	57
11.	CRONOGRAMA.....	59
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	61
	REFERENCIAS	63
	APÉNDICES	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Esquema de solución	16
2. Esquema sistema de gestión de calidad	23
3. Clasificación de costos de calidad.....	41
4. Cronograma de avance trabajo de graduación	59

TABLAS

I. Parámetros permitidos en características químicas del agua para que esta sea apta para el consumo humano	31
II. Parámetros microbiológicos establecidos para la verificación de la calidad del líquido vital.....	33
III. Elementos metálicos cuya trazabilidad en el agua potable es dañina para la salud	34
IV. Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano.....	36
V. Presupuesto	61

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
pH	Grado de acidez
° C	Grado Celsius
m	Metro
m ³	Metro cúbico
%	Porcentaje

GLOSARIO

Calidad <i>Six Sigma</i>	Combinación de verificaciones de los requerimientos del cliente, reflejado en diseños robustos y en la capacidad de producir 3.4 defectos por millón de oportunidades de cometer un defecto.
Capacidad del proceso	La relativa habilidad de cualquier proceso para producir resultados consistentes, centrados sobre un valor deseado.
Característica	Definición o medida que representa a un proceso, producto o variable.
Características químicas del agua	Son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos orgánicos e inorgánicos.
Características microbiológicas del agua	Son aquellas que se originan por presencia de microorganismos que determinan su calidad.

Causa	Lo que produce un efecto o provoca una oportunidad.
Cloro residual	Parámetro que indica la concentración de cloro disuelto y químicamente disponible después de la cloración.
Control estadístico de procesos	Aplicación de métodos estadísticos y procedimientos relacionados a un proceso para normalizarlo.
Crítico de calidad	Un elemento de un diseño o característica, de una parte, esencial de la calidad perceptible en los ojos del cliente.
Defecto	Una falla que se opone a una característica de calidad o a una no conformidad de una especificación.
Defectos por millón de oportunidades	Número de defectos, dividido por el número de oportunidades de cometer un defecto, y multiplicado por un millón.

Diagrama *Ishikawa*

Diseño esquemático, usualmente representado en forma de espinas de pescado, la cual representa las principales causas, que encabezan un efecto. También es conocido como Diagrama Causa-Efecto o Diagrama de Pescado.

Distribución normal

Función de densidad continua simétrica respecto a la media, caracterizada por su forma de campana.

Efecto

Lo que produce una causa.

Gráficos de control

Gráfica que representa características de calidad, en relación con el tiempo dentro de límites naturales y tendencias centrales.

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.

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.

Nivel *Sigma*

Estimación estadística del número de defectos que se pueden producir en un proceso, equivalente a los defectos por millón de oportunidades de ese proceso.

PC

Punto crítico.

PCC

Punto crítico de control.

Programa de Análisis Mínimo

Los análisis en esta etapa de control son: a. Análisis microbiológico: coliformes totales y *Escherichia coli*; b. Análisis fisicoquímico: color, turbiedad, potencial de hidrógeno (pH), conductividad, cloro residual libre, cloruros, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro y manganeso totales.

Programa de Análisis Complementario

Comprende la ejecución del programa de análisis mínimo,

ampliado con: aluminio, cobre, arsénico, cadmio, cianuro, cromo total, mercurio total, plomo, selenio, cinc, sólidos totales disueltos y sustancias orgánicas (plaguicidas) que afectan la salud del consumidor.

Red de distribución

Hace referencia al conjunto de elementos compuestos de tuberías, válvulas e interconexiones que contribuyen a conducir agua a cada conexión domiciliaria.

Sigma

Desviación estándar. Una medida estadística basada en el análisis de la variación en una distribución normal de valores.

Variación

Cualquier diferencia cuantificable entre mediciones individuales, estas diferencias pueden clasificarse según su origen en causas comunes y causas especiales.

1. INTRODUCCIÓN

La calidad es parte del diario vivir de todo consumidor. A través de los años, los estándares que la delimitan se han vuelto cada vez más rigurosos, esto conlleva preferencia de clientes por el proveedor para que entregue el mejor producto a tiempo y a un costo justo; lo que puede convertirlo en líder en el mercado. Para lograr lo mencionado es necesaria la implementación de proyectos de optimización y control de calidad para asegurar resultados eficientes y eficaces.

En la industria de suministro de agua para consumo humano, los estándares y criterios para medir la calidad de esta son bastante estrictos. Un alto grado de variabilidad en indicadores de calidad de agua conlleva a descontento de clientes y costos elevados de producción, sin importar si la variable observada se encuentra dentro de los parámetros de control determinados por normas COGUANOR.

La variabilidad en procesos tiene efectos en la productividad de la producción, por lo que es importante la fijación de parámetros y controles requeridos para una producción óptima. Estos se establecerán mediante herramientas técnicas que proporciona la ingeniería. Con apoyo de normas nacionales e internacionales se buscará analizar las variables críticas de calidad para establecer un sistema de control para estas, garantizando que se cumplan requerimientos específicos en el producto final, eliminando elementos que no agreguen valor y facilitando el seguimiento de resultados.

2. ANTECEDENTES

La entidad para la cual se propone el desarrollo del trabajo de graduación fue constituida a finales del año 2014, con el objetivo de ofrecer a los guatemaltecos una alternativa para satisfacer una de las necesidades básicas del ser humano, el agua. En la actualidad la empresa cuenta con más de 12 instalaciones industriales, las cuales proveen con agua potable a diversos sectores de la ciudad capital. Conforme han transcurrido los años, la participación de la compañía ha crecido en el área metropolitana. Por tanto, la organización busca optimizar sus procesos para garantizar un uso adecuado y eficiente de recursos invertidos.

El agua es considerada un bien con doble valor para la raza humana, ya que además de ser un elemento fundamental dentro del ecosistema, también es un activo que contribuye al desarrollo integral de toda comunidad, promoviendo su sustentabilidad. Su calidad es una problemática que afecta la salud, así como a la estabilidad económica, política y social (Water, 2017). Actualmente en la empresa existe un grado de variabilidad en indicadores de calidad de agua potable suministrada, el cual conlleva a un aumento de los costos de producción, descontento de clientes y posible incumplimiento con normativas pertinentes al giro de la empresa.

Hernan Darío Rendón, en el libro Control Estadístico de Calidad (Grant, 1998) afirma que el control del proceso es utilizado para comprobar la calidad del producto, siendo este el resultado de la validación de las operaciones del proceso

se encuentra bajo control. Esto conlleva la inexistencia de causas de variación atribuibles al proceso que puedan requerir la utilización de acciones preventivas y correctivas. Se utilizan herramientas para esto, conocidos frecuentemente gráficos de control de proceso, con el fin de obtener una mejor eficiencia en el proceso de potabilización del agua.

El trabajo será regulado por normas nacionales e internacionales. En virtud de que el agua potable debe tener características de calidad apropiados para el consumo humano, se debe seguir estrictamente la norma COGUANOR NTG 29001:99. De manera complementaria, se tendrán en consideración los criterios contenidos en la serie de normas internacionales ISO 9000.

La Comisión Guatemaltecas de Normas – COGUANOR es el organismo nacional de normalización en Guatemala. Para el control y la supervisión de la calidad del agua debe acatarse lo descrito en la norma COGUANOR NTG 29001, la cual describe que, el agua apta para consumo humano o 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” (Ministerio de Economía, 1985). en cuanto a:

- Límites máximos aceptables y permisibles para las propiedades físicas, microbiológicas y químicas del agua.
- Frecuencias mínimas para el muestreo.
- Métodos para el análisis y muestreo.

La serie de normas ISO 9000, es una familia de normas desarrolladas por el Comité Técnico ISO/TC 176, el cuál es el responsable de desarrollar, emitir y difundir los documentos ISO sobre Gestión de la Calidad. En

la introducción a la norma, inciso 0.2 “Principios de la gestión de la calidad”, indica que entre dichos principios se puede incluir el enfoque al cliente, liderazgo, el enfoque a personas, mejora, decisiones basadas en hechos y evidencia, entre otros (Organización Internacional para la Estandarización, ISO, 2015).

Mirla Morales llevó a cabo un estudio para el “*Control de calidad del agua para consumo humano de la cabecera departamental de Jalapa municipio de Jalapa*”, a partir del cual buscó determinar si en el municipio de Jalapa, departamento de Jalapa, el agua potable es idónea para el consumo humano. Desarrolló una investigación teórica, evaluando así el agua potable en un laboratorio de análisis de muestras privado, así como en la Unidad de análisis de la Facultad de CCQQ y Farmacia. A partir de dicho estudio, se concluyó que no se le da el tratamiento de cloración adecuado a dicha agua, llevando esto a la proliferación de bacterias. Esto se determina a partir de análisis microbiológicos (coliformes totales y E. coli), al obtener resultados reveladores en muestras de cien mililitros del líquido vital, incumpliendo así con lo establecido por la norma COGUANOR 29001 (Morales Cameros, 2003).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Descripción y contexto del problema

Actualmente, existe un nivel de variación en las entradas y salidas del proceso de potabilización de agua. La causa de la variabilidad existente en tomas de muestra de hipoclorito de sodio dentro del sistema de control actual se origina posiblemente de errores humanos, mecánicos y químicos que afectan a la calidad del agua, lo cual conlleva a ineficiencia en el proceso de potabilización de agua dentro de la empresa, en especial en el área operativa.

3.2. Preguntas de investigación

El planteamiento del problema del trabajo de investigación se definirá con una pregunta central y preguntas auxiliares.

3.2.1. Formulación de pregunta central

¿De qué manera se puede optimizar el proceso de potabilización de agua en el área de operaciones de la empresa a manera de disminuir la variación en la calidad de esta en el sector de Santa Catarina Pinula, Guatemala?

3.2.2. Formulación de preguntas auxiliares

- ¿Cuál es el nivel de satisfacción actual de los clientes hacia el servicio suministrado?
- ¿Existen puntos críticos de control en el proceso actual y con qué frecuencia se deben de monitorear los parámetros establecidos?

- ¿Qué metodología puede ser utilizada para optimizar el proceso de potabilización de agua en el área de operaciones de la empresa?
- ¿Cuáles son los beneficios esperados tras la implementación de la metodología propuesta para optimizar el proceso de potabilización de agua en el área de operaciones de la empresa?

3.3. Delimitación del problema

Se realizará el análisis de cada una de las actividades del proceso de potabilización de agua dentro de la empresa, en el área de operaciones, el cual tiene como alcance las entradas y salidas de conformidad del producto bajo los parámetros establecidos. Se reconocerán las actividades que agregan valor al proceso para eliminar las restantes dentro del área de operaciones. Se deberá identificar las salidas no conformes en el proceso, para definir el tratamiento que se le deberá dar a este, y desarrollar la documentación necesaria para analizar las desviaciones en el proceso. Es importante conocer los requisitos de las partes interesadas para de ellos obtener un parámetro para medir la satisfacción de los usuarios.

4. JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso hídrico con doble valor para el ser humano, ya que además de ser un elemento del ecosistema, también es un activo social que contribuye al desarrollo sostenible de toda comunidad. Su calidad es una problemática que afecta a la salud, así como a la estabilidad económica, política y social. En la actualidad existe un grado de variabilidad en indicadores de calidad de agua potable suministrada, el cual conlleva a un aumento de los costos de producción, descontento de clientes y posible incumplimiento con normativas pertinentes al giro de la empresa.

El estudio surge por la necesidad de desarrollar un modelo de mejora continua para ser aplicado en el proceso de potabilización de agua, el cual busca incentivar el empleo de herramientas estadísticas y el pensamiento sistémico en la administración de las operaciones, a fin de mejorar conceptual y metodológicamente el proceso actual utilizado en la empresa. Con esto se pretende brindar a la organización un mejor panorama de su desempeño según estándares de la industria. Logrando con ello, beneficiar a la organización al llevar un mejor control en sus operaciones, haciendo que las mismas sean más acertadas y maximicen sus resultados.

El desarrollo del presente trabajo permitirá mejorar la lealtad del cliente, contribuir con la planeación estratégica y con la mejora de gestión del tiempo y de la cadena de suministro. Entre los beneficios que se esperan obtener son: procesos más eficientes y eficaces, aumento de la calidad del servicio prestado, eliminación de actividades que no agregan valor al resultado final, cambio cultural

positivo (*kaizen*), disminución de la variación en los métodos de trabajo y reducción de costos.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un sistema de optimización que disminuya la variabilidad en el proceso de potabilización de agua en el sector de Santa Catarina Pinula, Guatemala.

5.2. Específicos

- Conocer los requisitos de las partes interesadas y el nivel de satisfacción de los clientes del sector de Santa Catarina Pinula respecto a la calidad de agua que se les ha entregado para determinar las necesidades de estos.
- Encontrar las variables críticas de calidad en el proceso de potabilización de agua y delimitar los valores de los parámetros en los que estos deben de encontrarse.
- Diseñar un sistema de estandarización y sustentabilidad de la mejora esperada.
- Elaborar un análisis económico para cuantificar los beneficios esperados al momento de reducir variación en el proceso de potabilización de agua en el sector de Santa Catarina Pinula, Guatemala.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

La principal necesidad que se busca cubrir con la presente investigación es disminuir de manera significativa la variabilidad observada en el proceso de potabilización de agua suministrada en sectores de Santa Catarina Pinula, aumentando así la productividad del proceso productivo y disminuyendo costos por acciones de mejora.

El estudio surge por la necesidad de desarrollar un modelo de mejora continua para ser aplicado en el proceso de potabilización de agua, el cual busca incentivar el empleo de herramientas estadísticas y el pensamiento sistémico en la administración de las operaciones, a fin de mejorar conceptual y metodológicamente el proceso actual utilizado en la empresa. Con esto se pretende brindar a la organización un mejor panorama de su desempeño según estándares de la industria. Logrando con ello, beneficiar a la organización al llevar un mejor control en sus operaciones, haciendo que las mismas sean más acertadas y maximicen sus resultados.

El desarrollo del presente trabajo permitirá mejorar la lealtad del cliente, contribuir con la planeación estratégica y con la mejora de gestión del tiempo y de la cadena de suministro. Entre los beneficios que se espera obtener son: procesos más eficientes y eficaces, aumento de la calidad del servicio prestado, eliminación de actividades que no agregan valor al resultado final, cambio cultural positivo (*kaizen*), disminución de la variación en los métodos de trabajo y reducción de costos.

Un sistema de optimización requiere bases fundamentales, como lo son la estandarización de procedimientos metódicos, que en conjunto hacen un programa de prerequisites que garantizan el soporte para el funcionamiento eficiente y eficaz del sistema, el establecimiento e implementación de límites críticos de control de calidad en cada etapa del proceso, la capacitación ideal y constante del recurso humano aporta mayor confianza en cuanto a temas de calidad e inocuidad en el proceso de potabilización de agua. Todos estos aspectos serán el pilar para la planificación de la elaboración del presente estudio, por dicho motivo se definen las fases en las que se dividirá el mismo:

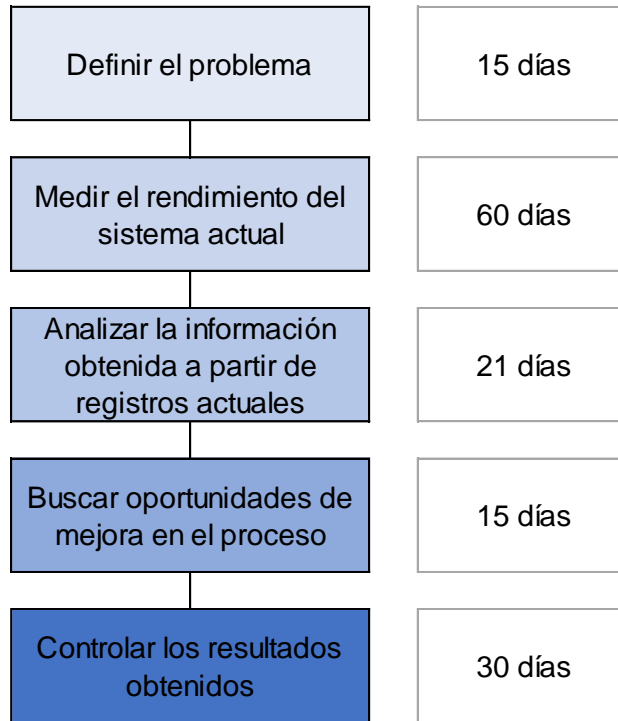
La metodología consta de 5 fases:

- Definir el problema: esta etapa consiste en entender el problema y los requerimientos del cliente, lo cual es vital para establecer el alcance del proceso que se analiza y el criterio con el cual se cuantificará su mejora, se prevé un tiempo estimado de realización de 21 días.
- Medir el rendimiento del sistema actual: consiste en definir y medir indicadores clave del desempeño del proceso para determinar su rendimiento actual. Para dicha medición se estima un tiempo de 75 días.
- Analizar la información obtenida a partir de registros actuales: implica analizar los datos estadísticamente y con base en ello encontrar la causa raíz del problema. Se tiene un tiempo estimado de realización de 21 días.
- Buscar oportunidades de mejora en el proceso: se identifican las etapas del proceso que se pueden mejorar y se crean soluciones, que puedan eliminar o minimizar la causa raíz del problema, se prevé un tiempo estimado de realización de 21 días.

- Controlar los resultados obtenidos: es el plan de implantación de soluciones y un plan de control de procesos que nos asegure que las condiciones del nuevo proceso estén documentadas y monitoreadas de manera estadística con los métodos de control del proceso, se prevé un tiempo estimado de realización de 45 días.

El desarrollo de todas las fases tiene un tiempo estimado para su desarrollo de 183 días calendario. La integración de las fases establecidas anteriormente puede generar un gran impacto en las industrias, el cual influye directamente en la productividad y en la cultura organizacional, obteniendo resultados significativos a corto, mediano y largo plazo. El objetivo principal del estudio es mejorar la calidad de acuerdo con los requerimientos del cliente, eliminando el desperdicio.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

7. MARCO TEÓRICO

El término calidad del agua es referente y dependerá del uso que se le dará a la misma. Se considera agua para consumo humano de calidad a aquella que cumple con los límites de concentración establecidos por las normas internacionales de calidad de agua para consumo humano (OPS, 2005). El sistema de control de calidad de agua dentro de una empresa consiste en una serie de actividades que tienen como fin garantizar que el agua para consumo humano cumpla con requisitos que establezca la normativa vigente. Sus fases principales son la planificación, aplicación y verificación de los resultados, para formular y aplicar las medidas correctivas necesarias.

En Guatemala al agua se le considera de calidad para el consumo humano, solamente si satisface los requisitos establecidos en la norma de la Comisión Guatemalteca de Normas (COAGUANOR NTG 29001, 2010), Agua para Consumo humano (agua potable). Según lo establecido en la Norma COGUANOR 29001, el agua idónea para consumo humano, también conocida como agua potable, es aquella que, por sus propiedades químicas, físicas, organolépticas y bacteriológicas, no representa ningún riesgo en términos de la salud del consumidor y cumple con que se establece en la norma referida (Ministerio de Economía, 1985).

7.1. Historia de proceso de potabilización

Como hemos mencionado anteriormente, el agua desde su inicio ha sido considerada como fundamental en el diario vivir de los seres humanos, es por

ello que, durante años ha existido un cambio notable en la misma para buscar su mejora.

En un inicio cuando la población humana era reducida, nuestros ancestros recolectaban el agua directamente de las fuentes naturales como lo son los mares, lagos y ríos sin temer a la contaminación, únicamente se preocupaban de su forma de transporte y así llevarla a su vivienda de forma regular. Debido al aumento de la población y a la contaminación, consumir de estas fuentes naturales puede y debe considerarse sumamente peligroso para la salud del ser humano. Como resultado se toma la decisión de crear pozos para el almacenamiento del agua por medio de canales sencillos de rocas y arena.

Conforme a los años, la cantidad de personas seguía aumentando significativamente, lo cual hacía casi imposible seguir utilizando las mismas técnicas ya que no contaban con el agua suficiente para sus comunidades. Por lo cual se vieron en la necesidad de implementar un nuevo método a través de la utilización de tubería que alimentará su pozo para luego potabilizarla al momento de hervirla, calentarla de forma natural con la luz y calor proveniente del sol o incluso introduciendo un trozo de hierro caliente a la misma para poderla filtrar por medio de arena posteriormente.

Años más tarde John Gibb implementó el primer sistema de suministro de agua potable en Escocia, pero debido a que no era muy reconocido y no contaban con muchos sistemas de suministro, su avance no fue considerado muy importante (Lenntech, 2021). A causa de esto, 27 años después James Simpson implementó una metodología más factible y creó el primer filtro para agua potable a nivel mundial por medio de la utilización de arena, piedras, carbón activo y otros elementos indispensables para su filtración.

7.2. Posibles efectos en salud humana por consumir agua no adecuada

El agua es considerada de suma importancia para la salud pública, ya que no es utilizada únicamente como una bebida natural, sino también se requiere a nivel mundial para la preparación de alimentos y para la recreación de los seres humanos (OMS, 2019).

El agua puede ser extremadamente peligrosa cuando se contagia de microbios proveniente de los desechos humanos, o sustancias tóxicas de residuos por productos químicos agrícolas, industriales, de minerías o incluso basureros (OXFAM Intermón, 2018). A pesar de que se cree que el agua es potable, existe una contaminación en la misma haciéndola no apta para consumo humano, la población puede sufrir enfermedades transmitidas por la misma como:

- Hepatitis de tipo A
- Diarrea
- Infecciones Urinarias
- Cáncer
- Giardiasis
- Fiebre Tifoidea
- Cólera
- Leptospirosis
- Paludismo
- Esquistosomiasis
- Poliomielitis

7.3. Importancia de la potabilización del agua

El procedimiento de la potabilización del agua es tratarla con la finalidad que el ser humano pueda hacer uso de ella sin tener el temor de contraer alguna enfermedad debido al consumo de esta a corto o largo plazo. Usualmente, consiste en eliminar sustancias tóxicas como los sería el plomo, zinc o incluso alguna bacteria o virus que ponga en riesgo la salud del consumidor.

Aun cuando tomamos por seguro que el agua es bebible, debemos recordar que es un proceso sumamente necesario a nivel mundial y que es una metodología que se ha desarrollado durante años para así enriquecer la calidad de vida y alargar la misma (Escuela de Postgrado Ingeniería y Arquitectura, 2020).

7.4. Control en el proceso de potabilización de agua

El proceso de potabilización de agua en la empresa inicia en el manto acuífero, cuando es transformada para que sus características sean adaptadas al modelo de calidad establecido, esto con el fin de cumplir con requisitos bacteriológicos, fisicoquímicos y de metales pesados. Actualmente la empresa está en el proceso de implementación del sistema de gestión integral basado en los requisitos de las normas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018, en busca de la estandarización y optimización de sus procesos en términos de calidad, ambiente, salud y seguridad ocupacional respectivamente.

7.5. Descripción del sistema de control de calidad

El control de calidad dentro de una empresa se refiere al conjunto de acciones, herramientas o instrumentos que tienen como objeto la identificación

de variaciones en los procesos desarrollados, buscando asegurar la homogeneidad en el producto o servicio, procurando que este no llegue con características fuera de los estándares a los clientes. Documenta las responsabilidades, procedimientos y los procesos para lograr las políticas y los objetivos de la calidad.

El trabajo será regulado por normas nacionales e internacionales. Debido a que el agua potable debe tener características de calidad adecuada para el consumo humano, se debe seguir estrictamente la norma COGUANOR NTG 29001:99. De manera complementaria, se tomarán en cuenta criterios contenidos en la norma ISO 9001:2015, dentro del capítulo 8 de la misma.

Un sistema de gestión de calidad y su respectiva integración son consideradas en conjunto como una decisión estratégica para la compañía ayudando a la mejoría de su ejecución global y así poder proporcionar una base sólida para las iniciativas relacionadas al desarrollo sostenible. Algunos de los beneficios que obtiene una compañía que quiere implementar un sistema para gestión de la calidad son:

- Capacidad para ofrecer y suministrar servicios y productos que cumplan con los requerimientos del cliente, aparte de los legales y reglamentarios aplicables.
- Facilitan las oportunidades de aumentar y diversificar la satisfacción del cliente.
- Abordar oportunidades y riesgos relacionados con el contexto y objetivos de la organización.
- Mayor capacidad de demostrar la conformidad con requisitos específicos con sistemas de gestión de calidad especificados.

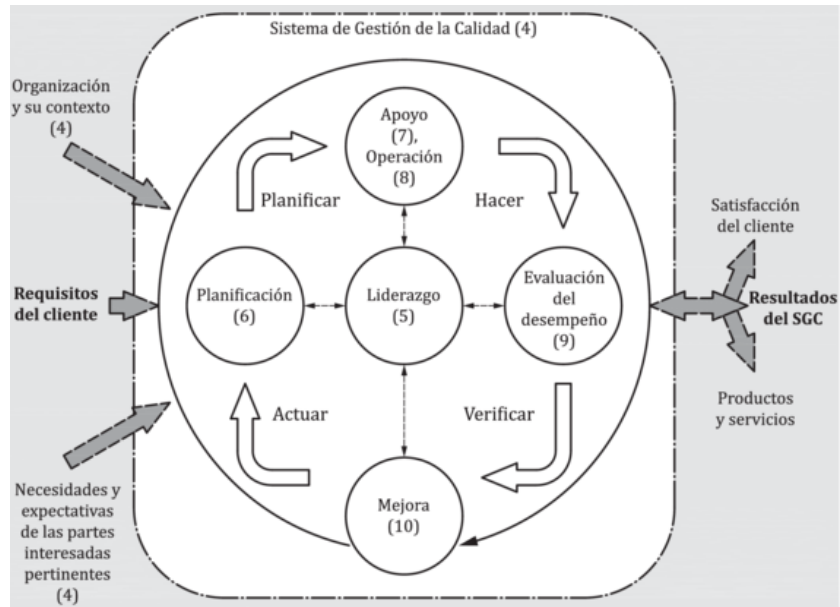
7.5.1. Requisitos

La norma ISO 9001:2015 radica en los fundamentos de un SGC. En la introducción a la norma, inciso 0.2 “Principios de la gestión de la calidad”, define que estos son el enfoque al consumidor, liderazgo, enfoque a personas, mejora, decisiones tomadas en base a hechos y evidencias, entre otros. Los principios de calidad que la norma menciona son:

- Orientación al consumidor.
- Mejora.
- Liderazgo.
- Empeño de los colaboradores y partes de interés.
- Enfoque a procesos.
- Decisiones tomadas en base a hechos y evidencia.
- Relaciones íntegras.
- Enfoque a procesos con el propósito de incrementar la satisfacción de los diversos consumidores, alcanzando así sus expectativas.

Se puede decir que un proceso es el conjunto de entradas que se transforman por medio de la realización de actividades para generar salidas que agreguen valor a las partes involucradas. El enfoque a procesos se genera mediante el ciclo de PHVA: planear, hacer, verificar y actuar. Dicho ciclo se puede aplicar a la mayor parte de los procesos y al sistema de gestión para la calidad como un conjunto.

Figura 2. Esquema de un SGC



Fuente: Organización Internacional para la Estandarización, ISO. (2015). *ISO 9001:2015 Sistemas de Gestión de Calidad, Requisitos.*

En el gráfico anterior se observa cómo se integran los distintos procesos administrados y el ciclo PHVA con cada capítulo de la normativa internacional en cuestión. El inciso 0.3 de la norma referida, “Enfoque a procesos”, hace mención del ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar; es posible aplicar este ciclo a la mayor parte de los procesos y al sistema de gestión para la calidad.

- Planificar: en esta etapa del ciclo se tiene que constituir un sistema y sus procesos con objetivos claros que lo integran, así como los recursos y demás medios imprescindibles para originar y ofrecer resultados acordes con los requerimientos y las necesidades del consumidor como con las políticas de la institución, para así identificar y afrontar las oportunidades y riesgos involucrados.

- Hacer: implementar lo planificado, verificar, realizar el seguimiento, así como realizar la medición de los productos, servicios y procesos resultantes respecto a las actividades, requisitos, objetivos y políticas planificadas. Se deberá informar respecto a los resultados.
- Verificar.
- Actuar: tomar decisiones para mejorar el desempeño y rendimiento de los procesos cuando esto sea necesario.

Otro de los componentes de la norma mencionada con anterioridad, es el juicio basado en riesgos (tanto positivos como negativos). Afrontar las oportunidades de mejora, así como los riesgos, establecen una base para incrementar la eficiencia y eficacia del SGC, prevenir efectos negativos en los clientes respecto a los productos y servicios ofrecidos, además de poder mejorar los resultados.

La norma internacional ISO 9001:2015 tiene diez cláusulas, las cuales se enlistan a continuación:

- Objeto de la aplicación
- Referencias de la normativa
- Definiciones y términos
- Contexto de la organización – la cláusula se centra en cuatro aspectos
 - Comprender la organización, así como todo aquello que la hace propia interna y externamente
 - Definir las partes interesadas, para delimitar y entender sus necesidades, requisitos y expectativas, definiendo en qué medida se desea que el sistema cumpla con estas.
 - Determinar el alcance del sistema, este debe establecer los tipos de servicios o productos cubiertos, los resultados a fin de lograr que el cliente esté satisfecho.

- Determinar los procesos involucrados dentro del SGC, identificando cada uno de ellos, las actividades o partes que conformen las entradas y salidas, la intervención y secuencia entre cada uno de ellos, los criterios que aseguran para que la operación y control de estos procesos sea de manera eficaz, los medios que todos ellos requieren para desempeñar sus funciones de una mejor forma, la autoridad y responsabilidades de las partes que ejecutan las actividades de cada proceso individualmente, como se abordan los riesgos y oportunidades de todos ellos, la forma de evaluar los procesos e implementar los cambios requeridos para garantizar que se logren los resultados que se esperan en todos los procesos en estudio.
- Liderazgo de la alta dirección, demostrando ellos un compromiso con el sistema, en cada aspecto que lo conforman. Promueven a la organización a estimar las necesidades de los clientes. Es fundamental establecer una política de calidad que sirva como base para definir los objetivos.
- Planificación de acciones para afrontar los riesgos y que estos se conviertan en oportunidades. Para ello, se busca disminuir los efectos indeseados y aumentar los que sí son deseados por las distintas partes interesadas.
- Apoyo de los siguientes aspectos
 - Recursos necesarios para desarrollar cada proceso
 - Recurso humano apto.
 - Infraestructura idónea.
 - Ambiente.

- Elementos para dar seguimiento a los procesos y asegurarse que se obtengan los resultados esperados.
 - Calibración
 - Trazabilidad
 - Conocimiento de la organización.
 - Personas competentes en su trabajo.
 - Toma de conciencia del personal, asegurándose que todos los colaboradores conozcan la política para la calidad, sus objetivos, su contribución hacia el sistema de gestión y las consecuencias e implicaciones de variaciones en dicho proceso.
 - Qué, cómo, a quién y cuándo comunicar la información.
 - Documentación de información para respaldo de los esfuerzos. Esta debe ser actualizada, controlada y presentada a las partes involucradas.
- Operación de los procesos. Durante esta fase se deben diseñar los procesos, considerando la disponibilidad de recursos que sirvan como entradas de este. Se deben determinar los controles que se implementaran para medir la conformidad de los resultados.
- Evaluación del desempeño, conocer los requisitos previos y estar atentos si las necesidades de los clientes cambian y se pueda ver reflejado en la productividad del proceso.
- Mejora.

Las primeras tres proporcionan aspectos generales y básicos de la norma. El resto de ellas, ofrecen requisitos específicos que se deben, pueden o podrían cumplir. Es fundamental que la corporación mejore, mantenga, establezca e

implemente continuamente un SGC, incluyendo los procesos requeridos y sus respectivas interacciones.

A nivel nacional se cuenta con la comisión Guatemaltecas de Normas – COGUANOR, un organismo de normalización en Guatemala que promueve la estandarización. Para la vigilancia y control de la calidad del agua debe acatarse lo establecido en la norma COGUANOR NTG 29001; agua para el consumo del ser humano, en relación con:

- Límites máximos aceptables y permisibles para las características físicas, químicas y microbiológicas del agua.
- Frecuencias mínimas para el muestreo.
- Métodos para el muestreo y análisis.

Un SGC es aquel que tiene como objetivo principal la identificación y evaluación de las causas críticas que conllevan al incumplimiento de requisitos. Contiene la delimitación de medidas preventivas necesarias para evitar, controlar o minimizar dichas causas de incumplimiento. El proceso de adaptación se realiza mediante la mejora continua, es en el cual se hace todo lo posible para que el proceso sea tan productivo como lo permitan los recursos disponibles, así como la calidad de los beneficios que se pretenden.

7.5.2. Elementos de un SGC

Los procesos utilizados con el objetivo principal de lanzar al mercado productos de alta calidad que cumplan y satisfagan las expectativas y necesidades de sus consumidores, son creados por cada empresa al mando. Actualmente, existen 9 elementos centrales que ayudan a crear un proceso de

manera más organizada y entendible para los trabajadores (Koneggui, 2020). A continuación, se darán a conocer cada uno de ellos:

- **Objetivos de Calidad.**
 - Los objetivos de calidad ayudarán a darle un propósito a la empresa y establecer una cultura para los clientes potenciales.
- **Estructura Organizacional y Responsabilidades.**
 - Se debe de incluir guías visuales como lo serían las gráficas o diagramas de flujo que establezcan la responsabilidad de todos los trabajadores de la empresa así mismo su posición a nivel jerárquico.
- **Gestión de Datos**
 - Se consideran de alta importancia ya que son utilizados para mejorar continuamente dentro de la organización, asimismo como para actividades preventivas de control.
- **Procesos.**
 - Deben de crear una imagen clara sobre su finalidad, qué instrumentos se deben de utilizar en cada paso y su organización.
- **Satisfacción del Cliente con la calidad del Producto.**
 - Monitorear de manera constante la satisfacción del cliente sobre las inquietudes o inconformidades, así como los comentarios positivos para seguir mejorando el producto.
- **Mejora Continua.**
 - Diseñar procesos para mejorar cualquier imperfección del producto y seguir satisfaciendo las necesidades de los usuarios.
- **Instrumentos de Calidad.**
 - Son consideradas como las herramientas utilizadas en el proceso de fabricación de un producto y asegurarnos que estos sean duraderos para el cliente.
- **Control de Documentos**

- Organizar de la manera más factible la búsqueda de documentos utilizados en el proceso de la creación de un producto.

7.5.3. Importancia de un SGC

Es altamente importante implementar un SGC debido a que este último permite a la organización o empresa definir de una manera más clara cuáles son las necesidades de los clientes para determinar cuál será la secuencia de actividades a seguir; para así crear o innovar un producto que cumpla con las expectativas. Asimismo, es útil para la reducción de las improvisaciones en la empresa logrando utilizar los recursos materiales y humanos más eficientemente.

7.5.4. Beneficios de sistema de Gestión de Calidad

El uso de un SGC puede resultar beneficioso para la organización en diversos ámbitos, ya que los procesos se gestionan para ser implementados de manera más productiva y para los empleados como un estimulante para mejorar su trabajo y así poder seguir en con sus atribuciones por un periodo más largo o a cambio de algo atractivo para ellos (ORFIS, 2021). Algunos de los beneficios serán mencionados a continuación:

- Trabajar con orden y limpieza.
- Prevenir errores o incongruencias.
- Optimización de los recursos y el tiempo.
- Mayor satisfacción hacia los clientes.
- Comunicación más eficiente a nivel jerárquico.
- Empleados con actitud de servicio para así impulsa el crecimiento personal.
- Detectar distracciones.

- Mejorar los niveles de eficacia y eficiencia.

7.6. Tipos de análisis de control de calidad

Los métodos de control de calidad son considerados procedimientos utilizados con la finalidad de aumentar la vida útil de un producto y así poder satisfacer la necesidad del cliente de una forma más efectiva desde el momento de fabricación y así poder prevenir cualquier defecto en el producto antes de ser entregado.

El análisis de control para la calidad del agua es actualmente una prioridad importante en Guatemala. Resultados analíticos precisos dan como resultado conclusiones válidas sobre la calidad de los diferentes tipos de agua y los riesgos relacionados con el consumo humano. Es por ello por lo que ofrecer un servicio de agua de calidad, tiene impactos significativos en la valoración del estado del medio ambiente o la calidad del agua suministrada. Para ello se utilizan distintos análisis de laboratorios certificados, entre los cuales está la medición de cloro libre, análisis fisicoquímicos, microbiológicos, de metales pesados, entre otros.

7.6.1. Medición de Cloro Libre

El cloro es el compuesto químico más utilizado en el mundo durante el proceso de desinfección de agua, esto debido a su relativamente fácil dosificación y manipulación. Este se consume a medida que los microorganismos en el agua son destruidos. Se le conoce como cloro libre al remanente después de que reaccione en el proceso de desinfección de agua. Los parámetros aceptados por la norma COGUANOR 29001 en el punto de entrega al cliente son de 0.50 a 1.00 ppm.

7.6.2. Análisis Fisicoquímico

La calidad fisicoquímica del agua para el consumo del ser humano se basa en la comparación de los resultados que se obtienen de los análisis con los establecidos en los valores de referencia, a los cuales no deben exceder. En el caso de Guatemala, los datos resultados de las pruebas deben cotejar con los que establece la norma COGUANOR NTG 29001, cuyas especificaciones establecen que para que el agua analizada sea de calidad, químicamente hablando, los valores obtenidos en campo deben ser inferiores a los establecidos en dicha norma.

Tabla I. **Parámetros permitidos en características químicas del agua para que esta sea apta para el consumo humano**

Propiedades	LMA	LMP
Cloro libre residual	0.5 mg/L	1.0 mg/L
Cloruro	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Dureza total	100.000 mg/L	500.000 mg/L
Sulfato	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Temperatura	15.0 ° C – 25.0 ° C	34.0 ° C
Aluminio	0.050 mg/L	0.100 mg/L
Calcio	75.000 mg/L	150.000 mg/L
Cinc	3.000 mg/L	70.000 mg/L
Cobre	050.000 mg/L	1.500 mg/L
Magnesio	50.000 mg/L	100.000 mg/L

Continuación tabla I.

Manganeso total	0.1 mg/L	0.04 mg/L
Hierro total	0.3 mg/L	-
1. El límite máximo aceptable del cloro residual libre deberá ser de 0.5 mg/L en los puntos más lejanos del sistema de distribución, esto con el fin de eliminar casi en su totalidad la presencia de Escherichia coli y coliformes totales.		

Fuente: Ministerio de Economía (2010). *Norma Técnica Guatemalteca NTG 29001*.

7.6.3. Análisis Microbiológico

Para conocer si una muestra de agua es de calidad, es necesario que se le realicen análisis microbiológicos en un laboratorio autorizado y de confianza para que este indique la presencia de microorganismos de contaminación fecal, total y de E. coli. La presencia de este último es un indicador de contaminación fecal en la fuente de agua.

Si a partir de dicho análisis se determina contaminación microbiológica en la muestra, se le deberán realizar más pruebas para determinar la presencia de protozoos, microorganismos y virus, que son resistentes a la desinfección y que pueden ser los causantes de enfermedades de tipo viral y parasitario en los seres vivos (OMS, 2006). En la tabla II, se enlistan los microorganismos que pueden estar presentes en el agua, así como los límites máximos permisibles especificados en la norma para garantizar que el líquido vital es apto para su consumo (COGUANOR NTG 29001, 2010).

Tabla II. **Parámetros microbiológicos establecidos para la verificación de la calidad del líquido vital**

Microorganismos	LMP
Agua para ser ingerida E. coli y coliformes totales	Deben de ser no detectables en muestras de 100 ml del líquido.
Agua que ingresa a un sistema de distribución tratado E. coli y coliformes totales	Deben de ser no detectables en muestras de 100 ml del líquido.

Fuente: Ministerio de Economía (2010). *Norma Técnica Guatemalteca NTG 29001*.

7.6.4. Análisis de metales pesados en muestras de agua

Este se lleva a cabo con el fin de detectar elementos químicos en el agua que pueden causar efectos negativos a la salud de los seres vivos, incluso si fuera en bajas concentraciones. Es importante destacar que esto incluye componentes como el aluminio, arsénico, bario, boro, cadmio, el cromo, cobalto, el cobre, níquel, la plata, el mercurio, cadmio, plomo, selenio, el titanio y el zinc.

Dichos elementos químicos pueden tener ser de origen natural o incluso pueden llegar a tener un origen antropogénico, como resultado de acciones humanas. Dichos elementos pueden ser encontrados naturalmente dentro de la corteza terrestre en el medio ambiente. Sin embargo; pueden llegar a convertirse en contaminantes si su distribución y estado en el medio ambiente es alterado por el uso y desecho inadecuado de residuos metálicos, lo cual ocasiona contaminación del suelo, subsuelo, aguas superficiales (océano, lagos, lagunas, ríos, etc.), así como de aguas subterráneas (cuenca hidrogeológica como tal).

Realizar análisis de metales pesados en muestras de agua es fundamental y sumamente necesario, ya que la contaminación por estos puede ocasionar diversos efectos dañinos a la salud de seres vivos, según la sustancia específica. El nivel de toxicidad de dichas sustancias dependerá de forma directa de la naturaleza de esta, la estructura química y volumen en el que esta se encuentre. Este tipo de análisis es realizado de forma semestral por un laboratorio externo. Dentro del contenido de la tabla III, se encuentran enlistados los elementos metálicos cuya presencia en el agua es significativa de forma negativa para la salud, paralelamente los límites permisibles máximos contenidos dentro de la norma (COGUANOR NTG 29001, 2010).

Tabla III. **Elementos metálicos cuya trazabilidad en el agua potable es dañina para la salud**

Substancia	LMP (mg / litro)
As - Arsénico	0.01
Ba - Bario	0.70
B- Boro	0.30
Cd - Cadmio	0.003
CN- Cianuro	0.070
Cr - Cromo total	0.050
Hg - Mercurio total	0.001
Pb - Plomo	0.010
Se - Selenio	0.010
NO ₃ -Nitrato	50.0
NO ₂ -Nitrito	3.0

Fuente: Ministerio de Economía (2010). *Norma Técnica Guatemalteca NTG 29001*.

7.7. Descripción del sistema de aceptación o rechazo del servicio

Según el uso que se tenga previsto darle al agua, serán los requerimientos de calidad exigidos a esta. Generalmente, la calidad del líquido vital se juzga según el grado en el que una muestra de esta se ajuste a los estándares microbiológicos, físicos, y químicos parametrizados dentro de normas de carácter nacional e internacionales competentes para esto. Es importante tener en cuenta los requerimientos de calidad establecidos por las partes interesadas involucradas, para cada uso que se le pueda dar al líquido, con el fin de determinar si se el agua requerirá tratamiento, así como los procedimientos y procesos que se le deben aplicar al agua para alcanzar el nivel de calidad deseado por el consumidor.

Los parámetros de calidad fijados por normas COGUANOR son utilizados para controlar el proceso de potabilización de agua y corregirlo de ser necesario. La calidad del agua se evaluará ensayando y analizando atributos físicos, químicos, microbiológicos y de metales pesados. Es necesario que los análisis destinados a evaluar dichas sustancias cuenten con aceptación legal nacional a fin, obteniendo de esta forma estándares a los cuales se pueda posiblemente realizar comparaciones.

Las características físicas especificadas en la norma COGUANOR NTG 29001, así como los límites aceptables y permisibles máximos son enlistadas dentro de la tabla IV, titulada: Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano.

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

Atributos	LMA	LMP
Color	5	35
Fragancia	NR	NR
Turbiedad	5 UNT	15 UNT
Conductividad eléctrica	750 μ S/cm	1500 μ S/cm
Potencial de hidrógeno	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5
Sólidos totales disueltos	500.0 mg/L	1000.0 mg/L

1. Se utiliza la escala platino-cobalto para el color.
2. Los límites de los diversos atributos fueron establecidos a una temperatura de veinticinco grados Celsius.

Fuente: Ministerio de Economía (2010). *Norma Técnica Guatemalteca NTG 29001*.

7.8. Descripción del sistema de control de muestras y mediciones

Este sistema se basa en inspecciones por variables aleatorias; estas son realizadas dos veces al día. Esto con el objetivo de examinar y medir las propiedades del agua, con el fin de poder verificar si se encuentra o no dentro de los rangos especificados en los requisitos, lo cual servirá para confirmar que el sistema funciona de manera óptima para la calidad controlada.

En general, el uso generalizado de un método de muestreo o analítico, su aparición en estándar metodológico ya sea internacional o nacional, indica que es un medio confiable de muestreo o análisis. Este hecho tiende a respaldar la confiabilidad de los resultados reportados. El uso de una técnica poco conocida obliga al usuario de datos a cuestionar la idoneidad y validez de los resultados.

La necesidad de estandarizar los métodos o utilizar métodos estandarizados dentro de una empresa es evidente. Métodos uniformes entre las muestras que se toman son importantes para eliminar la metodología como una variable en comparación, o uso conjunto de datos. La uniformidad de los métodos es particularmente importante cuando los laboratorios están proporcionando datos a un conjunto de datos común, banco, o cuando varios laboratorios están cooperando en estudios de campo conjuntos. La falta de estandarización de métodos plantea dudas sobre la validez de los resultados reportados. Si el mismo constituyente se mide mediante diferentes procedimientos analíticos dentro de un único laboratorio, o en varios laboratorios, se plantea la cuestión de qué procedimiento es superior, y por qué no se utiliza el método superior.

La selección de un método analítico debe hacerse mediante consideraciones cuidadosas. Por ejemplo, los métodos físicos y químicos para el monitoreo deben ser seleccionados por los siguientes criterios:

- El método debe medir el componente deseado con precisión y exactitud. Y debe satisfacer las necesidades de datos incluso en presencia de interferencias que pueden encontrarse en las muestras.
- El procedimiento debe utilizar el equipo y las habilidades disponibles en el laboratorio.
- Los métodos seleccionados deben estar en uso para que los métodos estén debidamente validados.
- El método debe ser suficiente para producir los resultados de la medición dentro del marco de tiempo requerido.

7.9. Desempeño en el mercado

El mercado objetivo es aquel grupo de personas de una misma área geográfica y de un nivel socioeconómico parecido, pero no necesariamente igual. Existen variables que pueden ayudar a obtener una idea más clara de cuál sería el mercado, esas variables serían: edad, sexo, ocupación, residencias o incluso ocupación. Es importante que la empresa tenga claro cuáles son los indicadores de desempeño que marcan la evolución en su proceso, así como el cumplimiento de las metas y objetivos estratégicos. Estos indicadores permiten identificar y valorar el aporte del sistema de optimización a la organización. El indicador de desempeño utilizado por la empresa es la cantidad de m³ de agua potable vendida mensualmente, así como la cantidad de reclamos recibidos en el área de servicio al cliente.

7.9.1. Nivel de satisfacción de los clientes respecto al servicio prestado

El éxito de su empresa es directamente proporcional al grado de satisfacción de sus clientes. El puntaje de satisfacción de un cliente es un determinante crítico que muestra cuán inconcebible será su lealtad. El nivel de ventas que posea una empresa impulsa el éxito de la misma, sin embargo, la satisfacción del cliente potencia en gran parte el desempeño que la organización pueda tener en el mercado. Un cliente cuyas expectativas fueron satisfechas volverá a adquirir el servicio que ofrece la empresa y posiblemente lo recomiende, contribuyendo así a la generación de nuevas ventas. Bajo ese punto de vista se establecen cuatro niveles de satisfacción del cliente, los cuales son:

- Nivel uno: cumplir las expectativas que tenga el cliente. Poseer la capacidad de satisfacer las expectativas de sus clientes es un requisito básico y mínimo para la sostenibilidad una empresa en el mercado. En

este nivel, el cliente se encuentra conforme con el servicio que le ha sido prestado; no tiene ningún reclamo respecto a este ni algún valor agregado que pueda generar lealtad. En el momento en el que surja un competidor que ofrezca un servicio similar y se esfuerce en más que cumplir las necesidades del cliente, se pierde la oportunidad de retener al mismo.

- Nivel dos: superar las expectativas que tenga el cliente. Una entidad se puede ubicar en el segundo nivel si cuenta con un proceso de servicio al cliente amigable, enfocado en brindar soluciones flexibles y en encuestas de satisfacción. El exceder las expectativas básicas fomentará la retención de clientes y ayudará a largo plazo a incrementar la rentabilidad de la empresa. Un usuario que ve que sus expectativas serán superadas estará dispuesto a pagar más y a recomendar el servicio con personas de su entorno.
- Nivel tres: deleitar a sus clientes. En el tercer nivel, el cliente percibe no solo que sus expectativas básicas se han cumplido y superado, sino que la empresa también ha mostrado genuino interés en satisfacer sus requerimientos. En esta etapa se genera lealtad y le será difícil a la competencia poder ganar mayor participación en el mercado. Deleitar a los clientes no siempre conlleva costos elevados para la organización, pero sí asegura un incremento de ingresos para la misma.
- Nivel cuatro: Sorprenda a sus clientes. Éste es el nivel superior de satisfacción del cliente. Frecuentemente está relacionado con obtener descuentos, códigos promocionales especiales y programas de fidelización. El agregar un grado de personalización al prestar el servicio ayudará a que la empresa avance en la jerarquía de satisfacción

establecida por el cliente y se esforzará por obtener una mejor y mayor lealtad a la marca.

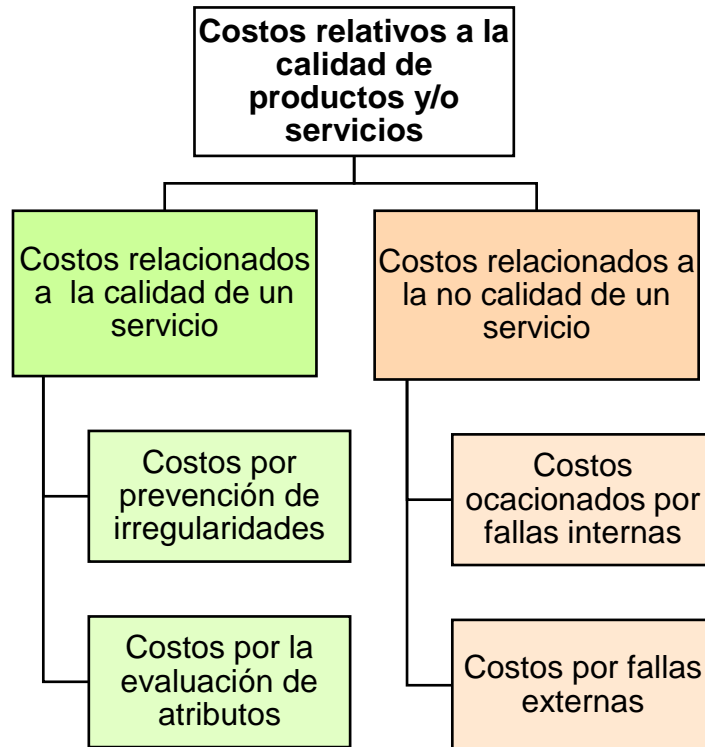
Para medir el nivel de satisfacción de los clientes se tabularon los datos de venta de m³ de agua potable en el pozo estudiado para comparar la demanda cubierta en el periodo 2020 y 2021, debiendo identificar previamente las necesidades y expectativas de las partes interesadas dentro del proceso mediante encuestas y análisis de la demanda (Organización Internacional para la Estandarización, ISO, 2015).

7.10. Costos relacionados a la calidad de un servicio Vs. Beneficios esperados de la calidad

Se define el término costo de la calidad como todo esfuerzo económico en el que se incurre al momento de diseñar, implementar, operar y mantener el SGC de una empresa u organización, para así satisfacer las expectativas de los consumidores del servicio. Estos están ligados a los procesos de mejora continua.

La transformación del término de costo de calidad con el paso de los años se debe a los cambios respecto a la forma como la empresa enfrenta los problemas de productos de mala calidad, así como la cantidad de oferta de productos o servicios incrementadas en el mercado, de lo cual surge la necesidad de establecer parámetros en los cuales se deben encontrar las características del agua para así asegurar que esta es adecuada para el consumo humano. La “calidad total” se basa en herramientas estadísticas para fomentar la mejora continua dentro de los procesos y así verificar que este se produzca realmente de la manera más óptima posible. En la figura 3 se observa la forma en la que se pueden clasificar los costos de calidad:

Figura 3. **Clasificación de costos de calidad**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Costos por fallas internas. Este tipo de erogación se puede evitar si no existieran defectos en los productos o servicios en cualquiera de sus etapas previas a la entrega con el cliente o consumidor. Estos surgen debido a productos y servicios que no cumplen con las especificaciones, requerimientos y necesidades del mercado meta al cual el producto va dirigido. Entre estos costos se pueden enfatizar:
 - Costos de reproceso: se crean para corregir defectos.
 - Costos por desechos: este tipo de costo conlleva pérdidas y/o desperdicio de recursos valiosos, entre los cuales cabe destacar materiales utilizados como materia prima, mano de obra y algunos

costos indirectos variables que no pueden ser arreglados o reutilizados para cualquier otro fin.

- Costos derivados a raíz del tiempo ocioso: nacen al contar con instalaciones y maquinaria detenidas a causa de defectos dentro del proceso.

También:

- Trabajos de reelaboración.
 - Desechos o desperdicios.
- Costos por fallas externas. Se puede evitar este tipo de costo si los productos entregados o servicios suministrados no cuentan con defectos. La diferencia con los costos por fallas internas consiste en que éstos se localizan después de haber entregado al cliente el producto o servicio requerido. Esto lleva al incumpliendo de las necesidades o expectativas, así como a la insatisfacción del cliente. Por ejemplo:
 - Costos por devolución de productos: Estos costos suelen ser asociados con la recepción y cambio de productos que el consumidor retorna a causa de defectos.
 - Costos por reclamaciones: se originan al atender a consumidores insatisfechos por un producto con defectos o servicio prestado de forma incorrecta.
 - Costos por rebaja: dichos costos nacen se le debe de dar un descuento al cliente debido a que este acepta un producto o servicio con alguna falla o defecto, o simplemente porque no satisface por completo sus expectativas, en lugar de solicitar la devolución del mismo.

También:

- Atención de reclamaciones.
 - Descuentos otorgados por fallas o defectos.
 - Reparaciones.
 - Ventas/pérdidas.
-
- Costos de prevención. Se cae en este tipo de costo en la etapa previa a iniciar el proceso en estudio, teniendo como fin disminuir los costos asociados a productos erróneos o con fallas. Entre éstos están:
 - Costos procedentes de la calidad planificada: son los que tienen relación con el diseño tanto de las partes como del proceso, la preparación de manuales, procedimientos e instructivos requeridos.
 - Costos de capacitación.
 - Costos por la obtención y el análisis de datos relacionados a la calidad: abarca las erogaciones efectuadas con el objetivo de crear y mantener un programa del cual se obtengan datos sobre calidad del servicio suministrado, así como monitorear las mejoras logradas a lo largo del proceso, con la finalidad de realizar las acciones correctivas necesarias de forma oportuna.

También:

- Control de proceso.
- Evaluación de proveedores.
- Auditorías de calidad.
- Capacitación de calidad.
- Reclutamiento.

- Costos de evaluación. Se cae en este tipo de erogación para decretar si los productos o servicios cumplen con las especificaciones y requerimientos establecidos por el cliente final. Por ejemplo:
 - Costos de proveedores: sirven para corroborar la calidad de la materia prima que pasa por recepción dentro del proceso logístico.
 - Costos de inspección: su finalidad es llevar un control del producto a través del proceso productivo dentro de la compañía.

También:

- Verificación en el proceso de recepción de materiales.
- Inspección y prueba.
- Calibración del equipo utilizado para pruebas.
- Servicios y materiales utilizados.
- Supervisión de la materia prima.
- Aceptación de producto.
- Aceptación de proceso.

La medición de los costos de la calidad le posibilita a la compañía disponer de información específica y oportuna acerca de los principales recursos que destina a satisfacer las expectativas de los clientes, y así realizar mejoras ocasionales que deriven a su verificación y reducción en el progreso conseguido como producto de las acciones orientadas hacia una mejora continua.

Algunos ejemplos de beneficios tangibles de la medición de costos de calidad son:

- Decrecer los costos derivados de la producción.
- Aumento de la utilidad.
- Mejora la programación y el planeamiento de actividades.
- Incremento de la productividad.

La correlación que existe entre los beneficios de alcanzar elevados grados de calidad y los costos en los que incurre la corporación para alcanzar esta calidad, son desproporcionados. Esto a causa de que con una calidad deficiente los usuarios finales se decantarían por otras compañías que ofrezcan servicios similares y sin contar con ellos la corporación estaría fuera del mercado. Además, esto es sin tomar en cuenta los sobrantes y los gastos consecuentes en los que la misma incurriría.

7.11. Trabajo estandarizado

Estandarizando un trabajo se busca establecer un conjunto de lineamientos con un procedimiento único para cada fase y actividad dentro de la corporación y que tiene que ser llevada a cabo por los integrantes de cada sector o división que pertenezca a la corporación.

Estandarizar el trabajo posibilita prevenir los costos que se describen a continuación:

- Por fallas internas: son aquellas erogaciones económicas que se dan al haber irregularidades durante la ejecución de procesos dentro de la empresa.
- Por fallas externas: son aquellos costos involucrados cuando se detecta e identifica una vez que se haya entregado el servicio o producto al consumidor final.
- De prevención: son las erogaciones en las que cae una empresa al momento en el que esta busca prevenir y eliminar la calidad ineficiente en los productos y servicios que se ofrecerán en el mercado.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

TÍTULO

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Información general

1.1.1. Ubicación

1.1.2. Misión

1.1.3. Visión

1.2. Control en el proceso de potabilización de agua

1.2.1. Descripción del sistema de control de calidad

1.3. Desempeño en el mercado

1.3.1. Nivel de satisfacción de los clientes respecto al servicio suministrado

1.4. Costos de Calidad Vs. Beneficios de Calidad

1.5. Sistema de Gestión de calidad

1.5.1. Trabajo estandarizado

1.5.2. Kanban

1.5.3. Manufactura Esbelta

1.5.4. Six Sigma

1.5.5. Sistema de Gestión

2. SITUACIÓN ACTUAL

- 2.1. Descripción del servicio y del proceso
- 2.2. Organización en el área de operaciones
- 2.3. Descripción del equipo e instalaciones utilizadas en el proceso de potabilización de agua
- 2.4. Estado actual del control de calidad en el proceso de potabilización de agua
 - 2.4.1. Problemas recurrentes en las muestras
- 2.5. Eficiencia actual en el proceso de potabilización de agua
 - 2.5.1. Recursos utilizados
3. PROPUESTA DE SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN
 - 3.1. Diseño del control interno de calidad
 - 3.1.1. Población y muestra
 - 3.1.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos
 - 3.1.3. Métodos de análisis de datos a utilizar
 - 3.1.4. Acciones por mejorar
 - 3.2. Identificación de puntos críticos de control (PCC)
 - 3.3. Establecer un sistema de vigilancia de puntos críticos de control mediante el análisis e interpretación estadístico del registro de medidas físicas
 - 3.4. Establecer medidas correctivas
 - 3.5. Planificación de acciones de control durante el proceso
 - 3.6. Documentación de entradas y salidas
 - 3.6.1. Registro de entradas y salidas dentro y fuera de los parámetros
 - 3.7. Control de las salidas no conformes
 - 3.7.1. Cuantificación del porcentaje fuera de límites de control
4. PLANIFICACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN

- 4.1. Planificación del sistema de optimización para la disminución de variabilidad en el proceso de potabilización de agua
- 4.2. Puestos responsables en el proceso
 - 4.2.1. Evaluación del personal
 - 4.2.2. Capacitación del personal
- 4.3. Estandarización del proceso de potabilización de agua
 - 4.3.1. Elaboración de procedimientos estándar de trabajo
- 4.4. Control de salidas no conformes
- 4.5. Costo del diseño
 - 4.5.1. Estimación de costos para sistema optimizado
- 5. PLAN DE SEGUIMIENTO PARA MEJORA
 - 5.1. Resultados esperados al implementar sistema de optimización al proceso de potabilización de agua
 - 5.1.1. Disminución de variabilidad en el proceso
 - 5.2. Ventajas y desventajas del sistema propuesto
 - 5.3. Sustentabilidad del sistema de optimización al proceso de potabilización de agua
 - 5.3.1. Responsabilidad ambiental
 - 5.3.2. Responsabilidad social

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

Se presenta a continuación la ruta que tomará este proyecto de graduación, desde su fase de investigación hasta su fase de desarrollo.

9.1. Características del estudio

El estudio propuesto contará con las siguientes características:

9.1.1. Enfoque

El presente trabajo de graduación tiene un enfoque mixto, ya que está basado en la identificación de los peligros potenciales que puedan afectar la calidad del agua por medio de una estrategia de observación de los procesos y el uso de los recursos materiales y humanos de la empresa, la cual permitirá un análisis profundo del proceso de potabilización del agua y la identificación de los puntos críticos del mismo, siendo esta la parte cualitativa. Debido a que los peligros potenciales deberán ser valorados se obtendrán características cuantitativas basadas en probabilidad y gravedad, identificando de esta manera la criticidad en cada etapa del proceso.

9.2. Alcance

El alcance de la investigación será de tipo descriptivo, ya que tiene como objetivo recolectar información sobre el proceso de potabilización de agua, evaluarla y construir a través de ella un sistema de optimización que se plasmará

en un documento escrito que servirá para establecer una base sólida de ejecución que permitirá la reducción de los riesgos de contaminación del alimento a lo largo de toda la cadena de suministros y garantizar la seguridad del servicio suministrado a los consumidores.

9.2.1. Diseño

El diseño adoptado será no experimental ya que la información será obtenida a través de datos históricos del proceso de potabilización de agua, la misma no será manipulada o modificada, solamente será utilizada como base para la estructuración del sistema de optimización, algunas técnicas que se implementarán serán la revisión de documentos, las visitas de campo y las entrevistas informales. Esto permitirá construir una impresión objetiva sobre la ejecución del proceso en la documentación escrita y en la práctica.

9.3. Unidad de análisis

La unidad de análisis será el proceso de potabilización de agua, del cual se obtendrán las etapas en las que el agua puede sufrir cualquier tipo de contaminación o variación que pueda afectar la calidad del servicio final.

9.4. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación:

9.4.1. Variable Independiente

Nivel de cloro residual en muestras de agua del sector de Santa Catarina Pinula.

9.4.2. Variable Dependiente

Calidad del potable suministrada en el sector de Santa Catarina Pinula.

9.5. Fases del estudio

A continuación, se describen las fases en las cuales se divide el desarrollo de la investigación:

9.5.1. Fase 1: Definir el problema

Esta etapa consiste en entender el problema y los requerimientos del cliente, lo cual es vital para establecer el alcance del proceso que se analiza y el criterio con el cual se cuantificará su mejora.

9.5.2. Fase 2: Medir el rendimiento del sistema actual

Consiste en definir y medir indicadores clave del desempeño del proceso para determinar su rendimiento actual. Sin una fase de medición sólida, será imposible pasar a analizar datos y a tomar decisiones basadas en datos que impulsen las fases de mejora y control.

9.5.3. Fase 3: Analizar la información obtenida a partir de registros actuales

Esta fase se caracteriza por el fuerte análisis estadístico de los datos para la identificación de las causas vitales del problema, así como la toma de decisiones basada en hechos. Implica analizar los datos estadísticamente y con

base en ello encontrar la causa raíz del problema. Entre los objetivos principales de esta fase se encuentran:

- Realizar un análisis del sistema actual e identificar oportunidades de mejora.
- Analizar cómo puede mejorar la capitalidad del proceso, si los cambios propuestos se materializan.
- Identificar puntos de falla y promover el cambio, tomando en consideración la mitigación de riesgos para llevar a cabo un proyecto exitoso.

9.5.4. Fase 4: Buscar oportunidades de mejora en el proceso

Se identifican las etapas del proceso que se pueden mejorar y se crean soluciones, que puedan eliminar o minimizar la causa raíz del problema. Para esta evaluación se utilizará una plantilla base de forma que todos los programas prerequisites sean analizados de manera objetiva y estandarizada, pero permitiendo variabilidades conforme al propósito y la importancia de cada uno de ellos. Al terminar esta evaluación se elaborará una ficha de cada programa prerequisite que proporcionará la información puntual requerida para complementar el sistema planteado.

9.5.5. Fase 5: Controlar los resultados obtenidos

Es el plan de implantación de soluciones y de control de procesos que asegura que las condiciones del nuevo proceso estén documentadas y monitoreadas de manera estadística con los métodos correspondientes. Esta fase es de suma importancia ya que asegura que se implementen las mejoras del proceso con los controles adecuados para asegurar que se mantengan

cambios verdaderos en el futuro. Es una oportunidad para comprobar el cumplimiento de la meta de desempeño del proceso en estudio.

Entre sus funciones principales se encuentra el mantener ganancias a lo largo del tiempo e institucionalizar los cambios en sistemas y estructuras. Dicha fase será útil para monitorear y controlar los parámetros de salida de un proceso, involucrando siempre el uso de gráficos de control para determinar si el proceso está operando bajo control.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se llevarán a cabo visitas al pozo mecánico para conocer el proceso de extracción, potabilización y distribución de agua, para de esta manera determinar sus etapas, obtener tiempos, parámetros y condiciones específicas, que serán presentadas en forma de diagramas de recorrido y diagramas de flujo de operaciones.

A partir de determinar las etapas del diagrama de flujo de proceso se identificarán los peligros potenciales biológicos, químicos y físicos, que pueden afectar la calidad del agua, para ello se investigará la naturaleza de cada materia prima y se revisará la documentación respectiva existente en la empresa, lo obtenido se presentará en una tabla.

Al ser identificados los peligros potenciales biológicos, químicos y físicos, se utilizará una matriz de decisión para determinar si un peligro es significativo o no, basándose en la probabilidad de ocurrencia y la severidad de este. Los resultados de esto se presentarán en una tabla.

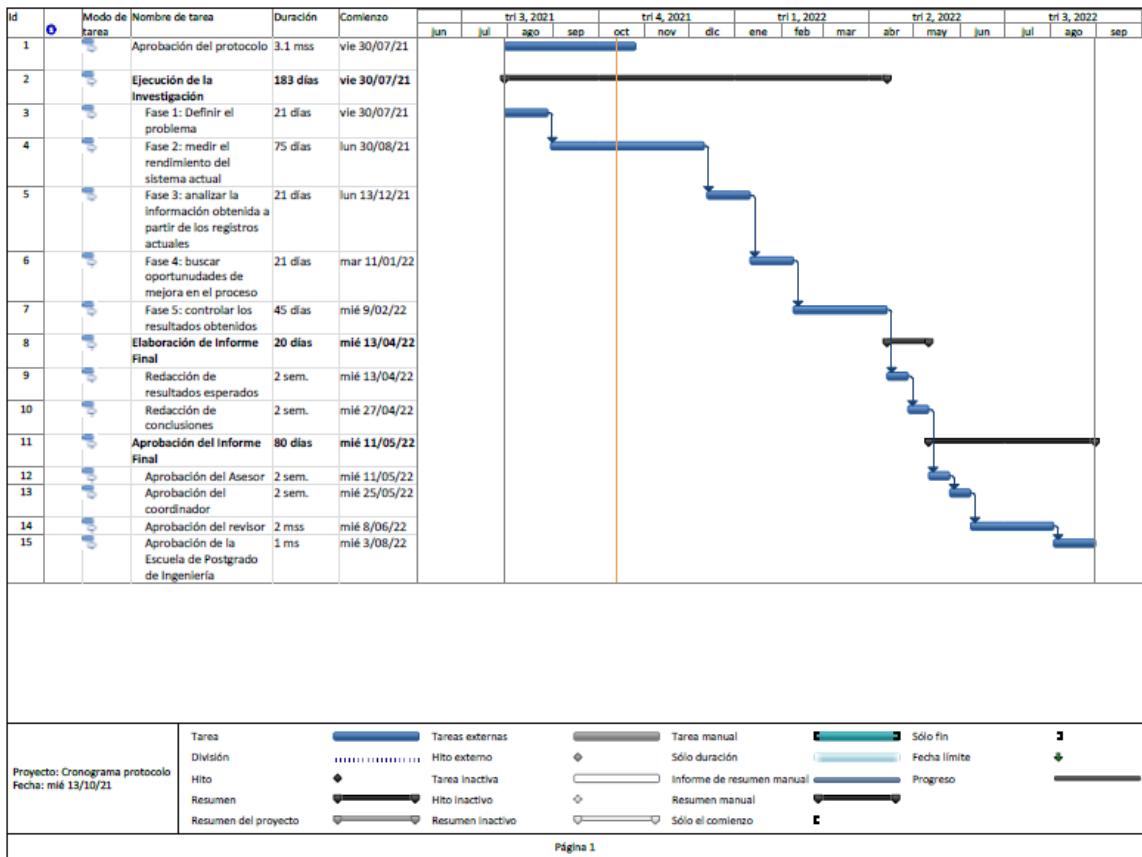
Al tener identificados los peligros significativos del proceso se utilizará un árbol de decisiones de determinación de puntos críticos de control para identificar si el peligro requiere convertir la etapa del proceso en un punto crítico de control, esto se presentará en una tabla.

Con toda la información obtenida se estructurará un sistema de optimización en el cual se establecerá el seguimiento al cumplimiento de los

límites críticos establecidos para cada punto crítico de control, identificando cómo, con qué frecuencia y quienes serán los responsables, el mismo será presentado en un formato detallado.

11. CRONOGRAMA

Figura 4. Cronograma de avance trabajo de graduación



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Project.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

A continuación, se presenta el presupuesto estimado para la elaboración del sistema de optimización para el proceso de potabilización de agua:

Tabla V. **Presupuesto**

	Ítem	Cantidad	Costos	Fuente de financiamiento
Recurso Humano	Asesor	1	Q 0.00	No aplica
	Investigador	1	Q 0.00	No aplica
	Personal Operativo	5	Q 0.00	No aplica
Recursos Materiales	Útiles y papelería	1	Q 500.00	Propia
Recursos Físicos	Gasolina	-	Q 500.00	Propia
Recursos Tecnológicos	Computadora	1	Q 9,000.00	Propia
	Internet	-	Q 2,220.00	Propia
	Impresora	1	Q 600.00	Propia
Equipo	No aplica	-	Q 0.00	No aplica

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

El presupuesto será cubierto por el investigador en un 100 %, siendo esta una suma total de Q. 12,820.00.

REFERENCIAS

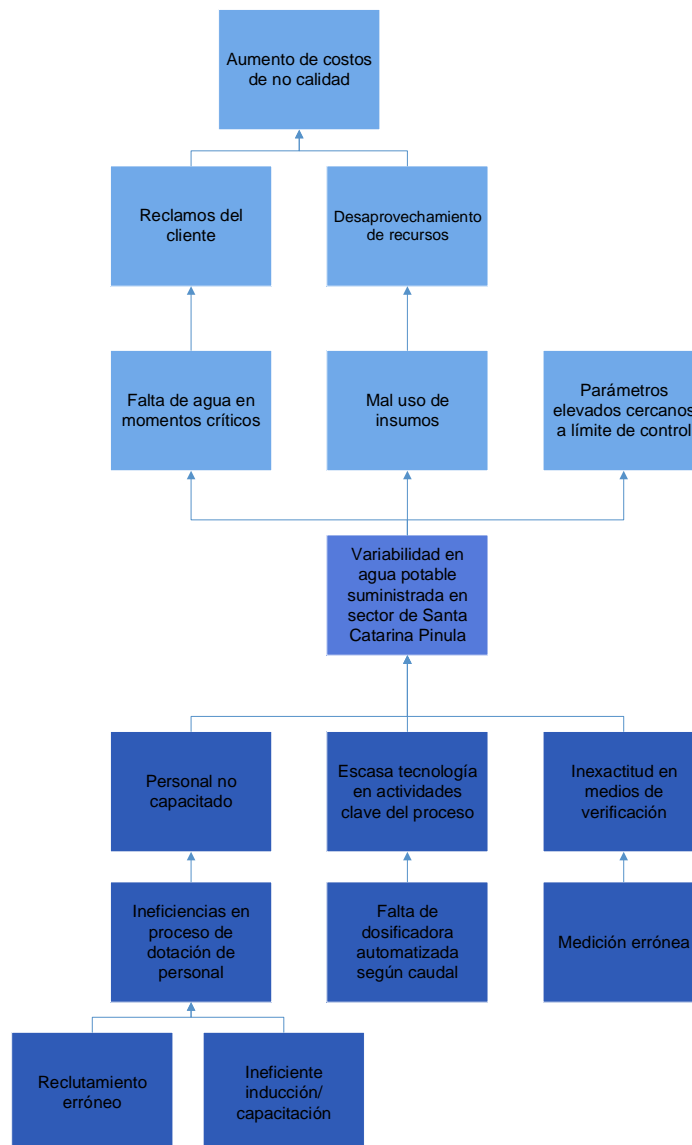
1. Calidad total: Principios y modelos de Gestión. Certificación ISO. Satisfacción del cliente interno y externo. (s.f.). Recuperado el 29 de agosto del 2013 de <https://ope2011.osakidetza.net/ProcesoSelectivo/D26501/DocInteres6.pxd>
2. Escuela de Postgrado Ingeniería y Arquitectura. (Mayo de 2020). *La importancia de la potabilización de agua*. Obtenido de Escuela de Postgrado Ingeniería y Arquitectura: <https://postgradoingenieria.com/potabilizacion-de-agua-importancia/>
3. Gobierno de Guatemala. (Junio de 2021). *Instituto de Fomento Municipal*. Obtenido de AGUAS SUBTERRÁNEAS: <http://www.infom.gob.gt/programa-de-desarrollo-de-aguas-subterraneas/>
4. Grant, E. L. (1998). *Control Estadístico de Calidad*. México: Editorial Continental.
5. INSIVUMEH. (Enero de 2021). (D. D. HÍDRICOS, Ed.) Obtenido de <https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2019/10/Bol-No.-23-a%C3%B1o-2020-PDF-unido.pdf>
6. Isaac Rodolfo Herrera Ibáñez, E. O. (2011). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542011000300002&script=sci_abstract

7. Killer, J. K. (2004). Los principios empresariales del modelo Toyota. En J. K. Killer, *Las claves del éxito de Toyota* (págs. 217-422). Barcelona, España: McGraw-Hill.
8. Koneggui. (Enero de 2020). Obtenido de <https://koneggui.com.ec/blog-iso/los-9-elementos-centrales-de-un-sistema-de-gestion-de-calidad>
9. Lentini, E. (Julio de 2010). Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3787/LCW335_es.pdf?sequence=1
10. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. (Enero de 2021). *Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda*. Obtenido de INSIVUMEH: <https://insivumeh.gob.gt/hidrologia/calidad-del-agua/>
11. Ministerio de Economía. (18 de Octubre de 1985). (C. G. Normas, Ed.) Obtenido de https://www.mspas.gob.gt/images/files/saludambiente/regulacione_svigentes/AguaConsumoHumano/NormaTecnicaGuatemaltecaNTG29001.pdf
12. OMS. (Junio de 2019). Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
13. ORFIS. (20 de Octubre de 2021). *Beneficios del Sistema de Gestión de la Calidad*. Obtenido de Órgano de Fiscalización Superior del Estado de Veracruz: <http://www.orfis.gob.mx/beneficios-del-sistema-de-gestion-de-la-calidad/>
14. Organización Internacional para la Estandarización, ISO. (2015). *ISO 9001:2015 Sistemas de Gestión de Calidad, Requisitos*. Ginebra, Suiza.

15. OXFAM Intermón. (Mayo de 2018). *Enfermedades Transmitidas por el Agua Contaminada*. Obtenido de OXFAM:
<https://blog.oxfamintermon.org/enfermedades-transmitidas-por-el-agua-contaminada/>
16. Peter S. Pande, R. P. (2004). *Las claves prácticas de Seis Sigma: Una guía dirigida a los equipos de mejora de procesos*. Madrid, España: McGraw-Hill.
17. UN-ECE Task Force on Quality Management . (Septiembre de 2002). Obtenido de TECHNICAL REPORT: GUIDANCE TO OPERATION OF WATER QUALITY:
https://unece.org/DAM/env/water/publications/documents/guidance_laboratories.pdf
18. Water, S. M. (2017). *STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de Problema



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Visio.

Apéndice 2. Matriz de Coherencia

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN PARA AUMENTAR LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE ENTUBADA SUMINISTRADA EN EL SECTOR DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA		
Objetivo General		
Diseñar un sistema de optimización que disminuya la variabilidad en el proceso de potabilización de agua en el sector de Santa Catarina Pinula, Guatemala		
Problema General		
¿De qué manera se puede optimizar el proceso de potabilización de agua en el área de operaciones de la empresa a manera de disminuir la variación en la calidad de esta en el sector de Santa Catarina Pinula, Guatemala?		
Objetivos Específicos	Preguntas de Investigación	Indicadores
<ul style="list-style-type: none"> • Conocer el nivel de satisfacción de los clientes del sector de Santa Catarina Pinula respecto a la calidad de agua que se les ha entregado para determinar las necesidades de estos. 	¿Cuál es el nivel de satisfacción actual de los clientes hacia el servicio suministrado?	Nivel de satisfacción actual de los clientes.
<ul style="list-style-type: none"> • Encontrar las variables críticas de calidad en el proceso de potabilización de agua y delimitar los valores de los parámetros en los que estos deben de encontrarse. 	¿Existen puntos críticos de control en el proceso actual y con qué frecuencia se deben de monitorear los parámetros establecidos?	Cantidad de hipoclorito de sodio inyectado.
<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar un sistema de estandarización y sustentabilidad de la mejora esperada. 	¿Qué metodología puede ser utilizada para optimizar el proceso de potabilización de agua en el área de operaciones de la empresa?	Plan calibración de medios de dosificación y medición.
<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar un análisis económico para cuantificar los beneficios esperados al momento de reducir variación en el proceso de potabilización de agua en el sector de Santa Catarina Pinula, Guatemala. 	¿Cuáles son los beneficios esperados tras la implementación de la metodología propuesta para optimizar el proceso de potabilización de agua en el área de operaciones de la empresa?	Relación costo-beneficio.

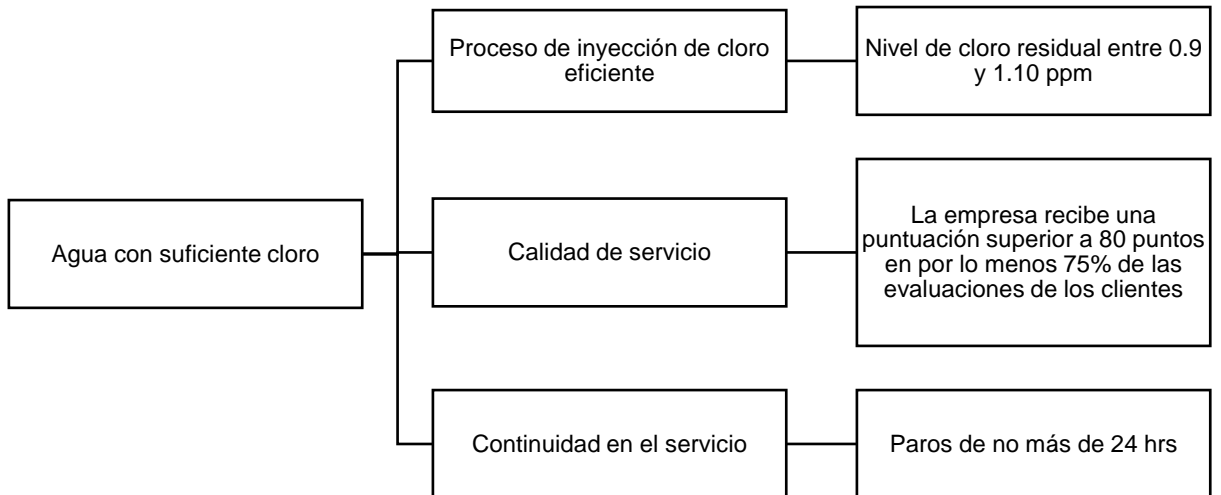
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Apéndice 3. **Capturar la voz del cliente (enfocarse en quejas por variabilidad en agua)**

Fecha	Motivo	Acción correctiva

Fuente: Elaboración Propia, realizado con Microsoft Word.

Apéndice 4. **Árbol de críticos para la calidad (CTQ)**



Fuente: Elaboración Propia, realizado con Microsoft Word.

Apéndice 5. **SIPOC de alto nivel**

Proveedores	Entradas	Procesos	Salidas	Clientes

Fuente: Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Apéndice 6. Análisis de las partes interesadas

Nombre del interesado	Fuertemente en contra	Moderadamente en contra	Neutral	Moderadamente a favor	Fuertemente a favor
Accionistas, Directivos y Gerencia General					
Área de Comercialización					
Área Financiera					
Área de Gestión Integral					
Área Administrativa					
Miembros del Equipo					
Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social					
Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales					
Municipalidades					
Cliente final					

Fuente: Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.