

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



FACULTAD DE INGENIERÍA

**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención
de Riesgos**

**CONCENTRACIÓN DE COMPUESTOS CLORADOS EN LA
RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL
RESERVORIO N° 2 DE LA PLANTA EL MILAGRO EN LA
CIUDAD DE CAJAMARCA – 2018**

Núñez Escobar Edgar Iván

Asesor:

Mg. Ing. Fernando Camilo Joaquín Rodríguez

Cajamarca – Perú

Junio -2019

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



FACULTAD DE INGENIERÍA

**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención
de Riesgos**

**CONCENTRACIÓN DE COMPUESTOS CLORADOS EN LA
RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL
RESERVORIO N° 2 DE LA PLANTA EL MILAGRO EN LA
CIUDAD DE CAJAMARCA – 2018**

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos
para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y
Prevención de Riesgos

Bach. Núñez Escobar Edgar Iván

Asesor: Mg. Ing. Fernando Camilo Joaquín Rodríguez

Cajamarca – Perú

Junio -2019

COPYRIGHT © 2019 BY
NÚÑEZ ESCOBAR EDGAR IVÁN
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y

PREVENCIÓN DE RIESGOS

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO

PROFESIONAL

CONCENTRACIÓN DE COMPUESTOS CLORADOS EN LA

RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL

RESERVORIO N° 2 DE LA PLANTA EL MILAGRO EN LA

CIUDAD DE CAJAMARCA – 2018

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Asesor: _____

DEDICATORIA

*A Dios por darme la vida y la
oportunidad de alcanzar mis metas.*

*A mis padres por ser un ejemplo a
seguir y siempre brindarme su apoyo
incondicional y paciencia en todo momento.*

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiar mis pasos por el sendero de la vida, por estar en cada etapa de mi vida.

Agradezco a mi familia y en especial a mis abuelos el Sr. Segundo Escobar Luna y la Sra. Elvira Carranza Ruiz por apoyarme siempre en todo momento de mi vida.

Agradezco al jurado calificador del presente trabajo de investigación, por brindarme el apoyo y los conocimientos previos para lograr mi meta.

A mi asesor Mg. Fernando Camilo Joaquín Rodríguez, por su acertada asesoría en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

RESUMEN

La Presente investigación tuvo como objetivo principal: Evaluar la concentración de los compuestos clorados en la red de distribución de agua potable del reservorio N° 2 de la planta El Milagro en la ciudad de Cajamarca durante el mes de diciembre del 2018 mediante el DS. N° 031-2010-SA y la OMS. La hipótesis que se estructuró fue: La concentración de los compuestos clorados en la red de distribución de agua potable del reservorio N° 2 de la planta El Milagro, cumple con los límites máximos permisibles dispuestos por el DS. N° 031-2010-SA y la OMS. Se realizó el método de investigación de campo, a través de la técnica de la investigación cuantitativa. Los instrumentos de medición fueron el colorímetro, libreta de campo y los parámetros dispuestos por la OMS y el DS. N° 031-210-SA. La técnica de análisis de datos fue el análisis de varianza (ANOVA) y diagrama de cajas a través del software del Minitab 17, así mismo la hoja de cálculo (Excel) para la comparación de los resultados obtenidos.

Como resultado, se obtuvo que la concentración de los compuestos clorados se encuentra en niveles por debajo de los LMP dispuestos por el DS. N° 031-2010-SA. Los cuales son 0,5 mg/L para cloro libre residual, 3mg/L para las cloraminas y 5 mg/L para el cloro total residual. Se concluye que, los compuestos clorados están dentro de los límites máximos permisible, pero en cantidades mínimas, por lo tanto, el agua no es apta para el consumo humano.

Palabras clave: cloro libre residual, cloro combinado, cloro total residual.

ABSTRACT

The main objective of the present research was to: Evaluate the concentration of chlorinated compounds in the drinking water distribution network of reservoir No. 2 of the El Milagro plant in the city of Cajamarca during the month of December 2018 through the DS. No. 031-2010-SA and WHO. The hypothesis that was structured was: The concentration of the chlorinated compounds in the drinking water distribution network of reservoir No. 2 of the El Milagro plant, complies with the maximum permissible limits established by the DS. No. 031-2010-SA and WHO. The field research method was carried out, through the technique of quantitative research. The measuring instruments were the colorimeter, field notebook and the parameters set by the WHO and the DS. No. 031-210-SA. The technique of data analysis was the analysis of variance (ANOVA) and box diagram through the software of the Minitab 17, likewise the spreadsheet (Excel) for the comparison of the obtained results.

As a result, it was found that the concentration of the chlorinated compounds is at levels below the MPLs arranged by the DS. No. 031-2010-SA. Which are 0.5 mg / L for residual free chlorine, 3mg / L for chloramines and 5 mg / L for residual total chlorine. It is concluded that chlorinated compounds are within the maximum permissible limits, but in minimum quantities, therefore, water is not suitable for human consumption.

Key words: residual free chlorine, combined chlorine, residual total chlorine.

CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
CONTENIDO	v
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	x
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1. Planteamiento del problema.....	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.4. Justificación e importancia	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2. Fundamentos teóricos de la investigación	5
2.1. Antecedentes teóricos	5
2.2. Marco teórico.....	7
2.2.1. El agua	7
2.2.2. Importancia del agua	8
2.2.3. Calidad del agua	9
2.2.4. Agua potable.....	10
2.2.5. Desinfección	11
2.2.6. Obtención del Cloro	12
2.2.7. Cloro	13
2.2.8. Mecanismos de la desinfección con cloro	14
2.2.9. Reacciones del cloro en el agua.....	17
2.2.10. Demanda del cloro.....	19
2.2.11. Factores que afectan la eficiencia de desinfección	20
2.2.11.1. Dosis de cloro	21
2.2.11.2. Tiempo de contacto.....	23
2.2.11.3. Temperatura	23
2.2.11.4. pH	24
2.2.12. Cloración al punto de quiebre.....	24
2.2.13. Determinación de cloro libre residual en campo, con DPD	26
2.2.14. Compuestos clorados.....	26
2.2.14.1. Cloro libre residual	27
2.2.14.2. Cloraminas	29
2.3. Hipótesis	37

2.3.1. Operacionalización de las variables	38
CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	39
3. Metodología de investigación	39
3.1. Tipo de investigación	39
3.2. Diseño de la investigación	39
3.3. Unidad de análisis, universo y muestra	40
3.3.1. Unidad de análisis.....	40
3.3.2. Universo	40
3.3.3. Muestra	40
3.4. Métodos de investigación	40
3.4.1. Investigación de Campo	40
3.5. Técnicas de investigación.....	43
3.6. Instrumentos	45
3.7. Técnicas de análisis de datos (estadísticas)	45
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1. Presentación de resultados.....	46
4.2. Análisis e interpretación de resultados respecto al cloro libre residual	47
4.2.1. Análisis estadístico respecto al cloro libre residual.....	47
4.2.2. Discusión de resultados respecto al cloro libre residual.....	63
4.3. Análisis e interpretación de resultados respecto al cloro combinado ...	65
4.3.1. Análisis estadístico respecto al cloro combinado	65
4.3.2. Discusión de resultados respecto al cloro combinado (cloraminas)	80
4.4. Análisis e interpretación de resultados respecto al cloro total residual	82
4.4.1. Análisis estadístico respecto al cloro total residual	82
4.4.2. Discusión de resultados al respecto del cloro total residual	97
4.5. Contrastación general de la hipótesis	98
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
5.1. Conclusiones.....	99
5.2. Recomendaciones	100
REFERENCIAS	101
LISTA DE ABREVIATURAS	104
GLOSARIO	105
ANEXOS	107

LISTA DE TABLAS

Tabla 01: Dosis de cloro aplicadas en plantas potabilizadoras	23
Tabla 02: Operacionalización de variables	38
Tabla 03: Plan de muestreo para el análisis	42
Tabla 04: Procesos de desarrollo de la investigación.....	44
Tabla 05: Hipótesis estadística para factor sector	47
Tabla 06: Información del factor.....	47
Tabla 07: Análisis de varianza para factor sector	47
Tabla 08: Medias para factor sector	48
Tabla 09: Comparaciones en parejas de Fisher para factor sector	49
Tabla 10: Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor sector.....	50
Tabla 11: Hipótesis estadística para factor día.....	51
Tabla 12: Información del factor.....	52
Tabla 13: Análisis de varianza para factor día	52
Tabla 14: Medias para factor día.....	52
Tabla 15: Comparaciones en parejas de Fisher para factor día.....	54
Tabla 16: Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor día.....	55
Tabla 17: Hipótesis estadística para factor hora	57
Tabla 18: Información del factor.....	57
Tabla 19: Análisis de varianza para factor hora.....	57
Tabla 20: Medias para factor hora	58
Tabla 21: Comparaciones en parejas de Fisher para factor día.....	59
Tabla 22: Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor hora	59
Tabla 23: Datos estadísticos del cloro libre residual (mg/L)	61
Tabla 24: Hipótesis estadística para cloro libre residual (mg/L)	61

Tabla 25: Prueba de hipótesis para cloro libre residual (mg/L).....	61
Tabla 26: Hipótesis estadística para factor sector	65
Tabla 27: Información del factor.....	65
Tabla 28: Análisis de varianza para factor sector	65
Tabla 29: Medias para factor sector	66
Tabla 30: Comparaciones en parejas de Fisher para factor sector	67
Tabla 31: Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor sector.....	67
Tabla 32: Hipótesis estadística para factor día.....	69
Tabla 33: Información del factor.....	69
Tabla 34: Análisis de varianza para factor día	69
Tabla 35: Medias para factor día.....	70
Tabla 36: Comparaciones en parejas de Fisher para factor día.....	71
Tabla 37: Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor día.....	72
Tabla 38: Hipótesis estadística para factor hora	74
Tabla 39: Información del factor.....	74
Tabla 40: Análisis de varianza para factor hora.....	74
Tabla 41: Medias para factor hora	75
Tabla 42: Comparaciones en parejas de Fisher para factor hora	76
Tabla 43: Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor hora	76
Tabla 44: Datos estadísticos del cloro combinado (mg/L).....	78
Tabla 45: Hipótesis estadística para cloro combinado (mg/L).....	78
Tabla 46: Prueba de hipótesis para cloro combinado (mg/L)	78
Tabla 47: Hipótesis estadística para factor sector	82
Tabla 48: Información del factor.....	82
Tabla 49: Análisis de varianza para factor sector	82
Tabla 50: Medias para factor sector	83

Tabla 51: Comparaciones en parejas de Fisher para factor sector	84
Tabla 52: Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor sector	84
Tabla 53: Hipótesis estadística para factor día.....	86
Tabla 54: Información del factor.....	86
Tabla 55: Análisis de varianza para factor día	86
Tabla 56: Medias para factor día.....	87
Tabla 57: Comparaciones en parejas de Fisher para factor día.....	88
Tabla 58: Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor día.....	89
Tabla 59: Hipótesis estadística para factor hora	91
Tabla 60: Información del factor.....	91
Tabla 61: Análisis de varianza para factor hora.....	91
Tabla 62: Medias para factor hora	92
Tabla 63: Comparaciones en parejas de Fisher para factor hora	93
Tabla 64: Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor hora	93
Tabla 65: Datos estadísticos del cloro total residual (mg/L).....	95
Tabla 66: Hipótesis estadística para cloro total residual (mg/L).....	95
Tabla 67: Prueba de hipótesis para cloro libre residual (mg/L).....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Comportamiento de las fracciones del ácido hipocloroso respecto a variaciones de pH.....	15
Figura 02: Curva obtenida en la cloración a punto de quiebre	25
Figura 03: Compuestos clorados	27
Figura 04: Especies de cloraminas en función del pH	31
Figura 05: Evolución del amoníaco en la formación de las cloraminas	34
Figura 06: Zonas de formación de las cloraminas	36
Figura 07: Evolución del cloro libre residual y combinado en el tiempo	37
Figura 08: Tabla de resultados obtenidos de cloro libre residual.....	46
Figura 09: Tabla de resultados obtenidos de cloro combinado (cloraminas).....	46
Figura 10: Tabla de resultados obtenidos de cloro total residual.....	46
Figura 11: Gráfica de cajas del cloro libre residual para factor sector.....	48
Figura 12: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor sector.....	51
Figura 13: Gráfica de cajas del cloro libre residual para factor día	53
Figura 14: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor día	56
Figura 15: Gráfica de cajas del cloro libre residual para factor hora	58
Figura 16: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor hora	60
Figura 17: Histograma del cloro libre residual	62
Figura 18: Histograma del cloro libre residual vs LMP (mg/L)	62
Figura 19: Gráfica de cajas del cloro combinado para factor sector.....	66
Figura 20: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor sector.....	68
Figura 21: Gráfica de cajas del cloro combinado para factor día	70
Figura 22: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor día	73
Figura 23: Gráfica de cajas del cloro combinado para factor hora	75
Figura 24: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor hora	77
Figura 25: Histograma del cloro combinado (mg/L)	79
Figura 26: Histograma del cloro combinado vs LMP (mg/L).....	79

Figura 27: Gráfica de cajas del cloro combinado para factor sector.....	83
Figura 28: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor sector.....	85
Figura 29: Gráfica de cajas del cloro total residual para factor día	87
Figura 30: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor día	90
Figura 31: Gráfica de cajas del cloro total residual para factor hora	92
Figura 32: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor hora	94
Figura 33: Histograma del cloro total residual (mg/L)	96
Figura 34: Histograma del cloro total residual vs LMP (mg/L).....	96
Figura 35: Documento de remisión de información solicitada	107
Figura 36: Croquis de la red de distribución del reservorio N° 2.....	108
Figura 37: Coordenadas UTM sector 01	108
Figura 37: Coordenadas UTM sector 02.....	109
Figura 38: Coordenadas UTM sector 03.....	109
Figura 39: Coordenadas UTM sector 04.....	110
Figura 40: Instrumento de medición (colorímetro).....	110
Figura 41: DPD para cloro libre residual	111
Figura 42: DPD para cloro total residual	111
Figura 43: Celdas de muestreo.....	112
Figura 44: Tesista realizando lectura de muestras	112

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción de la realidad problemática

De acuerdo al artículo empresarial de HANNA Instruments (2016): afirma que, el desarrollo de la actividad humana necesita utilizar el agua para numerosos fines, entre los que destacan, por su importancia para el hombre, los usos potables.

Es significa que, el hombre usa el agua existente en la naturaleza para consumirla y utilizarla, pero es evidente que, debido sus características químicas, físicas y biológicas del agua, ésta no puede ser utilizada de forma directa, y por lo tanto dicha agua requiere de una serie de correcciones y tratamientos que eliminen aquellas partículas o sustancias perjudiciales para el hombre. (HANNA Instruments, 2016)

En Cajamarca la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento SEDACAJ S.A., tiene dos Plantas de tratamiento de agua potable, Planta El Milagro y la Planta Santa Apolonia. Mantilla y Rucoba (2014) afirman que: “La planta El Milagro tiene una capacidad máxima de tratamiento de 160 L/seg, abastece al 70% de la población con el servicio” (p.2).

“Últimamente la Empresa Prestadora de Servicios SEDACAJ S.A. ha informado que la población se ha incrementado y que los reservorios

con los que se cuenta ya no logran abastecer a toda la ciudad” (Arribasplata, 2012, p.1).

Esto ha traído consigo que, vecinos de diversos sectores de nuestra ciudad denuncien que el agua que llega a sus hogares no es agua para consumo humano. “Indican que, al abrir los grifos, el agua sale con un color amarillento, y en otros casos con demasiado cloro y que, si se deja sedimentar, aparecen residuos extraños” (Arribasplata, 2012).

Además, otro grupo de pobladores de la parte baja de nuestra ciudad se vienen quejando, preocupados por la falta de agua durante el día y la mala calidad de agua que reciben en sus hogares. Asimismo, María Ascencio, pobladora del barrio Mollepampa, afirma: “El agua sale con burbujas, parece que hierve, quizá utilizan bastante cloro para descontaminar el agua” (Arribasplata, 2012).

Por tal motivo, es necesario evaluar la concentración de los compuestos clorados en la red de distribución de agua potable del reservorio N° 2 de la planta El Milagro en la ciudad de Cajamarca durante el mes de diciembre del 2018 para compararlos con los límites máximos permisibles dispuestos por el DS. N° 031-2010-SA y la OMS.

1.2. Formulación del problema

¿La concentración de los compuestos clorados en la red de distribución de agua potable del reservorio N° 2 de la planta El Milagro, exceden los límites máximos permisibles dispuestos por el DS N° 031-2010-SA y la OMS?

1.3. Objetivos

Objetivo general

Evaluar la concentración de los compuestos clorados en la red de distribución de agua potable del reservorio N° 2 de la planta El Milagro en la ciudad de Cajamarca durante el mes de diciembre del 2018 mediante el DS. N° 031-2010-SA y la OMS.

Objetivos específicos

- Determinar la concentración de cloro libre residual, cloro total residual y cloro combinado (cloraminas) en la red de distribución de agua potable del reservorio N° 2 de la planta El Milagro en la ciudad de Cajamarca durante el mes de diciembre del 2018.
- Comparar los resultados de concentración del cloro libre residual, cloro total residual y cloro combinado (cloraminas) de la red de distribución de agua potable del reservorio N° 2 de la planta El Milagro con los límites máximos permisibles dispuestos por el DS. N° 031-2010-SA y la OMS.

1.4. Justificación e importancia

El propósito fundamental del estudio es realizar la comprobación del cloro libre residual, Cloro total residual, y cloro combinado (cloraminas) del agua en la red de distribución de agua potable del reservorio N° 2 de la planta El Milagro.

Respecto a los problemas que se vienen presentando en la ciudad de Cajamarca en relación a la mala calidad de agua potable que suministra la E.P.S SEDACAJ S.A., es importante verificar diariamente la concentración de los compuestos clorados presentes en el agua que aseguren la inhibición o muerte de las bacterias patógenas y se garantice la salubridad del agua.

Dicho trabajo de investigación aborda como objetivo primordial medir la concentración de los compuestos clorados y así determinar si cloro libre residual, cloro combinado (cloraminas) y el cloro total residual están cumpliendo con los requerimientos que el DS. N° 031-2010-SA y la OMS exigen, y con ello asegurar que el agua potable de la red de distribución del reservorio N° 2 de la Planta El Milagro no pone en riesgo nuestra salud. Así, esta investigación permitirá profundizar los conocimientos teóricos sobre la desinfección y lo importante que es mantener los estándares de calidad del agua potable para el consumo humano, además de ofrecer una mirada integral sobre el servicio de agua potable que brinda la planta potabilizadora de Cajamarca, aportando a la concientización de la empresa.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2. Fundamentos teóricos de la investigación

2.1. Antecedentes teóricos

Se revisaron estudios anteriores similares los cuales permitirán tener un mejor enfoque de la investigación a realizar.

Mantilla y Rucoba (2014) en su estudio “Evaluación de la concentración de cloro en el agua de consumo humano en Cajamarca-Perú 2014”, concluyen que se puede observar de los dieciocho puntos de monitoreo, dieciséis presentan exceso de cloro en la planta de tratamiento Santa Apolonia en el mes de julio del 2014, y que de la concentración de cloro de los lugares provenientes de la planta El Milagro en el mes de junio del 2014 en distintos puntos de monitoreo la mayoría en concentraciones muy altas. (p.30 y 32)

Murrillo (2015) en el estudio denominado “Control estadístico de la calidad del agua respecto al cloro residual y turbidez en la planta de tratamiento SEDA Juliaca de 2015”, concluye que el cloro residual se encuentra bajo control estadístico de calidad ya que los límites de especificación de la planta de tratamiento SEDA Juliaca fue LCI: 1.897 mg/L LCS: 2.872 mg/L mientras los límites de tolerancia LCI: 1.6433 mg/L, LCS: 3.8567 mg/L. Del mismo modo se verificó las muestras de turbiedad y se encuentra bajo control estadístico de

calidad con límites de especificación de la planta de tratamiento SEDA Juliaca fue LCI: 0.441 UNT, LCS: 1.74 UNT, mientras los límites de tolerancia LCI: 1.342 UNT, LCS: 3.6588 UNT. Por lo que recomienda a los funcionarios de SEDA JULIACA que tengan mayor cuidado con el tratamiento del agua antes de distribuirlas a los domicilios, ya que el agua tratada es bombeada hacia los reservorios a partir de dos cisternas ubicadas en la planta de tratamiento, en el transcurso se pierde el cloro residual por la distancia que recorre porque las tuberías están oxidadas, la sala de cloración está deteriorada y el equipamiento en su conjunto no tiene la capacidad suficiente, se tiene que rehabilitar y equipar totalmente esta unidad de tratamiento para garantizar la calidad del agua producida en la planta de agua. (p.57)

Gutierrez y Torrez (2013) en el “Estudio comparativo y estadístico de la calidad del agua potable en las redes de distribución de la Parroquia Guapán del Cantón Azogue”, llegan a la conclusión de que el análisis físico-químico realizado en cada una de las redes de distribución de EMAPAL, FISE y PI demuestra que el agua de la red de EMAPAL y PI cumple con la normativa de referencia, en comparación con el agua de la red de distribución del FISE que no cumple con dos parámetros de calidad como son la turbiedad y cloro residual, mientras que los demás parámetros físico químicos se encuentran dentro de la NTE INEN 1108:1. Además el análisis microbiológico de las muestras de la red de distribución EMAPAL

demuestra ausencia de coliformes totales y fecales por lo tanto esta red cumple con la normativa de referencia. Por otro lado, en las muestras analizadas de la red de distribución FISE hay presencia de coliformes totales y fecales incumpliendo de este modo con la normativa; mientras que para la red de distribución PI, de las muestras analizadas un mínimo de estas presenta coliformes totales y fecales, incumpliendo así la normativa para estas muestras. Finalmente, EMAPAL cumple con todos los parámetros de calidad establecidos por la NTE INEN 1108:11, seguido de PI cuyo incumplimiento es bajo, quedando en último lugar FISE con mayor incumplimiento. (p.95)

2.2. Marco teórico

2.2.1. El agua

Según la Real Academia Española, el agua (del latín aqua) es la “sustancia formada por la combinación de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida, en pequeña cantidad incolora y verdosa o azulada en grandes masas”. El agua es la sustancia más abundante sobre nuestro planeta, creando un medio ideal para los seres vivos que habitan en él.

El agua es usada por el hombre para sus diversas actividades. Santafé (2009) afirma:

Que el agua como recurso natural es extraída de los ecosistemas para la utilización del hombre, pero un mayor suministro de agua significa una mayor descarga de aguas residuales, trayendo consigo una alteración de los ecosistemas; es aquí donde hay que dar importancia al desarrollo sostenible, que es aquel que permite racionalizar el uso de los recursos con la conservación de los ecosistemas. (p. 13-14)

2.2.2. Importancia del agua

Se piensa que el agua siempre estará allí para nosotros cuando nosotros la queremos. Reascos y Yar (2010) afirman: “Sin agua, los seres vivos morirían. Es necesaria para la vida del hombre, los animales y las plantas. Es parte importante de la riqueza de un país” (p.29).

Es utilizada en:

- En la agricultura (Reascos y Yar, 2010, p.29).
- La ganadería (Reascos y Yar, 2010, p.29).
- Para generar energía eléctrica (Reascos y Yar, 2010, p.29).
- Para lavar, limpiar en la industria y minería (Reascos y Yar, 2010, p.29).
- Como elemento de refrigeración y/o elemento que transporta el calor en la industria (Reascos y Yar, 2010, p.29).

- En forma de vapor para la industria (Reascos y Yar, 2010, p.29).
- Como elemento que interviene en mezclas y disoluciones, en la industria (Reascos y Yar, 2010, p.29).
- Para el transporte, (Ríos caudalosos para transporte fluvial, transporte de madera) (Reascos y Yar, 2010, p.29).
- Para el consumo humano (Reascos y Yar, 2010, p.29).

2.2.3. Calidad del agua

Con respecto a la calidad del agua para consumo humano está referido a sus características físicas, químicas y biológicas. Cánepa (2004) afirma que:

Esto es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas y se utiliza con mayor frecuencia en referencia a un conjunto de normas contra los cuales puede evaluarse el cumplimiento, dichos estándares más comunes utilizados para evaluar la calidad del agua se relacionan con la salud de los ecosistemas, seguridad de contacto humano y agua potable. (p. 51-52)

2.2.4. Agua potable

Cánepa (2004) define: “el agua potable es aquella que cumple con los requerimientos de las normas y reglamentos nacionales sobre calidad del agua para consumo humano” (p.51). Atiende a los siguientes requisitos:

- Libre de microorganismos que causan enfermedades (Cánepa, 2004, p.51).
- Libre de compuestos nocivos a la salud (Cánepa, 2004, p.51).
- Aceptable para consumo, con bajo contenido de color, gusto y olor aceptables (Cánepa, 2004, p.51).
- Sin compuestos que causen corrosión o incrustaciones en las instalaciones sanitarias (Cánepa, 2004, p.51).

Según la (Organización Mundial de la Salud, 2009). El marco para la seguridad del agua de consumo humano es:

- Metas de protección de la salud basadas en una evaluación de los peligros para la salud (OMS, 2009).
- Evaluación del sistema de abastecimiento de agua para determinar si puede, en su conjunto (del origen del agua al punto de consumo, incluido el tratamiento), suministrar agua que cumpla con las metas de protección de la salud (OMS, 2009).

- Monitoreo operativo de las medidas de control del sistema de abastecimiento de agua que tengan una importancia especial para garantizar su inocuidad (OMS, 2009).
- Planes de gestión que documenten la evaluación del sistema y los planes de monitoreo, y que describan las medidas que deben adoptarse durante el funcionamiento normal y cuando se produzcan incidentes, incluidas las ampliaciones y mejoras, la documentación y la comunicación (OMS, 2009).
- Un sistema de vigilancia independiente que verifica el funcionamiento correcto de los componentes anteriores (OMS, 2009).

2.2.5. Desinfección

Para Moreno y López (1991). “La desinfección del agua es un proceso que consiste en la reducción de los microorganismos patógenos para el humano hasta alcanzar un nivel que no represente un peligro para la salud” (p.5).

Esto significa que la adición al agua de cloro elemental o sus derivados constituye uno de los procesos químicos más utilizados en los procesos de desinfección del agua, este proceso es conocido como cloración; otros agentes desinfectantes usados son

el ozono, el permanganato de potasio, el bromo y el yodo.
(Moreno y López, 1991, p.5)

La desinfección con cloro del agua tiene dos funciones: “la primera es destruir o desactivar a la mayoría de los microorganismos que producen enfermedades; la segunda en especial en el agua de consumo es mejorar su calidad al reaccionar con el amonio, hierro, manganeso, sulfuros y algunas sustancias orgánicas” (Moreno y López, 1991, p.5).

La cloración puede causar efectos adversos al reaccionar el cloro con los fenoles y otros compuestos orgánicos presentes en el agua. “Esto significa la producción de cloraminas y organoclorados que le dan al agua sabor y olor característicos. Más aún, los organoclorados son considerados carcinogénicos” (Moreno y López, 1991, p.5).

2.2.6. Obtención del Cloro

Según Moreno y López (1991) la producción comercial de cloro se lleva a cabo por medio de una oxidación anódica del cloruro de sodio en solución acuosa:



Simultáneamente se produce hidróxido de sodio en el cátodo:



La reacción total es la siguiente:



El gas cloro generado mediante este método se purifica lavándolo con ácido sulfúrico para la eliminación de los hidrocarburos clorados y el cloruro férrico, obteniéndose así un producto con un 99.5% de pureza. El gas se licúa por compresión a 1.75 Kg/cm^2 a una temperatura de -4 a $-18^{1/2} \text{ C}$. (p.5)

2.2.7. Cloro

Según La Comisión Nacional del Agua (2007) el cloro se usó por primera vez con fines sanitarios en 1851 en Londres para desodorizar lodos. En agua, como método continuo de desinfección se empleó hasta 1908 en Bubbley Creck, Chicago (p.27).

La CNA (2007) menciona que, actualmente el cloro se aplica tanto en potabilización como depuración e incluye funciones adicionales a la desinfección, como son el control de sabor y olor, la prevención del crecimiento de algas en la infraestructura hidráulica, el mantenimiento de filtros, la remoción de hierro y manganeso, la destrucción del ácido sulfhídrico, la remoción de color por ciertos colorantes orgánicos y el mantenimiento de sistemas de distribución de agua (para controlar el limo). Hoy en día, se dispone de nuevos y eficientes sistemas para el manejo,

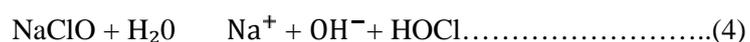
control y análisis de la cloración y por ello es el método de desinfección más utilizado a nivel mundial 87% de los procesos. Lo anterior también contribuye a su bajo costo, confiabilidad, eficiencia, pero, sobre todo, el efecto residual que guarda después de ser aplicado y que le permite continuar desinfectando aún después de que el agua haya salido de la planta de tratamiento; característica, que ningún otro método común de desinfección posee. (p.27)

2.2.8. Mecanismos de la desinfección con cloro

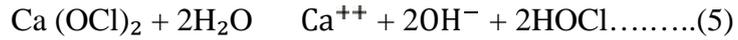
Según la (Organización Panamericana de la Salud-COSUDE, 2007). “La cloración del agua potable se lleva a cabo en la práctica mediante el burbujeo del cloro gaseoso o mediante la disolución de los compuestos de cloro y su posterior dosificación” (p.12).

“El cloro en cualquiera de sus formas se hidroliza al entrar en contacto con el agua, formado ácido hipocloroso (HOCl)” (OPS-COSUDE, 2007, p.12).

En el caso del hipoclorito de sodio, la reacción que tiene lugar es:



O en el caso del hipoclorito de calcio y la porción activa de la cal clorada, la reacción es:



Durante el proceso químico de la desinfección, se originan compuestos tales como cloraminas, dicloraminas y tricloraminas en presencia de amoníaco en el agua. “Las cloraminas sirven igualmente como desinfectantes, aunque reaccionen de una manera sumamente lenta. Asimismo, se forman el ácido clorhídrico (HCl) y los hidróxidos de calcio y sodio, los cuales no participan en el proceso de desinfección” (OPS-COSUDE, 2007, p.12).

La especie desinfectante es el ácido hipocloroso (HOCl), el cual se disocia en iones hidrógenos (H^+) e hipoclorito (OCl^-) y adquiere sus propiedades oxidantes.

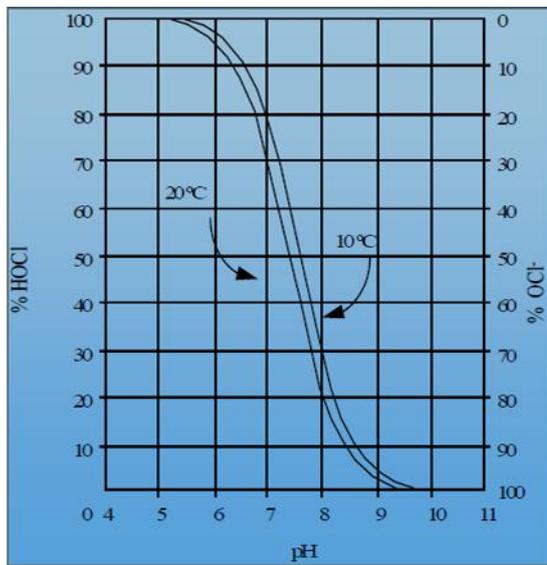


Figura 01: Comportamiento de las fracciones del ácido hipocloroso respecto a variaciones de pH.

Fuente: (OPS-COSUDE, 2007)

Ambas partes de las especies son microbicidas, y actúan inhabilitando la actividad enzimática de las bacterias y virus, y produciendo su inactivación. “Tanto el ácido hipocloroso (HOCl) como el ión hipoclorito (OCl^-) están presentes hasta cierto punto cuando el pH varía entre 6 y 9 (el rango usual para el agua natural y potable)” (OPS-COSUDE, 2007, p.12).

“Cuando el valor de pH del agua clorada es 7.5, el 50% de la concentración de cloro presente será ácido hipocloroso no disociado y el otro 50% será ión hipoclorito” (OPS-COSUDE, 2007, p.12).

Según OPS-COSUDE (2007) los diferentes porcentajes de HOCl y OCl^- a diferentes valores de pH pueden verse en la figura 01, que las diferentes concentraciones de las dos especies significan una considerable diferencia en la propiedad bactericida del cloro, ya que en estos dos compuestos presentan diferentes propiedades germicidas y la eficiencia de HOCl es por lo menos 80 veces mayor que la del OCl^- , es por esto que cuando es monitoreado el cloro en el agua, es aconsejable vigilar el pH, ya que esto dará una idea del potencial real bactericida de las especies desinfectantes presentes, por otro lado la turbiedad es otro factor importante de tener en cuenta al momento de la desinfección, ya que una excesiva turbiedad reducirá la efectividad por absorción del cloro, y además protegería a las bacterias y virus de su efecto oxidante. (p.12)

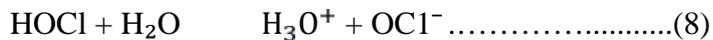
2.2.9. Reacciones del cloro en el agua

Para Moreno y López (1991), “la adición de cloro al agua hace que se formen el ácido hipocloroso y el ácido clorhídrico” (p.6).



“La reacción es casi completa al cabo de algunos segundos en una solución diluida, y con un pH superior a 4, el equilibrio se desplaza hacia la derecha de la ecuación, encontrándose poco cloro” (Moreno y López, 1991, p.6).

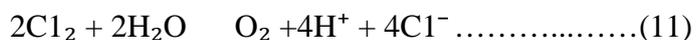
“A su vez el ácido hipocloroso al contacto con el agua se ioniza casi inmediatamente, forma los iones hidronio e hipoclorito” (Moreno y López, 1991, p.6).



Moreno y López (1991) nos mencionan que, las características del ácido hipocloroso al ser un ácido débil (pKa 7.0 a 0^{1/2}C y de 7.54 a 20^{1/2} C) el cloro existe como HOCl a pH bajo y a pH de 6.5 a 8.5 se produce un cambio de HOCl a OCl⁻ al par ácido base de HOCl/OCl⁻ se le denomina cloro libre, además el mismo equilibrio puede lograrse en el agua con cloro puro, hipoclorito de calcio o hipoclorito de sodio la diferencia es que el cloro tiende a bajar el pH del medio, mientras que los hipocloritos lo suben. (p.6)

Las reacciones químicas precedentes dependen del pH, cuanto más bajo sea el pH, más alto el porcentaje de ácido hipocloroso presente. “La interacción resultante entre el cloro o sus productos de hidrólisis (HOCl ó OC1⁻) y la presencia de los microorganismos es lo que produce la desinfección” (Moreno y López, 1991, p.6).

“Así, el poder oxidante del cloro es una medida de la energía de desinfección del cloro en el agua, las reacciones de oxidación que ocurren al adicionar cloro al agua pura” (Moreno y López, 1991, p.7).



Esta última ecuación es la representación de la reacción total de óxido reducción. “Es decir el cloro Cl₂ se reduce completamente y se consume su poder oxidante. Cuando el agua contiene microorganismos, la reacción es diferente; el oxígeno libre no se libera porque el cloro reacciona con los microorganismos” (Moreno y López, 1991, p.7).

El cloro añadido al agua se consume de las siguientes formas:

- Reacción con los compuestos reductores (Moreno y López, 1991, p.7).

- Reacción con los compuestos orgánicos (Moreno y López, 1991, p.7).
- Reacción para formación de cloraminas (Moreno y López, 1991, p.7).
- Destrucción de cloraminas (Moreno y López, 1991, p.7).
- Formación de cloro libre residual (Moreno y López, 1991, p.7).

2.2.10. Demanda del cloro

Según CNA (2007) la cantidad de cloro que consumen las sustancias reductoras y la materia orgánica se define como demanda de cloro (p.36).

Esto significa que cuantitativamente representa la cantidad que se agrega menos la que se conserva al término de la reacción (cloro residual) y se mide en mg/L, o en partes por millón. El tiempo de reacción generalmente se fija en 10 minutos para agua potable y de 15 a 30 minutos para agua residual. (CNA, 2007, p.36)

“En general y dependiendo de la cantidad de cloro que se añade, la reacción puede dar origen a lo siguiente” (CNA, 2007, p.36).

- “Que el cloro adicionado sea suficiente para oxidar las sustancias presentes en el agua y no quede residual para actuar como desinfectante” (CNA, 2007, p.36).

- Que el cloro adicionado sea suficiente para reaccionar con los compuestos reductores y la materia orgánica presente para formar compuestos orgánicos de cloro los cuales tienen poca o ninguna acción desinfectante pudiendo, además, provocar sabores u olores indeseables (CNA, 2007, p.36).
- Que el cloro que se dosifique sea el suficiente para reaccionar con todas las sustancias reductoras, la materia orgánica y quede, además, una cantidad que trabaje en agua potable como cloro libre residual y lleve a efecto la desinfección del agua o, en agua residual, se combine con el amoníaco para producir cloraminas, también desinfectantes. (CNA, 2007, p.36)

Para la CNA (2007), la demanda de cloro es la cantidad mínima necesaria de cloro activo para eliminar las bacterias del agua en el nivel deseado después de que el cloro haya reaccionado con las sustancias presentes y para evaluar la demanda de cloro se agregan cantidades conocidas del reactivo y se evalúa la cantidad remanente de microorganismos. (p.36)

2.2.11. Factores que afectan la eficiencia de desinfección

La CNA (2007), define los principales factores para la desinfección son la dosis, el tiempo de contacto, la temperatura y el PH (p.37).

2.2.11.1. Dosis de cloro

“La dosis de cloro ideal es la necesaria para destruir todos los organismos patógenos presentes en ella, antes de que sea consumida por la población o descargada al medio ambiente” (CNA, 2007, p.37).

“Por tanto, para poder determinarla es indispensable tener en cuenta” (CNA, 2007, p.37).

- Organismos que se intenta destruir u organismos índices (coliformes, Entamoeba histolytica o Giardia lamblia) (CNA, 2007, p.37).
- Tiempo disponible entre el momento en que se aplica el cloro al agua y el momento en que ésta es consumida, usada o descargada (CNA, 2007, p.37).
- Cantidad de cloro que económicamente se debe agregar (CNA, 2007, p.37).
- Clase de desinfectante que se forma en el agua (HOCl, OCl⁻, NH₂Cl) según sea el pH y el contenido de nitrógeno y materia orgánica de ella (CNA, 2007, p.37).
- Definir si el agua requiere pre y poscloración o sólo poscloración, dependiendo de las características de la fuente por ejemplo, aguas altamente contaminadas con coliformes

superiores a 5×10^3 o que presenten una excesiva producción de algas en la planta, deben siempre preclorarse (CNA, 2007, p.37).

- Definir si se requiere una etapa de descloración (CNA, 2007, p.37).

En todo proceso de desinfección debe usar la poscloración. “Las dosis dependerá de la demanda de cloro en la red y las longitudes, al presentar largos periodos de retención, requieren dosis iniciales mayores que las redes cortas” (CNA, 2007, p.37).

Según la CNA (2007) “para determinar la dosis óptima, se deben realizar pruebas de laboratorio agregando cantidades crecientes de cloro al agua y midiendo su concentración a través del tiempo” (p.37).

La CNA (2007) afirma que, “la dosis óptima será la que produzca un residual de cloro libre de 0.2 a 1.5 mg/L para agua potable al final del período de contacto o la destrucción total o parcial de patógenos según requiera la norma” (p.37).

Tabla 01

Dosis de cloro aplicadas en plantas potabilizadoras

Compuesto de cloro	Dosis (mg/L)
Cloro gas	1-16
Hipoclorito de sodio	0.2- 2
Hipoclorito de calcio	0.5 -5

Fuente: (EPA, 1999)

2.2.11.2. Tiempo de contacto

Otro de los factores que influye en el proceso de la desinfección es el tiempo de contacto o disponible para que el cloro reaccione con los microorganismos.

Según la CNA (2007) refiere: “El tiempo de contacto debe ser como mínimo de 10 a 15 minutos en agua potable y de 15 a 30 minutos en agua residual, Sin embargo, es preferible dejar transcurrir mayor tiempo posible para lograr una desinfección efectiva” (p.37).

2.2.11.3. Temperatura

El cloro reacciona más rápido a temperaturas elevadas con los microorganismos reductores.

Esto significa que, a pesar de esto, el cloro es más estable en agua fría lo que en la práctica compensa la menor velocidad de desinfección. Así, para lograr la misma acción a 4°C que a 21°C, la concentración de cloro libre residual debe ser el

doble con los demás factores constantes. (CNA, 2007,p.38)

2.2.11.4. pH

El pH es uno de los factores que se debe tener en cuenta al momento del proceso de desinfección ya que afecta la reacción del cloro y cloro combinado.

Para la CNA (2007), mientras más alcalina sea el agua se requieren mayores dosis para una misma temperatura y tiempo de contacto, es decir, a un pH de 6.5 y una temperatura de 21°C, 0.3 mg/L de cloro combinado causa un efecto letal al 100 % de bacterias, y a la misma temperatura, para lograr el mismo efecto, el cloro residual combinado debe aumentarse hasta 0.6 mg/L a pH de 7.0 y hasta 1.2 mg/L a pH de 8.5. (p.38)

2.2.12. Cloración al punto de quiebre

Según la CNA (2007) “debido a que el cloro es un agente oxidante fuerte, reacciona con la mayor parte del material en estado reducido (Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2S y amoníaco), esta materia consume el cloro antes de que éste actúe como desinfectante. La cantidad de cloro necesaria para obtener cloro libre residual es determinada experimentalmente y la figura N°02 muestra una curva típica para ello” (p.34).

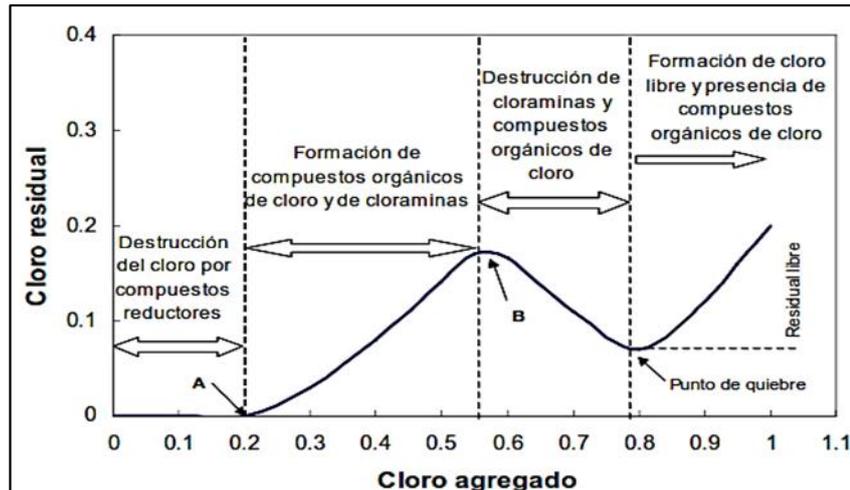


Figura 02: Curva obtenida en la cloración a punto de quiebre

Fuente: (CNA, 2007)

En la figura 02 se observa que, conforme el cloro es añadido, reacciona con la materia oxidable y así todo se reduce a ión cloro (punto A), después de haber cubierto esta demanda, el cloro sigue reaccionando con el amoníaco para formar cloraminas (entre el punto A y B), entre el punto B y el punto de quiebre, algunas de las cloraminas se convierten a tricloruro de nitrógeno (NCl_3). (CNA, 2007, p.34)

“Las cloraminas restantes son oxidadas a óxido nitroso (N_2O) y nitrógeno (N_2) y el cloro se reduce a ión cloro y si se adiciona más cloro, la mayoría de las cloraminas se oxidarán” (CNA, 2007, p.34).

Una vez alcanzando el punto de quiebre, el cloro añadido resulta en un aumento proporcional del cloro libre residual. “En la actualidad, por su efectividad, facilidad de control y economía, la cloración a residual libre o cloración después del punto de

quiebre sólo se realiza para agua de suministro, donde las cloraminas son muy escasas” (CNA, 2007, p.35).

Las ventajas de la cloración a residual libre son:

- “Se puede obtener una desinfección efectiva con un período de contacto de 10 minutos” (CNA, 2007, p.35).
- “El valor del cloro libre residual no cambia para valores de pH entre 6.0 y 8.0 y en un amplio intervalo de temperatura” (CNA, 2007, p.35).
- “Mejora el olor y sabor del agua potable” (CNA, 2007, p.35).
- “Es posible mantener el efecto desinfectante a lo largo de la distribución” (CNA, 2007, p.35).

2.2.13. Determinación de cloro libre residual en campo, con DPD

“En ausencia del ion yodo, el cloro libre reacciona instantáneamente con la DPD (N, N dietil p-fenilen diamina) produciendo un complejo de color rosa, la intensidad de éste es proporcional a la cantidad de cloro libre presente en la muestra” (Moreno y López, 1991, p.10).

2.2.14. Compuestos clorados

Cuando el cloro es añadido al agua, ya sea en la forma de hipoclorito de calcio o sodio, o como cloro elemental (gas licuado), lejía de sosa o como isocianurato (cloro orgánico). Se

desarrollan una serie de procesos o combinaciones químicas que se describen gráficamente a continuación. (Batallas, 2012, p.1)

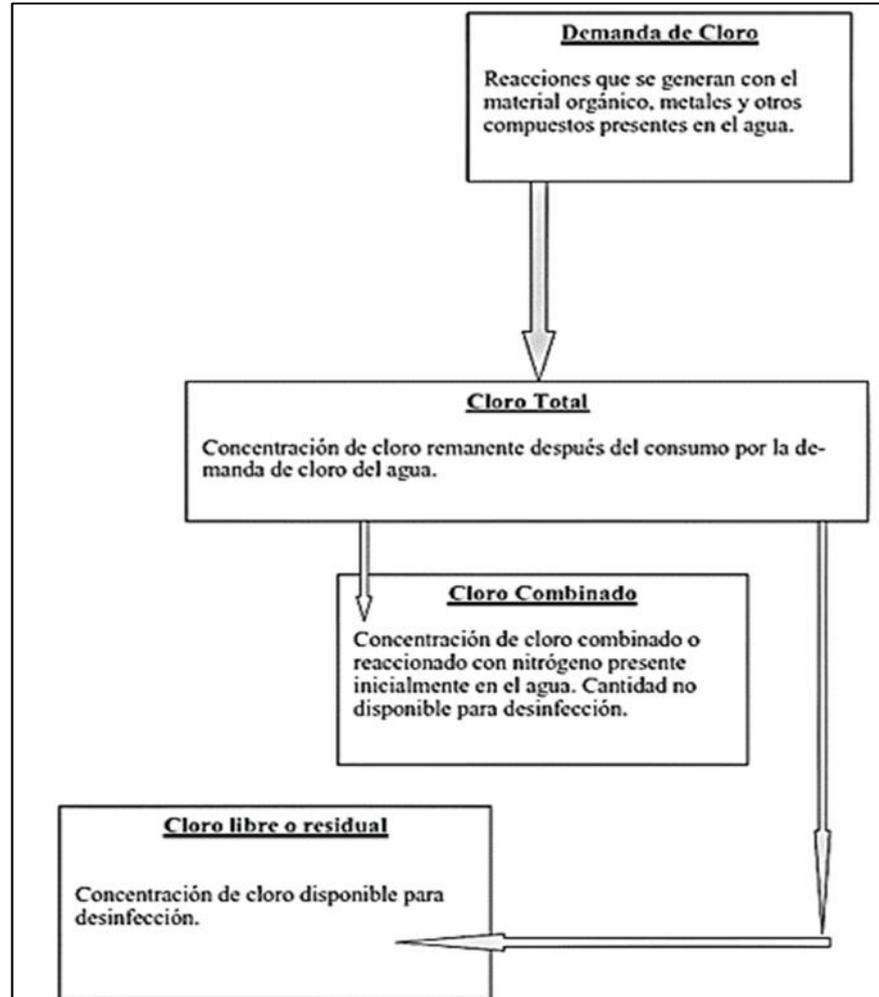


Figura 03: Compuestos clorados

Fuente: (Batallas, 2012)

2.2.14.1. Cloro libre residual

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2004). “El cloro libre residual en el agua de consumo humano se encuentra como una combinación de hipoclorito y ácido hipocloroso, en una proporción que varía en función del pH total”.

Cuando se añade Cloro al suministro de agua, parte de este se adhiere a elementos químicos tales como el hierro y el calcio, así como también a bacterias que pueden estar presentes en el agua. “Cuando esto sucede, el cloro adherido forma sustancias como cloruro de hierro y cloruro de calcio y destruye las bacterias. La cantidad de Cloro que no se adhiere o no se aglutina se denomina Cloro Libre Residual (sobrante)” (Cánepa, 2004).

La OMS (2004) señala: “No se ha observado ningún efecto adverso en humanos expuestos a concentraciones de cloro libre en agua potable. No obstante, establece un valor guía máximo de cloro de 5 mg/L, y afirma explícitamente que se trata de un valor conservador” (p.1).

Según el Reglamento de la Calidad del Agua para el Consumo Humano (2011) Señala: Antes de la distribución del agua para consumo humano, se realizará la desinfección con un desinfectante eficaz para eliminar todo microorganismo y dejar un residual a fin de proteger el agua de posible contaminación microbiológica en la distribución; en caso de usar cloro o solución clorada como desinfectante, todas las muestras tomadas en

cualquier punto de la red de distribución, no deberán contener menos de 0.5 mg/L de cloro libre residual, y ninguna debe estar por debajo de 0.3 mg/L. (p.29)

En el punto más alejado de la red, donde posiblemente los niveles de cloro libre residual sean los más escasos, es decir, “si los niveles de cloro se encuentran por debajo de 0.2 mg/L, es necesario añadir más cloro en un punto intermedio de la red de tuberías” (OMS, 2009, p.2).

2.2.14.2. Cloraminas

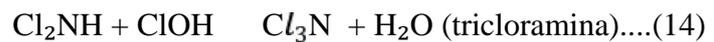
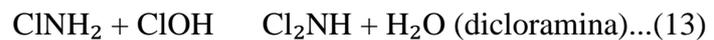
“El cloro residual combinado es el resultado de la combinación del cloro con el amonio (cloraminas), y su poder desinfectante es menor que el libre” (OMS, 2009, p.1).

Según Quirós (2005), las cloraminas fueron identificadas como desinfectante en las primeras décadas del siglo XX al comprobarse que la desinfección con cloro tenía lugar en dos fases, en la fase inicial, el cloro al oxidar una serie de sustancias presentes en el agua desaparece rápidamente y en una segunda fase, cuando en el agua hay presencia de amoníaco, la acción bactericida continúa, a pesar de que el cloro libre hubiera desaparecido, debido

precisamente a la acción de las cloraminas formadas.
(p.57)

Para Quirós (2005) “Cuando el agua objeto de la cloración contiene amoníaco u otros compuestos amoniacaes, se forman compuestos de adición llamados cloraminas” (p.57).

Las reacciones de formación de las cloraminas son:



“La formación de una u otra cloramina, así como la velocidad de reacción, se ve regida por el pH del agua, la temperatura y la relación de cloro/amoníaco” (Quirós, 2005, p.57).

Para Quirós (2005), “la distribución de la monocloramina y dicloramina se ajusta a la siguiente ecuación de equilibrio” (p.57).



Quirós (2005) nos muestra en la figura 04, la relación entre las cloraminas en función del pH y las especies de cloraminas que forman; a un pH superior a 7 y una relación molar de cloro/amoníaco igual a 1

o menor, predominará la formación de monocloramina; su tasa de formación es muy rápida (su rapidez será máxima a pH = 8,3) y la tasa de formación de la dicloramina es más baja, su máximo se alcanza a pH próximo a 4,5; a pH inferior a 4, fundamentalmente, sólo habrá tricloramina o tricloruro de nitrógeno, por tanto, a los pH normales del tratamiento, próximos a 7-8, la principal cloramina que se encuentra presente es la monocloramina, mientras que la dicloramina no representará un porcentaje significativo en el total, a menos que la relación molar cloro/amoniaco sea mayor que 1 y menos aún la tricloramina. (p.57)

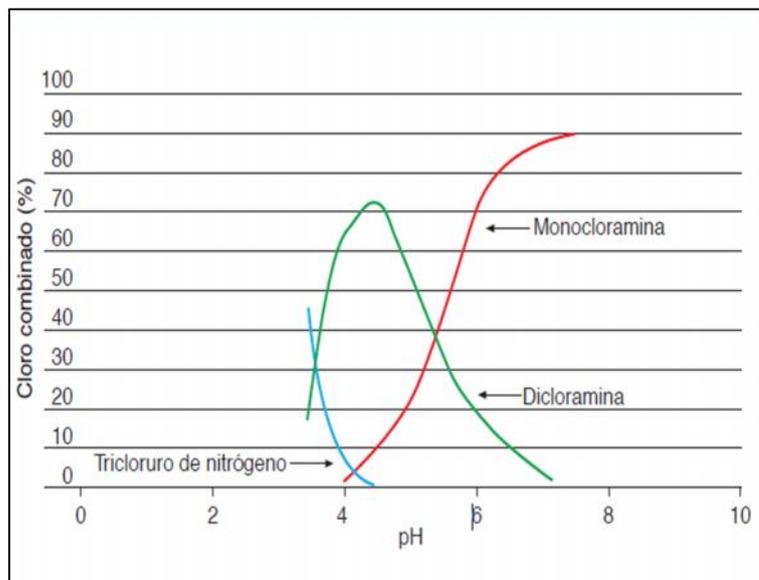


Figura 04: Especies de cloraminas en función del pH

Fuente: (Quirós, 2005)

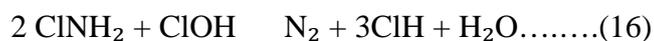
“En el caso de la cloración por el punto crítico o breakpoint y trasladando esta técnica al caso hipotético de un agua que sólo contenga amoníaco, todos los compuestos formados en la cloración serán cloraminas” (Quirós, 2005, p.58).

Según Quirós (2005), las reacciones de óxido-reducción del amoníaco y el cloro existen en el sentido de oxidación del amoníaco y reducción del cloro. Cuando la relación molar de cloro a amoníaco alcanza el valor de 2/1, el proceso es prácticamente completo, desapareciendo tanto el amoníaco como el cloro oxidante, a este punto es conocido como punto de inflexión de estas reacciones y se corresponde al punto de breakpoint para la cloración de un agua natural o residual, como ya se ha señalado. (p.58)

En la figura 05 Quirós (2005), representa la gráfica teórica de estas reacciones y en ella se aprecia que entre los puntos A y B la relación molar de cloro a amoníaco es menor que 1 y el cloro que ha reaccionado con el amoníaco pasa a formar casi totalmente monoclорamina, máxima en el punto B (relación molar cloro/amoníaco igual a 1) y al pasar del punto B, las monoclорaminas van pasando a dicloraminas y tricloraminas hasta llegar al punto de

inflexión (relación molar cloro/amoníaco igual a 2,1, equivalente aproximadamente a una relación en peso igual a 8) donde las cloraminas habrán sido destruidas (en este punto existirá una pequeña cantidad de cloro libre residual irreducible, formando pequeñas cantidades de tricloraminas). (p.58)

“A partir del punto de inflexión, el cloro que se siga añadiendo quedará en forma de cloro libre residual y la monocloramina habrá pasado a nitrógeno gas, según la siguiente reacción” (Quirós, 2005, p.58).



Quirós (2005), menciona la evolución del amoníaco en la formación de las cloraminas puede seguirse en el mismo gráfico, donde partiendo de una concentración determinada (en el gráfico 0.5 mg/L), pasa completamente a monocloramina cuando la relación molar cloro/amoníaco es igual a 1 (aproximadamente 4/1 en peso) y si no se ha alcanzado esta relación, existirá amoníaco libre junto al combinado, por otro lado, las cantidades de uno y otro para una dosis de cloro añadido vienen determinadas por la recta AB. (p.58)

“En las aguas superficiales, la representación gráfica que nos indica la evolución del cloro libre residual, a medida que se va aplicando cloro, es diferente y menos acusada que la antes expuesta para un agua con sólo amoníaco” (Quirós, 2005, p.58).

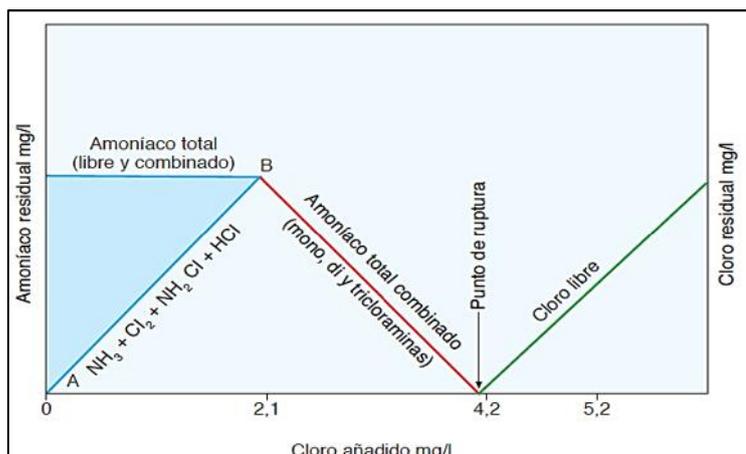


Figura 05: Evolución del amoníaco en la formación de las cloraminas

Fuente: (Quirós, 2005)

En la figura 6 se representan los intervalos de formación de las especies de cloraminas, mostrando las concentraciones de cloro libre residual y cloro añadido en mg por mg de amonio. Quirós (2005) explica:

Que en la formación de cloraminas, mediante reacción del cloro y amoníaco, la relación óptima cloro/amoníaco más aceptada para la formación de monocloraminas, es 4/1 en peso, a su vez, la

monocloramina, originará menos problemas de sabores y olores que la di y tricloramina, que se formarán a más altas relaciones cloro/amoníaco o más bajos pH; la dicloramina a concentraciones del orden de 0.5 mg/L puede ocasionar problemas de sabores y olores y en el caso de la tricloramina, su presencia, aun a concentraciones tan bajas como 0.02 mg/L, comunica un olor irritante y junto con la dicloramina es la responsable del clásico olor a interior de piscina y que en ambas se desprenden del agua a una velocidad superior a la monocloramina, especialmente la tricloramina. (p.59)

Según Quirós (2005), la capacidad bactericida de las cloraminas es atribuida al grado de hidrólisis de éstas y también a la propia cloramina no hidrolizada y la pequeña constante de hidrólisis de las cloraminas sólo permite la formación de una pequeña cantidad de ácido hipocloroso, pero a medida que éste desaparece, la hidrólisis continúa y la cloramina proporciona más ácido hipocloroso y amoníaco. (p.59)

La hidrólisis viene representada por la reacción:

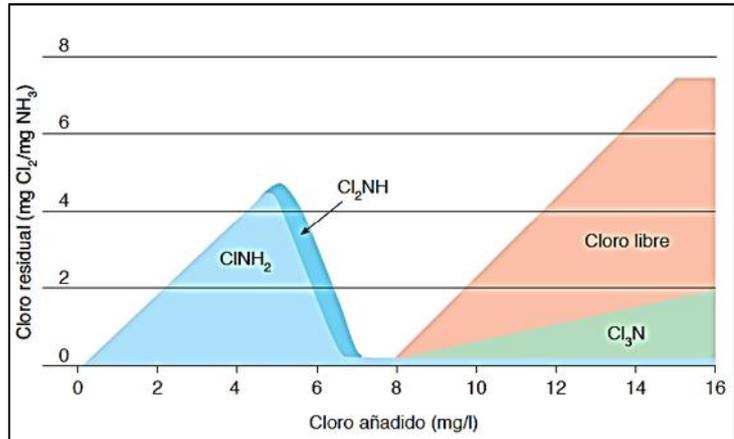


Figura 06: Zonas de formación de las cloraminas

Fuente: (Quirós, 2005)

Quirós (2005), menciona que la Directiva de la UE limita el contenido de amoníaco a un máximo de 0.5 mg/L, y admitiendo que el amoníaco que se encuentra combinado para formar las cloraminas y añadido expresamente con este fin, está sometido a esta limitación, el contenido máximo de cloraminas (monocloramina) para una relación cloro/amoníaco en peso de 4/1 será de 2 mg/L, que por otra parte es el máximo contenido de cloro libre residual combinado permitido por nuestra reciente reglamentación. (p.59)

“La concentración a aplicar sería específica de cada abastecimiento, es decir, variaría en función de su extensión, tiempo de retención, evolución y

demanda del propio sistema y la OMS fija un nivel guía para cloraminas de 3 mg/L” (Quirós, 2005, p.59).

En la figura 07 se representa el esquema de una instalación de dosificación de cloro y amoníaco para la formación de cloramina.

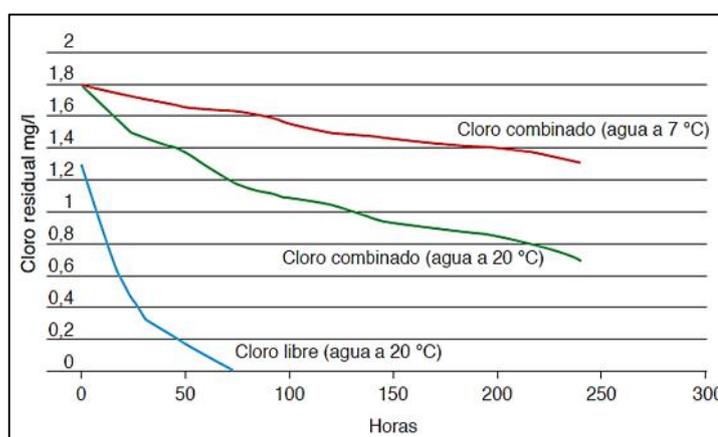


Figura 07: Evolución del cloro libre residual y combinado en el tiempo

Fuente: (Quirós, 2005)

2.3. Hipótesis

La concentración de los compuestos clorados en la red de distribución de agua potable del reservorio N° 2 de la planta El Milagro, cumple con los límites máximos permisibles dispuestos por el DS. N° 031-2010-SA y la OMS.

2.3.1. Operacionalización de las variables

Tabla 02

Operacionalización de variables

Variables	Indicadores	Instrumentos
<u>Variable</u>		
<u>independiente</u>	- Cloro total residual	- Parámetros dispuestos
- Límites máximos permisibles.	5 mg/L	Según OMS y DS. N° 031-210-SA.
	- Cloro libre residual	
	0.5 mg/L	
	- Cloro combinado (cloraminas)	
	3 mg/L	
<u>Variable</u>		
<u>dependiente</u>	- Cloro total residual.	- Colorímetro.
- Concentración de compuestos clorados.	- Cloro libre residual.	- Libreta de campo.
	- Cloro combinado (cloraminas).	

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3. Metodología de investigación

3.1. Tipo de investigación

Sampieri, et al. (2014) afirma: “En una investigación explicativa, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da éste, o por qué dos o más variables están relacionadas” (p.95).

“Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales” (Sampieri, et al.,2014, p.95).

Es un estudio mas estructurado que los exploratorios y descriptivos y de hecho implica los propósitos de la investigación (exploración, descripción y correlación) además de proporcionar un "sentido de entendimiento" del fenómeno estudiado.

3.2. Diseño de la investigación

Es un diseño longitudinal, consiste en medir, analizar y observar un fenómeno a través de un intervalo temporal determinado. En este caso, se centra en medir la variabilidad de la concentración de los compuestos clorados obtenidos a las 6 h, 12 h y 18 h, en el sector 01, sector 02, sector 03 y sector 04 por 5 días durante el mes de diciembre del 2018.

3.3. Unidad de análisis, universo y muestra

3.3.1. Unidad de análisis

Agua potable de la red de distribución de del reservorio N° 2 de la Planta El Milagro.

3.3.2. Universo

Agua potable de la ciudad de Cajamarca.

3.3.3. Muestra

Se tomaron un total de 60 muestras del agua de los grifos de la zona urbana de la ciudad de Cajamarca, es decir (03) muestras diarias (6 h, 12 h y 18 h) por cada sector (sector 01, sector 02, sector 03 y sector 04) durante 5 días del mes de diciembre del 2018.

3.4. Métodos de investigación

3.4.1. Investigación de Campo

Se identificó y georreferenció mediante un GPS los puntos para la toma de muestras de agua de la red de distribución de agua potable del reservorio N° 2 de la planta El Milagro en la ciudad de Cajamarca.

La toma de muestra se realizó a través de las conexiones domiciliarias enlazadas directamente al reservorio N° 2 de la planta El Milagro.

Muestreo del agua de los grifos:

- Se verificó que la llave no tenga fugas y que las uniones de las tuberías estén en buen estado.
- Se limpió cuidadosamente la boca de la llave con agua destilada y paño limpio de papel para retirar la suciedad que pudo existir.
- Se abrió llave a un minuto antes de tomar la muestra para asegurarse de que cualquier posible depósito en la tubería se lo lleve la corriente.
- Se tomó la muestra de agua en celdas esterilizadas y se procedió inmediatamente a hacer el análisis de los compuestos clorados.
- Si se cree conveniente se repite la prueba.

Tabla 03

Plan de muestreo para el análisis

Sectores	Ubicación georreferenciada	Número de días para toma de muestras	Horas de la toma de muestras	Total, de muestras por sector
Sector 01	Av. 13 de Julio #725		- 06 h	
	17 M 0773301	5 días	- 12 h	15
	UTM: 9209071		- 18 h	
Sector 02	Jr. Los Alisos		- 06 h	
	17 M 0773636	5 días	- 12 h	15
	UTM: 9209695		- 18 h	
Sector 03	Urbanización Santa Mercedes		- 06 h	
		5 días	- 12 h	15
	17 M 0775337		- 18 h	
	UTM: 9208454			
Sector 04	Jr. José Sabogal # 813		- 06 h	
		5 días	- 12 h	15
	17 M 0774473		- 18 h	
	UTM: 9208261			
Total, muestras				60

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Técnicas de investigación

La técnica de investigación fue cuantitativa, solamente se midieron las variables y luego se realizó un análisis comparativo.

En el presente trabajo, además se presentan gráficos y tablas que permiten contar con una visión general de la investigación. En base de los datos obtenidos, se realizó un análisis comparativo de los compuestos clorados (cloro total residual, cloro libre residual, cloraminas) con los parámetros dispuestos por el DS. N° 031-2010-SA y la OMS.

Tabla 04

Procesos de desarrollo de la investigación

Fase	Proceso	Actividades
Fase de campo		Recolección de muestras de agua en
	Colecta y registro de muestras	los grifos del sector 01, sector 02, sector 03 y sector 04.
		Preservación de la muestra
	Análisis fisicoquímico	Cloro libre residual Cloraminas Cloro total residual
Fase de análisis	Elaboración de una Base de datos	Datos de campo y de laboratorio.
	Análisis de datos	Análisis comparativo: Resultados obtenidos y parámetros dispuestos por el DS. N° 031-2010-SA y la OMS.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis físicoquímico: reacción entre el cloro y el reactivo DPD (dietil-pfenilendiamina) origina una coloración rosa en la muestra que es proporcional a la concentración de cloro.

3.6. Instrumentos

- Para medir el cloro libre residual y cloro total se usó un colorimétrico que tiene una especificidad de identificación de concentración de cloro libre residual y cloro total residual en agua en un rango entre 0 y 3.5 mg/L, el cual es de fácil manejo, transporte y uso; además de una libreta de campo para el registro de los datos obtenidos en los diferentes puntos de muestreo. La determinación de cloraminas se realizó mediante la diferencia del cloro total con el cloro libre residual.
- Otro instrumento de recolección de datos fue los parámetros dispuestos por la OMS y el DS. N° 031-210-SA. referencial para los valores mínimos y máximos de cloro total residual, Cloro libre residual y cloro combinado que deben estar presente en el agua para ser apta para consumo humano.

3.7. Técnicas de análisis de datos (estadísticas)

La técnica de análisis de datos se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA) y diagrama de caja o bigotes a través del software del Minitab 17, para determinar si existe o no variabilidad entre los puntos de muestreo predeterminados, así mismo la hoja de cálculo Excel y los histogramas del Minitab 17 para la comparación de los resultados obtenidos y los parámetros dados por el DS. N° 031-2010-SA y la OMS.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

Determinación de los compuestos clorados por sector de la red de distribución de agua potable del reservorio N° 2 de la planta El Milagro.

Resultados obtenidos de cloro libre residual en mg/L															
Días	15-dic			17-dic			19-dic			21-dic			23-dic		
Sectores \ Horas	6 h	12 h	18 h	6 h	12 h	18 h	6 h	12 h	18 h	6 h	12 h	18 h	6 h	12 h	18 h
Sector 01	0.07	0.05	0.02	0.01	0.05	0.03	0.12	0.09	0.06	0.14	0.92	0.69	0.09	0.20	0.08
Sector 02	0.03	0.06	0.16	0.08	0.05	0.10	0.10	0.06	0.07	0.50	0.86	0.50	0.41	0.20	0.12
Sector 03	0.01	0.00	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.05	0.02	0.04	0.05	0.06	0.31	0.36	0.16
Sector 04	0.37	0.00	0.00	0.01	0.03	0.13	0.01	0.05	0.10	0.10	0.37	0.22	0.06	0.35	0.10

Figura 08: Tabla de resultados obtenidos de cloro libre residual

Fuente: Elaboración propia.

Resultados obtenidos de cloro combinado (cloraminas) en mg/L															
Días	15-dic			17-dic			19-dic			21-dic			23-dic		
Sectores \ Horas	6 h	12 h	18 h	6 h	12 h	18 h	6 h	12 h	18 h	6 h	12 h	18 h	6 h	12 h	18 h
Sector 01	0.34	0.32	0.25	0.02	0.51	0.33	0.30	0.40	0.19	0.56	0.29	0.52	0.95	0.78	0.81
Sector 02	0.24	0.55	0.18	0.34	0.65	0.16	0.16	0.50	0.17	0.44	0.29	0.67	0.65	0.85	0.84
Sector 03	0.18	0.24	0.30	0.32	0.61	0.33	0.13	0.50	0.40	0.74	0.25	0.69	0.64	0.70	0.63
Sector 04	0.06	0.12	0.40	0.21	0.19	0.19	0.08	0.55	0.25	0.22	0.94	1.06	0.97	0.70	0.96

Figura 09: Tabla de resultados obtenidos de cloro combinado (cloraminas)

Fuente: Elaboración propia

Resultados obtenidos de cloro total residual en mg/L															
Días	15-dic			17-dic			19-dic			21-dic			23-dic		
Sectores \ Horas	6 h	12 h	18 h	6 h	12 h	18 h	6 h	12 h	18 h	6 h	12 h	18 h	6 h	12 h	18 h
Sector 01	0.41	0.37	0.27	0.03	0.56	0.36	0.42	0.49	0.25	0.70	1.21	1.21	1.04	0.98	0.89
Sector 02	0.27	0.61	0.34	0.42	0.70	0.26	0.26	0.56	0.24	0.94	1.15	1.17	1.06	1.05	0.96
Sector 03	0.19	0.24	0.32	0.34	0.65	0.35	0.15	0.55	0.42	0.78	0.30	0.75	0.95	1.06	0.79
Sector 04	0.43	0.12	0.40	0.22	0.22	0.32	0.09	0.60	0.35	0.32	1.31	1.28	1.03	1.05	1.06

Figura 10: Tabla de resultados obtenidos de cloro total residual

Fuente: Elaboración propia

4.2. Análisis e interpretación de resultados respecto al cloro libre residual

4.2.1. Análisis estadístico respecto al cloro libre residual

a) ANOVA de un solo factor: Cloro Libre Residual (mg/L) vs.

Sector

Tabla 05

Hipótesis estadística para factor sector

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	= 0.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 06

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Sectores	4	Sector 01, Sector 02, Sector 03, Sector 04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 07

Análisis de varianza para factor sector

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust	Valor F	Valor p
Sectores	3	0.1671	0.05571	1.41	0.249
Error	56	2.2105	0.03947		
Total	59	2.3776			

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la comparación entre el valor p y el nivel de significancia(), se puede observar que: p , (0.249 > 0.05), hay

suficiente probabilidad estadística para aceptar la hipótesis nula; todas las medias son iguales.

Tabla 08

Medias para factor sector

Sectores	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Sector 01	15	0.1747	0.2641	(0.0719; 0.2774)
Sector 02	15	0.2200	0.2396	(0.1172; 0.3228)
Sector 03	15	0.0787	0.1110	(-0.0241; 0.1814)
Sector 04	15	0.1267	0.1358	(0.0239; 0.2294)

Desv.Est. agrupada = 0.198678

Fuente: Elaboración propia

En estos resultados, cada sector tiene un intervalo de confianza, estos intervalos de confianza son rangos de valores que probablemente contienen la media real por sector.

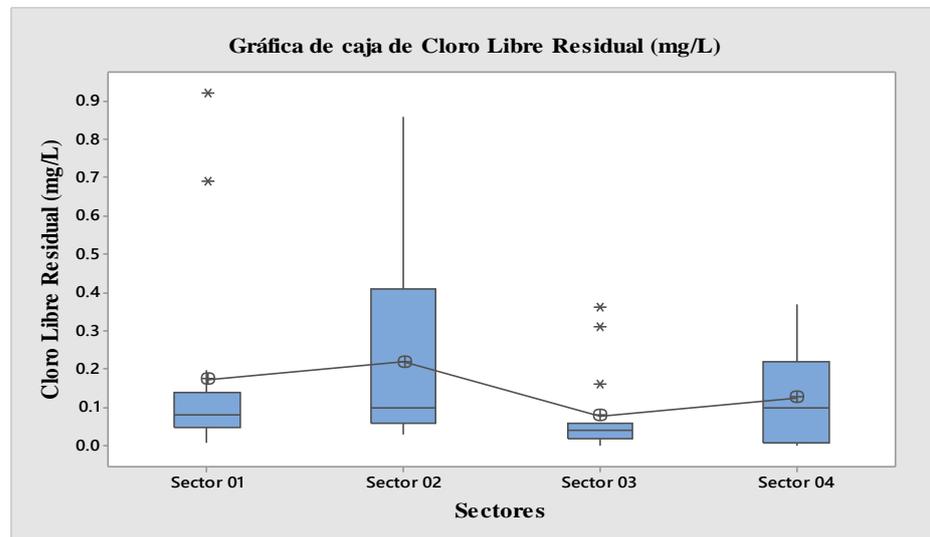


Figura 11: Gráfica de cajas del cloro libre residual para factor sector

Fuente: Elaboración propia

En la figura 11, se muestra las medias de cloro libre residual por sector, indicando una tendencia lateral que se mantiene en los cuatro sectores, es decir, que los valores de cloro libre residual no varían de manera significativa en la red de distribución.

Tabla 09

Comparaciones en parejas de Fisher para factor sector

Sectores	N	Media	Agrupación
Sector 02	15	0.2200	A
Sector 01	15	0.1747	A
Sector 04	15	0.1267	A
Sector 03	°15	0.0787	A

Fuente: Elaboración propia

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. La tabla 09 nos muestra que el grupo A contiene los sectores 01, 02, 03 y 04, lo que indica que, sus medias son significativamente iguales o estadísticamente homogéneas. Esto significa que el cloro libre residual en los cuatro sectores no varía de manera significativa.

Tabla 10

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor sector

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
Sector 02 - Sector 01	0.0453	0.0725	(-0.1000; 0.1907)	0.62	0.535
Sector 03 - Sector 01	-0.0960	0.0725	(-0.2413; 0.0493)	-1.32	0.191
Sector 04 - Sector 01	-0.0480	0.0725	(-0.1933; 0.0973)	-0.66	0.511
Sector 03 - Sector 02	-0.1413	0.0725	(-0.2867; 0.0040)	-1.95	0.056
Sector 04 - Sector 02	-0.0933	0.0725	(-0.2387; 0.0520)	-1.29	0.204
Sector 04 - Sector 03	0.0480	0.0725	(-0.0973; 0.1933)	0.66	0.511

Nivel de confianza simultánea = 80.09%

Fuente: Elaboración propia

Los intervalos de confianza indican lo siguiente:

- Los pares que contengan cero no son estadísticamente significativos.
- Los pares que no contengan cero son estadísticamente significativos.

Al realizar la comparación de los valores de p de los pares de medias con el nivel de significancia, indica que no son estadísticamente significativa.

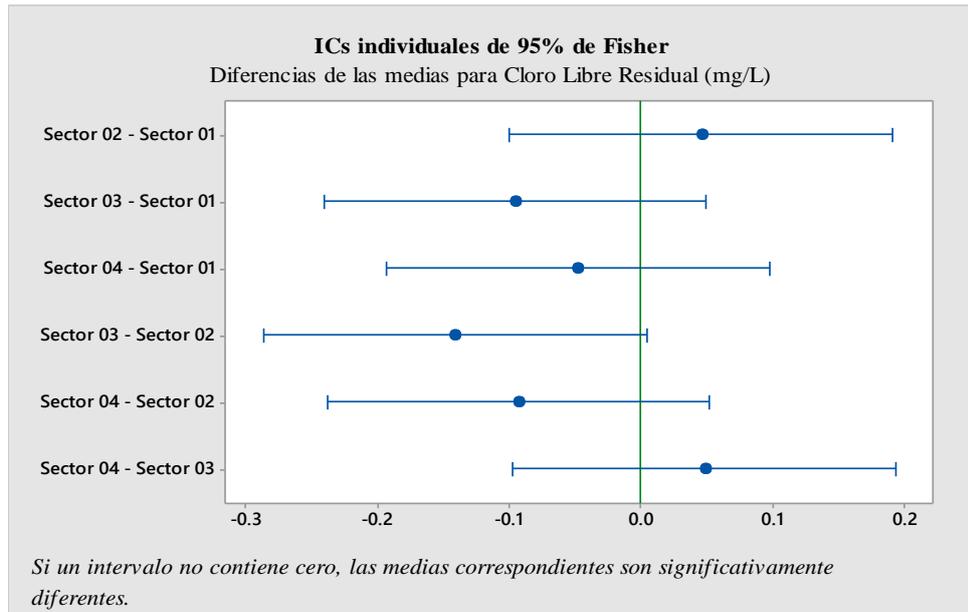


Figura 12: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor sector

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la figura 12, los intervalos de confianza de los pares de medias incluyen cero, por lo tanto, los cuatro sectores son estadísticamente homogéneos, es decir, que el cloro libre residual se encuentra en niveles homogéneos a lo largo de la red de distribución.

b) ANOVA de un solo factor: Cloro Libre Residual (mg/L) vs.

Día

Tabla 11

Hipótesis estadística para factor día

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	= 0.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Días	5	15-dic, 17-dic, 19-dic, 21-dic, 23-dic

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

Análisis de varianza para factor día

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust	Valor F	Valor p
Días	4	0.9223	0.23058	8.71	0.000
Error	55	1.4553	0.02646		
Total	59	2.3776			

Fuente: Elaboración propia

Al comparar el valor p y el nivel de significancia ($0.000 < 0.05$), hay suficiente probabilidad estadística para aceptar la hipótesis alterna, es decir, el valor p es menor al nivel de significancia, por lo tanto, las medias son estadísticamente diferentes.

Tabla 14

Medias para factor día

Días	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
15-dic	12	0.0658	0.1059	(-0.0283; 0.1599)
17-dic	12	0.0475	0.0377	(-0.0466; 0.1416)
19-dic	12	0.0625	0.0352	(-0.0316; 0.1566)
21-dic	12	0.3708	0.3211	(0.2767; 0.4649)
23-dic	12	0.2033	0.1237	(0.1092; 0.2974)

Desv.Est. agrupada = 0.162665

Fuente: Elaboración propia

En estos resultados, cada día tiene un intervalo de confianza, estos intervalos de confianza son rangos de valores que probablemente contienen la media real por día.

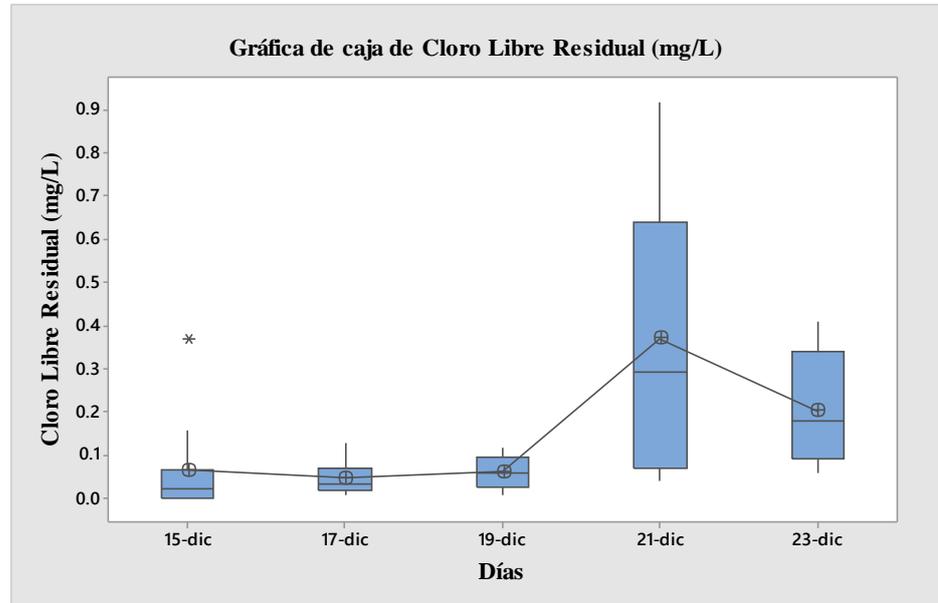


Figura 13: Gráfica de cajas del cloro libre residual para factor día

Fuente: Elaboración propia

En la figura 13, se muestra las medias de cloro libre residual por día, indicando una tendencia lateral que se mantiene durante los 5 días de muestreo, es decir, que los valores de cloro libre residual no varían de manera significativa.

Tabla 15

Comparaciones en parejas de Fisher para factor día

Días	N	Media	Agrupación
21-dic	12	0.3708	A
23-dic	12	0.2033	B
15-dic	12	0.0658	C
19-dic	12	0.0625	C
17-dic	12	0.0475	C

Fuente: Elaboración propia

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, en la tabla muestra que el grupo A contiene el día 21 de diciembre, el grupo B contiene el día 23 de diciembre, el grupo C contiene los días 15,17,19 de diciembre, por lo tanto, el grupo A, grupo B y grupo C son significativamente diferentes.

Tabla 16

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor día

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
17-dic - 15-dic	-0.0183	0.0664	(-0.1514; 0.1148)	-0.28	0.784
19-dic - 15-dic	-0.0033	0.0664	(-0.1364; 0.1298)	-0.05	0.960
21-dic - 15-dic	0.3050	0.0664	(0.1719; 0.4381)	4.59	0.000
23-dic - 15-dic	0.1375	0.0664	(0.0044; 0.2706)	2.07	0.043
19-dic - 17-dic	0.0150	0.0664	(-0.1181; 0.1481)	0.23	0.822
21-dic - 17-dic	0.3233	0.0664	(0.1902; 0.4564)	4.87	0.000
23-dic - 17-dic	0.1558	0.0664	(0.0227; 0.2889)	2.35	0.023
21-dic - 19-dic	0.3083	0.0664	(0.1752; 0.4414)	4.64	0.000
23-dic - 19-dic	0.1408	0.0664	(0.0077; 0.2739)	2.12	0.038
23-dic - 21-dic	-0.1675	0.0664	(-0.3006; -0.0344)	-2.52	0.015

Nivel de confianza simultánea = 72.22%

Fuente: Elaboración propia

Los intervalos de confianza indican lo siguiente:

- Los pares que contengan cero no son estadísticamente significativos.
- Los pares que no contengan cero son estadísticamente significativos.

Al ser el valor $p > \alpha$, en algunas comparaciones; y $p < \alpha$ en otras, hay suficiente probabilidad estadística para aceptar la hipótesis alterna, donde no todas las medias son iguales.

El nivel de confianza simultáneo indica que podemos estar un 72.22% seguro de que todos estos intervalos de confianza contienen las diferencias reales.

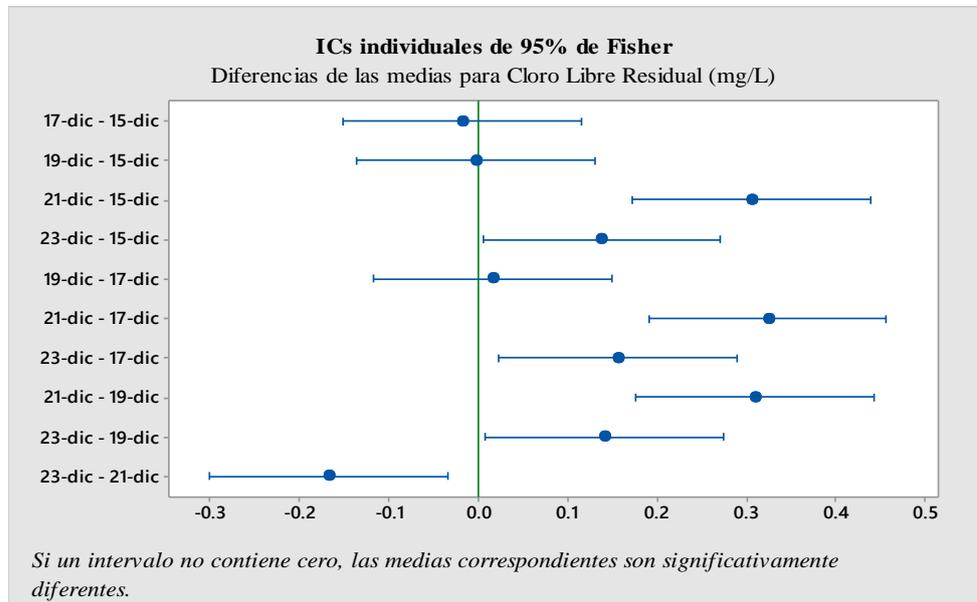


Figura 14: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor día

Fuente: Elaboración propia

En la figura 14 se observa a tres de los intervalos que contienen cero, por lo que son estadísticamente homogéneos y siete de los intervalos no contienen cero, siendo así estadísticamente diferentes.

c) ANOVA de un solo factor: Cloro Libre Residual (mg/L) vs.

Hora

Tabla 17

Hipótesis estadística para factor hora

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	= 0.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Horas	3	06 h, 12 h, 18 h

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19

Análisis de varianza para factor hora

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Horas	2	0.05356	0.02678	0.66	0.522
Error	57	2.32404	0.04077		
Total	59	2.37760			

Fuente: Elaboración propia

Al comparar entre el valor p y el nivel de significancia ($0.522 > 0.05$), hay suficiente probabilidad estadística para aceptar la hipótesis nula, es decir, el valor p es mayor que el nivel de significancia entonces las medias son estadísticamente homogéneas.

Tabla 20

Medias para factor hora

Horas	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
06 h	20	0.1250	0.1486	(0.0346; 0.2154)
12 h	20	0.1920	0.2666	(0.1016; 0.2824)
18 h	20	0.1330	0.1708	(0.0426; 0.2234)

Desv.Est. agrupada = 0.201922

Fuente: Elaboración propia

En estos resultados, cada hora tiene un intervalo de confianza, estos intervalos de confianza son rangos de valores que probablemente contienen la media real por hora.

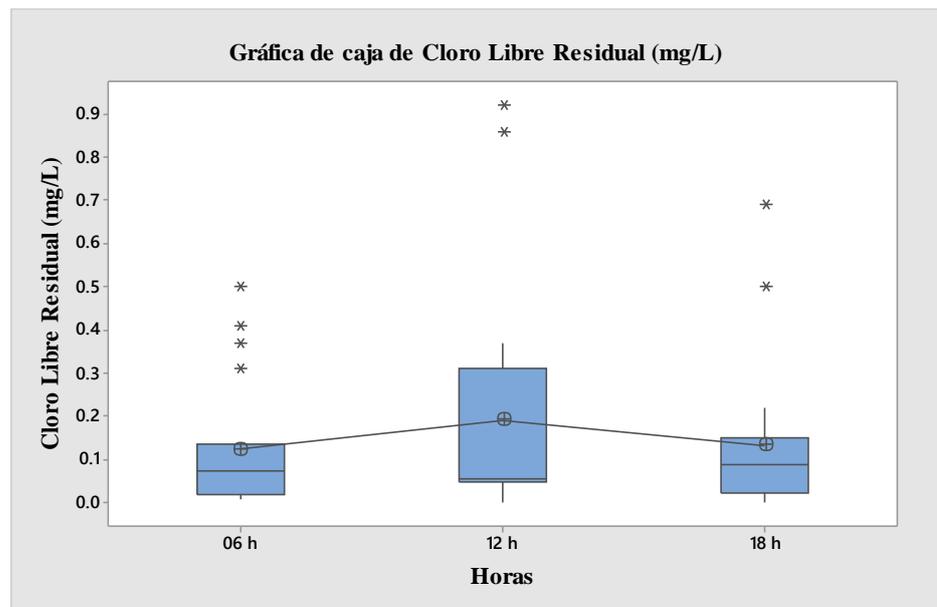


Figura 15: Gráfica de cajas del cloro libre residual para factor hora

Fuente: Elaboración propia

En la figura se observa las medias de cloro libre residual por hora, indicando una tendencia lateral entre las horas de muestreo durante

los 5 días, es decir, que los valores de cloro libre residual no varían de manera significativa.

Tabla 21

Comparaciones en parejas de Fisher para factor día

Horas	N	Media	Agrupación
12 h	20	0.1920	A
18 h	20	0.1330	A
06 h	20	0.1250	A

Fuente: Elaboración propia

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, en la tabla muestra que el grupo A contiene las horas (06 h, 12 h y 18 h), esto indica que las medias de las horas no son estadísticamente significativas sino estadísticamente homogéneas.

Tabla 22

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor hora

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
12 h – 06 h	0.0670	0.0639	(-0.0609; 0.1949)	1.05	0.298
18 h – 06 h	0.0080	0.0639	(-0.1199; 0.1359)	0.13	0.901
18 h – 12 h	-0.0590	0.0639	(-0.1869; 0.0689)	-0.92	0.359

Nivel de confianza simultánea = 87.92%

Fuente: Elaboración propia

Al ser los valores de p de la diferencia entre horas mayor que el nivel de significancia, nos indica que son estadísticamente homogéneas.

El nivel de confianza simultáneo indica que podemos estar un 87.92% seguro de que todos estos intervalos de confianza contienen las diferencias reales.

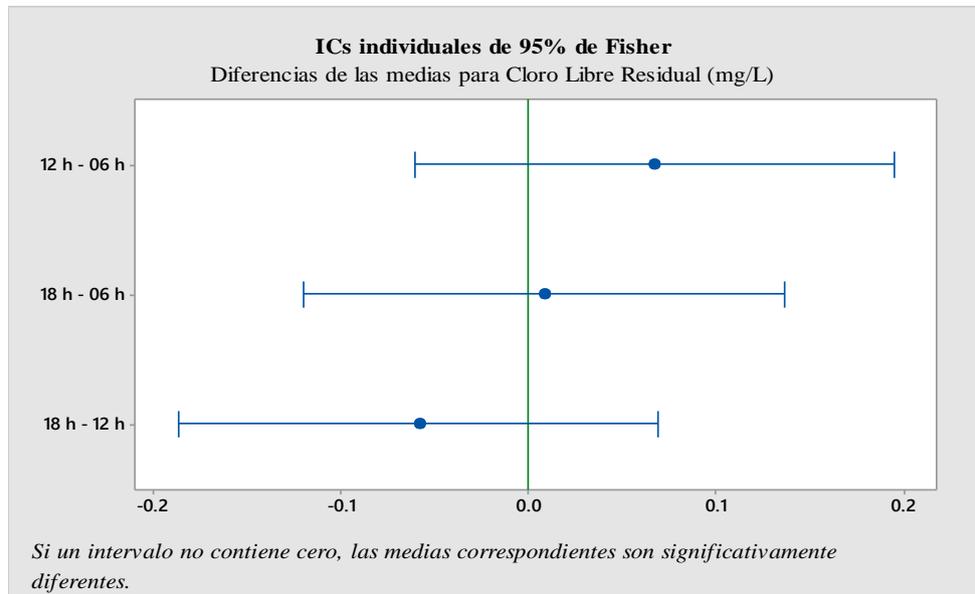


Figura 16: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor hora

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la figura 16, que los intervalos de confianza de los pares de medias incluyen cero, por lo tanto, las medias son estadísticamente homogéneas entre horas de muestreo.

**d) Control estadístico del cloro libre residual vs LMP
dispuestos según la OMS y el DS N° 031-2010-SA.**

Tabla 23

Datos estadísticos del cloro libre residual (mg/L)

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para μ
60	0.1500	0.2007	0.0259	0.1926

Fuente: Elaboración propia

μ : media de Cloro Libre Residual (mg/L), desviación estándar conocida = 0.2007, LMP (0.5 mg/L).

Tabla 24

Hipótesis estadística para cloro libre residual (mg/L)

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 0.5$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu < 0.5$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25

Prueba de hipótesis para cloro libre residual (mg/L)

Valor Z	Valor p
-13.51	0.000

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla el tabla 25, el valor de “p” es menor que el nivel de significancia, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, indicando que las concentraciones encontradas estan por dejabalo de LMP (0.5 mg/L).

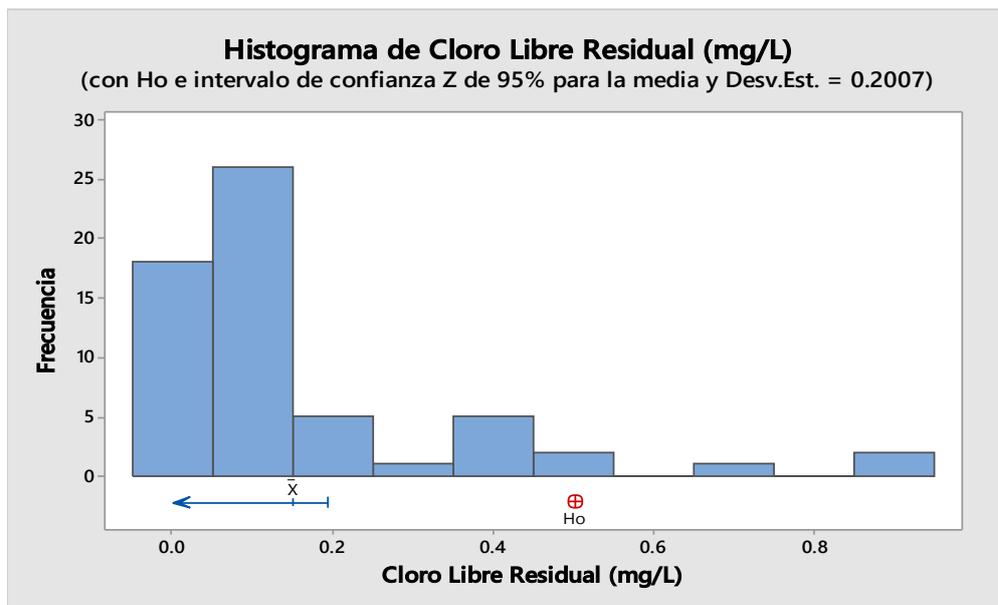


Figura 17: Histograma del cloro libre residual

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el histograma de la figura 17 las concentraciones se encuentran por debajo de 0.5 mg/L en su mayoría, por lo tanto, no garantiza el cumplimiento de la normativa nacional vigente y la OMS.

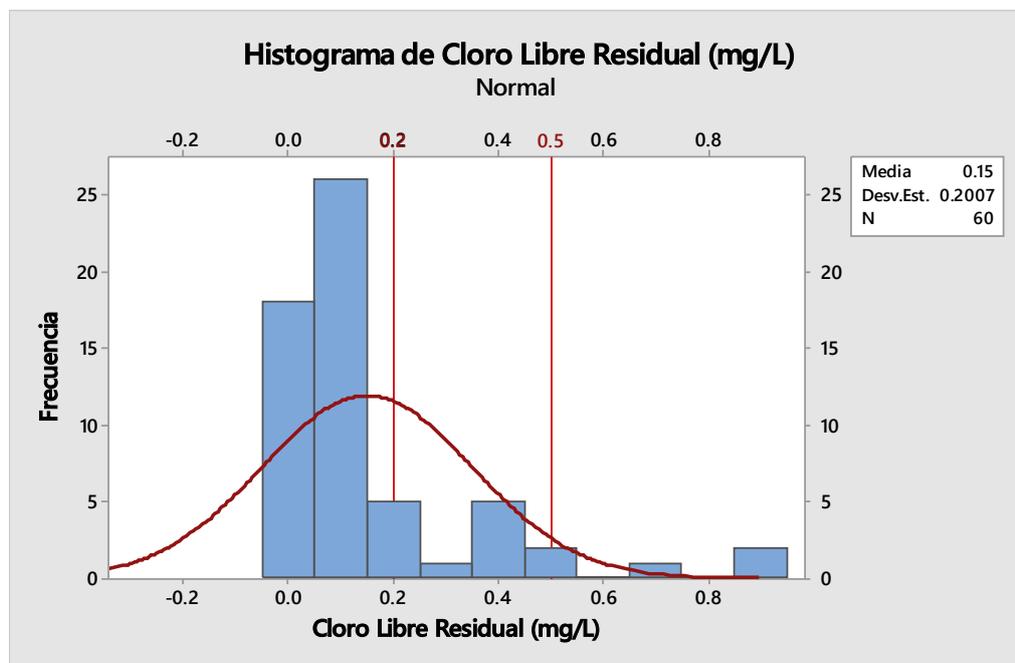


Figura 18: Histograma del cloro libre residual vs LMP (mg/L).

Fuente: Elaboración propia

En la figura 18 se puede observar que las concentraciones de cloro libre residual están por debajo de los límites máximos permisibles (0.5mg/L), y en el punto más alejado de la red de distribución según señala la OMS dichos valores deben estar por encima de 0.2 mg/L. Según la figura muestra que la mayoría los valores encontrados están por debajo de los parámetros, lo que significa que la empresa SEDACAJ no está cumpliendo con la normativa vigente para cloro libre residual.

4.2.2. Discusión de resultados respecto al cloro libre residual

En base a las concentraciones obtenidas de la red de distribución del reservorio N° 2 de la plata el Milagro - Cajamarca se realizó el siguiente análisis:

- Por sector: de acuerdo a los resultados obtenidos en la figura 11 se muestra que el valor del cloro libre residual por sector no varía de manera significativa, manteniendo una tendencia lateral a lo largo de toda la red de distribución, así mismo en la comparación de la diferencia de medias se observar en la figura 12 que son estadísticamente homogéneas en los cuatro sectores.
- Por día: según muestra la figura 13 la concentración del cloro libre residual en los días 15-dic, 17-dic y 19-dic su variación es mínima a comparación de los días 21-dic y 23-dic donde se observa una variación notoria.

- Por hora: en la figura 15 se puede observar que el cloro libre residual es más alto a las 12 h y más bajo a la 06 h.
- Además, en la figura 18 podemos verificar que las concentraciones en toda la red de distribución se encuentran por debajo de lo que establece la ley, lo que significa que la cloración es deficiente, o que el cloro libre residual por diversos factores ha ido reaccionando dentro de la red de distribución. Según el DS. N° 031-2010-SA. el cloro libre residual 0.5 mg/L, en el punto más alejado de la red según OMS (2009) “si los niveles de cloro se encuentran por debajo de 0.2 mg/L, es necesario añadir más cloro en un punto intermedio de la red de tuberías” (p.2).
- Como se observa en la figura 18 en su mayoría no cumple con lo establecido en la normativa vigente y la OMS, no garantizando así que el agua sea apta para el consumo humano.

4.3. Análisis e interpretación de resultados respecto al cloro combinado

4.3.1. Análisis estadístico respecto al cloro combinado

a) ANOVA de un solo factor: Cloro Combinado (mg/L) vs. Sector

Tabla 26

Hipótesis estadística para factor sector

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	= 0.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Sectores	4	Sector 01, Sector 02, Sector 03, Sector 04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28

Análisis de varianza para factor sector

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Sectores	3	0.00390	0.001300	0.02	0.997
Error	56	4.26336	0.076131		
Total	59	4.26726			

Fuente: Elaboración propia

Al hacer la comparación entre el valor p y el nivel de significancia ($0.997 > 0.05$), hay suficiente probabilidad estadística para aceptar la hipótesis nula, es decir, el valor p es mayor que el nivel de

significancia entonces las medias son estadísticamente homogéneas.

Tabla 29

Medias para factor sector

Sectores	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Sector 01	15	0.4380	0.2526	(0.2953; 0.5807)
Sector 02	15	0.4460	0.2470	(0.3033; 0.5887)
Sector 03	15	0.4440	0.2098	(0.3013; 0.5867)
Sector 04	15	0.4600	0.3684	(0.3173; 0.6027)
Desv.Est. agrupada = 0.275919				

Fuente: Elaboración propia

En estos resultados, cada sector tiene un intervalo de confianza, estos intervalos de confianza son rangos de valores que probablemente contienen la media real por sector.

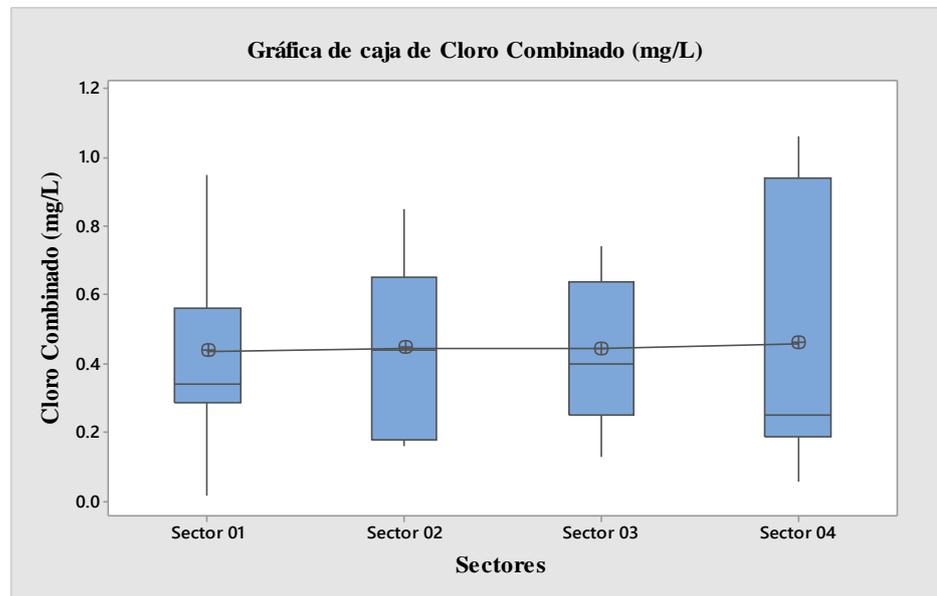


Figura 19: Gráfica de cajas del cloro combinado para factor sector

Fuente: Elaboración propia

En la figura 19, se muestra las medias de cloro combinado por sector, indicando una tendencia lateral que se mantiene en los

cuatro sectores, es decir, que los valores de cloro combinado no varían de manera significativa a lo largo de la red de distribución.

Tabla 30

Comparaciones en parejas de Fisher para factor sector

Sectores	N	Media	Agrupación
Sector 04	15	0.4600	A
Sector 02	15	0.4460	A
Sector 03	15	0.4440	A
Sector 01	15	0.4380	A

Fuente: Elaboración propia

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. La tabla 27 muestra que el grupo A contiene los sectores 01, 02, 03 y 04, lo que indica que las medias son significativamente iguales o estadísticamente homogéneas.

Tabla 31

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor sector

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
Sector 02 - Sector 01	0.008	0.101	(-0.194; 0.210)	0.08	0.937
Sector 03 - Sector 01	0.006	0.101	(-0.196; 0.208)	0.06	0.953
Sector 04 - Sector 01	0.022	0.101	(-0.180; 0.224)	0.22	0.828
Sector 03 - Sector 02	-0.002	0.101	(-0.204; 0.200)	-0.02	0.984
Sector 04 - Sector 02	0.014	0.101	(-0.188; 0.216)	0.14	0.890
Sector 04 - Sector 03	0.016	0.101	(-0.186; 0.218)	0.16	0.874

Nivel de confianza simultánea = 80.09%

Fuente: Elaboración propia

Los intervalos de confianza indican lo siguiente:

- Los pares que contengan cero no son estadísticamente significativos.
- Los pares que no contengan cero son estadísticamente significativos.

Al realizar la comparación de los valores de p de los pares de medias con el nivel de significancia, indica que no son estadísticamente significativa.

El nivel de confianza simultáneo indica que podemos estar un 80.09 % seguro de que todos estos intervalos de confianza contienen las diferencias reales.

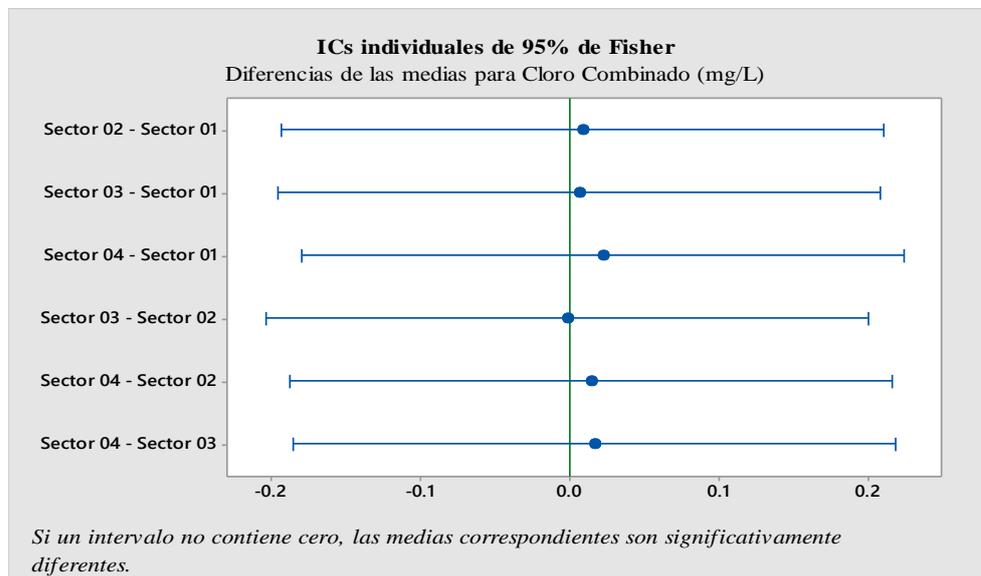


Figura 20: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor sector

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la figura que los intervalos de confianza de los pares de medias incluyen cero, por lo tanto, los cuatro sectores son estadísticamente homogéneas, y se acepta la hipótesis nula que todas las medias son iguales.

b) ANOVA de un solo factor: Cloro Combinado (mg/L) vs. Día

Tabla 32

Hipótesis estadística para factor día

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	= 0.05

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Días	5	15-dic, 17-dic, 19-dic, 21-dic, 23-dic

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34

Análisis de varianza para factor día

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Días	4	2.390	0.59762	17.51	0.000
Error	55	1.877	0.03412		
Total	59	4.267			

Fuente: Elaboración propia

Al comparar el valor p y el nivel de significancia ($0.000 < 0.05$), hay suficiente probabilidad estadística para aceptar la hipótesis

alterna, es decir, el valor p es menor al nivel de significancia, por lo tanto, las medias son estadísticamente diferentes.

Tabla 35

Medias para factor día

Días	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
15-dic	12	0.2650	0.1308	(0.1581; 0.3719)
17-dic	12	0.3217	0.1886	(0.2148; 0.4285)
19-dic	12	0.3025	0.1626	(0.1956; 0.4094)
21-dic	12	0.5558	0.2745	(0.4490; 0.6627)
23-dic	12	0.7900	0.1270	(0.6831; 0.8969)

Desv.Est. agrupada = 0.184725

Fuente: Elaboración propia

En estos resultados, cada día tiene un intervalo de confianza, dichos intervalos de confianza son rangos de valores que probablemente contienen la media real por día.

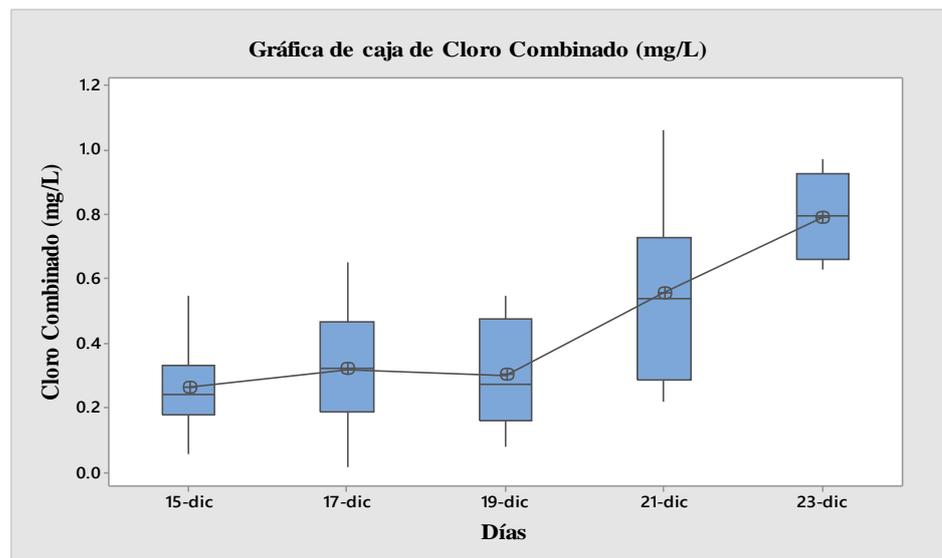


Figura 21: Gráfica de cajas del cloro combinado para factor día

Fuente: Elaboración propia

En la figura 21, se muestra las medias de cloro combinado por día, indicando una tendencia lateral en los días 15,17 y 19, y los días 21, 23 cambia a una tendencia alcista, es decir, que los valores de cloro combinado en los días 15,17 y 19 no varían de manera significativa, puesto que en los días 21, 23 la varianza es notable.

Tabla 36

Comparaciones en parejas de Fisher para factor día

Días	N	Media	Agrupación
23-dic	12	0.7900	A
21-dic	12	0.5558	B
17-dic	12	0.3217	C
19-dic	12	0.3025	C
15-dic	12	0.2650	C

Fuente: Elaboración propia

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. La tabla nos muestra que el grupo A contiene el día 23 de diciembre, el grupo B contiene el día 21 de diciembre, el grupo C contiene los días 15,17,19 de diciembre, indicando así, que el grupo A y grupo B y grupo C son significativamente diferentes o estadísticamente significativas.

Tabla 37

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor día

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
17-dic - 15-dic	0.0567	0.0754	(-0.0945; 0.2078)	0.75	0.456
19-dic - 15-dic	0.0375	0.0754	(-0.1136; 0.1886)	0.50	0.621
21-dic - 15-dic	0.2908	0.0754	(0.1397; 0.4420)	3.86	0.000
23-dic - 15-dic	0.5250	0.0754	(0.3739; 0.6761)	6.96	0.000
19-dic - 17-dic	-0.0192	0.0754	(-0.1703; 0.1320)	-0.25	0.800
21-dic - 17-dic	0.2342	0.0754	(0.0830; 0.3853)	3.11	0.003
23-dic - 17-dic	0.4683	0.0754	(0.3172; 0.6195)	6.21	0.000
21-dic - 19-dic	0.2533	0.0754	(0.1022; 0.4045)	3.36	0.001
23-dic - 19-dic	0.4875	0.0754	(0.3364; 0.6386)	6.46	0.000
23-dic - 21-dic	0.2342	0.0754	(0.0830; 0.3853)	3.11	0.003

Nivel de confianza simultánea = 72.22%

Fuente: Elaboración propia

Los intervalos de confianza indican lo siguiente:

- Los pares que contengan cero no son estadísticamente significativos.
- Los pares que no contengan cero son estadísticamente significativos.

Al ser el valor $p > \alpha$, en algunas comparaciones; y $p < \alpha$ en otras, hay suficiente probabilidad estadística para aceptar la hipótesis alterna, donde no todas las medias son iguales.

El nivel de confianza simultáneo indica que podemos estar un 72.22% seguro de que todos estos intervalos de confianza contienen las diferencias reales.

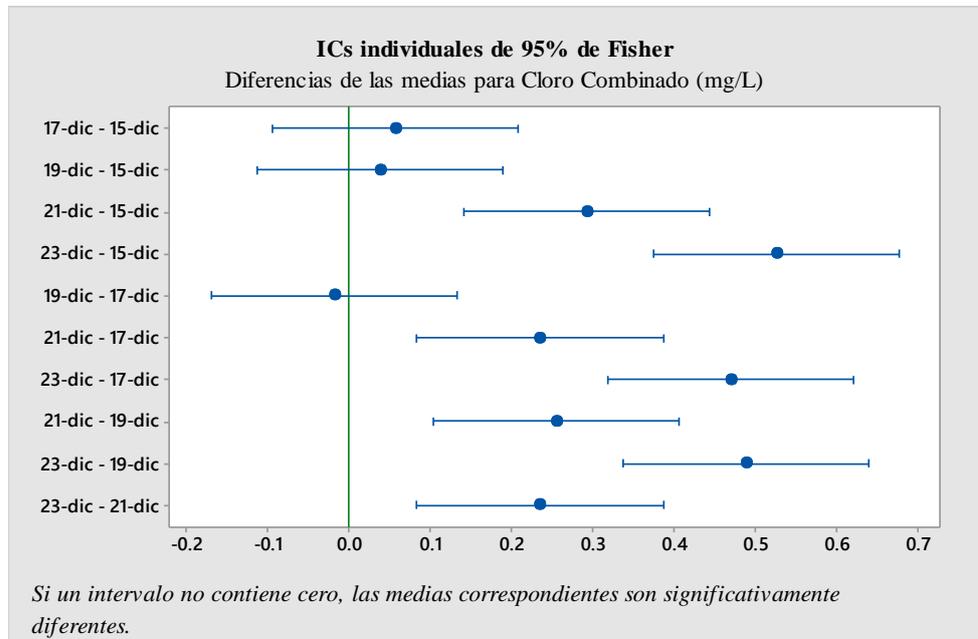


Figura 22: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor día

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se observa a tres de los intervalos que contienen cero, por lo que son estadísticamente homogéneos y siete de los intervalos no contienen cero, siendo así estadísticamente diferentes.

c) ANOVA de un solo factor: Cloro Combinado (mg/L) vs.
Hora

Tabla 38

Hipótesis estadística para factor hora

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	= 0.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Horas	3	06 h, 12 h, 18 h

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40

Análisis de varianza para factor hora

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Horas	2	0.1542	0.07710	1.07	0.350
Error	57	4.1131	0.07216		
Total	59	4.2673			

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la comparación entre el valor p y el nivel de significancia ($0.350 > 0.05$), hay suficiente probabilidad estadística para aceptar la hipótesis nula, es decir, el valor p es mayor que el nivel de significancia, por lo tanto, todas las medias son estadísticamente homogéneas.

Tabla 41

Medias para factor hora

Horas	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
06 h	20	0.3775	0.2846	(0.2572; 0.4978)
12 h	20	0.4970	0.2312	(0.3767; 0.6173)
18 h	20	0.4665	0.2864	(0.3462; 0.5868)

Desv.Est. agrupada = 0.268624

Fuente: Elaboración propia

En estos resultados, cada hora tiene un intervalo de confianza, estos intervalos de confianza son rangos de valores que probablemente contienen la media real por hora.

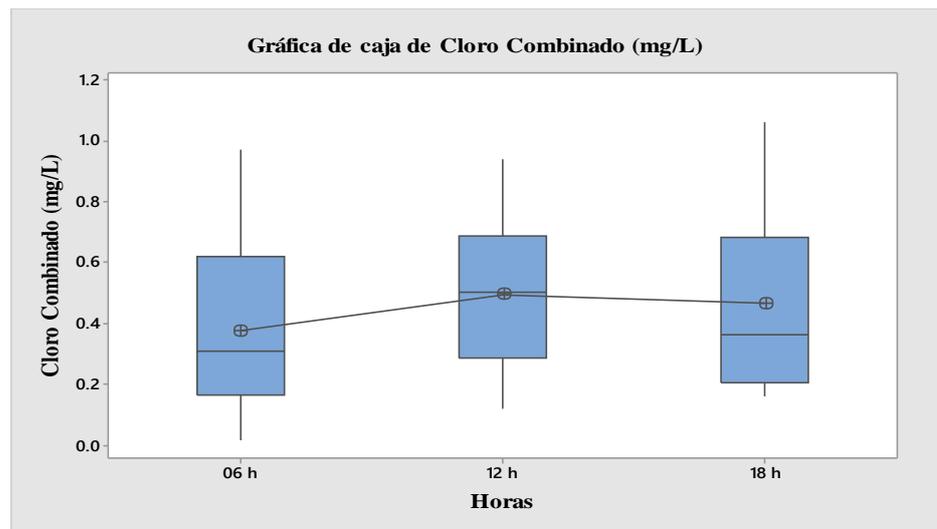


Figura 23: Gráfica de cajas del cloro combinado para factor hora

Fuente: Elaboración propia

En la figura 23 se observa las medias de cloro combinado por hora, indicando una tendencia lateral entre las horas de muestreo durante los 5 días, es decir, que los valores de cloro combinado no varían de manera significativa.

Tabla 42

Comparaciones en parejas de Fisher para factor hora

Horas	N	Media	Agrupación
12 h	20	0.4970	A
18 h	20	0.4665	A
06 h	20	0.3775	A

Fuente: Elaboración propia

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Los resultados en la tabla muestran que el grupo A contiene las horas (06 h, 12 h y 18 h), por lo que, las medias de las horas son estadísticamente homogéneas.

Tabla 43

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor hora

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
12 h – 06 h	0.1195	0.0849	(-0.0506; 0.2896)	1.41	0.165
18 h – 06 h	0.0890	0.0849	(-0.0811; 0.2591)	1.05	0.299
18 h – 12 h	-0.0305	0.0849	(-0.2006; 0.1396)	-0.36	0.721

Nivel de confianza simultánea = 87.92%

Fuente: Elaboración propia

Al ser los valores de p de la diferencia entre horas mayor que el nivel de significancia, nos indica que son estadísticamente homogéneas.

El nivel de confianza simultáneo indica que podemos estar un 87.92% seguro de que todos estos intervalos de confianza contienen las diferencias reales.

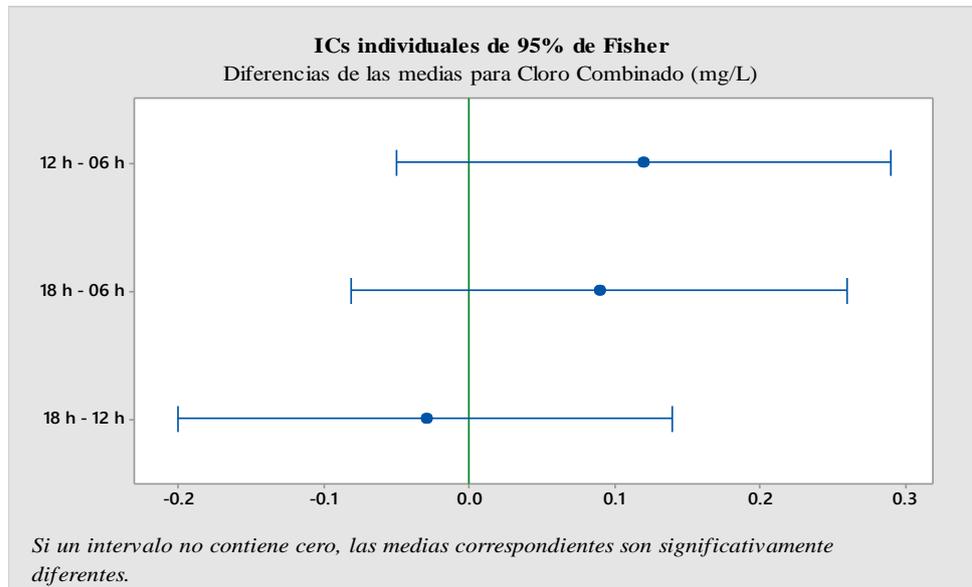


Figura 24: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor hora

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la figura 24, que los intervalos de confianza de los pares de medias incluyen cero, por lo tanto, las medias son estadísticamente homogéneas entre las horas de muestreo.

d) Control estadístico del cloro combinado vs LMP dispuestos según la OMS y el DS N° 031-2010-SA.

Tabla 44

Datos estadísticos del cloro combinado (mg/L)

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ
60	0.4470	0.2689	0.0347	0.3899

Fuente: Elaboración propia

μ : media de Cloro Combinado (mg/L), desviación estándar conocida = 0.2689, a concentración de 3 mg/L.

Tabla 45

Hipótesis estadística para cloro combinado (mg/L)

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 3$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 3$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46

Prueba de hipótesis para cloro combinado (mg/L)

Valor Z	Valor p
-73.54	1.000

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 46, en la prueba de la hipótesis se puede observar que el valor p es mayor que el nivel de significancia, nos indica que existe suficiente probabilidad estadística para aceptar la hipótesis nula; y comprobar de esta manera que el agua de la red de distribución del reservorio N° 2 se encuentra dentro de los límites máximos permisibles de la normativa vigente y la OMS.

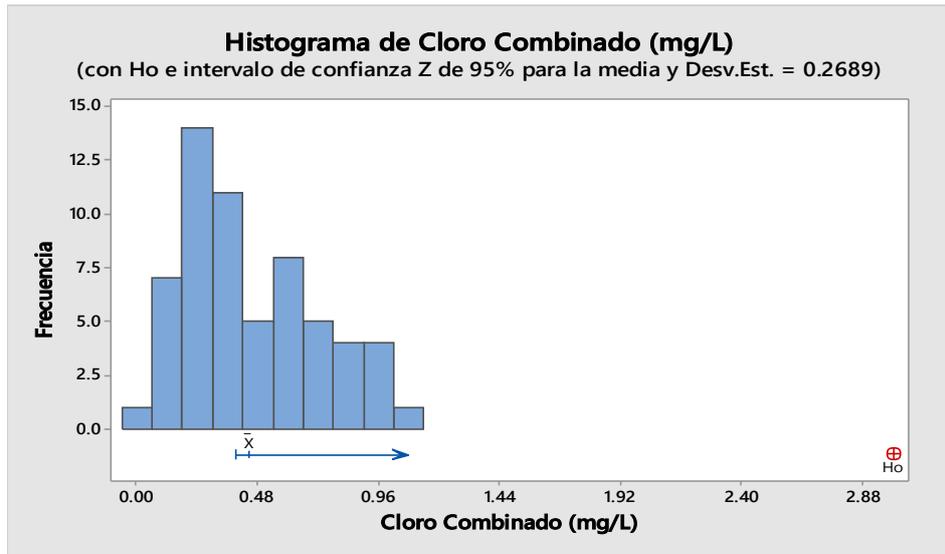


Figura 25: Histograma del cloro combinado (mg/L)
 Fuente: Elaboración propia

En la figura 25 se puede apreciar que las concentraciones de cloro combinado (cloraminas) encontradas dentro de la red de agua potable están por debajo de la normativa vigente cumpliendo así con los LMP.

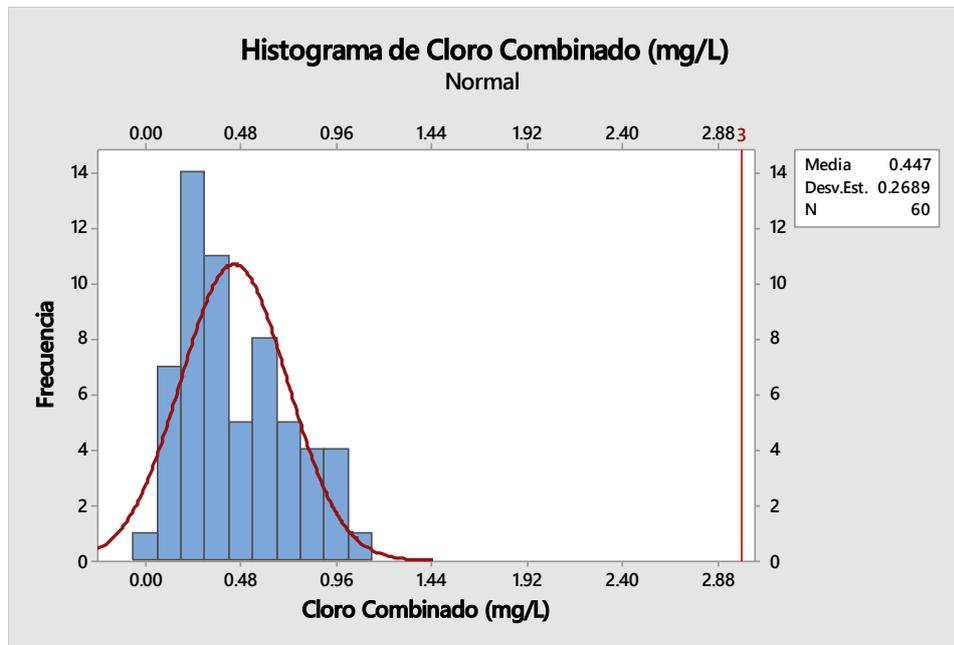


Figura 26: Histograma del cloro combinado vs LMP (mg/L).
 Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura 26, en el histograma la comparación de las concentraciones de cloro combinado (cloraminas) con los LMP, que los niveles de concentración están por debajo de los LMP, cumpliendo así con la normativa del DS-031-2010-SA. y la OMS que establecen un valor (3 mg/L).

4.3.2. Discusión de resultados respecto al cloro combinado (cloraminas)

De acuerdo a los resultados obtenidos del Cloro combinado (cloraminas) en la red de distribución de agua potable del reservorio N° 2 de la plata el Milagro - Cajamarca se realizó el siguiente análisis:

- Por sector: en la figura 19 se observa que, el cloro combinado en los cuatro sectores su variación es mínima, así mismo en la figura 20 en la diferencia de las medias de los sectores es estadísticamente homogénea.
- Por día: según se muestra la figura 21 la concentración del cloro combinado en los días 15-dic, 17-dic y 19-dic su variación es mínima a comparación de los días 21-dic y 23-dic donde se observa una variación notoria, así mismo, en la tabla 36 se puede observar a través de la agrupación la diferencia estadística por día.
- Por hora: en la figura 23 se puede observar que el cloro combinado es más alto a las 12 h y más bajo a la 06 h.

- Además, en la figura 26 se observa que durante los cinco días de muestreo en los cuatro sectores de la red de agua potable del reservorio N°2 de la planta El Milagro, en las sesenta muestras realizadas ninguna excede el límite máximo permisible para cloraminas (3 mg/L). Tal como describe Quirós (2005), “la OMS fija un nivel guía para cloraminas de 3 mg/L” (p.59). Podemos deducir que, al no existir valores mayores a 3 mg/L de cloro combinado (cloraminas), nos da entender que los niveles de amoniacó producto de la descomposición de la materia orgánica son mínimos en la red de distribución del reservorio N° 2, por lo tanto, el agua potable no presenta riesgos para la salud de las personas.

4.4. Análisis e interpretación de resultados respecto al cloro total residual

4.4.1. Análisis estadístico respecto al cloro total residual

a) ANOVA de un solo factor: Cloro Total Residual (mg/L) vs. Sector

Tabla 47

Hipótesis estadística para factor sector

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	= 0.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Sectores	4	Sector 01, Sector 02, Sector 03, Sector 04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49

Análisis de varianza para factor sector

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Sectores	3	0.1596	0.05319	0.40	0.757
Error	56	7.5275	0.13442		
Total	59	7.6871			

Fuente: Elaboración propia

En la comparación entre el valor p y el nivel de significancia (0.757 > 0.05), hay suficiente probabilidad estadística para aceptar la hipótesis nula, es decir, el valor p es mayor que el nivel de

significancia, por lo tanto, todas las medias son estadísticamente homogéneas.

Tabla 50

Medias para factor sector

Sectores	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Sector 01	15	0.6127	0.3706	(0.4230; 0.8023)
Sector 02	15	0.6660	0.3588	(0.4764; 0.8556)
Sector 03	15	0.5227	0.2893	(0.3330; 0.7123)
Sector 04	15	0.587	0.433	(0.397; 0.776)

Desv.Est. agrupada = 0.366632

Fuente: Elaboración propia

En estos resultados, cada sector tiene un intervalo de confianza, estos intervalos de confianza son rangos de valores que probablemente contienen la media real por sector.

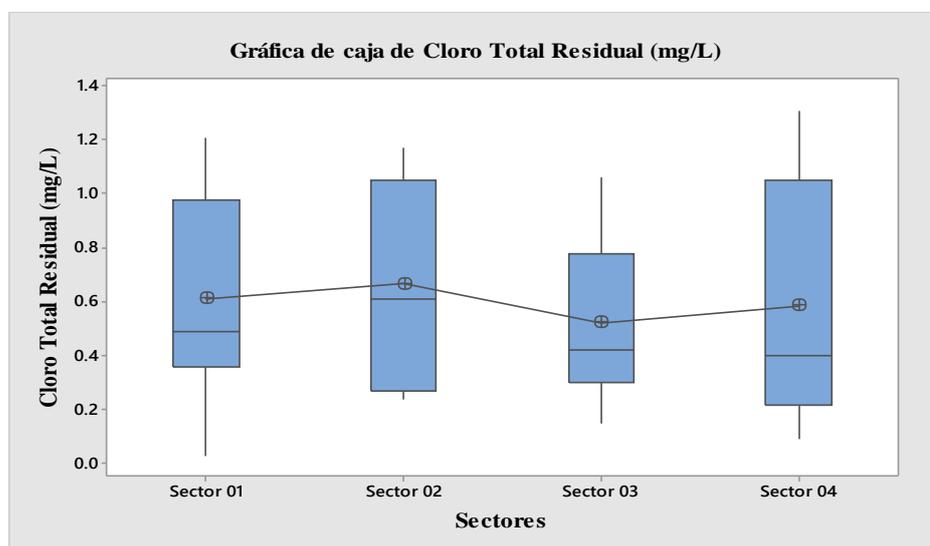


Figura 27: Gráfica de cajas del cloro combinado para factor sector

Fuente: Elaboración propia

En la figura 27 se muestra las medias de cloro total residual por sector, indicando una tendencia lateral que se mantiene en los

cuatro sectores, es decir, que los valores de cloro total residual no varían de manera significativa en la red de distribución.

Tabla 51

Comparaciones en parejas de Fisher para factor sector

Sectores	N	Media	Agrupación
Sector 02	15	0.6660	A
Sector 01	15	0.6127	A
Sector 04	15	0.587	A
Sector 03	15	0.5227	A

Fuente: Elaboración propia

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. En la tabla 45 muestra que el grupo A contiene los sectores 01, 02, 03 y 04, esto indica que sus medias son estadísticamente homogéneas.

Tabla 52

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor sector

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
Sector 02 - Sector 01	0.053	0.134	(-0.215; 0.322)	0.40	0.692
Sector 03 - Sector 01	-0.090	0.134	(-0.358; 0.178)	-0.67	0.504
Sector 04 - Sector 01	-0.026	0.134	(-0.294; 0.242)	-0.19	0.847
Sector 03 - Sector 02	-0.143	0.134	(-0.412; 0.125)	-1.07	0.289
Sector 04 - Sector 02	-0.079	0.134	(-0.348; 0.189)	-0.59	0.556
Sector 04 - Sector 03	0.064	0.134	(-0.204; 0.332)	0.48	0.634

Nivel de confianza simultánea = 80.09%

Fuente: Elaboración propia

Los intervalos de confianza indican lo siguiente:

- Los pares que contengan cero no son estadísticamente significativos.
- Los pares que no contengan cero son estadísticamente significativos.

Al realizar la comparación de los valores de p de los pares de medias con el nivel de significancia, indica que no son estadísticamente significativa.

El nivel de confianza simultáneo indica que podemos estar un 80.09 % seguro de que todos estos intervalos de confianza contienen las diferencias reales.

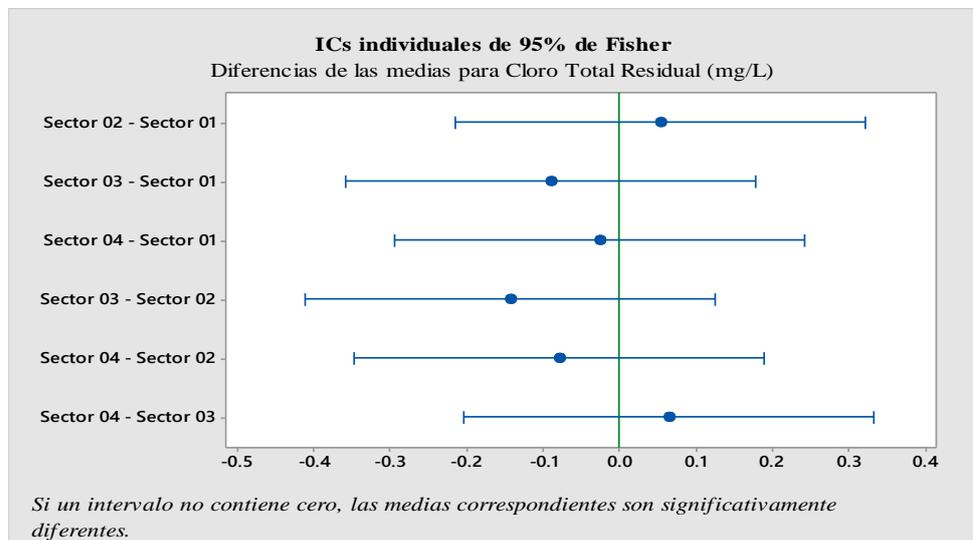


Figura 28: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor sector

Fuente: Elaboración propia

En la figura 28, podemos observar que los intervalos de confianza de los pares de medias incluyen cero, por lo tanto, los cuatro

sectores son estadísticamente homogéneas, y se acepta la hipótesis nula que todas las medias son iguales.

b) ANOVA de un solo factor: Cloro Total Residual (mg/L) vs. Día

Tabla 53

Hipótesis estadística para factor día

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	= 0.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Días	5	15-dic, 17-dic, 19-dic, 21-dic, 23-dic

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55

Análisis de varianza para factor día

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Días	4	5.308	1.32701	30.68	0.000
Error	55	2.379	0.04325		
Total	59	7.687			

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la comparación entre el valor p y el nivel de significancia ($0.000 < 0.05$), existe suficiente probabilidad estadística para aceptar la hipótesis alterna, es decir, el valor p es

menor al nivel de significancia, por lo tanto, no todas las medias son iguales.

Tabla 56

Medias para factor día

Días	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
15-dic	12	0.3308	0.1281	(0.2105; 0.4512)
17-dic	12	0.3692	0.1913	(0.2488; 0.4895)
19-dic	12	0.3650	0.1682	(0.2447; 0.4853)
21-dic	12	0.927	0.358	(0.806; 1.047)
23-dic	12	0.9933	0.0845	(0.8730; 1.1137)

Desv. Est. agrupada = 0.207978

Fuente: Elaboración propia

En estos resultados, cada día tiene un intervalo de confianza, estos intervalos de confianza son rangos de valores que probablemente contienen la media real por día.

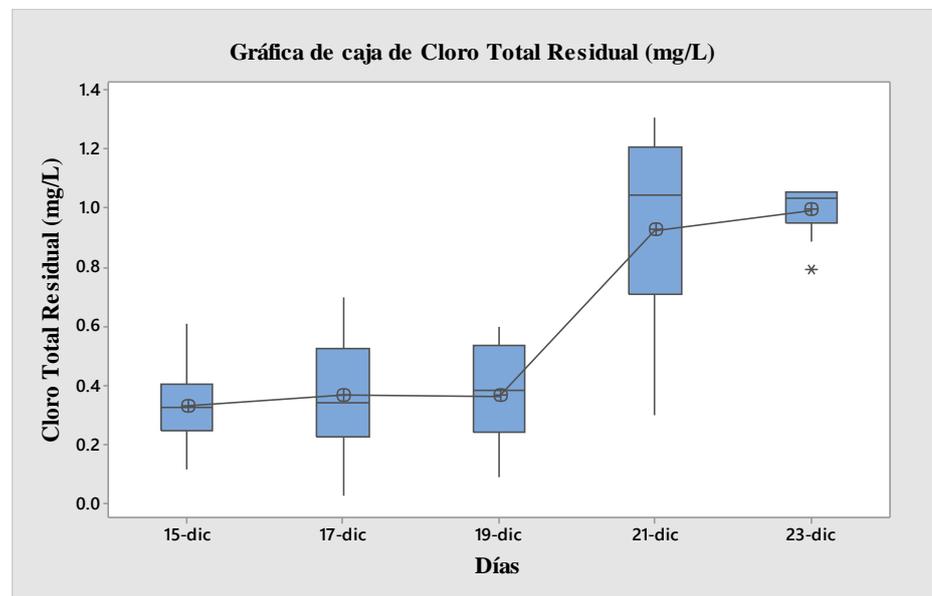


Figura 29: Gráfica de cajas del cloro total residual para factor día

Fuente: Elaboración propia

Observamos en la figura 29 las medias de cloro total residual por día, lo cual indica una tendencia lateral en los días 15,17 y 19, y los días 21, 23 una tendencia alcista, es decir, que los valores de cloro total residual en los días 15,17 y 19 no varían de manera significativa, puesto que en los días 21, 23 la varianza es notable.

Tabla 57

Comparaciones en parejas de Fisher para factor día

Días	N	Media	Agrupación
23-dic	12	0.9933	A
21-dic	12	0.927	A
17-dic	12	0.3692	B
19-dic	12	0.3650	B
15-dic	12	0.3308	B

Fuente: Elaboración propia

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. La tabla 51 muestra que el grupo A contiene los días 21 y 23 de diciembre, el grupo B contiene los días 15,17,19 de diciembre, así que, el grupo A y grupo B son significativamente diferentes.

Tabla 58

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor día

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
17-dic - 15-dic	0.0383	0.0849	(-0.1318; 0.2085)	0.45	0.653
19-dic - 15-dic	0.0342	0.0849	(-0.1360; 0.2043)	0.40	0.689
21-dic - 15-dic	0.5958	0.0849	(0.4257; 0.7660)	7.02	0.000
23-dic - 15-dic	0.6625	0.0849	(0.4923; 0.8327)	7.80	0.000
19-dic - 17-dic	-0.0042	0.0849	(-0.1743; 0.1660)	-0.05	0.961
21-dic - 17-dic	0.5575	0.0849	(0.3873; 0.7277)	6.57	0.000
23-dic - 17-dic	0.6242	0.0849	(0.4540; 0.7943)	7.35	0.000
21-dic - 19-dic	0.5617	0.0849	(0.3915; 0.7318)	6.62	0.000
23-dic - 19-dic	0.6283	0.0849	(0.4582; 0.7985)	7.40	0.000
17-dic - 15-dic	0.0667	0.0849	(-0.1035; 0.2368)	0.79	0.436

Nivel de confianza simultánea = 72.22%

Fuente: Elaboración propia

Los intervalos de confianza indican lo siguiente:

- Los pares que contengan cero no son estadísticamente significativos.
- Los pares que no contengan cero son estadísticamente significativos.

Al ser el valor $p > \alpha$, en algunas comparaciones; y $p < \alpha$ en otras, hay suficiente probabilidad estadística para aceptar la hipótesis alterna, donde no todas las medias son iguales.

El nivel de confianza simultáneo indica que podemos estar un 72.22% seguro de que todos estos intervalos de confianza contienen las diferencias reales.

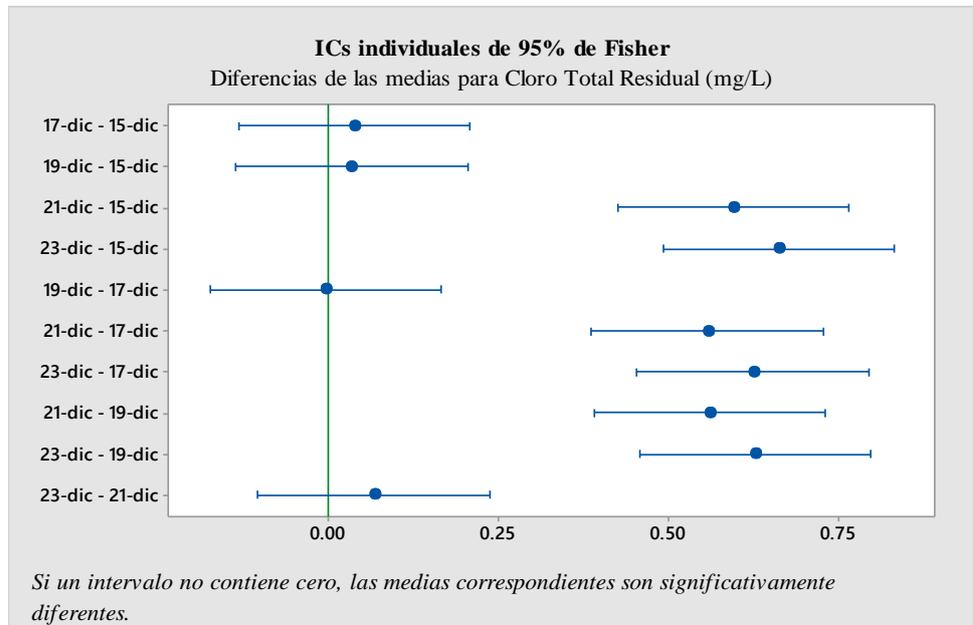


Figura 30: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor día

Fuente: Elaboración propia

En la figura 30 se observa a cuatro de los intervalos que contienen cero, por lo que son estadísticamente homogéneos y seis de los intervalos no contienen cero, siendo así estadísticamente diferentes.

c) ANOVA de un solo factor: Cloro Total Residual (mg/L) vs. Hora

Tabla 59

Hipótesis estadística para factor hora

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	= 0.05

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Horas	3	06 h, 12 h, 18 h

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61

Análisis de varianza para factor hora

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Horas	2	0.3480	0.1740	1.35	0.267
Error	57	7.3390	0.1288		
Total	59	7.6871			

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la comparación entre el valor p y el nivel de significancia ($0.267 > 0.05$), hay suficiente probabilidad estadística para aceptar la hipótesis nula, es decir, que todas las medias son estadísticamente homogéneas.

Tabla 62

Medias para factor hora

Horas	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
06 h	20	0.5025	0.3465	(0.3418; 0.6632)
12 h	20	0.6890	0.3597	(0.5283; 0.8497)
18 h	20	0.5995	0.3699	(0.4388; 0.7602)

Desv.Est. agrupada = 0.358825

Fuente: Elaboración propia

En estos resultados, cada hora tiene un intervalo de confianza, estos intervalos de confianza son rangos de valores que probablemente contienen la media real por hora.

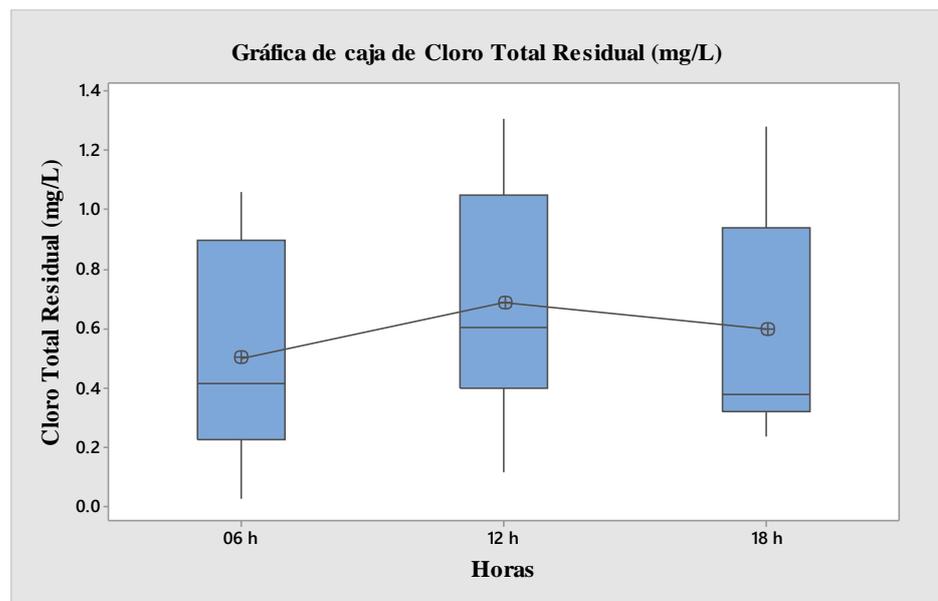


Figura 31: Gráfica de cajas del cloro total residual para factor hora

Fuente: Elaboración propia

En la figura 31 se observa las medias de cloro total residual por hora, indicando una tendencia lateral entre las horas de muestreo

durante los 5 días, es decir, que los valores encontrados de cloro libre residual no varían de manera significativa.

Tabla 63

Comparaciones en parejas de Fisher para factor hora

Horas	N	Media	Agrupación
12 h	20	0.6890	A
18 h	20	0.5995	A
06 h	20	0.5025	A

Fuente: Elaboración propia

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. La tabla muestra que el grupo A contiene las horas (06h, 12 h y 18 h), es decir, que las medias por hora son estadísticamente homogéneas.

Tabla 64

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias para factor hora

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
12 h – 06 h	0.187	0.113	(-0.041; 0.414)	1.64	0.106
18 h – 06 h	0.097	0.113	(-0.130; 0.324)	0.85	0.396
18 h – 12 h	-0.090	0.113	(-0.317; 0.138)	-0.79	0.434

Nivel de confianza simultánea = 87.92%

Fuente: Elaboración propia

Al ser los valores de p de la diferencia entre horas mayor que el nivel de significancia, nos indica que son estadísticamente homogéneas.

El nivel de confianza simultáneo indica que podemos estar un 87.92% seguro de que todos estos intervalos de confianza contienen las diferencias reales.

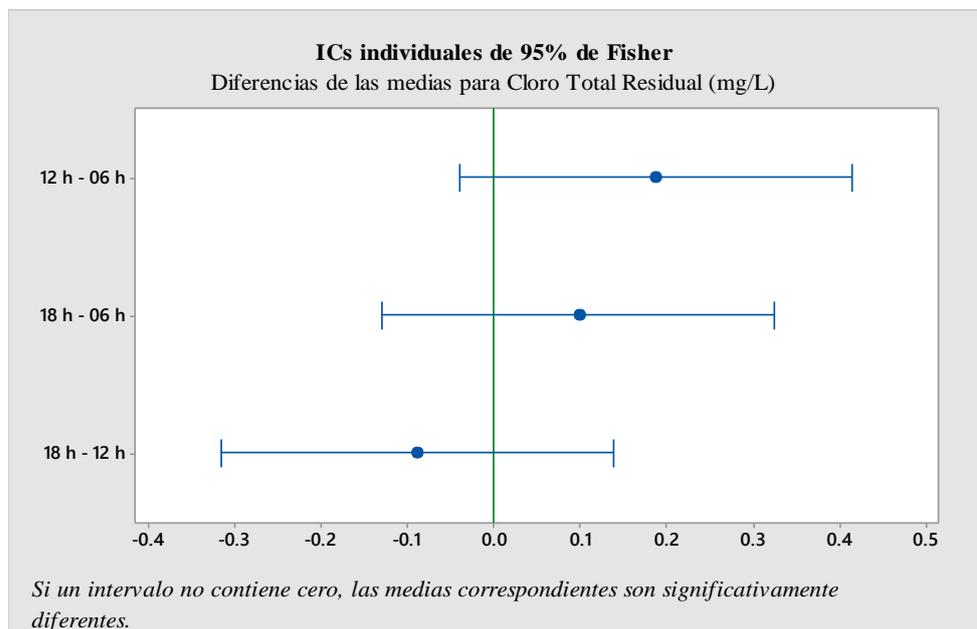


Figura 32: Gráfica de comparaciones en parejas de Fisher para factor hora

Fuente: Elaboración propia

En la figura 32 observamos que los intervalos de confianza de los pares de medias incluyen cero, por lo tanto, las medias son estadísticamente homogéneas entre horas de muestreo.

**f) Control estadístico del cloro total residual vs LMP
dispuestos según la OMS y el DS N° 031-2010-SA.**

Tabla 65

Datos estadísticos del cloro total residual (mg/L)

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ
60	0.5970	0.3610	0.0466	0.5203

Fuente: Elaboración propia

μ : media de Cloro Total Residual (mg/L), desviación estándar conocida = 0.361, a concentración de 5 mg/L

Tabla 66

Hipótesis estadística para cloro total residual (mg/L)

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 5$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 5$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67

Prueba de hipótesis para cloro libre residual (mg/L)

Valor Z	Valor p
-94.48	1.000

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 67 en la prueba de la hipótesis se puede observar que, el valor p es mayor que el nivel de significancia, nos indica que existe suficiente probabilidad estadística para aceptar la hipótesis nula, y de esta manera podemos inferir que el agua que llega a nuestros hogares se encuentra dentro de los límites máximos permisibles para cloro total residual de 5 mg/L.

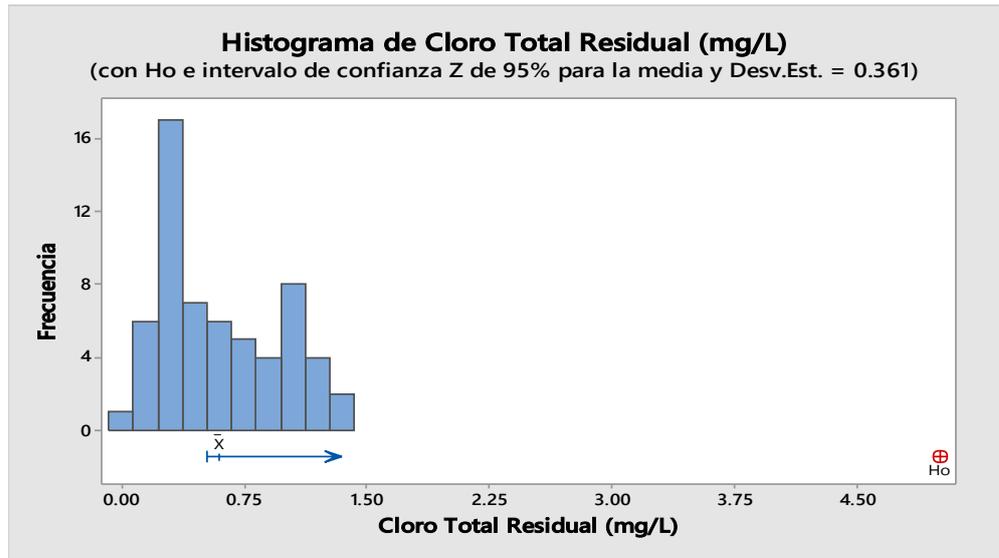


Figura 33: Histograma del cloro total residual (mg/L)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 33 se aprecia en el histograma la concentración de cloro total residual, las cuales están por debajo de a hipótesis nula, infiriendo así de esta manera que el agua cumple con los parámetros de la normativa vigente para agua potable.

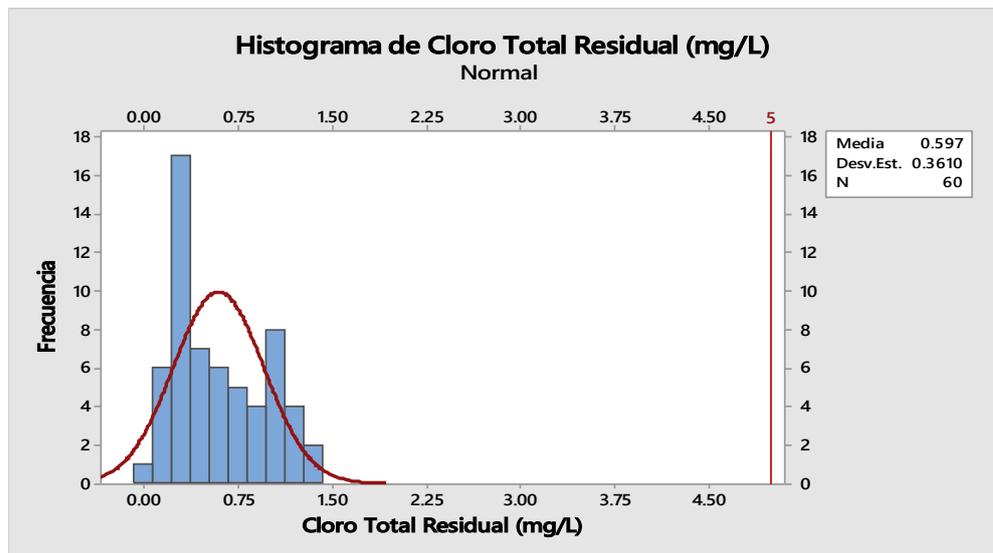


Figura 34: Histograma del cloro total residual vs LMP (mg/L).

Fuente: Elaboración propia

En la figura 26 en la comparación de las concentraciones de cloro total residual, con los LMP se observa que los niveles de concentración se encuentran dentro de la normativa el DS-031-2010-SA. y la OMS que establecen un valor (5 mg/L) para agua potable.

4.4.2. Discusión de resultados al respecto del cloro total residual

Según los resultados obtenidos del Cloro total residual en la red de distribución de agua potable del reservorio N° 2 de la planta el Milagro se realizó el siguiente análisis:

- Por sector: en la figura 27 se observa que, el cloro total residual en los cuatro sectores su variación es mínima, así mismo en la figura 28 en la diferencia de las medias de los sectores es estadísticamente homogénea.
- Por día: según se muestra la figura 29 la concentración del cloro total residual en los días 15-dic, 17-dic y 19-dic su variación es mínima a comparación de los días 21-dic y 23-dic donde se observa una variación notoria, así mismo, en la tabla 57 se puede observar a través de la agrupación la diferencia estadística por día.
- Por hora: en la figura 31 se puede observar que el cloro total residual es más alto a las 12 h y más bajo a la 06 h.
- Además, en la figura 34 se observa que durante los cinco días de muestreo en los cuatro sectores de la red de distribución de agua potable del reservorio N° 2 de la planta El Milagro en las

sesenta muestras realizadas ninguna excede el límite máximo permisible para cloro total residual de menor o igual a 5 mg/L, indicando que agua es apta para el consumo humano, ya que, los niveles de concentración están dentro de los parámetros dispuestos por el DS. N° 031-2010-SA. y la OMS, pero al mismo tiempo no garantiza al 100% la calidad del agua potable. La OMS (2004) señala: “No se ha observado ningún efecto adverso en humanos expuestos a concentraciones de cloro libre en agua potable. No obstante, establece un valor guía máximo de cloro de 5 mg/L, y afirma explícitamente que se trata de un valor conservador” (p.1).

4.5. Contratación general de la hipótesis

Según los valores encontrados de los compuestos clorados (cloro libre residual, cloro combinado y cloro total residual) en la red de distribución de agua potable del reservorio N° 2 de la Planta El Milagro, no cumplen con los parámetros establecidos en el DS. N° 031-2010-SA. y la OMS. El Cloro total residual cumple con los parámetros establecidos ≤ 5 mg/L, referente a cloraminas está dentro de los parámetros ≤ 3 mg/L, en cloro libre residual en su mayoría está por debajo de 0.5 mg/L y en la última parte de la red está por debajo de 0.2 mg/L, incumpliendo con lo establecido en la normativa vigente y la OMS, por lo tanto, el proceso de desinfección es deficiente no garantizando así la calidad de agua, siendo ésta no apta para el consumo humano.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En base a los resultados obtenidos de los compuestos clorados, según el análisis ANOVA se concluye, que tanto el cloro libre residual, cloro combinado (cloraminas) y cloro total residual, en los cuatro sectores de monitoreo de las sesenta muestras recolectadas en su mayoría no varían de manera significativa, esto indica, que la cloración es homogénea en de la planta de tratamiento, pero que, al momento de ser distribuida ya se por el tiempo, la distancia o por otros factores físicos el cloro va reaccionado con los agentes reductores disminuyendo así su concentración hasta llegar al último tramo de la red de distribución.
- En el análisis del cloro libre residual en los sectores 03 y 04 durante los 5 días de muestreo, sus máximos valores encontrados fueron de 0.37 y 0.36 respectivamente, lo cual, no cumplen con los parámetros dispuestos por el DS. N° 031-2010-SA. y la OMS., de 0.5 mg/L y en sectores 01 y 02, de los cinco días de muestreo solo el día 21 de diciembre cumple con el límite máximo permisible dispuestos por el DS. N° 031-2010-SA. y la OMS.
- Las concentraciones del cloro combinado ninguna excede el límite máximo permisible para cloraminas (3 mg/L), por lo tanto, está dentro de los parámetros dados por el DS. N° 031-2010-SA. y la OMS.

- De las sesenta muestras realizadas ninguna excede el límite máximo permisible para cloro total residual de menor o igual a 5 mg/L, por lo que, los niveles de concentración están dentro de los parámetros dispuestos por el DS. N° 031-2010-SA. y la OMS.
- Se llega a la conclusión, que el proceso de cloración en la red de distribución del reservorio N° 2 es deficiente, puesto que, los valores encontrados en todo el monitoreo de los compuestos clorados son bajos en comparación a los parámetros dispuestos por el DS. 031-2010-SA. y la organización de la salud (OMS), por lo tanto, no garantizan la calidad del agua potable.

5.2. Recomendaciones

- A los funcionarios de SEDACAJ que tengan mayor interés en el tratamiento del agua potable en la red de distribución del reservorio N° 2 de la planta El Milagro dando cumplimiento a la normatividad vigente en nuestro país, para así brindar un servicio de calidad.
- Recomendamos sensibilizar y capacitar a los trabajadores que se encuentran trabajando en la empresa de tratamiento, sobre los riesgos que trae o conlleva un deficiente proceso de cloración, para así garantizar que el agua que llega a nuestros hogares sea óptima.
- También se sugiere realizar futuras investigaciones acerca de la calidad del agua, en relación a otros elementos químicos como, turbidez, metales pesados, coliformes fecales y bacterias, ya que el agua es un elemento esencial para la vida humana.

REFERENCIAS

- Reascos, B.A. y Yar, B.M . (2010). *Evaluación de la calidad del agua para el consumo humano de las comunidades del Cantón Cotacachi y propuesta de medidas correctivas* (tesis de grado). Universidad Tecnica del Norte, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/>
- Mantilla, A. y Rucoba, J. C. (2014, 11, 19). Evaluación de la concentración de cloro en agua de consumo humano en Cajamarca. *Ciencia, Tecnologia y Desarrollo*. Recuperado de <https://revistas.upeu.edu.pe/>
- Arribasplata, J. (2012, 06, 28). Universidad y SEDACAJ se enfrentan por calidad de agua potable en Cajamarca. *Con Nuestro Peru tu Revista Digital*. Recuperado de www.Connuestroperu.com
- Batallas, C. M. (2012, 01, 24). Determinacion de Cloro Residual y Cloro Total. *ACI-004, INDU-QUIM GONVEG CÍA. LTDA*. Recuperado de <https://docplayer.es/21190560-Indu-quim-gonveg-cia-ltda-determinacion-de-cloro-residual-y-cloro-total.html>
- Murillo, B. Y. (2015). *Control estadístico de la calidad del agua respecto al cloro residual y turbidez en la planta de tratamiento seda juliaca de 2015* (tesis de grado).Repertorio Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/>
- Cánepa, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/filtrarap1.html>.

- CNA. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Desinfección para sistemas de Agua Potable y Saneamiento*. Mexico, Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- DS N° 031-2010-SA. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para el Consumo Humano*. Perú, Lima: Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud
- Gutierrez, D. y Torrez, L. (2013). *Estudio comparativo y estadístico de la calidad de el agua potable en las redes de distribución de la parroquia Guapán del Cantón Azogues* (Tesis de grado). Universidad de Cuenca. Ecuador
- EPA. (1999). *Desinfectantes y oxidantes alternativos*. Recuperado de <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs-99-063.pdf>
- Moreno, A. F. y López, R. (1991). *Determinación del Cloro Residual*. Recuperado de <https://www.ircwash.org/sites/default/files/245.11-91AD-9089.pdf>
- HANNA. (17 de marzo de 2016). La importancia de Potabilizar y realizar la Desinfección del Agua [Mensaje en un Blog]. Recuperado de <http://www.hannachile.com/blog/cat/art%C3%ADculos>
- NOM-001-ECOL. (1996). *Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas Residuales y Bienes Nacionales*. Recuperado de www.ingenieria.unam.mx/~enriquecv/TAR/normas_TAR.html
- OMS. (2004). *Ficha sobre calidad del agua*. Recuperado de <http://www.aquagest-regiondemurcia.es/img/contenidos/1/ficha-sobre-calidad-del-agua.pdf>

- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Recuperado de www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/
- OMS. (2009). *Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud: Medicion del cloro residual*. Recuperado de <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf>
- OPS-COSUDE. (2007). *Guia para la seleccion de Sistema de Desinfeccion*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/guiaseleccsistdesinf.pdf>
- Quirós, F. R. (2005). *Tecnica Industrial TI 260: Desinfeccion del Agua con Cloro y Cloraminas*. Recuperado de <http://www.tecnicaindustrial.es/tifrontal/a-1199-Desinfeccion-agua-cloro-cloraminas.aspx>
- Sampieri, H. R. (Ed). (2014). *Metodologia de la Investigación*. Mexico, Mexico: McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Santafé, M. F. (2009). *Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos* . Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/>

LISTA DE ABREVIATURAS

OMS: Organización Mundial de la Salud.

DS: decreto supremo.

EPS SEDACAJ S.A: Empresa Prestadora de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Cajamarca

LMP: Límites Máximos Permisibles.

GL: Grados de libertad

IC: Intervalo de confianza de las medias de grupo

SC Ajust. suma de cuadrados ajustada

CM Ajust. cuadrados medios ajustados

Desv.Est.: Desviación estándar

UNT: Unidad Nefelometrica de Turbiedad

LCS: límite de control superior

LCI: limite control inferior

NTE INEN: Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización

UTM: sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (en inglés Universal Transverse Mercato.)

EE de diferencia: error estándar de la diferencia entre las medias

N: tamaño de la muestra

GLOSARIO

Ácido hipocloroso: es la denominación que se le otorga al ácido que resulta de la unión del óxido ácido de cloro con H₂O. Recibe tal nombre debido a que el cloro actúa con el estado de oxidación +1, que es el menor de los cuatro positivos que posee: +1, +3, +5 y +7. (OMS, 2004)

Cloración: “es el procedimiento de desinfección de aguas mediante el empleo de cloro o compuestos clorados. Se puede emplear gas cloro, pero normalmente se emplea hipoclorito de sodio (lejía) por su mayor facilidad de almacenamiento y dosificación” (OMS, 2009, p.147).

Cloro Libre Residual: “es la concentración de cloro presente en el agua, tras la aplicación de la dosis considerada y transcurrido el tiempo de contacto necesario para realizar su acción oxidante, en el que se ha consumido parte del mismo” (Moreno y López, 1991, p.7).

Cloro Residual Combinado: “es el cloro que se usa para la formación de las cloraminas” (Moreno y López, 1991, p.7).

Cloración de Ruptura: “es el cloro que se encarga de la destrucción de las cloraminas” (Moreno y López, 1991, p.7).

Cloro Residual Total: “es el resultado de la suma de cloro combinado y cloro libre residual” (Moreno y López, 1991, p.7).

Demanda de Cloro: “es la cantidad de cloro que se emplea para la reacción con los compuestos reductores y orgánicos” (CNA, 2007, p.28).

DS. N° 031-2010-SA: Reglamento establece las disposiciones generales con relación a la gestión de la calidad del agua para consumo humano, con la finalidad de garantizar su inocuidad, prevenir los factores de riesgos sanitarios, así como proteger y promover la salud y bienestar de la población.

Hipoclorito de sodio (NaOCl): “es un compuesto que puede ser utilizado para desinfección del agua. Se usa a gran escala para la purificación de superficies, blanqueamiento, eliminación de olores y desinfección del agua” (OMS, 2004).

Iones de hidronio: llamamos ion hidronio a un ion simple que proviene de una reacción química entre un ácido y una molécula de agua. El ion hidronio se puede encontrar en varias formas: sólido, líquido o gaseoso. Todas las soluciones acuosas contienen ion hidronio, así como el ion hidróxido HO⁻ en la misma cantidad. El pH de una solución acuosa se determina midiendo la concentración del ion hidronio. (OMS, 2009)

Monocloramina: “es un compuesto químico de fórmula NH₂Cl. Por lo general se utiliza como una solución diluida con función desinfectante” (Quirós, 2005).

OMS: es el organismo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) especializado en gestionar políticas de prevención, promoción e intervención en salud a nivel mundial.

ANEXOS

ANEXO A



Figura 35: Documento de remisión de información solicitada

Fuente: EPS SEDACAJ S.A.

ANEXO B

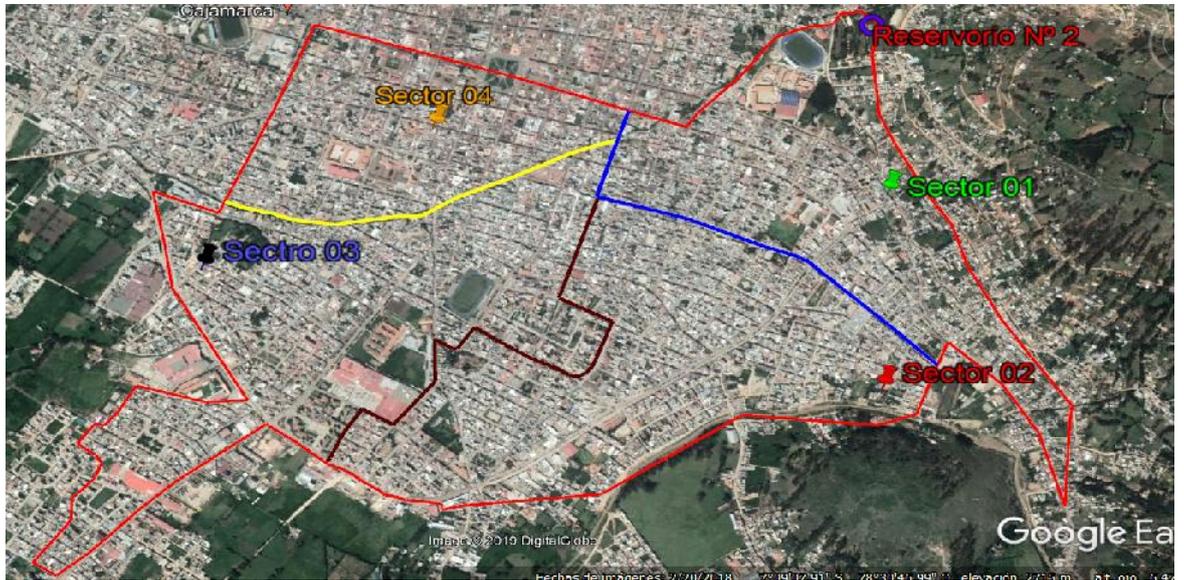


Figura 36: Croquis de la red de distribución del reservorio N° 2, Planta el Milagro

Fuente: Elaboración propia

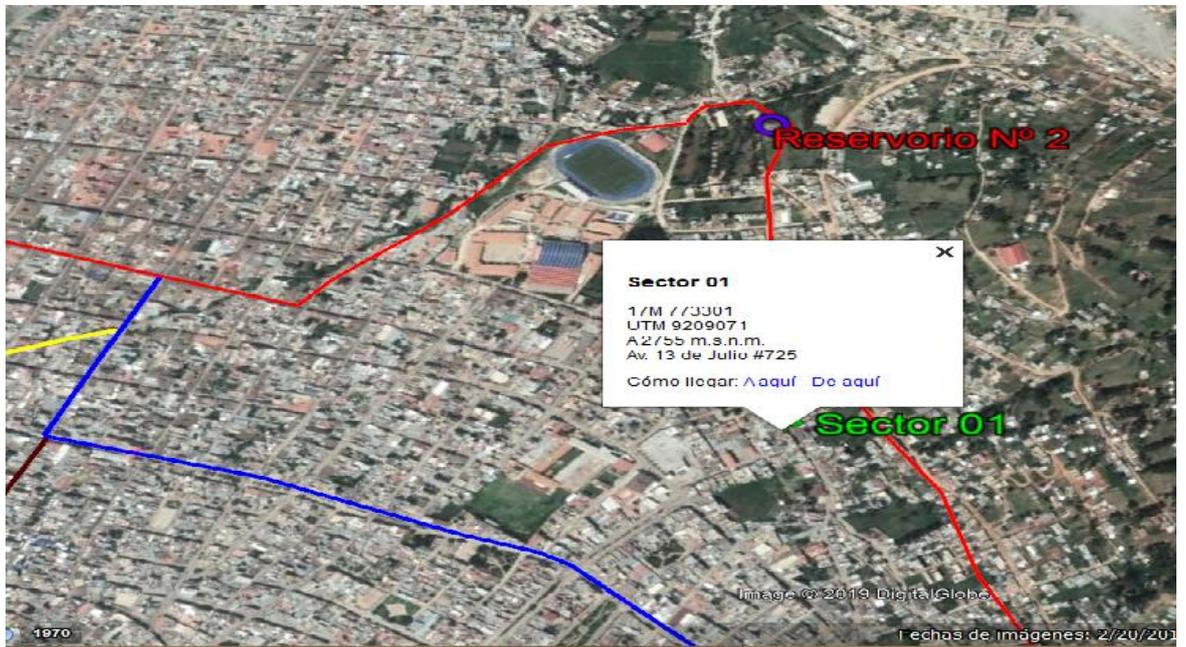


Figura 37: Coordenadas UTM sector 01

Fuente: Elaboración propia

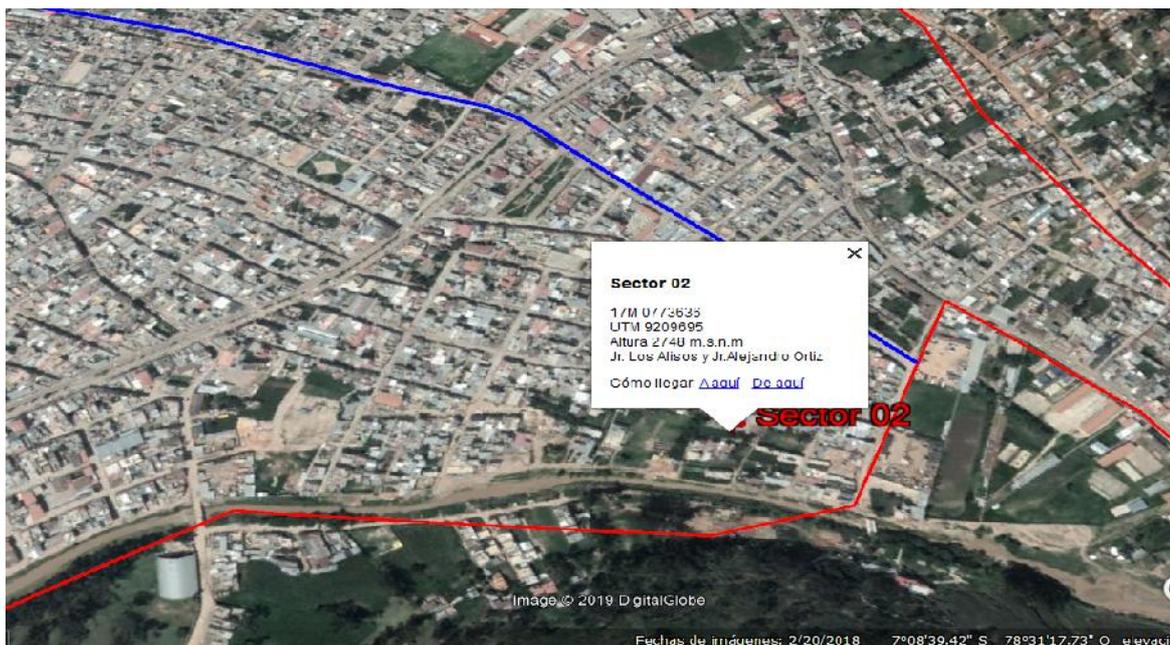


Figura 37: Coordenadas UTM sector 02

Fuente: Elaboración propia

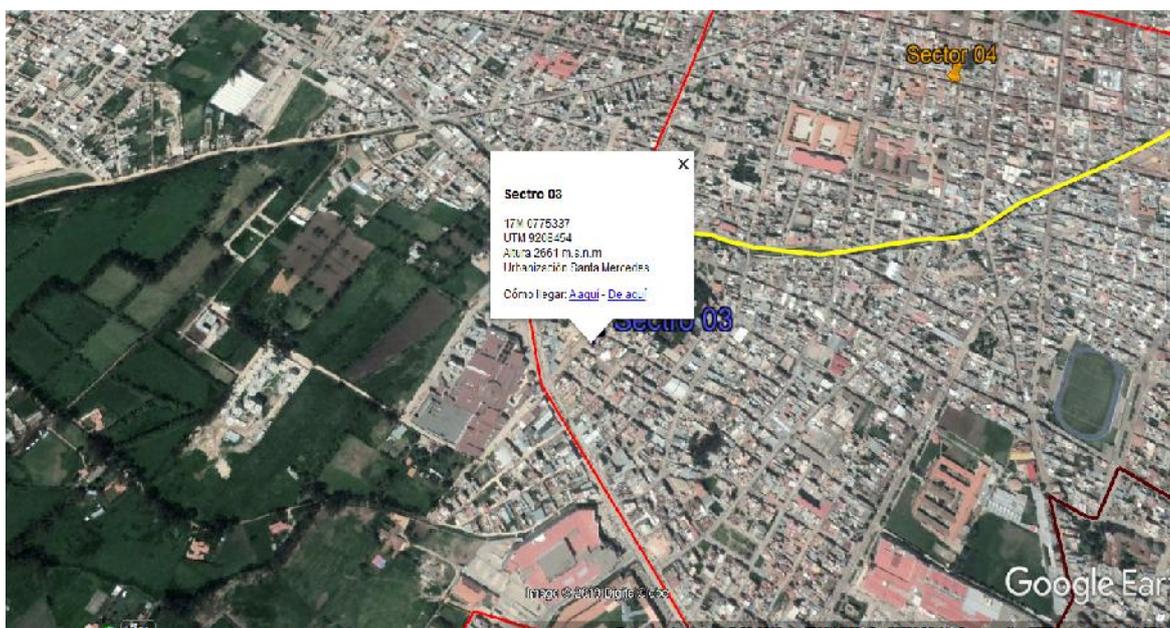


Figura 38: Coordenadas UTM sector 03

Fuente: Elaboración propia



Figura 39: Coordenadas UTM sector 04

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C



Figura 40: Instrumento de medición (colorímetro)

Fuente: Toma propia



Figura 41: DPD para cloro libre residual

Fuente: Toma propia



Figura 42: DPD para cloro total residual

Fuente: Toma propia



Figura 43: Celdas de muestreo

Fuente: Toma propia



Figura 44: Tesista realizando lectura de muestras

Fuente: Toma propia